



CONTENIDO

GENERALIDADES	2
METODOS DE APLICACIÓN	8
CERTIFICACIONES	15
ESTUDIOS	41
DOCUMENTOS TECNICOS	60
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	101



GENERALIDADES



Características Físico – Químicas

GEOSTAB® es un aceite sulfonado cuya finalidad específica es la estabilización de arcillas, es un compuesto derivado de la fracción naftalénica de hidrocarburos. Es un líquido soluble en agua a la que ioniza rápidamente, aumentando su conductividad y facilidad de intercambio catiónico. Presenta un color Pardo – Rojizo, densidad específica 1,15 y pH de 1,0.

El Problema

Las arcillas están conformadas por partículas de cristales minerales generalmente silicatos de formas laminares y de listones con exceso de cargas electrónicas que atraen moléculas de agua. Esta avidez de agua es la causante de las variaciones volumétricas que en mayor o menor grado las afecta. Sus principales características físicas son: expansividad, plasticidad y resistencia.

El estudio del comportamiento de las arcillas y el de los diferentes sistemas para lograr una estabilización permanente que permita su utilización como material de fundición para construcción, es sin lugar a dudas el más importante capítulo de la mecánica de suelos

Los diseños de las estructuras viales tienen tres

alternativas para manejar el problema de la inestabilidad de las arcillas:

- Diseñar en base a las características naturales del suelo y aceptar de antemano los problemas, costos y dificultades del mantenimiento.
- Remover y desechar el suelo natural y reemplazarlo por otro cada vez mas escaso y que reúna las condiciones exigidas con las consecuentes dificultades, contaminación e incrementos en costos y transportes que esto acarrea.
- Mejorar el suelo utilizando materiales cementantes o agentes estabilizadores. **GEOSTAB®** es un producto importante, de bajo costo de fácil aplicación y alta efectividad, entre los integrantes del último grupo.

Otro importante problema de la mecánica de suelos y del mantenimiento vial es la pérdida, por contaminación de algunas de las características necesarias en los materiales mezclados, obtenidos en fuente o cantera (recebo, zahorra, balastro, roca muerta, arrecife, etc.) que conforman la capa de rodadura en las vías a pavimentar. En solución y al mejorar las condiciones mecánicas de la fracción fina, **GEOSTAB®** juega un papel preponderante al permitir, con su utilización, el reciclaje de dichos materiales.

Actuación

GEOSTAB® tiene un gran potencial de intercambio iónico lo que genera una interacción de sus cargas eléctricas con las partículas de arcilla, obligando al agua adherida a romper su enlace electroquímico convirtiéndola a su vez en agua libre; este proceso de pérdida de agua es irreversible. Esta modificación en el comportamiento eléctrico incrementada con la tenso – actividad que desarrolla el producto, obliga a tales partículas a reorientarse de manera tal que se atraen entre si logrando una mayor densificación y consolidación del terreno, aumenta la resistencia del suelo y por ende su capacidad portante CBR (ver cuadro siguiente). Cuando se desea realizar ensayos de laboratorio, que detecten y nos permita cuantificar estas

modificaciones favorables, deben hacerse, lecturas comparativas y simultaneas (vía tratada versus vía similar) después de 60 días de realizada la aplicación. (Ver recomendaciones para ensayos de laboratorio)

En el mantenimiento de vías sin pavimentar, al aplicar **GEOSTAB®**, se incrementa la densificación de la fracción fina (5% a 15%) que al actuar como aglomerante obliga a que los granulares se fijen en la superficie, permitiendo así la reutilización o reciclaje de los afirmados contaminados.

En el siguiente cuadro se indican los incrementos de resistencia que se obtienen con la aplicación de **GEOSTAB®**, en las diferentes clasificaciones de los suelos.

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE EN SUELOS TRATADOS CON GEOSTAB					
No tratado 95% DMS			Tratado 100% DMS		
Compresibilidad Kp/cm ²	Clasificación	CBR %	CBR %	Clasificación	Compresibilidad Kp/cm ²
150	Malo	3	>9	Aceptable	>200
200	Aceptable	6	>15	Bueno	>450
450	Bueno	15	>25	Muy Bueno	>600
600	Muy Bueno	25	>30	Extra	>650

Conclusiones

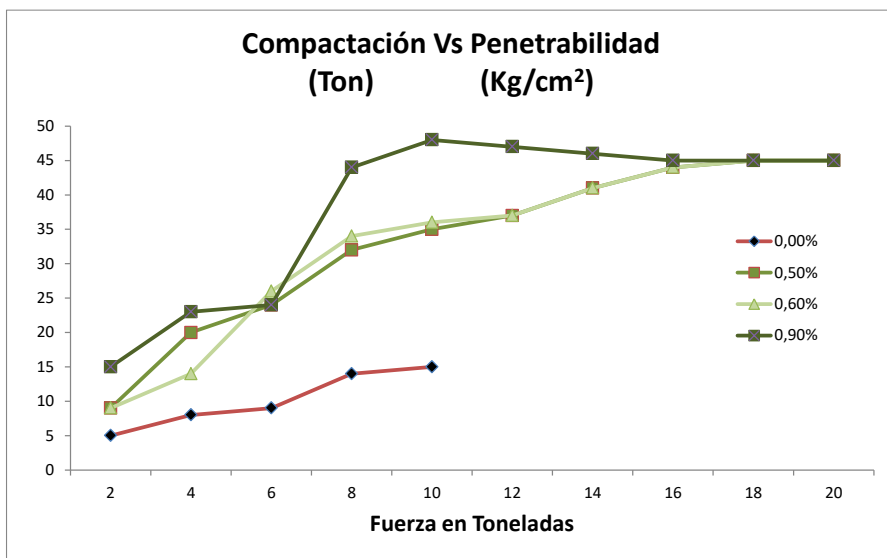
La estabilidad de un suelo está asociada con su capacidad portante CBR y es función inversa de la humedad. La aplicación de **GEOSTAB®**, en suelos arcillosos controla permanentemente y en forma eficiente los problemas de variaciones volumétricas (expansividad y contracción), disminuye la humedad óptima (2% a 3.5%), la compresibilidad y permeabilidad; aumenta a su vez la resistencia y densificación de los suelos. La consecuencia lógica de todos estos efectos, es obtener con los elementos naturales del lugar la capacidad portante necesaria y la reducción de los espesores de las capas de material granular

importado para base y sub – base y aun de capa asfáltica o pavimento, con lo cual también se logran economías en tiempo y transportes.

En los casos de vías o caminos en los que las exigencias de capacidad portante del suelo no sean muy altas (secundarias y terciarias), puede llegarse con el visto bueno del ingeniero de suelos, a la supresión total de las capas de materiales granulares. Sin embargo, es recomendable colocar una capa de protección con funciones antideslizantes (arena – emulsión, afirmado tratado con enzimas cementantes o crudo de castilla).

