

Estabilización de suelos



Óxido de Calcio



Definición de Suelo

El suelo se describe como una mezcla de minerales y materia orgánica que se encuentra en la superficie de la tierra y sirve como soporte a las obras que ha construido el hombre a los largo de la historia de la civilización.

- Frecuentemente el suelo sobre el que se desea construir es **húmedo, débil y/o expansivo** para ser usado como base confiable del proyecto constructivo.
- Es una práctica común el **reemplazar este suelo** por un material con mejores características mecánicas y asegurar la durabilidad de la obra.
- A partir de **1940** se inició la aplicación de cal en suelos expansivos comprobándose su efectividad para mejorar sus características mecánicas y comportamiento a la compactación.



Estabilización de suelos con óxido de calcio

¿Qué lograr con el tratamiento del suelo ?

- **Tratamiento de suelo:** es un término general que se aplica cuando se quiere modificar un suelo para un propósito en específico.
- **¿Qué propósito?**
 - Secar.
 - Modificar.
 - Estabilizar.



Efectos del óxido de calcio sobre el suelo tratado

1. Secado

- El tratamiento con óxido de calcio permite el secado de suelos con alto contenido de humedad, mejorando su desempeño durante el proyecto constructivo.
- El óxido de calcio se hidrata tomando humedad del suelo, generando grandes cantidades de calor que provocan la evaporación de más agua del suelo.
- La cantidad total de agua eliminada del suelo por efecto del óxido de calcio es igual al doble del agua que se requiere para hidratarlo.



El tratamiento con óxido de calcio transforma las características y el desempeño de suelos arcillosos. En estas imágenes se muestra el mismo suelo antes (arriba) y después (abajo) de haberlo tratado con cal viva.

*Para hidratar una 1 ton de óxido de calcio se requiere de 320 L de agua.

Efectos de óxido de calcio sobre el suelo tratado

2. Modificación

- La modificación ocurre cuando el óxido de calcio reacciona con los materiales arcillosos presentes en el suelo realizándose un intercambio iónico entre las partículas de óxido de calcio y de suelo.
- Gracias a este intercambio iónico, el suelo arcilloso modifica su carga superficial lo que resulta en:
 - Reducción de la plasticidad del suelo
 - Mejoramiento de la trabajabilidad
 - Mejoramiento de las características para la compactación



Aplicación de óxido de calcio sobre suelo arcilloso para reducir su plasticidad e incrementar los valores de resistencia a la compresión finales.

Efectos de óxido de calcio sobre el suelo tratado

3. Estabilización

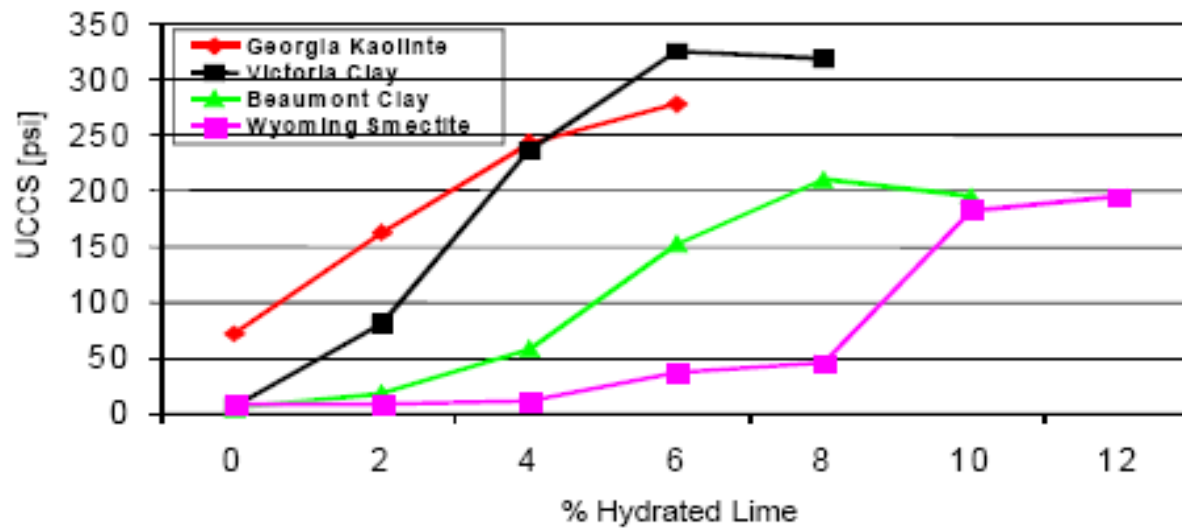
- Proceso que ocurre progresivamente durante varios meses e incluye la reacción de **óxido de calcio** con el **sílice y la alúmina** presentes en el suelo.
- El pH de la mezcla **suelo+ óxido de calcio** se incrementa siendo favorable para la formación de silicatos y aluminatos de calcio.
- Inicialmente estos compuestos toman la forma de un gel que recubre las partículas del suelo y que posteriormente se cristalizan para formar hidratos cálcicos de sílice y alúmina.
- **Como resultado se obtiene una ganancia progresiva de resistencia a la compresión. (CBR).**



