

anfacal

**anfacal**



**anfacal**

ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL , A.C.  
anfocal

Naranjo 28 - 201, Col. Santa María de la Ribera, 06400, México, D.F.  
546 3927 Fax: 546 8731

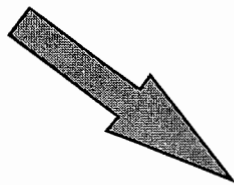
Tels.: 592 7544 y

**MEJORAMIENTO Y ESTABILIZACION CON CAL  
EN LA RECONSTRUCCION DE CARRETERAS  
CON PAVIMENTOS DAÑADOS**

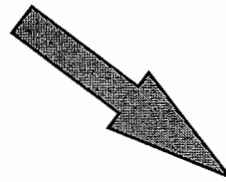
**O**

**QUE NO CUMPLEN ESPECIFICACIONES**

**MODIFICACION**



**MEJORAMIENTO**



**ESTABILIZACION**

**LAS VENTAJAS DE USAR CAL EN LA CONSTRUCCION,  
MODERNIZACION, RECONSTRUCCION Y CONSERVACION DE  
CARRETERAS**

- DISMINUCION DEL COSTO INICIAL DE INVERSION SUPERIOR AL 20 %
- DISMINUCION DE LOS COSTOS DE CONSERVACION EN MAS DEL 50 %
- DISMINUCION NOTABLE O ELIMINACION DE LA PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
- DISMINUCION O ELIMINACION DE LA ACIDEZ DE LOS SUELOS
- ELIMINACION DE LA CONTRACCION DE LOS SUELOS
- ELIMINACION DE LA EXPANSION DE LOS SUELOS
- LA CAL PERMITE EL USO EFICIENTE DEL CEMENTO PORTLAND
- LA CAL EN CONTACTO CON EL AGUA DEL SUELO NO FRAGUA COMO EL CEMENTO PORTLAND, POR LO TANTO NO ES NECESARIO TERMINAR EL PROCESO DENTRO DE LOS PRIMEROS 30 MINUTOS, PUDIENDO TRABAJARSE EL MATERIAL DIAS, SEMANAS O MESES DESPUES, SIN MAYOR PERDIDA DE MATERIAL, CUANDO EL PROCESO QUEDA INTERRUMPIDO
- LA CAL PROLONGA EL EFECTO PUZOLANICO DURANTE AÑOS, AUMENTANDO SUS CARACTERISTICAS BENEFICAS CON EL TIEMPO
- LA CAL IMPERMEABILIZA LAS CAPAS BIEN ESTABILIZADAS Y NO TIENE EL DEFECTO DE PRESENTAR GRIETAS EN SUELOS PLASTICOS
- LA CAL MEJORA LA ADHERENCIA DE LOS ASFALTOS CON LOS MATERIALES PETREOS
- LA CAL ES FACIL DE MANEJAR POR SER LIGERA
- LA CAL NO PRODUCE SILICOSIS U OTRA ENFERMEDAD
- LA CAL NO CONTAMINA
- AUN CUANDO HAY DESCUIDO EN EL TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y UTILIZACION DE LA CAL, EL PRODUCTO PUEDE APROVECHARSE CASI EN FORMA INTEGRAL, SALVO LO QUE SE HAYA CARBONATADO, SIN QUE POR ESO NO PUEDA UTILIZARSE

# SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

## Normas de Construcción (1986). LIBRO 1. TITULO 2. CAPITULO 007

### TERMINOLOGIA

#### Estabilización de suelos.

Incorporación a un suelo de un determinado producto para disminuir su plasticidad y/o aumentar su resistencia.

#### Puzolanas.

Materiales silicosos o sílico aluminosos que poseen poco o ningún valor cementante por sí mismos, pero finamente pulverizados y en presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes.

#### Suelo.

Superficie de la corteza terrestre. Material que, formando parte de la corteza terrestre, proviene de la desintegración y descomposición de la roca madre y cuyas partículas, agrupadas sin cementación estable, son de cualquier tamaño comprendido entre las gravas (75 mm) y los coloides.

### MEJORAMIENTO Y ESTABILIZACION CON CAL EN LA RECONSTRUCCION DE CARRETERAS.

La reconstrucción de carreteras con cal, es un procedimiento constructivo consistente en la modificación química de los suelos y materiales, mediante la pulverización y mezcla, generalmente "in situ", con suficiente cal y agua y en algunos casos materiales puzolánicos, de la estructura de pavimentos dañados o de mala calidad o de especificaciones inferiores a los requerimientos inmediatos o futuros de servicio, para formar bases mejoradas de alta calidad y estables ante los cambios de humedad.

#### Procedimiento constructivo.

##### 1. Trabajos previos.

1.1. Revisión, verificación, rectificación y construcción de obras de drenaje y subdrenaje.

1.2. Sondeos de la estructura existente del pavimento, penetrando mínimo 10 cm en las terracerías y análisis de los testigos obtenidos.

1.3. Análisis y proyecciones de la magnitud, frecuencia, presión de inflado y posición de las cargas.

1.4. Mecánica de Suelos, Geotecnia, Geología, Geohidrología, Hidrología, Geotecnia, Climatología y Topografía del entorno, de las terracerías -corte y terraplén.

1.5. Determinación de las cantidades óptimas de cal, agua y en algunos casos materiales puzolánicos.

## **2. Requisitos del proceso constructivo.**

- 2.1. Material fino puzolánico [10% - Núm. 200 (0.075 mm)] e Índice Plástico no menor a 10.
- 2.2. Suficiente cal (pH ASTM C977)
- 2.3. Suficiente agua (PROCTOR ESTANDAR + 2% A 5%)
- 2.4. Suficiente mezcla [100% - 1" (25 mm), + 60% - Núm. 4 (4.75 mm)]
- 2.5. Suficiente compactación.

## **SUBRASANTES MEJORADAS O ESTABILIZADAS CON CAL.**

Sobre una subrasante "estabilizada con cal" puede construirse directamente:

- a) La superficie de rodamiento:
  - a.1) Losa de concreto hidráulico
  - a.2) Carpeta de concreto asfáltico
- "o" b) La base de la estructura del pavimento.

Atención:

En la mayoría de los casos el incremento que tienen las características mecánicas, geotécnicas y/o de los distintos módulos, pueden tomarse en cuenta en el diseño de la estructura de los pavimentos

**¿En que condiciones pueden considerarse ventajas estructurales al mejorar o estabilizar con cal?**

a) Cuando el material en cualquier espesor de cualquier capa se "modifica" con cal, mejorará el comportamiento global de la estructura.

b) Cuando esa modificación con cal "mejora" el suelo o material al grado de "estabilizarlo" y se tienen las siguientes condiciones:

b.1) La resistencia a la compresión sin confinar del suelo o material mejorado o estabilizado con cal y curado durante 28 días a 21 °C, aumenta más de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> (345 kPa, 50psi) respecto al suelo o material sin tratar (ASTM D4609: Evaluación de la efectividad de productos químicos en la estabilización de suelos)

b.2) Suelos o materiales no sujetos a la congelación  
Bases > 10.5 kg/cm<sup>2</sup> (1,034 kPa, 150 psi)  
Subbases > 7 kg/cm<sup>2</sup> (689 kPa, 100 psi)

En suelos o materiales sujetos a congelación  
Bases > 14 kg/cm<sup>2</sup> (1,379 kPa, 200 psi)  
Subbases > 10 kg/cm<sup>2</sup> (1,034 psi, 100 psi)

b.3) Espesor > 20 cm (8")

puede tomarse en cuenta en el diseño de espesores de la estructura del pavimento la resistencia al cortante de la capa "estabilizada con cal" y su correspondiente "efecto losa".