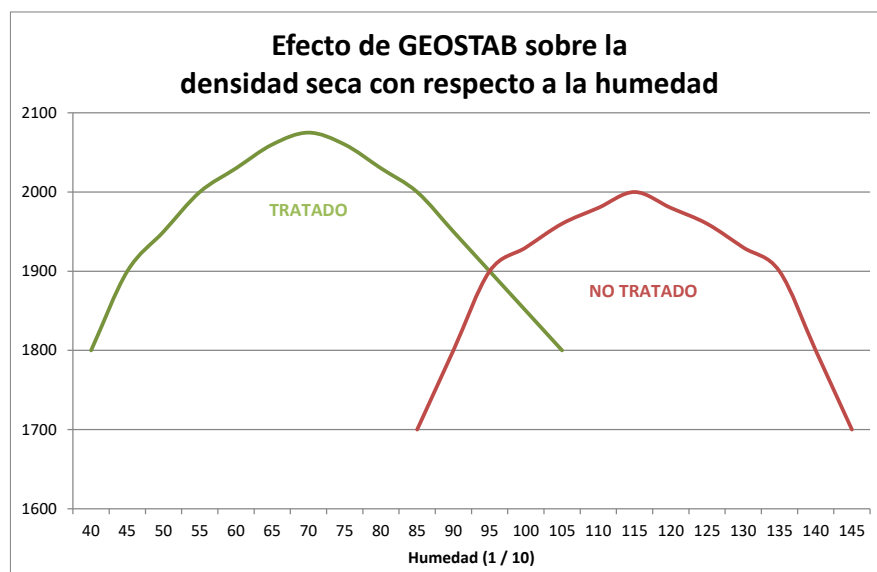
Además la aplicación de **GEOSTAB®** logra también economías en tiempo y costos al mejorar las condiciones generales de los materiales de afirmado y permitir su reutilización (reciclaje) y la de los otros materiales granulares contaminados que de cualquier otra forma exigirían su desecho y

reemplazo o por lo menos la adición de nuevos granulares. La permanencia de sus efectos hace que las operaciones de mantenimiento y reparación se dilaten en el tiempo, minimizando los costos



Al someter probetas de arcilla, tratadas a diferentes concentraciones de **GEOSTAB®**, a una fuerza de compresión en una prensa y midiendo luego la resistencia con un penetrómetro calibrado en Kg/cm² se observa el incremento en la resistencia

Se observa el efecto de **GEOSTAB®** en el aumento de la densidad seca con respecto a la humedad en un material arcilloso.



En los cuadros siguientes suministramos en forma resumida, los resultados comparativos obtenidos por diferentes laboratorios de prestigio y que son la ratificación práctica de los efectos benéficos que se obtienen con la aplicación de **GEOSTAB®**, en los diferentes materiales. (ver certificaciones correspondientes)

El informe BIL – 1010 de Diciembre de 1.993, de la firma Bateman Ingeniería Ltda. Muestra los resultados comparativos obtenidos, un año después de la aplicación de **GEOSTAB®**, en las arcillas que conforman el suelo natural (subrasante) del norte de la ciudad de Bogotá.

BATEMAN INGENIERÍA LTDA			
Calle 167 por carrera 60 – Bogotá. Suelo natural limo – arcilloso con gravas finas			
Fecha de aplicación: Nov/92	Fecha Lectura: Dic/93		
Ítem	Sin Tratar	Con GEOSTAB®	Modificación %
Índice de plasticidad (IP.)	46	32	-30.4
% que pasa tamiz 200.	92.0	56.9	-38.2
Peso Unit. Max. Ton/m ³	1.223	1.537	+25.7
% de compactación	83.0	90.0	+8.4
C.B.R. % (0.1")	< 1.0	26.0	+250
(0.2")	< 1.0	27.0	+250

Los informes LSPA 077 y 128 – 96 de la Dra. María Cristina de la Torre, jefe del laboratorio de la Secretaría de Obras Públicas de Cundinamarca muestra los resultados comparativos obtenidos 120 días después de la aplicación de **GEOSTAB®** para el reciclaje de afirmado, en vías del departamento.

SOP. DE CUNDINAMARCA						
Reciclaje de afirmados de cantera						
Municipios Vías	Mesitas Tres torres – San Miguel 2 primeros Kms.			Chuscales Junin – Chuscales San Benito – Terama		
Ítem	Testigo	Tratado GEOSTAB®	Modific. %	Testigo	Tratado GEOSTAB®	Modific. %
Índice Plástico (IP.)	16	8	-50	9	N.P.	-100
CBR: 100% Compac.	29	51	+76	30	79	+163
50% Compac.	20	29	+45	23	38	+65
Expansión CBR (%)				0.7	0.2	-71

El informe de Junio de 1.994 del ingeniero Melquisdec Cantor, de la firma Pilotajes Técnicos muestra los resultados obtenidos, por el método de Lambre, 60 días después del tratamiento con **GEOSTAB®**, para el control de la expansividad IE en arcillas que conforman el suelo natural (subrasante) del sur de la ciudad de Bogotá.

PILOTAJES TÉCNICOS Urb. San Nicolás – Soacha, Cundinamarca			
Fecha tratamiento: Abr/94	Fecha Lectura: Jun 94		
	Expansividad I.E. (Kp/cm ²)		Modificación %
Material	Sin Tratar	Con GEOSTAB®	
Neme Superficial	0.55	0.15	72.7
Arcila	0.50	0.13	74.0

El informe del ingeniero Nestor Rueda de la firma ETA Ltda., muestra los resultados comparativos obtenidos a los 60 días de la aplicación de **GEOSTAB®**, para la reducción y control de la plasticidad IP., en los recebos (sub – base) que se utilizan en la ciudad de Bogotá.

ETA Ltda Intersección Avenida 19 por Ciudad de Cali			
Fecha aplicación: Mar/95	Fecha Lectura: Jun/95		
Ítem	Sin Tratar	Tratamiento con GEOSTAB®	Modificación %
Índice de Plasticidad (I.P.)	13	7	-46.2
% que pasa tamiz 200	34.7	23.7	-31.7
Peso Unit. Max. Ton/m ³	1.900	2.000	+5.3
% de Compactación	89.0	95.0	+6.7

Alcances

GEOSTAB® cumple con éxito su labor mejoradora y estabilizadora en los suelos y materiales de la clasificación (AASHO) A – 4 hasta A – 7 y los que pertenecen a los grupos ML, CL, OL, MH, OH y CH de la clasificación unificada. Los materiales que pertenecen a otras clasificaciones (granulares lavados) que requieren aglomerante deben mezclarse con finos tratados. Las aguas para la solución deben ser relativamente puras (agua para dar de beber al ganado) y no pueden utilizarse aguas salinas.

