

**EL USO DE LA CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DERIVADOS DE
CENIZAS VOLCÁNICAS (ANDOSOLE). UN CASO PARTICULAR**

DIEGO FERNANDO ZULUAGA ANGEL

**ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS Y TRANSPORTE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
2005**

**EL USO DE LA CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DERIVADOS DE
CENIZAS VOLCÁNICAS (ANDOSOLE). UN CASO PARTICULAR**

DIEGO FERNANDO ZULUAGA ANGEL

DIRECTOR:

ING. LUIS CARLOS VASQUEZ TORRES

**ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS Y TRANSPORTE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES**

2005

CONTENIDO

Pag.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	1
1.1.1 Definición	1
1.1.2 Tipos de estabilización	1
1.1.2.1 Estabilización física	1
1.1.2.2 Estabilización química	2
1.1.2.3 Estabilización mecánica	2
1.1.3 Clasificación de suelos con fines de estabilización	3
1.1.4 Estabilización con productos químicos	4
1.1.5 Algunos criterios para la estabilización de suelos para pavimentos ...	4
1.2 ESTABILIZANTE (CAL)	8
1.2.1 Definición y clasificación	8
1.2.2 Cal viva	8
1.2.3 Cal apagada o hidratada	9
1.2.4 Cal hidráulica hidratada	9
1.2.5 Cal hidratada, al alto calcio	9
1.2.6 Cal dolomítica	9
2. MATERIALES	10
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS	10
2.1.1 Suelo	10
2.1.2 Cal	11
3. PROCEDIMIENTO	12
3.1 Recolección de muestras	12
3.2 Características del suelo	12
3.3 Elaboración de especímenes	13
3.4 Aplicación de cal en el sitio	16

3.5 Tiempo de curado	16
3.6 Ensayo de muestras	17
4. ANALISIS DE RESULTADOS	19
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUELO	19
4.2 RESULTADOS ENSAYOS CBR	19
4.3 RESULTADOS ENSAYOS COMPRESIÓN INCONFINADA	21
4.4 RESULTADOS ENSAYOS TENSIÓN INDIRECTA	23
5. CONCLUSIONES	26
6. RECOMENDACIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	30

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Selección del aditivo estabilizante	7
Tabla 2. Características físico – mecánicas del suelo	10
Tabla 3. Especificaciones de la cal	11
Tabla 4. Resultados ensayos CBR	19
Tabla 5. Resultados ensayos compresión inconfiada	21
Tabla 6. Resultados ensayos tensión indirecta	23

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Triángulo de graduación para seleccionar el agente estabilizante ...	5
Figura 2. Zona de estudio	12
Figura 3. Recolección muestras.....	12
Figura 4. Mezcla suelo – cal	13
Figura 5. Compactación CBR	14
Figura 6. Briqueta Marshall	14
Figura 7. Aplicación carga para elaboración briqueta	14
Figura 8. Molde compresión inconfiada.....	15
Figura 9. Extracción probeta compresión inconfiada	15
Figura 10. Aplicación de cal en el sitio	16
Figura 11. Curado muestra CBR	17
Figura 12. Muestras con 2% de cal.....	17
Figura 13. Muestras con 5% de cal.....	17
Figura 14. Muestras con 10% de cal	17
Figura 15. Ensayo de CBR	18
Figura 16. Ensayo de tensión indirecta	18
Figura 17. Ensayo de compresión inconfiada	18
Figura 18. Variación del CBR con el tiempo de curado	20
Figura 19. Variación de la resistencia inconfiada con el tiempo de curado	22
Figura 20. Variación del peso unitario con % de dosificación de cal	23
Figura 21. Variación módulo de tensión indirecta con % de dosificación de cal...	24
Figura 22. Briqueta agrietada	25
Figura 23. Briquetas falladas	25

RESUMEN

En este trabajo se desea estabilizar un suelo de origen volcánico utilizando la cal como estabilizante, agregándole al suelo diferentes porcentajes del mismo en el laboratorio. Además se pretende adicionarle cal al suelo en el sitio con el fin de establecer un posible cambio en las propiedades del suelo.