### Estabilización de bases con cal.

Incluye: gravas limo arcillosas (GC)  
arenas limo arcillosas (SC)  
gravas y arenas sucias  
caliche  
piedras calizas

que generalmente tienen exceso de material que pasa la malla Núm. 40 (0.425 mm) aplicable a la construcción de carreteras nuevas, y construidas desgastadas o dañadas.

El material se mezcla " in situ" con equipo rotomezclador como pulverizadores, recicladores, estabilizadoras, recuperadores, perfiladoras o equipo agrícola o en plantas centrales mezcladoras.

### Modificación con cal para mejorar materiales de préstamo gruesos o finos.

Un ejemplo es la modificación con cal del Índice Plástico o la reducción de material que pasa la malla Núm. 200 (0.075 mm), para cumplir especificaciones.

Otra posibilidad es la modificación con cal en alguno o varios de los siguientes casos:

a) Disminuir humedad y plasticidad de los suelos o materiales de préstamo y poder compactarlos.

b) "Puentear" sobre suelos inestables

c) Crear una plataforma de trabajo que permita construir un terraplén y/o la estructura del pavimento.

d) Disminuir o eliminar fallas de fondo y de taludes de los terraplenes y/o asentamientos diferenciales de los mismos.

e) Acondicionar suelos y materiales de préstamo para hacerlos trabajables en una posterior estabilización con:

- Ceniza volante (fly ash)
- Cemento Portland
- Asfaltos

El "INGENIERO" de diseño y constructor o reconstructor deben distinguir entre los productos finales obtenidos con:

**La "estabilización" con cal**

y

**la "modificación" con cal.**

**La "estabilización" con cal**

exige las cantidades adecuadas de finos, agua, "cal" y mezcla suficiente, para producir una reacción puzolánica que continúa aumentando la resistencia durante años.

**La "modificación" con cal**

requiere de menos cal y únicamente busca condiciones de trabajabilidad o disminución de la plasticidad o disminución de cambios de volumen al cambiar la humedad o una mejor adherencia entre pétreos y asfalto o una mejor calidad de concreto hidráulico o asfáltico cuando se usan gravas o arenas sucias.

## AGENTES GENERADORES DE SUELOS

La corteza terrestre es atacada por dos grupos de mecanismos

a) **Desintegración mecánica** o intemperización de las rocas por agentes físicos: cambios de temperatura, congelación, efectos del organismos y plantas, etc. Se producen arenas, limos y excepcionalmente arcillas.

b) **Descomposición química** o acción de agentes que modifican la constitución mineralógica o química de las rocas, siendo los agentes: el agua y los mecanismos de oxidación, hidratación y carbonatación. Se obtienen arcillas como producto final.

## MINERALES CONSTITUTIVOS DE LOS SUELOS

### SUELOS GRUESOS

Predominan silicatos, principalmente feldespatos de potasio, sodio o calcio, micas, olivino, serpentina; óxido, como el cuarzo, limonita, magnetita y corindón; carbonatos como la dolomita; sulfatos como la anhidrita y el yeso.

### SUELOS FINOS. ARCILLAS.

A partir de los suelos gruesos, por descomposición química se llega a las arcillas.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados y en ocasiones silicatos también hidratados de magnesio, hierro y otros metales.

Estos minerales casi siempre tienen una estructura cristalina definida cuyos átomos se disponen en láminas de dos variedades:

### Silícica y alumínica

La lámina silícica está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno. El conjunto forma un tetraedro. Los tetraedros se agrupan en unidades hexagonales teniendo como nexo un átomo de oxígeno entre cada dos tetraedros. Las unidades hexagonales se repiten indefinidamente constituyendo una redícula laminar.

Las láminas alumínicas están formadas por retículas de octaedros, un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor. También el oxígeno sirve de nexo entre dos octaedros vecinos.

De acuerdo a su estructura reticular los minerales de arcilla se reúnen en tres grupos:

### CAOLINITAS $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

Formadas por una lámina silícica y una alumínica superpuestas indefinidamente.



La unión entre las retículas es suficientemente firme y no permite la penetración de moléculas de agua entre ellas (agua de adsorción), por eso las caolinitas son relativamente estables en presencia de agua.

### **MONTMORILONITAS $(OH)_4 \cdot Si_8 Al_4 O_{20} \cdot nH_2O$**

Formada por una lámina aluminica entre dos silícicas superpuestas indefinidamente.

La unión entre las retículas es débil y las moléculas de agua pueden introducirse fácilmente en la estructura debido a la molécula dipolar del agua y las fuerzas eléctricas que se generan. Esto incrementa el volumen de los cristales generando expansión.

### **ILITAS $(OH)_4 \cdot Ky(Si_{8-y} \cdot Al_y)(Al_4 \cdot Fe_4 \cdot Mg_4 \cdot Mg_6)O_{20}$**

Constitución similar a las montmorilonitas, pero con tendencia a formar grumos que reducen el área expuesta al agua y su expansividad es menor que las montmorilonitas.

## **FISICO QUIMICA DE LAS ARCILLAS**

En los granos gruesos de los suelos predominan las fuerzas gravitacionales.

En los suelos de grano fino las fuerzas electromagnéticas en la superficie de los minerales son significantes, en especial cuando los tamaños son menores a 0.002 mm.

Debido a la estructura iónica de las partículas de suelo, la superficie tiene carga eléctrica negativa. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla.

Las partículas de suelo atraen a los iones positivos del agua  $H^+$  y a los cationes metálicos COMO  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Al^{++}$ ,  $Fe^{+++}$ , etc.

Cada partícula de arcilla se ve rodeada por una capa de moléculas de agua orientadas en forma definida y ligada a su estructura (agua adsorbida).

El espesor de la película de agua adsorbida por el cristal de suelo es función de la naturaleza del mismo y de los cationes atraídos.

Los cristales de arcilla pueden cambiar los cationes adsorbidos en su película superficial cuando circula a través de su masa agua con otros cationes presentándose el fenómeno químico llamado intercambio catiónico.

**SUELO / AGUA**

**+**

**CAL**



**2 REACCIONES**

**1a. INMEDIATA**

- INTERCAMBIO CATIONICO
- FLOCULACION
- AGLOMERACION



**EL SUELO:**

- CAMBIA TEXTURA**
- AUMENTA RESISTENCIA
- ESTABLE ANTE HUMEDAD

**TRADUCIENDOSE EN:**

- TRABAJABILIDAD
- CAPACIDAD DE CARGA
- DISMINUYE

**EXPANSION/CONTRACCION**

**2a. CRECIENTE CONTINUA  
A LARGO PLAZO**

- EFECTO PUZOLANICO
- DEPENDIENDO DE
- MINERALES SUELO



**EL SUELO:**

- AUMENTA RESISTENCIA
- CONTINUA E
- INDEFINIDAMENTE

**TRADUCIENDOSE EN:**

- INCREMENTO RESISTENCIA
- TRIPLE O MAS AL MES
- 10 O MAS A DOS AÑOS

1. CAMINOS

2. SUELO

3. AGUA

+

4. C A L

5. ESTABILIZACION

-----  
5. ESTABILIZACION.