Efectos de óxido de calcio sobre el suelo tratado

3. Estabilización

- Reduce la plasticidad, la expansión y le da resistencia entre las partículas de arcilla.

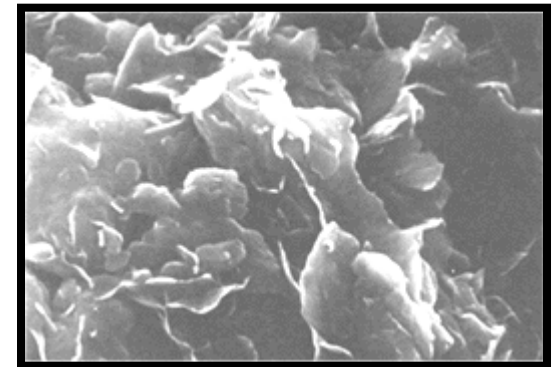
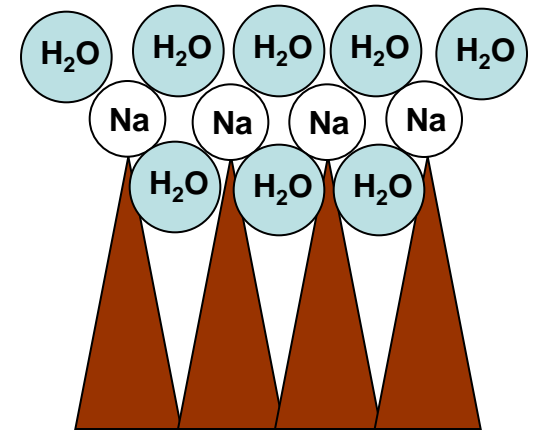


Lime stabilization increases unconfined compressive strength (UCCS)



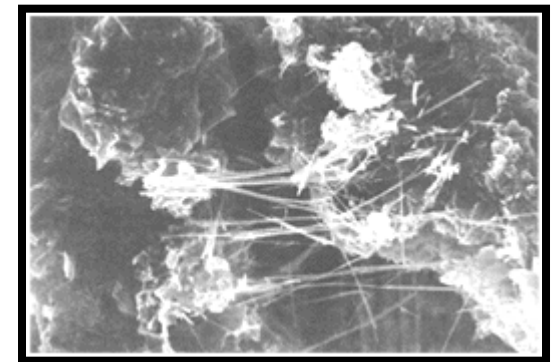
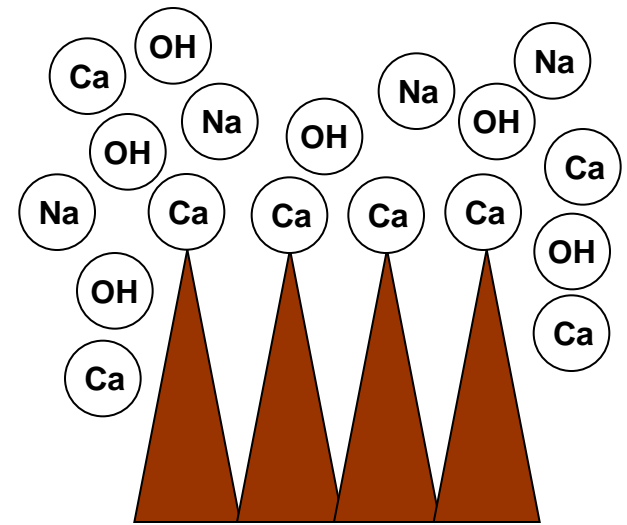
Mecanismo de reacción