ALCANCES DE GEOSTAB®					
Tipo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno	Optimo
CBR. %	2 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40	> 40
Unificada	OH – OL – CH – CL	ML – CL – OL – MH	ML – CL – SM – SP	GP – GM – GC – SW – SM – SP	GW – GM – GP
AASHTO	A 6 – A 8	A 4 – A 6	A 4	A2 – A4	A1 – A2
IG	> 16	8 – 16	4 – 8	0 – 4	0
K/cm ²	1 – 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 3,5	3,5 – 6	> 6
K/cm ³	< 4	4 – 5,5	5,5 – 7	7 – 12	> 12
Composición	Limos y Arcillas			Arenas y Gravas	
Respuesta al GEOSTAB®	Muy Favorable IP – IE – CBR – IG			Reducida	Nula



METODOS DE APLICACIÓN

Cada suelo y cada condición son diferentes y exigen análisis cuidadoso de laboratorio que permita conocer a fondo los materiales y realizar un diseño acorde con las exigencias de la vía.

Después de múltiples ensayos de CCCE (Capacidad de Cambio Catiónico Específico) en diferentes materiales, se determinó que la concentración requerida de **GEOSTAB®** debe ser del orden de entre cincuenta y ochenta centímetros cúbicos por metro cúbico de material a tratar (50 – 80 cc/m³). Las soluciones ideales de **GEOSTAB®** son las que, suministrando la dosis indicada, llevan la humedad del suelo a las condiciones óptimas de compactación (< 2%)

Existen básicamente dos sistemas de aplicar **GEOSTAB®** a la masa del suelo y su determinación depende del tipo de trabajo a realizar, de la decisión de los ingenieros de construcción e interventoría, previo concepto del ingeniero de suelos y teniendo en cuenta los equipos disponibles y las condiciones generales del terreno.

El departamento técnico de HYDRAM Ltda está siempre dispuesto a asesorar, aclarar las dudas que puedan presentarse y a realizar recomendaciones respecto de la aplicación y usos de **GEOSTAB®**.

A. Incorporación

- **PROFUNDA:** Para la construcción de vías de alta intensidad de tráfico en las que se requiere mayor espesor en la capa tratada de sub base y en los materiales para conformar terraplenes.

Este sencillo sistema consiste en:

A. Luego de realizar el descapote o limpieza se hace una caja de la profundidad indicada en el estudio de suelos (igual a la que

haría cuando no se hace estabilización), acordonando el material extraído fuera de la zona de trabajo.

B. Se procede a hacer escarificación profunda en la base de la caja y se efectúa la irrigación con la solución que suministre la dosis indicada de **GEOSTAB®** y lleve el material a la humedad óptima de compactación y se compacta correctamente.

C. Tomando luego el material acordonado se reintegra y distribuye, conformándolo por capas de unos quince a veinte centímetros de espesor, para luego efectuar nuevamente un riego con la solución que suministre la dosis indicada de **GEOSTAB®** y lleve el material a la humedad óptima de compactación.

D. Se procede a realizar una conformación apropiada que cuide los peraltes y bombeos para proceder finalmente con una vigorosa compactación.

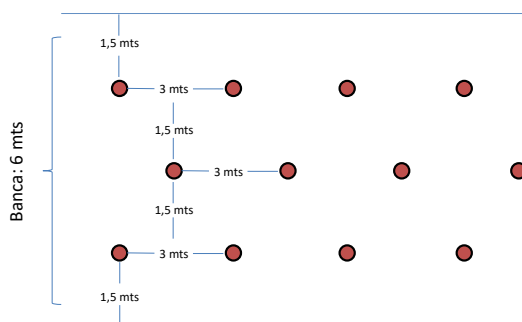
- **SUPERFICIAL:** Para la construcción de vías se emplea este sistema para estabilizar y mejorar las características generales y de soporte del suelo natural (sub – rasante) y de los materiales con fracción fina (sub – base) y en el mantenimiento de las vías sin pavimento, para reciclar el afirmado contaminado que constituye la capa de rodadura o protección. En este procedimiento no se constituye la caja (Ítem A) y por esta razón tampoco se revierte el material (Ítem C). Simplemente se escarifica la superficie a una profundidad cercana a los quince o veinte centímetros, se irriga la solución de **GEOSTAB®**, se conforma y se compacta.

En el tratamiento del material con fracción fina para rodadura o sub – base y en las capas que constituyen terraplenes, se opera igual que con el material revertido (Ítem C) En los suelos de origen volcánico este sistema es el único aplicable.



B. Inoculación

Este sistema se emplea para hacer mantenimiento y reciclar materiales contaminados en vías ya construidas y para tratar estratos arcillosos profundos. Consiste en realizar una serie de perforaciones en el suelo a tratar, con el diámetro, la distancia y la profundidad recomendadas por el ingeniero de suelos. Los más usuales son: Entre diez y treinta centímetros de diámetro, espaciados de tres a cuatro metros entre si con el sistema de tres bolillo y de profundidad de un metro dentro del manto arcilloso. Estos orificios se llenan con la solución que suministre la dosis indicada de **GEOSTAB®** de acuerdo con el área aferente. Se dejan transcurrir unas 24 horas y luego de rellenar las perforaciones con el material que se extrajo se compacta lo mejor posible. En los casos en que la capa de material a tratar sea superficial, se procede a realizar escarificación de unos treinta centímetros de profundidad para aplicar a continuación un riego con la solución de **GEOSTAB®** que suministre la dosis aproximada de 15 – 24 cc por metro cuadrado para finalmente proceder a nivelar, conformar y compactar.



En lo posible y cuando se considere necesario (confinamiento) se debe construir, durante el proceso, sistemas adicionales provisionales que permitan el drenaje de las aguas que se desprenden, igualmente y después de ejecutado el proceso se deben colocar las capas de material granular, de protección o rodadura.

Existe también el sistema de inyecciones a baja presión, que se utiliza cuando no se desea o no se pueden hacer perforaciones, cuando el estrato a tratar es muy profundo (taludes o rellenos) o cuando el material a tratar está saturado.

Recomendaciones adicionales

Los equipos que se utilizan para la aplicación e incorporación de **GEOSTAB®** son los mismos que se emplean habitualmente en la construcción y mantenimiento de vías. La mejor compactación de los suelos susceptibles de la acción de **GEOSTAB®** se obtiene con rodillos Pata de Cabra.

GEOSTAB® no evita que la construcción deba cumplir con todas las exigencias normales a cualquier vía, tales como: Diseño que considere, de acuerdo a los estudios hidrológico y de suelos, la altura de los terraplenes, el número, capacidad y localización de los drenajes, los puentes y las alcantarillas; compactación por capas y control de humedad de los materiales que conforman la subrasante y de los diferentes materiales que se indiquen para la sub – base, la base y el pavimento, todo de acuerdo a las exigencias de cargas y frecuencias (ver cuadro siguiente); pendiente transversal (bombeo) de la rasante del orden del dos punto cinco por ciento (2.5%); control de calidad de los materiales y de su colocación y finalmente mantenimiento adecuado de la vía y sus obras anexas.

