

**IAG404-03-2013**  
**FORMATO DE TRABAJOS TÉCNICOS COMPLETOS PARA**  
**DOCUMENTO DEL XVII CILA 2013.**  
**ACERCAMIENTO AL ESTADO DEL ARTE DE LAS ESTABILIZACIONES**  
**DE SUELOS EN GUATEMALA**

Hugo José González del Valle  
Cementos Progreso  
Guatemala, Guatemala  
[hgonzalez@cempro.com](mailto:hgonzalez@cempro.com)

Ludwing Benjamin López  
Cementos Progreso  
Guatemala, Guatemala  
[llopez2@cempro.com](mailto:llopez2@cempro.com)

Sergio Salazar  
Cementos Progreso  
Guatemala, Guatemala  
[ssalazar@cempro.com](mailto:ssalazar@cempro.com)

## **Resumen**

Desde el punto de vista técnico y económico en la construcción de carreteras, ha sido de gran interés plantear soluciones sostenibles a las distintas capas de materiales que formaran la estructura de pavimento. El garantizar que estos materiales satisfagan las especificaciones y características necesarias para que la estructura de pavimento integral pueda alcanzar su periodo de diseño con éxito y según el diseño estructural, incide directamente en los procesos constructivos, recursos, tiempo de ejecución y en los costos del proyecto.

Desde el punto de vista ambiental, algunas industrias como la siderúrgica y de generación térmica, producen algunos desechos que los obligan a disponer de sitios adecuadamente conformados para su disposición final, estos materiales vienen siendo aprovechados por la industria de la construcción y en particular con un proceso adecuado pueden igualmente ser aprovechados como material estabilizante.

La extracción, manipulación y posterior disposición de materiales que cumplan o presenten propiedades y características aptas para su utilización en la construcción de una carretera como sub-rasante, sub-base o base; demanda gran cantidad de recursos tanto económicos como ambientales. Debido a esto sido necesario implementar nuevos procesos constructivos con el fin de utilizar los materiales disponibles en el área de trabajo, mejorando sus características naturales y hacer posible su reutilización como un nuevo material apto para la construcción y así disminuir la explotación de bancos de materiales como también agilizar los tiempos de ejecución de las distintas capas de la estructura de pavimento.

La estabilización de suelos ha permitido reutilizar materiales que en su estado natural no cumplen con los requerimientos de los materiales aptos para la construcción de carreteras.

## **Resumo**

Desde o ponto de vista técnico e económico na construção de estradas, tem sido de grande interesse propor soluções sustentáveis às diferentes capas de materiais que formassem a estrutura de pavimento. O garantir que estes materiais satisfaçam as especificações e características necessárias para que a estrutura de pavimento integral possa atingir seu período de desenho com sucesso e segundo o desenho estrutural, incide directamente nos processos construtivos, recursos, tempo de execução e nos custos do projecto.

Desde o ponto de vista ambiental, algumas indústrias como a siderúrgica e de geração térmica, produzem alguns desfeitos que os obrigam a dispor de lugares adequadamente conformados para sua disposição final, estes materiais vêm sendo aproveitados pela indústria da construção e em particular com um processo adequado podem igualmente ser aproveitados como material estabilizante.

A extracção, manipulação e posterior disposição de materiais que cumpram ou apresentem propriedades e características aptas para sua utilização na construção de uma estrada como sub-rasante, sub-base ou base; demanda grande quantidade de recursos tanto económicos como ambientais. Devido a isto sido necessário implementar novos processos construtivos com o fim de utilizar os materiais disponíveis no área de trabalho, melhorando suas características naturais e fazer possível sua reutilização como um novo material apto para a construção e assim diminuir a exploração de bancos de materiais como também agilizar os tempos de execução das diferentes capas da estrutura de pavimento.

A estabilização de solos tem permitido reutilizar materiais que em seu estado natural não cumprem com os requerimentos dos materiais aptos para a construção de estradas.