- Las denominadas arcillas están compuestas por una multitud de pequeños láminas que posee **una gran área superficial (150 a 400 m²/gr)**.
- Estas arcillas poseen una carga superficial negativa y para alcanzar neutralidad atraen partículas de sodio (+) y de agua (bipolares).
- Entre **mayor sea el área superficial** de una arcilla, **mayor será su capacidad para atraer agua** y mayor también será su **comportamiento expansivo**.
- A menos que se modifique la superficie de las arcillas, éstas se expandirán y contraerán de acuerdo a los cambios climáticos causando daños.



Mecanismo de reacción (cont...)

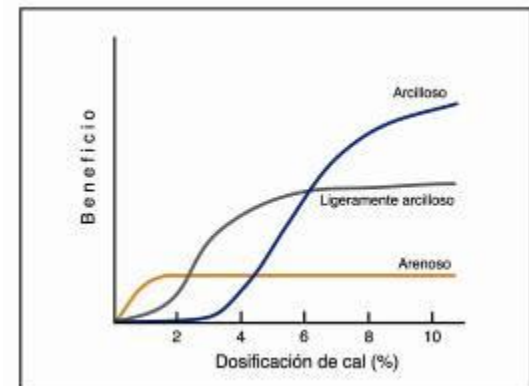
- Cuando se agrega **óxido de calcio** a un suelo arcilloso, **el calcio (++)** reemplaza al sodio y las partículas de arcilla se transforman en **hidratos cálcicos de sílice y alúmina**.
- Este intercambio iónico expulsa también las partículas de cal que se hallaban acumuladas en la superficie de la arcilla.
- Los hidratos cálcicos de sílice y alúmina **forman una estructura permanente y fuerte con características cementantes** que gana resistencia a la compresión progresivamente.



¿Cuándo aplicar un tratamiento con óxido de calcio ?

El tratamiento con óxido de calcio mejora la textura y la resistencia a la compresión del suelo haciéndolo fácil de manejar durante la compactación. El beneficio obtenido por el tratamiento es mayor cuanto mayor es el contenido de arcilla del suelo.

- Los tratamientos de estabilización pueden ser aplicados sobre una amplia variedad de suelos.
- La efectividad del tratamiento dependerá del nivel de arcilla presente (mínimo 7%) y de su capacidad para reaccionar.
- El diseño del tratamiento más adecuado se desprende de un análisis del suelo, para conocer la cantidad de óxido de calcio adicionada para lograr un pH de 12.454.