En lo posible debe evitarse la construcción de vías y la aplicación de **GEOSTAB®** en época invernal, por las consecuentes dificultades operacionales.

El siguiente cuadro nos indica los diferentes espesores de los pavimentos de acuerdo con el CBR y la intensidad del tráfico así como las equivalencias de las diferentes clasificaciones.

Espesor de los pavimentos (Cms.) según el CBR y el tránsito				
CBR	2 – 5	5 – 10	10 – 20	> 40
Tránsito bajo	45	30	20	10
Tránsito medio	60	40	25	15
Tránsito alto	90	55	35	20
CBR	2 – 5	5 – 10	10 – 20	> 40
Cap. Portante Kg/cm ²	1 – 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 3,5	> 6,0
Tipo	Malo	Regular	Bueno	Óptimo

Road Research Laboratory of England. Ing. J. C. Hiedra López.

En cualquiera de las labores de mantenimiento o cada vez, que por cualquier motivo, sea necesario remover los materiales, deberá adicionarse **GEOSTAB®** al agua de compactación.

Los resultados de los ensayos convencionales de laboratorio para evaluar los efectos de la estabilización electroquímica de los suelos tratados con aceite sulfonado no siempre se -

ajustan a la realidad de campo. Autores españoles y experiencias realizadas en Brasil, y en Estados Unidos confirman esta apreciación.

El departamento técnico de Hydram Ltda está siempre dispuesto a aclarar todas las dudas que sobre la utilización de nuestro estabilizador de arcillas **GEOSTAB®**, puedan surgir y recomienda seguir siempre las instrucciones del ingeniero de suelos.

INDICACIONES PARA LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES TRATADOS CON GEOSTAB®

Según los resultados obtenidos por nosotros y por los laboratorios de suelos que han realizado lecturas en vías tratadas con **GEOSTAB®**, las conclusiones de ensayos no representan el comportamiento real del material y únicamente pueden ser utilizados como un sistema comparativo. Esta apreciación ha sido ratificada por los tratadistas norteamericanos y europeos que han analizado el comportamiento de los sulfonados específicos, como estabilizadores de arcilla.

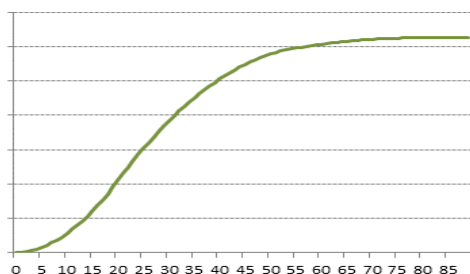
La explicación de este fenómeno radica en el efecto de la radiación solar, el intemperismo y la acción de la luz ultravioleta, los cuales son

agentes que mediante un proceso oxidativo catalizan la reacción electroquímica entre los aceites sulfonados y el suelo

Por lo anterior, siempre que se monte una muestra de cualquier material de suelo tratado con este tipo de productos, debe montarse simultáneamente una muestra testigo, en cuya elaboración deben seguirse, con excepción de la adición del estabilizador los mismos pasos y procedimientos que la muestra tratada y deben leerse simultáneamente la muestra tratada y la muestra testigo para establecer las comparaciones. Igualmente todas las veces en que se hagan lecturas de campo de vías

tratadas, deben hacerse simultáneamente lecturas en un tramo de vía no tratada de características similares (intensidad de tráfico, factores ambientales, mantenimiento, materiales etc.)

No debemos olvidar que los efectos de **GEOSTAB®** son de carácter permanente y se inician en el momento mismo de la aplicación pero únicamente comienzan a ser perceptibles después de un tiempo prudencial y continúan incrementándose en forma acelerada siguiendo una curva asintótica hasta por unos noventa días aproximadamente



Dado que la reacción de **GEOSTAB®** en el suelo es de carácter electroquímico, cuando se hagan análisis con suelos tratados deben evitarse, los implementos metálicos que se utilizan para la toma de muestras (cilindros), como otros elementos ya que pueden alterar los resultados.

La concentración de la solución de **GEOSTAB®** no reviste mayor importancia y en la realidad en muchas ocasiones se hace necesario adicionar agua, sin estabilizador, para poder llevar el suelo a la humedad óptima de compactación. Sin embargo la concentración recomendada es alrededor del 0,5% – 0,8%. Para obtener esta solución en laboratorio de disuelven 5 cc – 8 cc de **GEOSTAB®** en un litro de agua.

Las dosis ideales se obtienen por medio del análisis ECCC que nos indica la capacidad de intercambio de los cationes específicos en cada suelo determinado. Hemos encontrado que dichas dosis de **GEOSTAB®** oscilan entre los 50 y los 80 cc/m³ con promedio de 65 cc/m³. Para poder aplicar esta dosis en laboratorio debemos determinar el peso específico en base seca del suelo a analizar y con esta información aplicaremos los siguientes volúmenes de solución de **GEOSTAB®** a la concentración determinada (50/1000 – 65/1000 – 80/1000) por cada kilo de muestra.

Peso específico Ton/m ³	Solución por Kilo de muestra
1,8	5,55 cc
2,0	5,00 cc
2,2	4,55 cc
2,4	4,16 cc

En el caso en que la muestra quede demasiado seca debe adicionarse el agua que se considere necesaria y no debe olvidarse incorporar el mismo volumen de agua a la muestra testigo.

Para nosotros reviste gran importancia e interés conocer, en primera instancia, los resultados detalles y minucias de sus observaciones para comentarlos y analizarlos con ustedes y poder llegar en forma conjunta a las conclusiones correspondientes en cada caso.

El departamento técnico de Hydrm Ltda está siempre disponible para aclarar cualquier duda que pueda surgir respecto de los usos, aplicaciones, sistemas y ensayos con nuestro estabilizador electroquímico de arcillas **GEOSTAB®**





PRODUCTO CON TECNOLOGÍA COLOMBIANA PERTENECIENTE AL GRUPO DE LOS DERIVADOS SULFONADOS DE LA FRACCIÓN NAFTELÉNICA DE HIDROCARBUROS, PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA MAS FRECUENTE EN LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENILIENTO DE VÍAS

Aplicación sencilla (equipo corriente)

Bajos costos (1 litro para tratar hasta 20 metros cúbicos)

PERMANENCIA DE SUS EFECTOS EN EL SUELO

INCREMENTA

Capacidad portante
Densidad
Impermeabilidad
Duración de las vías
Facilidad de compactación
Velocidad de construcción

REDUCE

Consumo de granulares
Consumo de combustibles
Costos de mantenimiento
Índice de grupo (AASHTO)
Expansividad
Contaminación
Tiempos y movimientos

Modifica favorablemente el IP al mejorar los límites (líquido y plástico)

Indispensable en el mantenimiento de las vías para reciclaje de los materiales granulares contaminados.