## **INTRODUCCION**

La utilización de agentes estabilizadores en los suelos destinados a formar el arreglo multicapa de las estructuras de pavimento, ya sean estas sub-rasantes, sub-bases o bases ha sido muy amplia y con resultados positivos desde algún tiempo. Las ventajas logradas con el uso de materiales estabilizados ha sido principalmente el incremento de sus propiedades mecánicas, la reducción de la susceptibilidad a la humedad y a la erosión.

Este tipo de soluciones hace posible la utilización de prácticamente cualquier tipo de suelo existente en las áreas de ejecución de los proyectos, realizando el estudio necesario de laboratorio según sea el caso y utilizando el estabilizador óptimo según las necesidades y recursos de cada proyecto.

En los últimos años la necesidad de realizar proyectos de ingeniería sostenibles o sustentables ha potencializado el uso de las estabilizaciones, ya que utiliza materiales existentes del lugar con una necesidad muy baja o idealmente nula de explotar bancos de materiales contribuyendo a la deforestación de los lugares de trabajo.

El estado del arte en las estabilizaciones de suelos surge está dada por conocimiento de la tecnología de los materiales estabilizadores, la experiencia aplicaciones en proyectos de hace ya varios años y las nuevas tecnologías para optimización de procesos constructivos hace que una estabilización sea algo conocido, fácil de aplicar y una solución rentable tanto desde el punto de vista sostenible como también económico.

Las nuevas metodologías y normativas de diseño estructural de pavimentos optimizan las geometrías de los arreglos multicapas con la capacidad de aprovechar el aporte tanto estructural como de desempeño que aportan las soluciones como lo son las estabilizaciones.

El presente documento describirá los diferentes tipos de estabilizaciones de suelos que se aplican en la construcción de estructuras de pavimento normalmente, se darán recomendaciones de criterios a tomar para escoger el tipo de material estabilizador según el tipo de material a estabilizar y se describirán las estabilizaciones que se pueden realizar con materiales de descarte de algunas industrias.

## **MARCO TEORICO**

### **Estabilización De Suelos**

Es someter los suelos naturales a tratamientos o manipulaciones buscando aprovechar sus mejores cualidades para obtener resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes inadmisibles por la acción del tránsito o de los agentes atmosféricos o condiciones climáticas severas.

Adicionalmente se puede definir como la práctica de constituir una capa de materiales pétreos y/o suelos mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización de suelos, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una capa integrante de una estructura de pavimento, la cual está destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las sollicitaciones aplicadas en capas superiores del pavimento, de tal manera que la cimentación del pavimento o sub-rasante las pueda soportar.

Entre los tipos de estabilizaciones de suelos más comunes se encuentran: estabilización mecánica y estabilización química.

Se define estabilización mecánica la que se realiza por medio de compactación del material, utilizando maquinaria vial para lograr la densificación óptima según el tipo de material. La estabilización química se define como una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado *estabilizador químico*, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.

Este documento se enfocara principalmente en las estabilizaciones químicas de suelos, las más comunes y que se trataran son:

- Cemento
- Cal
- Materiales bituminosos
- Cenizas de alto horno (Fly Ash)

### **Tipos De Estabilizadores Químicos**

#### **Cemento**

Es un material producido por la pulverización del clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio cristalinos hidráulicos, y que usualmente contienen uno o más de los siguientes ingredientes: agua, sulfato de calcio hasta 5% de caliza y otros componentes minerales

minoritarios y aditivos de proceso. Debiendo cumplir con los requerimientos descritos en la norma ASTM C1157 (COGUANOR NTG 41095).

#### *Cal*

Es un producto en polvo elaborado de calizas de alto contenido de carbonato de calcio, calcinadas e hidratadas. Su composición química es un hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  con un bajo contenido de óxido de magnesio. Debe cumplir con las normas ASTM C-206 y ASTM C-207 (COGUANOR NGO 41018).