Pruebas para la Estabilización de Suelos

Preparación de las muestras

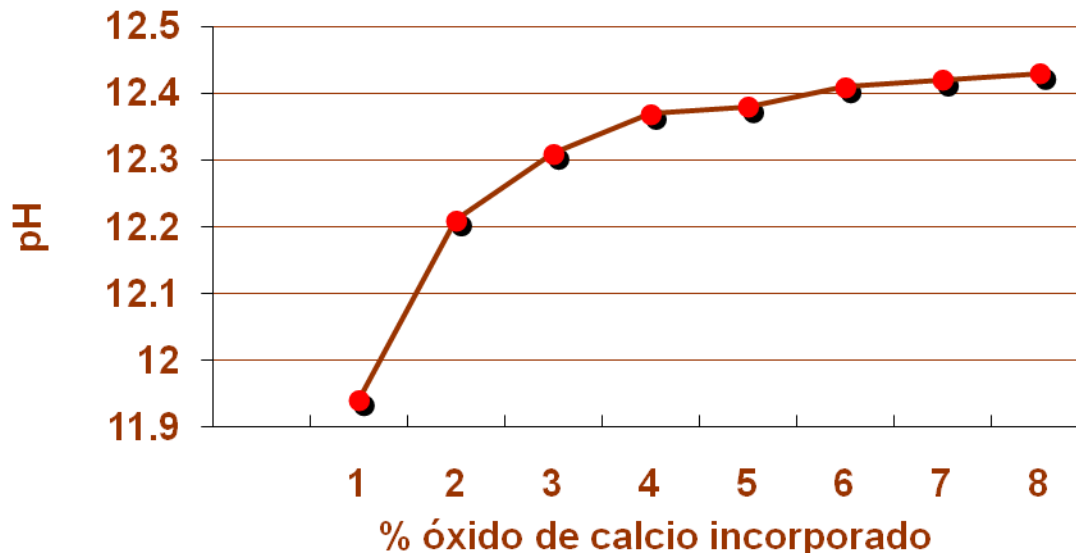
- Seleccione el contenido de óxido de calcio como porcentaje del peso volumétrico seco suelto del suelo.
- (Prueba de Eades-Grim ASTM D – 6276)
 - Obtener una muestra del suelo a tratar.
 - Secar la muestra en horno.
 - Obtener una muestra de 350 grs. del suelo que pase la malla No. 40 (0.425 milímetros).
 - Mezclar el suelo seco con óxido de calcio, en frascos de plástico en una cantidad de 25 grs. de suelo y dosificar la cal en peso para un rango de 1% al 10%. Cada porcentaje tendrá su propia muestra, por lo tanto se necesitarán 10 frascos, para 10 contenidos de cal.
 - Agregar 100 ml. de agua destilada por muestra.



Pruebas para la Estabilización de Suelos

Preparación de las muestras

- Mezclar las muestras de suelo+óxido de calcio +agua durante 30 segundos, cada 10 minutos durante una hora.
- Con un potenciómetro, obtener los valores de PH de la mezcla suelo+óxido de calcio+agua.
- Cuando el valor de PH de la mezcla suelo+óxido de calcio+agua se aproxime a 12.4, esta nos indica la cantidad de óxido de calcio necesaria para estabilizar el suelo a tratar.



Cal en la Estabilización de Suelos

Resumen proceso aplicación



Figure 8: Scarification before lime application

1.- Escarificación



2.- Suministro y aplicación de óxido de calcio

Cal en la Estabilización de Suelos

Resumen proceso aplicación



Figure 13: Adding water after dry lime application⁵

3.- Incorporación de Humedad.



4.- Mezclado, pulverización. Curado de preferencia durante la noche (mínimo un 3% arriba en contenido óptimo de humedad del suelo tratado).

Cal en la Estabilización de Suelos

Resumen proceso aplicación



5.- Compactación y sellado de la capa tratada.



6.- Sellado con emulsión para que se cure la capa tratada, si va a recibir pavimento o sello.