CERTIFICACIONES

Santafé de Bogotá, D. C., Diciembre 29 de 1993
BIL-1010

Señores
ACRESQUIM LTDA
Atn: Dr. Luis Saenz M.
Ciudad.

REF: Ensayos GEO-STAB. Calle 167 por carrera 60.

Apreciado Doctor

Adjuntamos con la presente los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en el proyecto de la referencia.

La metodología de trabajo que se siguió fue la siguiente:

- a) Se hicieron dos (2) apiques para la toma de muestras del material. El primero en la calle 167 con la carrera 60, en la zona donde en noviembre de 1992 se había aplicado el Geo-Stab y el otro en un sector aledaño al anterior (calle 167 No. 60-33) en donde no se había colocado el estabilizador de arcillas.
- b) Sobre las muestras obtenidas se hicieron ensayos de clasificación (límites líquido y plástico y porcentaje que pasa tamiz No. 200); ensayo de compactación Proctor Modificado y ensayos de Valor Relativo de Soporte (CBR%) sobre muestras inalteradas.
- c) Análisis e interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio.

Anexo a este oficio se adjuntan los resultados de los ensayos de laboratorio.

BIL-1010-2

El resumen de resultados es el siguiente:

	Muestra No. 1 (Con Geo-Stab)	Muestra No. 2 (Sin Geo-Stab)
	-----	-----
- Descripción	Limo arcilloso carme- lito con gravas de grano medio y fino, con vetas arenosas y con raíces.	Limo arcilloso negro con gravas finas
	-----	-----
- Profundidad (m)	0.20	0.35
- Límite líquido	62	103
- Índice de plasticidad (IP)	32	46
- % que pasa tamiz No 200	56.9	92.0
- Clasificación USC	MH CH	MH
- Peso unitario máximo (ton/m3)	1.537	1.223
- Humedad óptima	20.8	39.7
- Densidad en el terreno (porcentaje de compactación)	90.0	83.0
- C.B.R. (para 0.1")	26.0	< 1.0% (*)
(para 0.2")	27.0	

(*) no se pudo hacer la penetración.

De los resultados de los ensayos de laboratorio y de las apreciaciones que se hicieron en el sitio de la obra, fácilmente puede observarse que el comportamiento del material ha sido excelente, especialmente en lo que se refiere a la disminución en el índice de plasticidad; por tanto, en su potencial de deformación y en el incremento tanto en la densidad del material, como en su capacidad portante (medida a partir del CBR).

La conclusión general de los resultados es simplemente el hecho de ratificar los usos y las ventajas que del producto se hacen en los manuales de distribución del Geo-Stab.

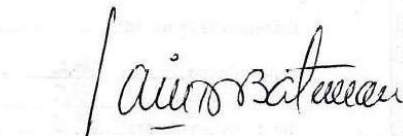
BIL-1010-3

La suma de los altísimos potenciales de compresibilidad de los suelos de la Sabana de Bogotá (subrasantes), con el problema de las fuentes de materiales de los alrededores de la ciudad, las cuales tiene intercalaciones de arcillolita y limolita con espesores apreciables en algunos casos, que proporcionan plasticidad a la mezcla de materiales que resultan de la explotación, ha creado en términos generales una problemática en el comportamiento de las vías en nuestra ciudad, bien conocida por toda la ciudadanía. La utilización de estabilizantes como el Geo-Stab (o similares) es una solución muy acertada para la problemática del comportamiento de las vías en la Sabana de Bogotá o en suelos de características geotécnicas similares a ésta, ya que el resultado de su utilización implica simultáneamente el incremento de capacidad portante y la disminución del potencial compresivo, efectos que actuando simultáneamente llevan a comportamientos más que adecuados para este tipo de vías.

Gustosamente atenderemos cualquier aclaración o ampliación que requiera al respecto.

Agradecemos la oportunidad de haber podido colaborarles en este trabajo y sin otro particular, suscribimos cordialmente,

BATEMAN INGENIERIA LIMITADA



ING. JAIME D. BATEMAN DURAN
Director



Santa Fé de Bogotá D.C.
Junio 1 de 1.994.

Señores
PROMOTORA "ORBE"
Atn. Ing. Oriana Pineda.
Ciudad

Ref: Urbanización "SAN NICOLAS"
Soacha (Cund.).

Apreciados Señores

De conformidad con sus instrucciones se realizaron los ensayos de laboratorio y el seguimiento de Control de expansividad y de IP. (Indice de plasticidad), de los Dos mantos Arcillosos que componen los suelos de la obra en referencia, t--ratados con **Aceite Sulfonado (GEO-STAB)**.

Se emplearon varias dosis diferentes del Estabilizador y se hicieron lecturas a los 20, 40 y 60 días de hecho el tratamiento.

Las dosis mas altas aunque finalmente llevaron a resultados similares, fueron mas lentas en su acción. El análisis de estos resultados de laboratorio, lleva a la conclusión de que las dosis mas indicadas para los Dos tipos de suelos fueron:

A) Para el estrato superior (neme) de 75 cc/m³ con los siguientes resultados:

Estrato del suelo	ITEM	Testigos	Días de tratamiento con 75cc/m ³ GEO-STAB		
			20	40	60
Superficial 1	IE. * (KP/cm ²)	0,55	0,56	0,35	0,15
	%		+1,8	-36	-73
	IP. %	41,6	35,2		39,9

* = Indice de expansividad (Ensayo de Lambe)

Carrera 14 No. 4-51 - Teléfonos: 433 74 11 - 433 67 29 - Engativá - Santafé de Bogotá, D.C.



B) Para el segundo estrato (Arcilla Gris) de 50cc/m³ y sus resultados fueron:

Estrato del suelo	ITEM	Testigos	Días de tratamiento con 75cc/m ³ GEO-STAB		
			20	40	60
2	IE. * (KP/cm ²)	0,50	0,25	0,20	0,13
	%		-50	-60	-74
	IP. %	34,8	36,5	24,0	29,3

* = Indice de expansividad (Ensayo de Lambe)

Es importante anotar que el Cambio potencial de volumen se modificó con el tratamiento estabilizador, pasando en tan corto tiempo y en todas las dosis, de Crítico a Marginal.

Sin otro particular nos suscribimos de Ustedes Atentamente,

PILOTAJES TECNICOS.

MELKISEDEC CANTOR
Ingeniero.

Carrera 14 No. 4-51 - Teléfonos: 433 74 11 - 433 67 29 - Engativá - Santafé de Bogotá, D.C.