S U E L O

SILICE Y ALUMINA

-----  
 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

A G U A

-----  
+ H. O. <  $H_{\text{suelo}}$  < H. O. + (2% - 5%)

-----  
 $\text{H}_2\text{O}$

+

C A L

-----  
 $\text{CaO}, \text{MgO}, \text{Ca(OH)}_2, \text{Mg(OH)}_2$



SUELO MODIFICADO

**UN SUELO MODIFICADO PUEDE SER:**

**a) MEJORADO**

**SUELO + AGUA + CAL**

**a.1) DISMINUYEN PARCIALMENTE:**

**PLASTICIDAD**

**POSIBILIDAD DE CAMBIO DE VOLUMEN**

**- CONTRACCION**

**- EXPANSION**

**a.2) AUMENTAN:**

**VALOR SOPORTE**

**RESISTENCIA A LA COMPRESION**

**RESISTENCIA AL CORTANTE**

**b) ESTABILIZADO**

**100 % DEL SILICE Y ALUMINA DEL SUELO**

**REACCIONAN CON LA CAL**

**POR SER SUFICIENTES:**

**- CAL**

**- AGUA**

**- MEZCLA**

**- TIEMPO DE CURADO**

**(REACCION)**

**OBTENIENDO UN SUELO CON:**

**PLASTICIDAD Y CAMBIOS DE VOLUMEN NULOS**

**O**

**CASI NULOS PARA FINES CONSTRUCTIVOS**

**NO ALTERABLES POR CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE AGUA**

# MEJORAMIENTO Y ESTABILIZACION CON CAL EN LA RECONSTRUCCION DE CARRETERAS CON PAVIMENTOS DAÑADOS

O

## QUE NO CUMPLEN ESPECIFICACIONES

### 1. Ambito de aplicación.

Carreteras con superficie de rodamiento dañada o muy desgastada.

Mejoramiento o estabilización de bases y subbases existentes que no cumplen especificaciones.

Mejoramiento o estabilización de materiales de préstamo que no cumplen especificaciones.

### 2. Objetivos.

#### 2.1. Geotécnicos.

Disminuir o eliminar la plasticidad (IP).

Disminuir o eliminar los cambios de volumen (contracción y expansión).

Disminuir o eliminar la permeabilidad ( $k < 10^{-5}$  cm/seg)

Aumentar la capacidad de carga (VRS).

Aumentar la resistencia al cortante y módulos de resistencia.

#### 2.2. Administrativos.

Aprovechar el material existente en la carretera "in situ".

Aprovechar materiales de préstamo próximos al sitio de reconstrucción, que no cumplen especificaciones.

Trabajar en todo clima ( $T \text{ } ^\circ\text{C} > + 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Disminuir tiempos de construcción.

Abatir costos.

Disminuir trabajos y costos de mantenimiento.

Aprovechar mejor los recursos disponibles en la región.

Aumentar vida útil del pavimento reconstruido.

### 3. Insumos.

#### 3.1. Cal hidratada.

Con 80 % o más de hidróxido de calcio  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ .

La cantidad óptima de cal se determina con la prueba del pH (ASTM C977).

Como guía para el constructor, la experiencia nos ha dado como rangos de cantidad de cal, cuando ésta contiene 80 % o más de hidróxido de calcio  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ :

**3.1.1. Suelos y materiales gruesos.** Si más del 50 % es retenido en la malla Núm. 200 (0.075 mm):

1.5 % a 3 % de cal respecto al peso seco del material que se mejora:

Aproximadamente 25 kg a 50 kg de cal por  $\text{m}^3$  compacto de material que se mejora.

NOTA: Utilizar como mínimo el 1.5 % del peso seco del material que se mejora.

**3.1.2. Suelos y materiales finos.** Si más del 50 % pasa la malla Núm. 200 (0.075 mm):

3 % a 6 % de cal respecto al peso seco del material que se mejora:

Aproximadamente 50 kg a 75 kg de cal por  $\text{m}^3$  compacto de material que se mejora.

#### 3.2. Agua.

##### 3.2.1. Calidad.

Pueden utilizarse aguas residuales (en el caso muy remoto de que el contenido de sulfatos solubles sea superior a 2,000 ppm, efectuar pruebas de laboratorio con esas aguas y verificar si producen expansiones superiores a las de tolerancia).

##### 3.2.2. Cantidad.

Mantener la humedad durante el proceso de mezclado: 2 % a 5 % por arriba de la Humedad Óptima Próctor estándar.

### 4. Procedimiento.

#### 4.1. Mezclar.

Mezclar la capa que va a mejorarse con la cantidad de cal y agua especificada por el laboratorio, hasta que NO haya grumos de arcilla mayores a la malla de 1" (25 mm) y más del 60 % del material que no sea piedra o grava pase la malla Núm. 4 (4.75 mm).

**NOTA:** Con algunos materiales que contienen más de 10 % de finos [- Núm. 200 (0.075 mm)] y plasticidad alta (IP > 10 %), después de haber efectuado la mezcla del material que se pretende mejorar con toda la cal y agua que se hayan determinado en el laboratorio, conviene cuando sea posible, permitir un curado o tiempo de reacción de 36 horas, sin dejar que se pierda la humedad. Esto facilita la reacción de la cal con los minerales de las arcillas y los hace friables, facilitando el disgregado de grumos y la mezcla final.

#### **4.1.1. EQUIPO.**

##### **4.1.1.1. Rotomezcladoras.**

El equipo ideal para la operación de mezclado son las mezcladoras rotatorias autopropulsadas llamadas recuperadoras, pulverizadoras o estabilizadoras.

BITELLI: ST-200-RC; BOMAG: MPH-100; BROS: TRM-84, SPRM-84; CATERPILLAR: RR-250B, RM-350, SS-250B, SM-350; CMI: RS-425, RS-500B, RS-650; SEAMAN-MAXON: TRAVEL MIXER; REXNORD: SP.

##### **4.1.1.2. Tractores agrícolas e implementos agrícolas.**

A falta del equipo mencionado, pueden usarse tractores agrícolas con arados y/o rastras de discos, cuando el material tiene más de 25 % de finos y el tamaño máximo es de 2" (50 mm). Controlar los espesores durante el proceso de mezclado, tomando en cuenta que con buena operación, los discos penetran en el material la tercera parte de su diámetro real. Los equipos agrícolas son insustituibles cuando los materiales están saturados y su humedad es próxima al Límite Líquido.

##### **4.1.1.3. Motoconformadoras.**

Cuando más del 50 % del material es retenido en la malla Núm. 200, puede lograrse mezclar el material con la motoconformadora, aunque no es el equipo idóneo.

##### **4.1.1.4. Autotanques (pipas).**

Conviene hacer la incorporación de agua mediante autotanques (pipas) con barra de riego.

##### **4.1.1.5. Distribuidores mecánicos de cal.**

La distribución de la cal puede ser manual cuando se adquiere en bolsas, con sistemas neumáticos de distribución con barra o en forma de lechada (agua:cal en relación 2:1 en peso). Aunque no tiene efectos nocivos la cal sobre los seres vivos o el medio ambiente, puede ser molesta por ser un polvo muy fino y ligero. Conviene humedecerla inmediatamente después de su distribución, aprovechando el agua que debe incorporarse para llegar a la óptima Próctor estándar más 2 % a 5 %.

#### **4.2. Conformar.**

Para dar niveles.

**EQUIPO: Motoconformadora.**

#### **4.3. Compactar.**

Mantener durante la compactación al material con la Humedad Optima de proyecto.

NOTA: Se recomienda que la compactación sea por lo menos la siguiente:

##### **4.3.1. Materiales en que más del 50 % pasa la malla Núm. 200 (0.075 mm):**

Bases 98 %, subbases 95 %, subrasante 92 % a 95%,  
subyacente y terracerías 90 %,

respecto de la prueba Próctor estándar (SCT TOMO IX,  
sección 1.10 o libro 6.01.01 o AASHTO T99 o ASTM D698).

##### **4.3.2. Materiales en que más del 50 % es retenido en la malla Núm. 200 (0.075 mm):**

Bases 98 %, subbases 95 %, subrasante 92 % a 95%,  
subyacente y terracerías 90 %,

respecto de la prueba Próctor modificada (SCT TOMO IX,  
sección 1.10 o libro 6.01.01 o AASHTO T180 o ASTM  
D1557) o Pórter SCT (SCT TOMO IX, sección 1.11 o libro  
6.01.01.)