Figure 19: Prime coat emulsion for curing

Cal en la Estabilización de Suelos

Control de Calidad

- **Contenido óptimo de Cal.**
(Eades & Grim)
- **Dosificación en campo.**
(Peso del envío/ área a aplicar)
- **Profundidad del suelo a tratar.**
(No exceder la de proyecto)
- **Pulverización del suelo.**
(Contacto entre arcilla y cal)
- **Mezclado eficiente.**
(Homogenización)
- **Humedad Óptima.** (mínimo un 3 % arriba del suelo sin tratar)
(Antes y Después)

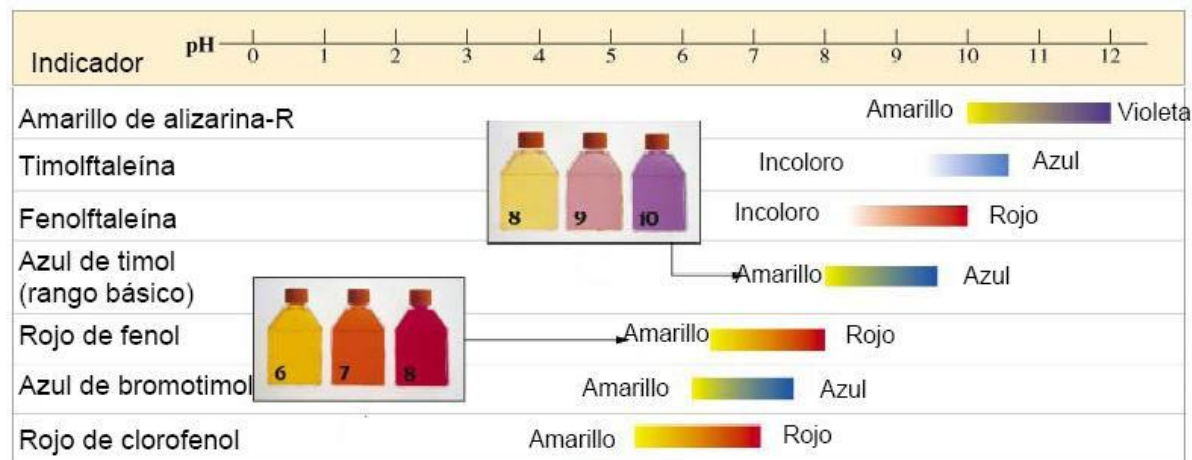


Cal en la Estabilización de Suelos

Control de Calidad

Se puede llevar a cabo una prueba de campo que nos indique de manera rápida el pH del suelo tratado, esto se lograría utilizando un indicador químico, ya que se lograría tener una prueba de la reacción de manera rápida que posteriormente se puede confirmar con la prueba de CBR.

Se tienen diversas opciones de indicadores, los más usuales para tal serían fenolftaleína y amarillo de alizarina.



Cal en la Estabilización de Suelos

Control de Calidad

Además es una prueba de bajo costo y de fácil aplicación, ya que el costo de 250 ml del indicador es de \$650 - \$700, y se utiliza en una solución al 0.1% lo cual nos da un rendimiento de 250 litros de solución indicadora. Su aplicación es sencilla ya que se puede rociar con un atomizador o tomar una muestra y mezclarla con un pequeño volumen de indicador en un vaso de precipitado.

Esta prueba es instantánea por lo que nos ayudaría a detectar deficiencias en el contenido de cal y así poder evitar problemas posteriores, por lo que puede ser parte del servicio de calidad que se ofrece en la obra.



Cal en la Estabilización de Suelos

¿Porqué es mejor aplicar óxido de calcio y no cal hidratada (hidróxido de calcio) en estabilización de suelos?

1.- El óxido de calcio contiene mas calcio disponible que la cal hidratada debido al peso molecular.

El peso molecular **Ca O= 56, Ca (OH)₂ = 74**

$56/74 = 0.76,$

por lo tanto el **Ca (OH)₂** contiene **76%** del **Ca O** en peso.

Entonces requiero de un 30% más de cal hidratada por kilogramo de óxido de calcio.

2.- El peso volumétrico de óxido de calcio es aprox. de 1 Ton./mt³ y la cal hidratada pesa aprox. 0.6 Ton./mt³, por lo tanto el transporte de cal hidratada es **más caro** ya que ocupa más volumen para su traslado.

Además que el hidrato al ser más ligero que el óxido de calcio es difícil de controlar en presencia de **viento** para su correcta dosificación en la obra.