**INFORME SOBRE LA UTILIZACION DE GEO-STAB COMO
ESTABILIZANTE PARA MATERIALES DE RELLENO PARA SUBBASE
EMPLEADOS EN LOS CRUCES PARA LA INTERSECCION DE LA
CALLE 19 POR AVENIDA CIUDAD DE QUITO.**

I. INTRODUCCION

En este informe se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio para el tratamiento de los materiales de relleno para subbase con Geo Stab para cruces de la intersección de la calle 19 por Avenida Ciudad de Quito. Así mismo, se presentan los resultados en los materiales sin utilización del estabilizador.

2. METODOLOGIA

La metodología empleada fue la siguiente:

- Se utilizaron materiales de la cantera El Tesoro de Soacha que presentaron alta pasticidad lo que los hacía no aceptables para subbase. Por lo anterior y con el fin de hacer más efectiva la investigación se decidió efectuar rellenos con dicho material con y sin Geo - Stab.

La proporción empleada de Geo - Stab fue de 50 Cm³ po m³ de material.

- Despues de (2) meses de efectuado los rellenos se hicieron dos (2) barrenos para la toma de muestras del material. Un barreno se efectuó en la zona donde se había aplicado el Geo-Stab y el otro donde no se había utilizado.
- Sobre las muestras obtenidas se efectuaron ensayos de granulometría, límites líquido y plástico y densidad de campo.
- Una vez obtenidos los resultados anteriores se efectuó el análisis y la interpretación de dichos resultados.

3. RESULTADOS

El resumen de los resultados es el siguiente.

	Muestra No. 1 (con Geo-Stab) -----	Muestra No. 2 (sin Geo-Stab) -----
- Descripción	Arena limo-arcillosa de color amarillo -----	Arena arcillosa de color amarillo -----
- Profundidad (m)	0.50	0.50
- Limite líquido	18	27
- Límite pastico	11	14
- Indice de plasticidad (IP)	7	13
- % que pasa tamiz No. 200	23.7	34.7
- Clasificación USC	SC-SM	SC
- Peso unitario máximo (kg/m3)	2.000	1.900
- Humedad óptima	9.6	11.5
- Densidad en el terreno (porcentaje de compactación)	95.0	89.0

De los resultados de los ensayos de laboratorio y de las observaciones que se hicieron en la obra se puede concluir que la aplicación del Geo-Stab al relleno produjo una disminución importante en el índice de plasticidad (46%), lo cual conlleva a una disminución de su potencial de deformación y a un aumento de su densidad y por consiguiente de su capacidad de soporte.

Los resultados anteriores nos permiten concluir que el Geo- Stab puede usarse para la estabilización de rellenos como los existentes en la sabana de Bogotá que tiene intercalaciones de arcillolita y limolita lo que los hace de alta plasticidad. El empleo del Geo-Stab conlleva a un incremento de la capacidad portante de los rellenos efectuados con materiales plásticos y una disminución de su compresibilidad lo cual es muy importante en el comportamiento y durabilidad de las vías construídas con dichos materiales.



ING. NÉSTOR RUEDA A.

Mat. 68202-05344 de Santander



República de Colombia
Gobernación de Cundinamarca
Secretaría de Obras Públicas

LSPA-128-96

Número _____

Santafé de Bogotá, D.C., 14 de Marzo de 1996

Doctor
RAMON PINILLA
Jefe Distrito del Guavio
E. S. D.

ASUNTO: Análisis afirmado carretera Junín - Chuscales

Para su información le comunico los resultados de los ensayos efectuados al afirmado proveniente de la carretera Junin-Cuscales, sector San Benito. Vereda Terama, estabilizado con Geo-Stab.

	Antes del	Después del Tratamiento		
	Tratamiento	Dos Meses	Cuatro	Meses
	(1)	(2)	(3)	(4)
Límite líquido (%)	30	NL	NL	NL
Índice plástico (%)	9	NP	NP	NP
- Granulometría				
Tamíz	% Pasa	% Pasa		
3"	87	100		
2 1/2"	80	100		
2"	73	96		
1 1/2"	63	81		
1"	55	72		
3/4"	49	63		
1/2"	43	53		
3/8"	39	47		
# 4	34	38		
# 10	29	33		
# 40	26	30		
# 200	20	25		
Clasific. AASHO	A-2-4	A-2-4		
USUC	GC	GM		
Dens. Máx Lab (Lbs/Pie3)	126.4	133.5	133.5	133.6
Hum. Opt. Lab (%)	11.4	8.5	-	8.5
CBR 100% de Comp. (%)	30	75	95	79
CBR 95% de Comp. (%)	23	49	68	38
Expansión CBR (%)	0.7 (4 días Inmersión)	No (3 días Inmersión)	Sin Inm.	0.2 (3 días Inmersión)

/...

COMETARIOS

El recebo tratado nos proporcionó los resultados de la columna 2-3 y 4 El CBR de la columna 3 se obtuvo penetrando nuevamente los cilindros compactados de la columna 2 por la otra cara, luego de dos meses de tenerlos en un cuarto frío, no se sumergieron.

El CBR de la columna 4 hace referencia a resultados empleando la muestra de afirmado igual al ensayado para obtener la columna 2, pero que se había conservado hasta los 4 meses sin ninguna manipulación.

Comparando los resultados, las propiedades índice cambiaron, mejorando las características del recebo. Se espera poder hacer una inspección a la zona tratada y calificar la incidencia que ha tenido el invierno y el tráfico. Se debe establecer también el tiempo que estará sin requerir mantenimiento, ya que este es el verdadero tramo modelo en las condiciones reales.

No se desconoce la influencia que puede tener en la ejecución del ensayo de CBR el uso de formaletas metálicas, sin embargo los resultados son satisfactorios.