Para este estudio los suelos utilizados fueron del municipio de Manizales, sector del Batallón Ayacucho, cerca al barrio Palermo, a los cuales se les realizaron ensayos destinados a caracterizar el suelo. Este se mezcló con cal en tres diferentes dosificaciones: 2, 5 y 10% sobre el peso del suelo y se ensayaron a 2 edades de curado de 14 y 28 días.

Para observar la variación de la resistencia se utilizaron los siguientes ensayos: CBR, compresión inconfiada y tensión indirecta.

De este estudio se pudo concluir que la cal como estabilizante incrementó el CBR de 4.4% en su estado natural, hasta un CBR de 46.4% para una dosificación del 10% a 28 días de curado.

ABSTRACT

In this work it is wanted to stabilize a soil of volcanic origin using the lime like stabilizer, adding to the soil different percentages of the same one in the laboratory. It is also sought to add him lime to the soil in the place with the purpose of establishing a possible change in the properties of the soil.

For this experiment the used soils were of the municipality of Manizales, sector of the Battalion Ayacucho, fences to the neighborhood Palermo, to which were carried out rehearsals dedicated to characterize the soil. This he mixed with lime in three different dosages: 2, 5 and 10% on the weight of the soil and they were rehearsed to 2 ages of cured of 14 and 28 days.

To observe the variation of the resistance the following rehearsals they were used: CBR, inconfinate compression and indirect tension.

Of this experiment you could conclude that the lime like stabilizer increased the CBR of 4.4% in their natural state, until a CBR of 46.4% for a dosage of 10% to 28 days of cured.

INTRODUCCIÓN

Para construir, el suelo es el material natural de mayor disponibilidad. No obstante, sus propiedades suelen ser deficientes frente a las demandas impuestas por las obras de infraestructura. Por ese motivo, se deben utilizar procedimientos de mejoramiento de esos suelos con el propósito de mejorar su competencia mecánica. Los procesos de mejoramiento se conocen como “estabilización de suelos” y deben ser expeditos, eficientes y económicos. Los procesos de estabilización más comunes son: la mezcla de suelos, la compactación y la adición de agentes químicos –o estabilización química.

Los agentes químicos de mayor aplicación son la **cal**, el cemento y el asfalto. Con estos materiales se pretende mitigar los efectos de la humedad o producir cementación de las partículas para mejorar las propiedades mecánicas del material.

La estabilización de los suelos en la ingeniería práctica, particularmente en las vías terrestres, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento esfuerzo - deformación de los suelos.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de suelos derivados de cenizas volcánicas (andosoles), mezclados con diferentes contenidos de cal, con el fin comparar los resultados en diferentes ensayos de laboratorio (Compresión inconfiada, CBR, Tensión indirecta) a diferentes edades de curado (14 y 28 días).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas volcánicas. Un caso particular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer si los suelos de tipo andosol al adicionarle cal, presentan una resistencia importante de tensión, medido con ensayos de tensión indirecta usando el UTM.
- Evaluar la variación a la resistencia inconfiada en suelos con diferentes contenidos de cal a diferentes edades de curado, 14 y 28 días.
- Establecer la modificación de un suelo (“si se presenta”), en el sitio con la adicción de cal, sin mezclado, sino por la difusión de la misma, analizando los cambios en sus propiedades.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

1.1.1 Definición

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

1.1.2 Tipos de Estabilización

1.1.2.1 Estabilización Física:

Esta se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como son:

- Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas limpias tienen una alta fricción interna que les permite soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser pavimento de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La

mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Vibroflotación (Mecánica de Suelos)
- Consolidación Previa

1.1.2.2 Estabilización Química:

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y puede ser económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Emulsiones Asfálticas: es muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen la producción de los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen la producción de los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Caucho de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

1.1.2.3 Estabilización Mecánica:

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

Compactación: este mejoramiento generalmente se hace en los terraplenes, la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