**EQUIPO: Compactadores sobre neumáticos** de más de 10 toneladas de peso y lastrables a más de 25 toneladas, compactando capas de no más de 20 cm de espesor; **compactadores vibratorios de un tambor**, de más de 5 toneladas de peso y fuerza centrífuga superior a 20 toneladas; **compactadores vibratorios de doble tambor**, de más de 5 toneladas de peso y fuerza centrífuga superior a 12 toneladas;

#### **4.4. Afinar.**

Para dar niveles definitivos.

**EQUIPO: Motoconformadora.**

#### **4.5. Protección y curado final.**

Proteger la capa mejorada con cal con el material de la siguiente capa o con un riego asfáltico o con riegos de agua, para evitar se pierda humedad.

**EQUIPO: Petrolizadora y/o autotanques (pipas).**



## **5. Resultados.**

### **5.1. Geotécnicos.**

Disminuir o eliminar la plasticidad (IP).

Disminuir o eliminar los cambios de volumen (contracción y expansión).

Disminuir o eliminar la permeabilidad ( $k < 10^{-5}$  cm/seg)

Aumentar la capacidad de carga (VRS).

Aumentar la resistencia al cortante y módulos de resistencia.

### **5.2. Administrativos.**

Aprovechar el material existente en la carretera "in situ".

Aprovechar materiales de préstamo próximos al sitio de reconstrucción, que no cumplen especificaciones.

Trabajar en todo clima ( $T \text{ } ^\circ\text{C} > + 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Disminuir tiempos de construcción.

Abatir costos.

Disminuir trabajos y costos de mantenimiento.

Aprovechar mejor los recursos disponibles en la región.

Aumentar vida útil del pavimento reconstruido.

## **6. Costos.**

### **6.1. Materiales.**

Se utilizan los existentes en la estructura del pavimento y/o terracerías que van a ser reconstruido o mejorados. Por lo tanto el costo es nulo.

### **6.2. Aditivos.**

**Cal hidratada.** El costo depende de la dosificación determinada por el laboratorio multiplicada por el costo de adquisición de la misma.

### **6.3. Agua.**

En caso de tener que pagar regalías, el costo se obtendrá de multiplicar el volumen de agua que determine el laboratorio para el proceso por el costo unitario de la regalía. Se recuerda que pueden utilizarse aguas residuales para evitar el pago de regalías y disminuir los costos de acarreo.

#### **6.4. Fletes y/o acarreos.**

Los costos correspondientes a fletes de la cal y de acarreo del agua dependerán de los volúmenes señalados por el laboratorio y los costos de transportación de las fuentes de suministro al sitio de trabajo.

#### **6.5. Equipo.**

Los costos de mezclado, conformación, compactación y afine son similares a los del procedimiento convencional de bases bien construidas, a las que se les incorpora agua para obtener la humedad óptima. Adicionalmente, deberá considerarse el costo del equipo de distribución de la cal, cuando no se hace manualmente.

#### **6.6. Personal.**

Costos del personal que distribuye y extiende la cal cuando se hace manualmente. Más las cuadrillas necesarias para el proceso de reconstrucción similares a los del procedimiento convencional.

### **7. Causas de falla o falta de reacción en el mejoramiento o estabilización con cal de capas de pavimento o terracerías:**

- 7.1. Falta de cal por dosificación incorrecta o mala calidad de la cal.
- 7.2. Falta de agua durante el proceso.
- 7.3. Falta de mezclado.
- 7.4. Falta de compactación.
- 7.5. Falta de curado o tiempo de reacción, especialmente en suelos o materiales finos [ + 50 % - Núm. 200 (0.075 mm)] de alta plasticidad (IP > 10).
- 7.6. Espesor insuficiente.
- 7.7. Cargas mayores o de mayor frecuencia que las de diseño.
- 7.8. Falta de compactación.
- 7.9. Problemas estructurales y/o geotécnicos y/o de Mecánica de Suelos, de las terracerías.
- 7.10. Drenaje y subdrenaje insuficientes, azolvados u obstruidos.

## **8. ¿Qué pasa si ...**

### **8.1. ... falta cal?**

R: Si es posible, incorporar el faltante y mezclar, no importa el tiempo que haya transcurrido. En caso contrario, se tendrá una mejoría notable en el suelo pero no serán alcanzados los objetivos.

### **8.2. ... sobra cal?**

R: Nada. Se gasta dinero de más.

### **8.3. ... falta agua?**

R: Incorporar el faltante si es posible y mezclar, no importa el tiempo transcurrido. En caso contrario, se tendrá una mejoría notable en el suelo pero no serán alcanzados los objetivos.

### **8.4. ... sobra agua?**

R: Nada. Se gastó dinero de más. Pudieran aparecer grietas longitudinales. Conviene mezclar el material para que llegue a la humedad óptima y compactar nuevamente.

### **8.5. ... falta mezclado?**

R: Terminar la pulverización y mezcla, no importa el tiempo transcurrido. En caso contrario, se tendrá una mejoría notable en el suelo pero no serán alcanzados los objetivos.

### **8.6. ... se mezcló en exceso?**

R: Nada. Se gastó dinero de más.

### **8.7. ... se interrumpe el proceso?**

R: Nada. Continuar cuando sea factible.

En ocasiones excepcionales, se presentan filtraciones de agua con alto contenido de ácidos y/o bióxido de carbono y habrá que reponer la parte de la cal que reaccionó con esas sustancias.

Cuando el proceso de mezcla ya está avanzado y se interrumpe, seguramente el suelo o material ya revuelto con cal tendrá una dureza que no permita ser trabajado con motoconformadora y requerirá de una mezcladora-pulverizadora rotatoria autopropulsada como las recicladoras, recuperadoras o estabilizadoras.

### **8.8. ... no se permite el curado inicial?**

R: Disminuye la eficiencia y calidad del trabajo. Los costos de mezclado aumentan, especialmente en materiales que tienen más de 25 % de finos [ - Núm. 200 (0.075 mm) ]

## **Definición.**

**Estabilización con cal es el procedimiento constructivo que modifica suelos, materiales de préstamo y productos reciclados, mejorándolos de tal modo que los cambios de clima y de humedad, no afecten su capacidad de carga ni cambien su volumen.**

.....