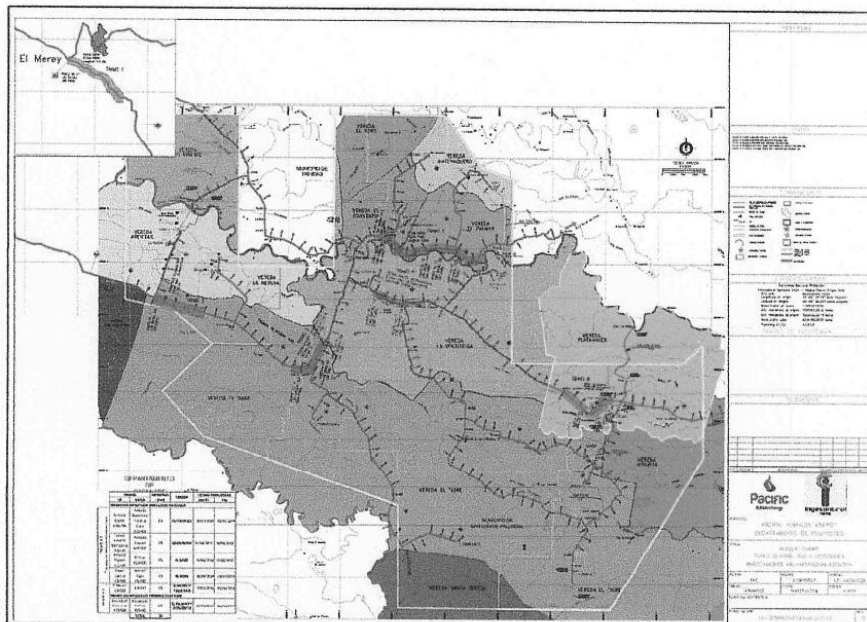
Cordialmente,



MARIA CRISTINA DE LA TORRE S.
Ingeniero Jefe Laboratorio

Copias: Dr. Oscar Giraldo O. - Director Técnico
Dr. Juan Torres J. - Jefe de Vías
Archivo

**RESULTADOS ENSAYOS CBR DE CAMPO EN LAS VIAS
DE LAS VEREDAS EL TIGRE, LA VENTUROSA,
PLATANALES, EL PALMAR, EL CONVENTO Y EL MEREY
EN EL MUNICIPIO DE SAN LUIS DE PALENQUE,
DEPARTAMENTO DE CASANARE.**



ABRIL DEL 2014

GENERALIDADES

El trabajo se desarrolló en dos etapas, la primera consistió en realizar diecisiete (17 apiques) sobre el corredor de diseño, a una profundidad promedio de 1.50 metros, sobre la subrasante, la ubicación de cada uno de los apiques se presenta a continuación:

APIQUE No	COORDENADAS		ALTURA (msnm)	LOCALIZACION
	N	E		
1	963872	1070731	155	VEREDA EL TIGRE
2	965558	1070229	163	VEREDA EL TIGRE
3	970580	1067418	142	VEREDA EL TIGRE
4	971096	1067615	141	VEREDA EL TIGRE
5	971625	1068616	149	VEREDA EL TIGRE
6	974409	1070962	144	VEREDA LA VENTUROSA
7	975583	1070590	148	VEREDA LA VENTUROSA
8	978240	1064174	141	VEREDA EL TIGRE FRENTE AL COLEGIO
9	985298	1066005	138	VEREDA PLATANALES
10	984767	1055632	145	VEREDA PLATANALES
11	983879	1065677	144	VEREDA PLATANALES
12	978220	1072960	154	VEREDA PALMAR
13	977396	1073269	141	VEREDA PALMAR
14	976355	1073140	145	VEREDA PLATANALES
15	974515	1073739	142	VEREDA EL CONVENTO
16	975590	1071957	146	VEREDA EL CONVENTO
17	975038	1073367	145	VEREDA EL CONVENTO
18	934074	1088917	185	VEREDA EL MEREY
19	934833	1088459	174	VEREDA EL MEREY
20	935651	1087820	185	VEREDA EL MEREY

En cada punto se tomaron muestras alteradas e semi inalteradas de, con el fin de desarrollar el siguiente programa de ensayos: humedad, límites de consistencia, CBR de campo con el anillo cortante y CBR con el cono PDC. La segunda etapa

consistió en repetir los ensayos de CBR de campo con el anillo cortante y CBR con el cono PDC sobre los mismo 17 puntos, mas tres puntos nuevos apiques en los cuales se desarrolló todo el programa de ensayos.

DATOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO

En el siguiente cuadro se presenta los resultados de los ensayos realizados en campo y laboratorio, sobre la subrasante sin estabilizar el día 20 de enero de 2014, repitiendo la actividad sobre la subrasante estabilizada el día 14 y 28 de marzo del 2014

APIQUE LENG	MUESTRA No	PROF (M)	CLASIFICACION		%W	LL	LP	IP	PASA 200	PU		Gs	CBR			
			AASHTO	USC						NATURAL			MEJORADO			
										CAMPO	PDC		CAMPO	PDC		
1	1	0,0-0,50	A-1-a	GM	8,5	0	0	0	24,47	2,44	2,26	2,52				
	2	0,5-1,50	A-4	SM	9,8	0	0	0	46,81	2,26	2,07	2,27	5,9	5,77	14,1	15,61
2	1	0,0-0,40	A-1-a	GM	3,0	0	0	0	14,73	2,43	2,23	2,52				
	2	0,40-1,60	A-4	CL	16,4	32	24,4	7,6	78	2,15	1,93	2,19	3,2	1,04	8,8	14,12
3	1	0,0-0,60	A-6	CL	19,4	34,5	22,2	12,3	91,07	2,23	1,96	2,28	6,2	5,62	17,5	26,63
	2	0,60-1,50	A-4	CL	20,0	32,4	23,6	8,8	85,10	2,19	1,97	2,22				
4	1	0,0-0,60	A-4	SM	15,2	0	0	0	42,62	2,28	2,18	2,18	5,2	3,65	13,4	10,02
	2	0,60-1,70	A-24	SM	16,1	0	0	0	18,4	2,29	2,09	2,09				
5	1	0,0-0,60	A-4	ML	17,7	0	0	0	62,01	2,01	1,87	1,76	8,6	1,84	13,2	13,4
	2	0,60-1,60	A-4	M	11,1	0	0	0	55,94	2,06	1,80	1,92				
6	1	0,0-0,90	A-4	SM	10,1	0	0	0	48,61	2,31	2,16	2,02	7,7	1,65	11,2	15,61
	2	0,90-1,70	A-4	SM	18,1	0	0	0	40,73	2,31	2,08	2,07				
7	1	0,0-1,60	A-4	SM	10,4	0	0	0	50,9	2,32	2,18	2,20	3,9	4,88	6,9	8,78
8		0,0-1,60	A-4	CL	14,29	29,4	19,8	9,6	75,28	2,32	2,07	2,21	6	9,71	16,4	17,94
9	1	0,0-0,55	A-4	CL	18,36	29,2	19,2	10	79,92	2,35	2,09	2,05	14,5	1,12	15,4	12
	2	0,55-1,50	A-4	CL	19,34	32,5	25,3	7,2	82,76	2,29	2,05	2,01				
10	1	0,0-0,90	A-4	SM	10,39	0	0	0	50,58	2,30	2,14	2,18	4,6	0,89	22,4	4,5
	2	0,90-1,60	A-4	CL	25,44	30,8	24,4	6,4	78,51	2,18	2,02	1,97				
11	1	0,0-1,0	A-4	SM	15,32	0	0	0	39,45	2,31	2,12	2,20				
	2	1,0-1,50	A-6	CL	27,45	34,9	22,3	12,6	93,82	2,24	1,95	1,93	6,5	1,2	17,0	4,5
12		0,0-1,50	A-4	SM	13,29	0	0	0	39,52	2,32	2,17	2,47	12,9	4,88	17,1	15,61
13	1	0,0-0,70	A-4	SM	10,04	0	0	0	47,88	2,26	2,08	2,02	9	1,46	10,0	13,4
	2	0,70-1,50	A-4	SM	21,05	0	0	0	43,32	2,27	2,16	2,36				
14		0,0-1,50	A-4	ML	8,78	0	0	0	51,72	2,01	1,82	1,77	4,6	1,94	13,6	14,86
15	1	0,0-1,0	A-4	SM	8,84	0	0	0	50,78	2,26	2,05	2,23	11,2	1,46	14,4	16,37
	2	1,0-1,60	A-24	SM	21,02	0	0	0	30,99	2,37	2,16	2,21				
16	1	0,0-0,90	A-4	SM	3,59	0	0	0	42,94	2,33	2,14	2,33	18,1	2,46	20,9	20,4
	2	0,90-1,60	A-24	SM	17,05	0	0	0	34,76	2,35	2,14	2,19				
17	1	0,0-1,0	A-24	SM	10,78	0	0	0	30,26	2,29	2,06	2,24	12	5,46	13,5	24,78
	2	1,0-1,50	A-24	SM	3,68	0	0	0	41,54	2,26	2,18	1,98				