1.1.3 Clasificación de suelos con fines de estabilización.

Existen varios sistemas para clasificar a los suelos con fines de estabilización, uno de los más conocidos es el que se basa en el tamaño, forma y arreglo de las partículas y conocido como sistema Northcote (Inglés O.G Metcalf.1972), en donde se divide al suelo en los grupos fundamentales siguientes:

Descripción	Símbolo
Suelos con perfil de textura uniforme	U
Suelos con perfil de textura gradual	G
Suelos con perfil de textura doble	D
Suelos orgánicos	O

Entendiéndose el concepto de textura desde el punto de vista científico geotécnico, a la forma en que están agregadas las partículas de arena, limo y arcilla. Además la descripción de textura se compone de tres partes: forma, tamaño y grado de desarrollo.

Asimismo se subdivide a estos suelos en subgrupos de acuerdo con algunas características visibles tales como el color, presencia de concreciones, rellenos en las grietas o fisuras, etc., así como algunas características no detectables a simple vista como lo es la alcalinidad o acidez. Cabe mencionar que esta clasificación no ha sido aceptada en forma universal, aunque actualmente se están haciendo algunos esfuerzos para que sea aceptada.

Resulta razonable pensar que mientras mejor se conozcan las características físicas y químicas de un suelo mejor se puede emprender el estudio de la estabilización.

1.1.4 Estabilización con productos químicos.

En la actualidad se ha aplicado un gran número de productos químicos con este fin, la mayoría de ellos con resultados satisfactorios. Aunque es poco común, la estabilización con productos ácidos está adquiriendo en la actualidad bastante difusión y experimentación. De los ácidos que han demostrado ser efectivos para modificar favorablemente algunos suelos, algunos son económicamente competitivos contra otros productos más comunes; sin embargo, como en el caso de los otros productos hasta aquí mencionados, se debe contar con la asesoría de especialistas en la materia, tanto durante la etapa de diseño como de construcción de la estabilización, pues en este caso se involucran peligros tanto para las personas como para los equipos.

1.1.5 Algunos criterios para la estabilización de suelos para pavimentos.

Dentro de los criterios para la estabilización de suelos se encuentran los usados por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de Norte América para estabilizar suelos. De los factores que se consideran en la selección del estabilizante, el más importante es el tipo de suelo que se va a estabilizar. Para el cual hay más de un estabilizante que se puede aplicar con éxito, la Fuerza Aérea, utiliza guías o líneas basados sobre todo en la granulometría, plasticidad y textura del suelo.

La selección de estabilizantes se hace usando la Figura 1 y la Tabla 1. El triángulo de la granulometría del suelo en la Figura 1 está basado en las características de la granulometría de los suelos y en las características de pulverización. El proceso

de selección del estabilizante se continúa con la Tabla 1 como indica para cada área mostrada en la Figura 1.

Las restricciones se basan en la granulometría y en el índice de plasticidad. El índice plástico (IP) se usa en la cuarta columna de la Tabla 1; en ésta, se enlistan los símbolos para la clasificación de suelos que se aplica para cada área determinada por la Figura 1.

Esto se hace para verificar que el área seleccionada es la apropiada.

Debido a ello, la distribución granulométrica y los límites de Atterberg son usados para iniciar el proceso de selección. Los datos que se requieren para entrar a la Figura 2.2 son: porcentaje de material que pasa la malla No. 200 y el porcentaje de material que pasa la malla No. 4 pero que se retiene en la No. 200. Al triángulo se entra con estos dos valores y en donde se intercepten esa es el área (1A, 2A, 3, etc.)