### **PARA ESTABILIZAR CON CAL**

**DEBERA APLICARSE SUFICIENTE:**

**a. CAL (ASTM C 977).**

**b. AGUA.**

**b.1. HUMEDAD OPTIMA PROCTOR ESTANDAR + 2 % A 5 %, EN LA PRIMER ETAPA DE MEZCLADO.**

**b.2. RIEGOS CON AGUA DURANTE CURADO INICIAL.**

**b.3. HUMEDAD OPTIMA PROCTOR ESTANDAR + 2 %, EN LA SEGUNDA ETAPA DE MEZCLADO.**

**b.4. CURADO FINAL:**

**RIEGOS DE AGUA**

**"O" RIEGO ASFALTICO**

**"O" SIGUIENTE CAPA**

**c. MEZCLA.**

**PRIMER ETAPA: 100 % MENOR A 75 MM (3").**

**SEGUNDA ETAPA: 100 % MENOR A 25 MM (1") Y MAS DEL 60 % MENOR A LA MALLA No. 4 (4.75 MM).**

**LA MEZCLA DE SUELO - CAL - AGUA, DEBERA TENER TEXTURA Y COLOR UNIFORMES.**

**NOTA:**

**EN AMBAS ETAPAS LA ESPECIFICACION DE FINURA O PULVERIZACION SE REFIERE A MATERIAL DISTINTO A PIEDRA O GRAVA.**

# ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO DE ESTABILIZACION

**1**

**NIVELAR Y PERFILAR  
CAPA POR ESTABILIZAR  
¡ATENCIÓN CON EL ESPESOR!**

---

**2**

**DISTRIBUIR Y ESPARCIR  
UNIFORMEMENTE  
CAL HIDRATADA EN SECO (regando inmediatamente con agua)**

**0**

**LECHADA DE AGUA:CAL (2:1 en peso)**

o - o

**ESCARIFICAR O ARAR LA CAPA POR ESTABILIZAR**

**MAXIMO EL ESPESOR DE LA CAPA**

---

**3**

**INCORPORAR AGUA HASTA OBTENER  
HUMEDAD OPTIMA PROCTOR ESTANDAR + 2 % A 5 %**

**ATENCIÓN:  
LA HUMEDAD OPTIMA DEBERA OBTENERSE  
EN EL LABORATORIO, DE LA  
MEZCLA DE SUELO-CAL**

o - o

**MEZCLA INICIAL**

**SUELO - CAL - AGUA**

**CON EQUIPO AGRICOLA O MEZCLADORA ROTATORIA**

**HASTA QUE**

**100 % SEA MENOR A 75 MM (3")**

---

**4**

**COMPACTAR LIGERAMENTE  
(CERRADA CON CUALQUIER EQUIPO)**

5

**CURADO INICIAL**  
**RIEGOS DE CONSERVACION CON AGUA**  
**MINIMO 36 HORAS**  
**MAXIMO 120 HORAS**

2 A 5 L/M<sup>2</sup> (ENCHARGAR),  
ANTES DE SALIR EL SOL Y DESPUES DE PONERSE.  
AL MEDIODIA DEPENDIENDO DE EVAPORACION.

6

**ESCARIFICAR O ARAR**  
**MAXIMO EL ESPESOR DE LA CAPA**

7

**INCORPORAR AGUA HASTA**  
**HUMEDAD OPTIMA PROCTOR ESTANDAR + 2 %**

ATENCION:  
DETERMINAR LA HUMEDAD OPTIMA EN EL LABORATORIO,  
DE LA MEZCLA DE SUELO CAL.

8

**MEZCLA FINAL**  
**SUELO - CAL - AGUA**  
**CON LA MEZCLADORA ROTATORIA O EQUIPO AGRICOLA**  
**HASTA QUE**  
**100 % SEA MENOR A 25 MM (1")**  
**Y**  
**MAS DEL 60 % PASE POR LA MALLA No. 4 (4.75 MM)**  
**SIN PERMITIR QUE LA HUMEDAD BAJE A MENOS DE LA OPTIMA DE**  
**PROYECTO**

ESTA ESPECIFICACION ES APLICABLE UNICAMENTE AL  
MATERIAL QUE NO SEA GRAVA O PIEDRA.

**9**

**NIVELAR Y CONFORMAR**

**CON LA MOTOCONFORMADORA ...**

**... CUANDO SEA NECESARIO.**

**10**

**COMPACTAR AL GRADO ESPECIFICADO**

**MANTENIENDO LA HUMEDAD IGUAL A LA OPTIMA DE PROYECTO**

**TERRACERIAS:**

MINIMO 90 % PROCTOR ESTANDAR AASHTO T99, CUANDO MAS DEL 50 % PASA LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm)  
MINIMO 90 % PROCTOR MODIFICADA AASHTO T180, CUANDO MAS DEL 50 % ES RETENIDO EN LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm)

**SUBRASANTES Y SUBBASES:**

DE 90 % A 95 % PROCTOR ESTANDAR AASHTO T99, CUANDO MAS DEL 50 % PASA LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm)  
DE 90 % A 95 % PROCTOR MODIFICADA AASHTO T180, CUANDO MAS DEL 50 % ES RETENIDO EN LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm)

**BASES:**

MINIMO 98 % PROCTOR ESTANDAR AASHTO T99, CUANDO MAS DEL 50 % PASA LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm)  
MINIMO 98 % PROCTOR MODIFICADA AASHTO T180, CUANDO MAS DEL 50 % ES RETENIDO EN LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm)

○ - ○

**NO PERMITIR  
SE SEQUE EL MATERIAL**

**ATENCION:**

LA COMPACTACION NO DEBE ALTERAR EL SUELO O CAPA  
BAJO LA CAPA QUE ESTA EN PROCESO DE ESTABILIZACION

**11**

**CURADO FINAL**

**MEDIANTE:**

**RIEGOS DE AGUA**

**"O" RIEGO ASFALTICO**

**"O" MATERIAL DE LA SIGUIENTE CAPA**

**RESTRICCIONES AL TRANSITO  
DE VEHICULOS Y MAQUINARIA**

**SOBRE CAPAS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL**

- a. **SELLAR CON ASFALTO Y GRAVILLA (3E o 3B).**
- b. **SIN RESTRICCION VEHICULOS O MAQUINARIA LIGEROS.  
MENOS DE 5 TON DE PESO BRUTO.**
- c. **VEHICULOS Y MAQUINAS PESADOS.**

**5 A 15 TON DE PESO BRUTO**

**PODRAN TRANSITAR CUANDO LO AUTORICEN  
LOS LABORATORIOS DE GEOTECNIA Y MECANICA DE SUELOS  
QUE DISEÑARON LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

**GENERALMENTE 72 HORAS DESPUES  
DEL INICIO DEL CURADO FINAL,  
SI EL SUELO BAJO LA ESTRUCTURA  
NO REBOTA O SE DEFORMA.**

- d. **VEHICULOS Y MAQUINAS MUY PESADOS**

**MAS DE 15 TON DE PESO BRUTO**

**CUANDO LO AUTORICEN  
LOS LABORATORIOS DE GEOTECNIA Y MECANICA DE SUELOS  
QUE DISEÑARON LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

**GENERALMENTE 3 A 7 DIAS  
DESPUES DE INICIADO EL CURADO FINAL,  
SI EL SUELO BAJO LA ESTRUCTURA NO REBOTA O DEFORMA**

**ATENCION:**

**No es conveniente permitir el tránsito de vehículos y máquinas de peso bruto superior a 10 ton, sobre capas estabilizadas, hasta que esté totalmente terminada la estructura del pavimento.**

**"ESTO NO SE APLICA A VEHICULOS Y EQUIPOS UTILIZADOS  
PARA CONSTRUIR CADA TRAMO EN PARTICULAR"**



# NATIONAL LIME ASSOCIATION

(rcc-36)nla-will.doc

CARTA DEL SR. HARRY L. FRANCIS  
GERENTE TECNICO DE LA N.L.A.  
AL SR. DAVID WILLIS, DE DALLAS, TEX.,  
QUE POR SU INTERESANTE CONTENIDO TRADUJIMOS

Los minerales de las arcillas reaccionan con la cal para cambiar las propiedades del suelo. Por ejemplo, de arcillas expansivas inestables, a partículas friables limo arenosas estables. Pequeñas cantidades de Hidróxido de Calcio (Cal), floculan las partículas de las arcillas y las aglomeran formando partículas más grandes limo arenosas.

Esto es el resultado de un intercambio catiónico, donde las iones de calcio (+2) desplazan a los iones de sodio (+1) que contiene la arcilla, desplazando también moléculas de agua y permitiendo la formación de una estructura en que las partículas tienen contacto "BORDE-CARA", en vez de la estructura de laminillas paralelas característica de las arcillas húmedas. El resultado es un aumento inmediato de la capacidad de soporte del suelo, debido al incremento de la fricción interna del mismo, producto a su vez de la modificación en el tamaño y forma de las partículas del suelo.