#### *Bitumen*

Es el último producto resultante de la destilación del petróleo. Los materiales bituminosos deben cumplir con los requisitos descritos en la normativa AASHTO M82, M140, M141 y M208.

#### *Cenizas Volantes De Alto Horno (Fly Ash)*

Las cenizas volantes son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas o industrias que generen combustiones de estas magnitudes. Este tipo de material debe cumplir con la norma ASTM C618.

### **Criterios Para Selección De Estabilizador**

El tipo de estabilizador a utilizar en un suelo dependerá de las propiedades físicas y químicas del material, uno de los métodos más utilizados y efectivos para realizar esta selección es el propuesto por el Cuerpo de Ingenieros de la fuerza aérea de los Estados Unidos. El criterio de selección se basa en:

- Granulometría del material (Clasificación SCU).
- Índice de plasticidad.

**Tabla 1: Guía para selección de estabilizador Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos**

<b>Zona</b>	<b>Clasificación SUCS</b>	<b>Tipo Estabilizador</b>	<b>Restricción en LL e IP</b>	<b>Restricción pasa tamiz N.200</b>
1A	SW	Bitumen	-	-
	SP	Cemento	-	-
	-	Cal-Cemento-Fly Ash	IP < 25	-
1B	SW-SM	Bitumen	IP < 10	-
	SP-SM	Cemento	IP < 30	-
	SW-SC	Cal	IP > 12	-
	SP-PC	Cal-Cemento-Fly Ash	IP < 25	-
1C	SM	Bitumen	IP < 10	No debe exceder 30% en

				peso
	SC	Cemento	IP < 20	-
	SM-SC	Cal	IP > 12	-
	-	Cal-Cemento-Fly Ash	IP < 25	-
2A	GW	Bitumen	-	-
	GP	Cemento	-	-
	-	Cal-Cemento-Fly Ash	IP < 25	-
2B	GW-GM	Bitumen	IP < 10	-
	GP-GM	Cemento	IP < 30	-
	GW-GC	Cal	IP > 12	-
	GP-GC	Cal-Cemento-Fly Ash	IP < 25	-
2C	GM	Bitumen	IP < 10	No debe exceder 30% en peso
	GC	Cemento	IP < 20	-
	GM-GC	Cal	IP > 12	-
	-	Cal-Cemento-Fly Ash	IP < 25	-
3	CH	Cemento	LL > 40	-
	CL		IP > 20	-
	MH	Cal	IP > 12	-
	ML-OH			-
	OL			-
	ML-CL			-

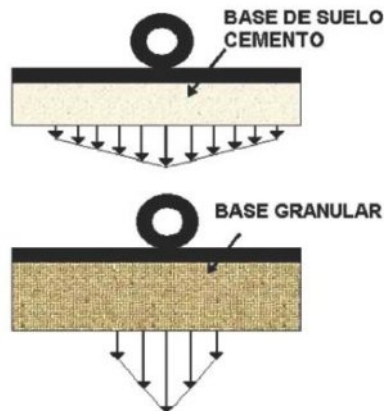
Como se puede observar en la **Tabla 1** el tipo de estabilizador a seleccionar depende directamente del suelo, se deben tomar criterios adicionales como el uso que se le dará al suelo en el arreglo multicapa de la estructura de pavimento.

## Beneficios De Los Materiales Estabilizadores

### *Cemento*

Los suelos estabilizados con cemento logran mejorar significativamente sus propiedades mecánicas, debido al efecto rigidizador de la matriz cementicia en el suelo. Este logra aumentar significativamente su capacidad portante, la forma en la cual distribuyen las solicitaciones a las que se ven afectos sobre las capas inferiores es más efectiva, se vuelve menos o muy poco erosionables, los efectos a causa de algún tipo de humedad son mucho menos críticos y se cuenta con el beneficio de poder utilizar casi cualquier tipo de suelo en las capas de mayor aporte en las estructuras de pavimento.