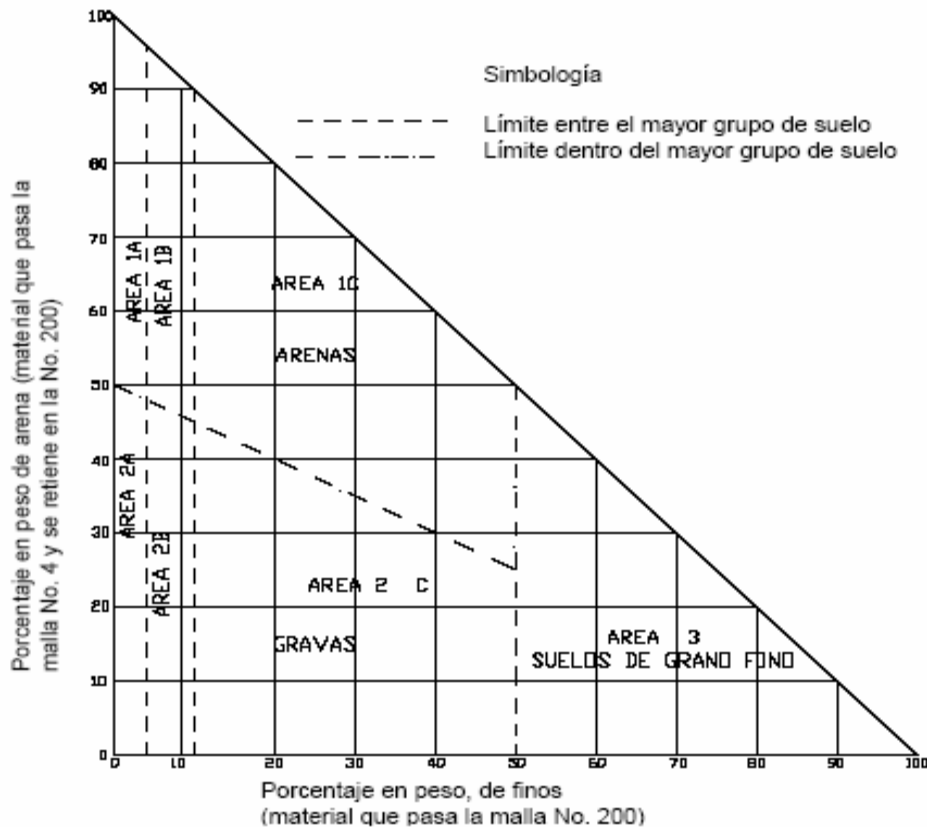


Figura 1 Triángulo de graduación para seleccionar el agente estabilizante.

El área determinada por la Figura 1 y el suelo clasificado se encuentra en la segunda columna. El posible suelo por estabilizar en cada área se encuentra en la tercera columna y las restricciones para el uso del agente estabilizante considerado no se aplican para el tipo de suelo en particular. Por ejemplo, asuma que un suelo clasificado como SC, con 93% que pasa la malla No.4 y 25% que pasa la malla No.200, con un límite líquido de 20 y límite plástico de 11. Se tiene que el 68% del material está entre la malla No.4 y la malla No. 200 y el índice plástico es 9. Entrando a la Figura 1 en los valores de 25% que pasa la malla No.200 y 68% entre la No.4 y No.200, la intersección de estos valores se encuentra en el área 1C. Con esto se va a la columna de la Tabla 1 y se encuentra el área 1-C y se verifica la clasificación del suelo, SC, en la segunda columna. En la tercera columna se encuentran los 4 potenciales materiales estabilizantes. Las restricciones que se siguen en las otras columnas no se utilizan en el país.

Los estabilizantes asfálticos se utilizan siempre y cuando el índice plástico no exceda de 10 y la cantidad de material que pasa la malla No.200 no exceda del 30%. Sin embargo se debe hacer notar que el suelo clasificado bajo este criterio probablemente la estabilización con bituminosos no sea la primera opción. Desde que el Índice Plástico es bajo, el Cemento Pórtland podrá ser un material probable a utilizar. Las restricciones aplicadas a la cal indican que el índice Plástico no será menor de 12.0 así la cal no es un buen material para ser empleado para esta estabilización.

El diseño para seleccionar el material final está basado en otros factores como la disponibilidad de los materiales, economía, etc. Algunos de los agentes estabilizantes son empleados para determinar muestras y testigos en el laboratorio para desarrollar el diseño de la mezcla empleando un mínimo de criterios ingenieriles en el campo de la estabilización.

En el diseño de la estabilización de un suelo, se toma en cuenta al producto más adecuado, plantea a la fecha un problema que para su solución requiere del