Si se mezclan íntimamente suficientes cantidades de cal y agua con el suelo, elevando el pH arriba de 11.5, las partículas de sílice y alúmina del suelo se vuelven solubles y forman geles. Estos geles forman minerales de hidrato silícico cálcico y de hidrato aluminico cálcico, que al ser compactados cementan a las partículas de suelo entre sí y constituyen un suelo estabilizado permanentemente. Este proceso químico es llamado reacción puzolánica. De hecho, se ha producido a partir del suelo un cementante: silicato aluminico cálcico.

Para alcanzar estos resultados en forma permanentemente, añadimos cantidades suficientes de cal al suelo para elevar el pH de la matriz del suelo hasta 12.4, determinando la cantidad de cal con el procedimiento de Eades y Grimm especificado en el procedimiento de prueba ASTM C-977. El mezclado y la compactación deben realizarse a niveles de humedad de 3% a 5% arriba de la óptima, para estar seguros de que hay suficiente agua disponible que permita la reacción química entre las arcillas y la cal.

Con arcillas pesadas de alta plasticidad, como las del norte de Texas, las cuales forman grandes terrones de arcilla, su manejo y mezclado en el campo es casi imposible. Sin embargo, cuando se usa cal, los terrones son transformados químicamente y las partículas de suelo se vuelven desmenuzables. Esto ocurre lentamente conforme la solución de cal, también en forma lenta, penetra a través de la matriz del suelo, desplazando al sodio y floculando la arcilla, convirtiéndola en material limo arenoso.

Debido a la baja permeabilidad de las arcillas, esta penetración del calcio se efectúa en forma lenta y requiere de un periodo de reacción o curado.

Es absolutamente indispensable mantener los niveles de humedad cerca de 3% a 5% arriba del óptimo, para que suceda esta penetración de la cal o curado inicial. El tiempo necesario para la reacción o curado inicial depende del contenido de arcillas de los suelos y su Mineralogía.

Después del curado inicial, las arcillas se vuelven friables y trabajables, siendo más fáciles de revolver y compactar.

El uso de cemento Portland en suelos de arcillas pesadas no es una solución apropiada para neutralizar las propiedades expansivas de las arcillas. En el laboratorio se puede lograr resistencias satisfactorias en poco tiempo. Esto es por que en el laboratorio se puede secar el suelo, pulverizar y luego agregar suficientes cantidades de cemento hasta alcanzar la estabilización. Pero los resultados son engañosos, porque en el campo no hay tiempo suficiente para el curado y desmenuzamiento de los terrones de arcilla para transformarlos en partículas de suelo friables, antes de que fragüe el cemento Portland. Además, no es suficiente la cal libre del cemento Portland para penetrar y reaccionar con el suelo.

El resultado en campo al usar cemento Portland con arcillas, es la encapsulación con cemento de los terrones de arcilla. Esto da un aparente aumento de capacidad de soporte de carga, pero NO ESTABILIZA el suelo. Conforme esos terrones son compactados, la concha de cemento que rodea a los grumos de arcilla se rompe, permitiendo a la humedad introducirse o escaparse de las arcillas, resultando finalmente en una expansión o una contracción de la capa tratada, y por lo tanto, la falla del proyecto.

Si el proyecto requiere obtener una resistencia temprana, sin tiempo para un suficiente curado, puede mezclarse cal para desmenuzar los terrones de arcilla, curar por un lapso corto de tiempo, seguido por un tratamiento con cemento. Sin embargo, este proceso no es recomendable para arcillas pesadas, ya que se requiere de tiempo y humedad para lograr la penetración y el curado inicial, esto es, la reacción química que cambia las propiedades del suelo, cuyo resultado es una estabilización permanente del mismo.

Este es realmente el objetivo que se debe procurar como resultado de la evaluación del suelo y el correspondiente diseño en un proyecto.

# GRUPO CADOPAM, S.A. DE C.V.

Esparza Oteo 144 - 5º Piso Col. Guadalupe Inn

TELS. 662-1383 FAX: 662-2396

(rcc\_03)promesa1.doc

## LA CAL Y EL MEDIO AMBIENTE

LA TENDENCIA MUNDIAL A PARTIR DE LOS AÑOS 80 DE LOS GRANDES FLUJOS DE DINERO CANALIZADO A INVERSIONES INDUSTRIALES Y DE INVESTIGACION, SE HA IDO ORIENTANDO AL "ENVERDECIMIENTO".

- RELLENOS SANITARIOS Y DE DESECHOS TOXICOS.

ESTABILIZACION Y NEUTRALIZACION DE RELLENOS SANITARIOS, DE DESECHOS BIOLOGICOS Y TOXICOS, EN OPERACION O CLAUSURADOS, QUE NO REUNEN NORMAS ESTABLECIDAS RECIENTEMENTE POR LAS AUTORIDADES Y AFECTAN A LAS COMUNIDADES CON OLORES, GASES PELIGROSOS, INSECTOS Y ROEDORES.- ESTERILIZACION Y DISPOSICION DE DESECHOS BIOLOGICOS.

- TRANSPORTACION Y RECUPERACION PARA RECICLADO DE BASURA DOMESTICA.

- GENERACION DE ENERGIA - VAPOR Y ELECTRICIDAD, MEDIANTE LA INCINERACION DE BASURA DOMESTICA Y FABRICACION DE ELEMENTOS PARA CONSTRUCCION DE VIVIENDA CON LAS CENIZAS.

- TRATAMIENTO INDUSTRIAL DE BASURA DOMESTICA CON CAL PARA FABRICAR COMBUSTIBLES NO CONTAMINANTES.

- TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS, GRISES, INDUSTRIALES Y PLUVIALES.

- LAVADO DE GASES PRODUCTO DE COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSILES.

- RECICLADO DE CENIZAS Y ESCORIAS (FLY ASH) DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS Y ALTOS HORNOS EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS.

- RECICLADO DE RESIDUOS INDUSTRIALES CONTAMINANTES.

- TRATAMIENTO BIOLOGICO DE AGUAS Y SUELOS CONTAMINADOS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS.

- ESTABILIZACION DE SUELOS EN CAMINOS, VIAS FERREAS, OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA - CANALES, PRESAS Y BORDOS -, AEROPUERTOS, CIMENTACIONES DE NAVES Y PISOS INDUSTRIALES, DE CENTROS COMERCIALES Y ALMACENES.

AUNQUE PAREZCA INVEROSIMIL, EN TODO TIENE UN PAPEL IMPORTANTE LA CAL Y EN ALGUNOS CASOS INSUSTITUIBLE.