Caso práctico – Contepec, Mich.

Parque Industrial

Estudio para diseño de pavimentos

Método Tradicional

SN= 3.65, AASHTO



Método Estabilización con Cal

SN= 3.67, AASHTO



10 cm

20 cm

35 cm

15 cm

8 cm

18 cm

20 cm



Caso práctico (1) – Cd. Guadalupe N.L.

Cliente: Grupo Ruba

Fecha: Agosto/Septiembre 2005

Estabilización calle Río Tigris, Fracc. Privada San Carlos

Características del estrato natural y modificado

Característica	Estrato (Virgen)	Estrato (Con cal al 5%)
Pasa malla No.200 (%)	69	75
Límite líquido (%)	58	27
Índice plástico (%)	36	9
Contracción lineal (%)	14	3
VRS Estándar Saturado (%)	0.90	102
Expansión (%)	1.75	0.31
Observaciones	Arcilla altamente plástica (CH) "Tierra de cultivo"	



Caso práctico (1) – Cd. Guadalupe N.L.

Cliente: Grupo Ruba

Fecha: Agosto/Septiembre 2005

Estabilización calle Río Tigris, Fracc. Privada San Carlos

Ahorro en Plataformas para viviendas y vialidades

Concepto	Tratamiento Tradicional P.U. \$/MT3	Tratamiento con cal al 5% P.U. \$/MT3
Corte, carga, acarreo y regalías de material arcilloso en la obra.	49	0
Corte, carga, acarreo, regalías, tendido y compactado de material de banco puesto en la obra al 90% de compactación.	103	0
Suministro de material para la estabilización de suelo arcilloso con proviocal al 5% en peso con Ca O disponible de 85% .	0	72
Maquila para el mezclado, pulverización, humectado, tendido y compactado de suelo. (Proceso de Estabilización)	0	41
Total=	152	113
Ahorro con el proceso de estabilización		34 %
Además se pudo trabajar en presencia de agua, durante el periodo de prueba.		



Caso práctico (2) – Carretera Monterrey- Cd. Mier

Cliente: SCT

Fecha: Noviembre/2005

Cadenamiento 30+800

Ampliación de cuerpo desplante de terraplen

Características del estrato natural y modificado

Característica	Estrato (Virgen)	Estrato (Con cal al 4%)
Límite líquido (%)	49	29
Índice plástico (%)	21	12
Contracción lineal (%)	9	0
VRS Estándar Saturado (%)	7	99
Expansión (%)	3	0
Observaciones	Arcilla plástica café oscuro	



Caso práctico (3) – San Fernando Tamaulipas

Cliente: CNA

Fecha: Junio/2006

Brecha Este 107 entre sur 22 y sur 29

Características del estrato natural y modificado

Característica	Estrato (Virgen)	Estrato (Con cal al 3%)
Límite líquido (%)	44	33
Índice plástico (%)	10	5
Contracción lineal (%)	1.5	0
VRS Estándar Saturado (%)	22	100
Expansión (%)	1	0
Observaciones	Arcilla plástica en combinación con arenas y gravas	



Conclusiones

Construyendo el futuro sobre bases sólidas.

- Los suelos estabilizados mejoran de manera dramática sus **propiedades mecánicas** y se vuelven **impermeables**.
- Este tratamiento produce cambios inmediatos en las características del suelo, así como una **ganancia de la resistencia a la compresión progresiva**.
- Se logran importantes **ahorros al evitar costos** en carga, acarreo y regalías (de material de banco y el existente en la obra), al hacer manejables y resistentes los suelos tratados con cal en el lugar de construcción de las obras y lograr un **mejor control de calidad** sobre estos contra el material de banco.
- Es una alternativa **eficiente, de menor costo** y amable con el medio ambiente.





Ing. Pablo F. Anaya Gómez
Email: panaya@paccocsa.com
www.paccocsa.com
Con oficinas en:
Monterrey y Puebla.