**Figura 1: Distribución de esfuerzos suelo tratado con cemento (Fuente PCA)**



### *Cal*

El uso de la cal en suelos se da principalmente en suelos con presencia de contenidos de arcilla, el efecto de la cal en este tipo de suelos es la disminución de la plasticidad original en grandes niveles. Esto gracias a los efectos químicos que causa el hidróxido de calcio en la estructura interna de las arcillas. El efecto de la cal en la estructura interna de estos materiales causa un efecto paralelo aumentando su capacidad portante, disminuyendo la susceptibilidad a la humedad eliminando los cambios volumétricos, lo cual incide directamente en la estabilidad de los suelos tratados con cal y la durabilidad.

En la mezcla de la cal con un suelo arcilloso se producen dos tipos de reacciones:

1. Una modificación inmediata de las características de granulometría, textura y grado de compactación. Esto es originado por:
  - Intercambio de iones entre la arcilla y la cal.
  - Floculación de las partículas de arcilla.
  - Reducción de la cantidad de agua adsorbida por la arcilla.
2. Incremento de en la resistencia del suelo a mediano y largo plazo, gracias a:
  - Reacción puzolánica de cementación.
  - Carbonatación.

### *Bitumen*

Los suelos estabilizados con materiales bituminosos aumentan su capacidad portante, impermeabilizantes y disminuyen su potencial de erosión. Las estabilizaciones de suelos con bitumen más conocidos se dividen en tratamientos con asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y la vanguardia está en la aplicación de asfaltos espumados. El tratamiento de suelos en pavimentos se realiza comúnmente en las capas de sub-base y base, dependiendo de las propiedades de cada material por su restricción según la plasticidad y contenido de finos de los mismos.

### *Ceniza Volante de Alto Horno (Fly Ash)*

Las cenizas según su clasificación, estas pueden ser tipo F o tipo C. La diferencia fundamental entre una y otra es su contenido de calcio y la capacidad de tener propiedades cementiceas por si solas. Las tipo C no necesitan de ningún material aparte del agua para poder generar resistencia mecánica, las tipo F necesitan de un componente con contenidos de calcio para poder tener la reacción química necesaria para generar propiedades cementiceas y así tener propiedades mecánicas.

La reutilización de las cenizas volantes de alto horno en prácticas de la ingeniería está siendo de gran interés por factores ambientales y de sostenibilidad. Este tipo de cenizas es un material de descarte o desecho generado por industrias que utilizan hornos de gran capacidad calorífica en sus procesos industriales, normalmente este material se dispone en lotes que al final no tienen ningún tipo de uso.

Estas cenizas según sus características físicas, químicas y la forma de los cristales que forman su estructura interna se clasifican como puzolanas artificiales. Estas se utilizan principalmente como adiciones minerales en el cemento o en el concreto hidráulico.

En los últimos años se ha estudiado la aplicación de estas puzolanas artificiales en los suelos de las estructuras de pavimento. La aplicación de este material según las características propias del suelo y la clasificación de la ceniza (F o C) se puede realizar colocando la únicamente la ceniza o combinándola con un material que active sus propiedades cementiceas, siendo estos cal o el cemento. Los beneficios que se han podido comprobar al utilizar cenizas volantes han sido positivos desde el punto de vista de mejorar el suelo en su capacidad portante, durabilidad y desempeño; según el tipo de ceniza volante utilizada los resultados pueden ser muy similares a los logrados con cemento o cal.