ING. RAMON CURTO DE LA CALLE

# PRUEBAS MINIMAS DE LABORATORIO, PARA SUELOS Y MATERIALES MODIFICADOS CON CAL

## 1. Pruebas previas a la construcción, con el suelo natural para cada muestra de suelo o material.

- 1.a. PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA PROCTOR ESTANDAR (AASHTO T99) Y PROCTOR MODIFICADA (AASHTO T180).
- 1.b. GRANULOMETRIA (SCT), incluyendo reporte adicional con:
  - 1.b.1. % retenido en malla 1" (25 mm)
  - 1.b.2. % que pasa la malla No. 4 (4.75 mm)
  - \* 1.b.3. % que pasa la malla No. 40 (0.425 mm)
  - \* 1.b.4. % que pasa la malla No. 200 ( 0.075 mm)
- \* 1.c. LIMITES DE ATTERBERG (SCT).
- \* 1.d. CONTRACCION LINEAL (SCT).
- 1.e. VALOR CEMENTANTE (SCT).
- 1.f. EQUIVALENTE DE ARENA (SCT). (NO ES INDISPENSABLE)
- \* 1.g. ASTM C 977 [- No. 40(0.425 mm), 500 g], CON LA CAL QUE VA USARSE EN LA OBRA Y AGUA DESTILADA LIBRE DE CO<sub>2</sub>.
- \* 1.h. VRS Y EXPANSION (SCT)
- 1.i. COMPRESION SIMPLE (ASTM D 2166)
- 1.j. NIVEL FREATICO
- \* 1.k. CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO NATURAL
  - 1.l. CLASIFICACION DEL SUELO (SCT)
  - 1.m. ORIGEN GEOLOGICO DEL SUELO POR ESTABILIZAR

**2. Pruebas previas a la construcción, con suelos y materiales modificados con la cal que va a usarse en la obra, en la proporción obtenida con la prueba ASTM C 977 y después de 36 horas mínimo de curado.**

- \* 2.a. PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA PROCTOR ESTANDAR (AASHTO T99) Y PROCTOR MODIFICADA (AASHTO T180).
- 2.b. LIMITES DE ATTERBERG DE MEZCLAS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL Y CURADAS 36 HORAS (SCT).
- \* 2.c. CONTRACCION LINEAL (SCT).
- \* 2.d. CONTRACCION UNIDIMENSIONAL (ASTM D 3877).
- 2.e. EQUIVALENTE DE ARENA (SCT). (NO ES INDISPENSABLE)
- \* 2.f. VRS Y EXPANSION (SCT)
- \* 2.g. COMPRESION SIMPLE CON CURADO ACELERADO VTM-11. EL CURADO SE DARA EN HORNO A TEMPERATURA CONSTANTE DE 60 °C Y DESPUES DE HABER COLOCADO LOS ESPECIMENES EN BOTES METALICOS HERMETICOS.
- 2.h. COMPRESION SIMPLE DE MEZCLAS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL (ASTM D 5102).

### 3. Pruebas durante la construcción.

- \* 3.a. GRADO DE PULVERIZACION [100 % - 1" (25 mm), + 60 % - No. 4 (4.75 mm)].
- \* 3.b. HUMEDAD (> H. O. + 2 % PROCTOR ESTANDAR AASHTO T99).
- 3.c. COMPACTACION.

NOTA: SE RECOMIENDAN LAS SIGUIENTES COMPACTACIONES MINIMAS, SIEMPRE TOMANDO EN CUENTA LAS CONDICIONES DE DRENAJE Y SUBDRENAJE, ASI COMO LA CAPACIDAD DE CARGA Y CARACTERISTICAS MECANICAS DE SUELOS Y RELLENOS BAJO LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

3.c.1. SUELOS Y MATERIALES DE PRESTAMO MODIFICADOS CON CAL Y CON MAS DE 50 % QUE PASA LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm), RESPECTO DE LA PRUEBA PROCTOR ESTANDAR (AASHTO T99):  
BASES 98 %, SUBBASES 95 %, SUBRASANTE DEL 90 % AL 95 %, SUBYACENTE Y TERRACERIAS 90 %.

3.c.2. SUELOS Y MATERIALES DE PRESTAMO MODIFICADOS CON CAL Y CON MAS DE 50 % RETENIDO EN LA MALLA Núm. 200 (0.075 mm), RESPECTO DE LA PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (AASHTO T180):  
BASES 98 %, SUBBASES 95 %, SUBRASANTE DEL 90 % AL 95 %, SUBYACENTE Y TERRACERIAS 90 %.

- \* 3.d. UNIFORMIDAD DE LA MEZCLA (TITULACION CON FENOLFTALEINA) (NLA).
- 3.e. COMPRESION SIMPLE DE MEZCLAS DE SUELOS CON CAL (ASTM D5102).
- 3.f. EFICIENCIA DE LA MEZCLA. COMPARACION POR RESISTENCIA A LA COMPRESION, ENTRE MEZCLAS DEL TRAMO Y DEL LABORATORIO. (NLA).

#### NOTA IMPORTANTE:

**No tirar ni revolver el material de las distintas muestras después de hacer las pruebas correspondientes al proceso de construcción, hasta que revise y autorice el responsable de Geotecnia del proyecto o se hayan resuelto todas las dudas relacionadas con los suelos o materiales modificados con cal.**

**PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE CAL  
QUE DEBE USARSE EN UN SUELO PARA ESTABILIZARLO  
PROCEDIMIENTO DE EADES Y GRIM  
PRUEBA RAPIDA O METODO DEL pH  
ASTM C 977 - 92**

1. PREPARAR SIETE MUESTRAS REPRESENTATIVAS DEL SUELO.

1a. SECAR EL MATERIAL MEDIANTE AIREACION Y CRIBARLO POR LA MALLA No. 40 (0.425 mm)

1b. TOMAR MUESTRAS DE 20 g DE MATERIAL. PRECISION:  $\pm 0.1$  g.

2. COLOCAR CADA UNA DE LAS SIETE MUESTRAS DENTRO DE RECIPIENTES TRASPARENTES DE PLASTICO QUE TENGAN 150 ML DE CAPACIDAD, PREVIAMENTE IDENTIFICADOS CON ETIQUETAS ADHERIDAS QUE DIGAN 2, 3, 4, 5, 6, 7 Y 8 %, RESPECTIVAMENTE Y PUEDAN TAPARSE HERMETICAMENTE CON SU TAPON.

3. PESAR SIETE PORCIONES DE CAL HIDRATADA QUE CORRESPONDAN A LOS PORCENTAJES SEÑALADOS EN EL INCISO ANTERIOR DEL PESO SECO DE LAS MUESTRAS DE SUELO. PRECISION:  $\pm 0.01$  g.

4. AÑADIR CADA UNA DE LAS PORCIONES DE CAL AL CORRESPONDIENTE FRASCO.

5. AGITAR LOS FRASCOS PARA QUE SE MEZCLEN EL SUELO Y LA CAL EN SECO.

6. INCORPORAR 100 ml DE AGUA DESTILADA LIBRE DE CO<sub>2</sub> A 21 °C, A CADA FRASCO. CONVIENE HACER PRUEBAS CON EL AGUA QUE VA A USARSE EN LA OBRA, SI ES FACTIBLE CONSEGUIRLA.

7. AGITAR LOS FRASCOS CONTENIENDO SUELO-CAL-AGUA, HASTA QUE NO HAYA EVIDENCIA DE MATERIAL SECO. MINIMO 30 SEGUNDOS.

8. AGITAR LOS FRASCOS DURANTE 30 SEGUNDOS CADA 10 MINUTOS HASTA CUMPLIR UNA HORA.

9. PASADA LA HORA, PONER UNA MUESTRA DEL PRODUCTO EN UNA CAPSULA Y MEDIR EL pH.

10. PARA MEDIR EL pH UTILIZAR UN ELECTRODO DE VIDRIO DEL TIPO DE BAJO ERROR DE SODIO, PREVIAMENTE ESTANDARIZADO A pH DE 12.45, CON UNA LECHADA AGITADA DE HIDROXIDO DE CALCIO Y TEMPERATURA DE 25 °C. EL ELECTRODO PUEDE CALIBRARSE CON UNA SOLUCION REGULADORA (BUFFER) DE pH 10.

11. REGISTRAR EL pH DE CADA MEZCLA.

12. LA MEZCLA QUE A MENOR PORCENTAJE DE CAL ALCANCE UN pH DE 12.4 A 21 °C, ES EL PORCENTAJE NECESARIO DE CAL PARA ESTABILIZAR EL SUELO.

NOTA: ES CONVENIENTE HACER PRUEBAS DE RESISTENCIA COMO CBR, VRS, VALOR-R O COMPRESION AXIAL SIN CONFINAR, PARA VERIFICAR LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA RAPIDA DEL pH Y QUE SIRVAN DE BASE PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL.