A continuación se detallan algunos resultados obtenidos estabilizando distintos tipos de materiales según su clasificación SUCS con una mezcla de Ceniza Volante tipo F y cal:

**Tabla 2: Resultados de IP, CBR al 95% y Resistencia a compresión no confinada de materiales sin estabilizar y estabilizados con fly ash/cal**

<i>Numero de Muestra</i>	<i>Clasificación SUCS</i>	<i>LL</i>	<i>LP</i>	<i>IP natural</i>	<i>IP estabilizado</i>	<i>% Fly Ash (Tipo F)</i>	<i>% Cal</i>	<i>CBR 95% natural</i>	<i>CBR 95% Estabilizado</i>	<i>Compresión estabilización 7 días</i>
1	GM	23	15	8	0	5%	5%	45	92	21
2	GM	0	0	0	0	6%	6%	37	97	17.5
3	GC	24	16	8	0	6%	6%	39	72	21
4	GC	25	15	10	0	5%	5%	46	100	23
5	GM	23	15	8	0	5%	5%	46	84	16
6	GW	0	0	0	0	4%	4%	91	100	19
7	GM	23	17	6	0	5%	5%	69	100	14
8	GM	0	0	0	0	4%	4%	42	100	15
9	GW	0	0	0	0	-	-	100	100	-
10	GW-GM	0	0	0	0	4%	4%	100	100	22
11	SM	0	0	0	0	4%	4%	34	100	14

*Limites de Atterberg ASTM D4318*

*CBR AASHTO T193*

*Resistencia a compresión ASTM C593-06 / D5102 (No saturada)*

Figura 2: Grafico con resultados de CBR al 95% antes y después de la estabilización

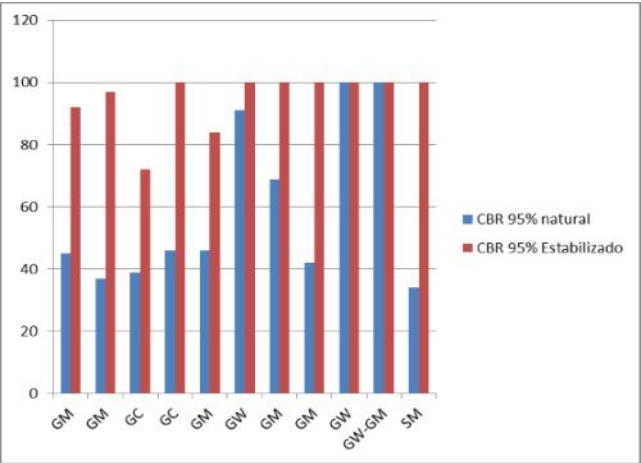


Figura 3: Grafico con resultados de IP antes y después de la estabilización

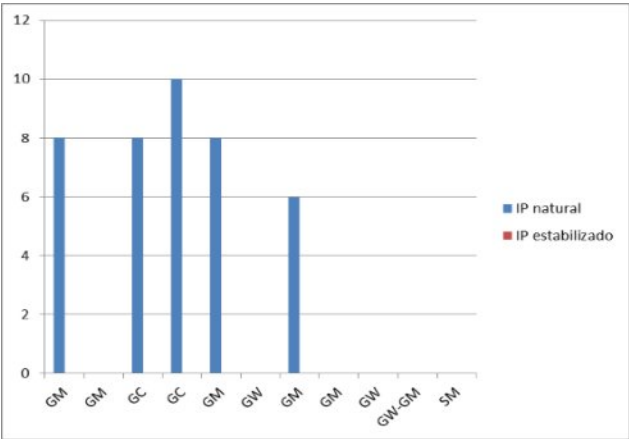
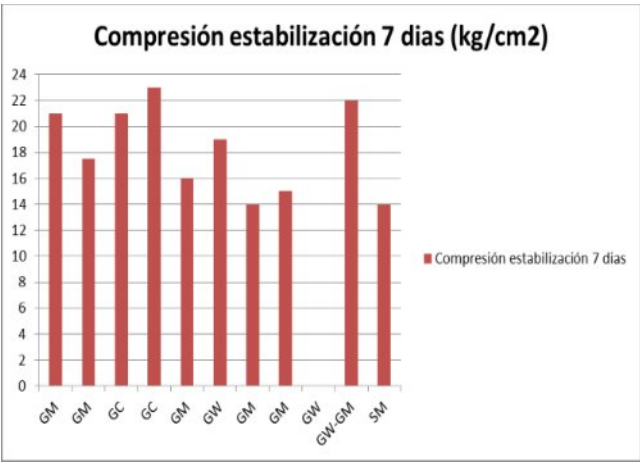