# METODO DE PRUEBA DEL ESTADO DE VIRGINIA VTM-11

1. ELABORAR ESPECIMENES PROCTOR ESTANDAR CON 2, 3, 4, 5, 6, 7 Y 8 % DE CAL HIDRATADA, RESPECTO DEL PESO SECO DEL SUELO, A LA HUMEDAD OPTIMA Y MAXIMO PESO VOLUMETRICO. PRUEBA PROCTOR ESTANDAR AASHTO T-99. TOMAR COMO BASE PARA EL PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO EL OBTENIDO CON 6 % DE CAL HIDRATADA. LUBRICAR LOS MOLDES INTERIORMENTE PARA FACILITAR LA EXTRACCION DE LAS PROBETAS.
2. EXTRAER LAS PROBETAS TENIENDO CUIDADO DE NO AFECTAR SU ESTRUCTURA, PONIENDOLAS DENTRO DE RECIPIENTES METALICOS TAPADOS Y SELLADOS.
3. CURAR LOS ESPECIMENES DENTRO DE SUS CONTENEDORES DURANTE 72 HORAS A 120 °F (49 °C).
4. A LAS 72 HORAS DEJAR QUE SE ENFRIEN LOS ESPECIMENES PARA PODER TRABAJAR CON ELLOS.
5. PROBARLOS A LA COMPRESION AXIAL SIN CONFINAR APLICANDO UNA CARGA DE:

109 KG/MINUTO = 240 LB/MINUTO

"0"

1.3 KG/CM2/MINUTO = 19 PSI/MINUTO

6. LA PROBETA QUE CON EL MENOR PORCENTAJE DE CAL HIDRATADA DE 150 PSI = 10.5 KG/CM2 A LA RUPTURA, DETERMINA EL OPTIMO DE CAL.

**NOTA 1:**

EL PORCENTAJE DE CAL ASI DETERMINADO DEBERA AUMENTARSE EN FUNCION DE LAS CONDICIONES DE OBRA Y EL CONTROL DE CALIDAD DE LA MISMA. SE RECOMIENDA AUMENTAR 1 A 2 % EL PORCENTAJE. P. EJ. SI EL RESULTADO DE LA PRUEBA VIRGINIA ES 4.5 %, APLICAR EN EL CAMPO 5.5 A 6.5 %.

**NOTA 2:**

SIGUIENDO EL PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA VTM-11, UTILIZANDO EL PORCENTAJE DE CAL QUE SE DETERMINA CON LA PRUEBA ASTM C 977 Y EFECTUANDO EL CURADO A 60 °C (140 °F), LA RESISTENCIA QUE SE OBTENGA A LA COMPRESION DESPUES DE LAS 72 HORAS, SERA PARECIDA A LA QUE SE TENDRA EN EL TRAMO A LOS 90 DIAS.



ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

ABERTURA EN MILIMETROS

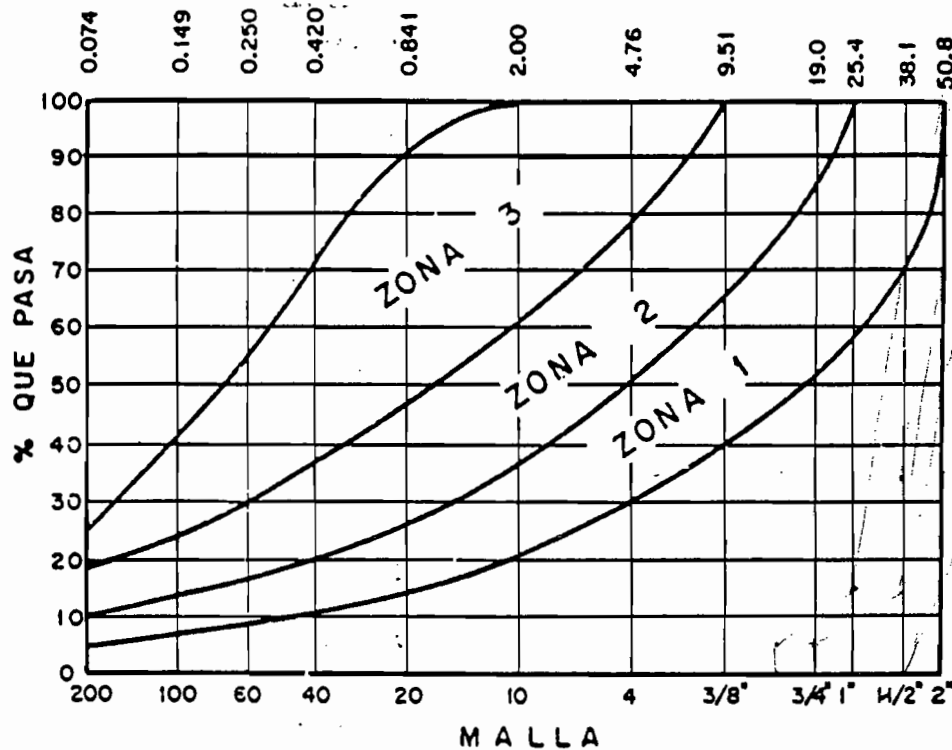


FIGURA NUMERO 3-2

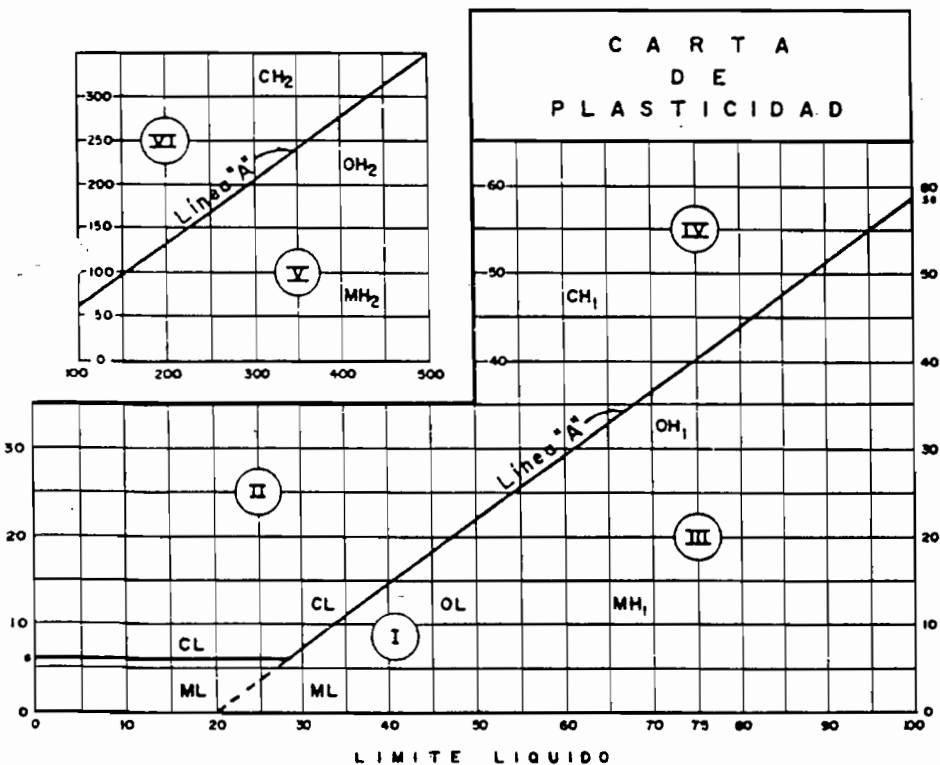


FIGURA NUMERO 2-1