Figura 4: Grafico con resultados de resistencias a compresión no confinada obtenidas con la estabilización a 7 días



Calidades Del Suelo Estabilizado



El suelo estabilizado con los distintos tipos de materiales descritos anteriormente debe cumplir con estándares de calidad según normativas ASTM/AASHTO. Los estándares de calidad que se evalúan como mínimo y cambiarán sus valores según la capa analizada y el tipo de material estabilizador son:

1. Resistencia a compresión no confinada: ASTM D1633, C593 y D5102.
2. CBR (Sub-rasantes): ASTM D1883/AASHTO T193.
3. Resistencia a mojado y secado (Durabilidad): AASHTO T135.
4. Estabilidad Marshall (Tratados con bitumen): AASHTO T 245 ó ASTM D 1559.
5. Plasticidad: AASHTO T90.

## **Uso Potencial De Las Estabilizaciones De Suelo**

La aplicación de las soluciones planteadas anteriormente son aplicables principalmente a:

- Proyectos en los cuales las calidades de los materiales existentes no cumplan con las especificaciones de construcción, ya sea dentro de la sección típica transversal o en bancos de préstamo. La estabilización química mejoraría las características y propiedades de estos materiales para que cumplan y estén dentro de especificación.
- Proyectos en los cuales se tenga escasez de materiales apropiados para la construcción de pavimentos, que no cumplan con especificaciones y no se cuente con alternativas de bancos de préstamo cercanos. En estos casos se hace necesaria la estabilización de los suelos existentes.
- Proyectos en los cuales debido a la buena práctica de procesos constructivos y de ingeniería, se desee mejorar las propiedades de las capas de pavimento para mejorar sus características contra una posible infiltración de humedad ya sea por efectos de lluvia o agua subterránea. El estabilizar estos materiales puede evitar o disminuir efectos de pérdidas de finos por bombeo (según sea el caso).

## **CONCLUSIONES**

Con la estabilización de suelos se hace posible la utilización de prácticamente cualquier tipo de suelo existente en el lugar.

La estabilización de suelos hace posible utilizar materiales de calidades bajas en capas de sub-base y base en estructuras de pavimento.

Para poder decidir qué tipo de material estabilizador se deben realizar los estudios y análisis de laboratorio necesarios para poder cumplir con las calidades y necesidades de cada proyecto en particular.

El aprovechamiento de materiales existentes en cada proyecto, el disminuir o eliminar el uso de bancos de materiales según sea el caso y la posibilidad de utilizar materiales de desecho de diferentes tipos de industria hacen que la estabilización de suelos sea una aplicación de la ingeniería sostenible.

La estabilización de suelos con el fin de mejorar las propiedades y características mecánicas, de durabilidad y de desempeño de las diferentes capas que forman la estructura de pavimento contribuye a proyectos con mayor periodo de vida útil y soluciones a largo plazo sostenibles.

## REFERENCIAS

Department Of The Army Corps Of Engineers, Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction, Washington D.C., April 1984.

National Lime Association. Manual de estabilización de suelo tratado con cal. Estabilización y modificación con cal. Boletín 326. Enero 2004.

FICEM, Estado Del Arte Del Suelocemento En Estructuras de Pavimento, Panama, 2007.

Laurier L. Schramm, Emulsion, Foams and Suspensions, Wiley-VCH, 2005.

SIECA, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, 2002.

Dirección General De Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Vivienda de Guatemala, Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Guatemala, 2001.

Normas Técnicas Guatemaltecas COGUANOR.

Normas ASTM.

American Assosiation Of State Highway And Transportation Officials, Guide for design of pavement structures, 1993/2002.