BERNAL Y MEJIA INGENIEROS ASOCIADOS
CONSTRUCCION VIA ASFALTITA

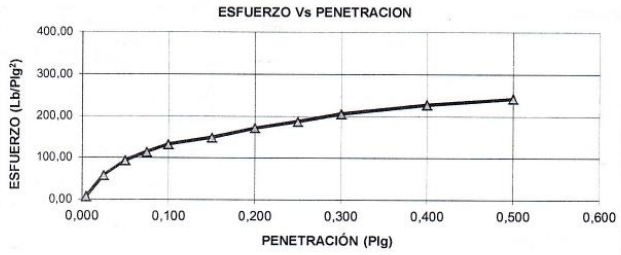
APIQ UE No	MUES TRA No	PROF (M)	CLASIFICACION		%W	LL	LP	IP	PASA 200	FU		Gs	CBR			
			AASHTO	USC						PH	PS		NATURAL		MEJORADO	
													CAMPO	PDC	CAMPO	PDC
18	1	0,0-0,50	A-1-b	GM	8,82	0	0	0	16,77	2,325	2,156	2,36				
	2	0,50-0,80	A-4	SM	9,79	0	0	0	43,83	2,138	1,948	2,27	11	2,8	17,7	16,37
	3	0,80-1,50	A-4	SM	15,23	0	0	0	42,97	2,152	1,953	2,18				
19	1	0,0-0,50	A-1-b	GM	9,05	0	0	0	16,62	2,263	2,066	2,46				
	2	0,50-1,0	A-4	SM	5,64	0	0	0	39,97	2,165	1,955	2,26	6,4	4,24	12,6	18,75
	3	1,0-1,50	A-4	SM	13,94	0	0	0	40,17	2,148	1,951	2,28				
20	1	0,0-0,40	A-1-a	GP	10,47	0	0	0	13,14	2,353	2,176	2,41				
	2	0,40-1,0	A-4	SM	5,20	0	0	0	41,87	2,157	1,973	2,25	11,4	3,31	6,4	14,12
	3	1,0-1,50	A-4	SM	16,01	0	0	0	36,58	2,175	1,977	2,2				
													8,45	3,27	14,13	14,89

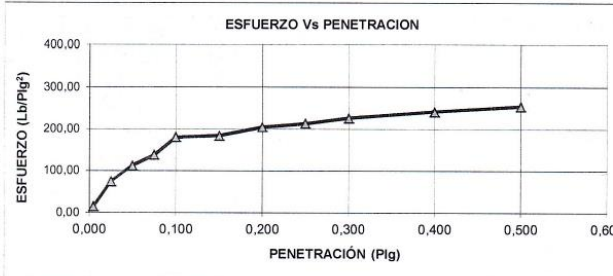
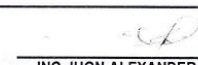
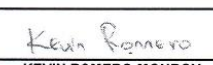
CONCLUSIONES

- El CBR del suelo natural promedio es de 5.96%.
- El CBR del suelo mejorado promedio es de 14.51%
- La capa de mejoramiento tiene un espesor promedio de 30 cm.
- El tipo de suelo presente en el área afectada por el proyecto corresponde a suelos finos, arcillas limos y arenas finas.
- En algunos tramos de la vía se presenta un material seleccionado de mejoramiento (grava limosa), de espesor promedio de 40 cm.
- Par evitar la contaminación del mejoramiento y de la estructura del pavimento se recomienda colocar una capa de geotextil no tejido 2000.
- Para la construcción de la estructura del pavimento se recomienda cumplir con la norma de INVIAS 2007, entre estas tenemos:

INCONS INGENIERIA LTDA
NIT: 832000118 - 9

RAUL SUAREZ SIZA
MAT. 2520245189 CND

 Ingenieria S.A.S. Laboratorio de Suelos, Concretos y Asfaltos	ENSAYO CBR METODO I	Codigo: Fo-L-020 Fecha: 29/10/2012 Version: 2 Pagina: 1 de 1																																																																															
	OBRA: PRUEBAS DE GEOSTAB DE 300 MTS REALIZADAS EN LA VIA CALONA (POZO)-KANANASKI (PLATAFORMA)																																																																																
	CLIENTE: HYDRAM LTDA																																																																																
	LOCALIZACION: VIA CALONA (POZO)-KANANASKI (PLATAFORMA)																																																																																
DESCRIPCION: ARCILLA ARENOSA DE COLOR NARANJA		NORMA: INV-E 148																																																																															
FECHA RECIBO: 26-mar-14		FECHA ENSAYO: 31-mar-14																																																																															
OBSERVACIONES: CBR - TERRENO CON APLICACIÓN																																																																																	
DIAMETRO DE LA MUESTRA: 15,11 cm ALTURA DE LA MUESTRA: 13,00 cm VOLUMEN DE LA MUESTRA: 2331,11 cm ³																																																																																	
PENETRACION																																																																																	
Constante del anillo = 2,21		Area Muestra = 3,141592654																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tiempo de Prueba</th> <th>Penetración (pulg) * 10⁻³</th> <th>Esfuerzo Estandar (lb/pulg²)</th> <th>Lect. Dial de carga</th> <th>Carga (lbs)</th> <th>Esfuerzo (lbs/pulg²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6 seg</td><td>0,005</td><td></td><td>9</td><td>19,89</td><td>6,61</td></tr> <tr><td>30 seg</td><td>0,025</td><td></td><td>78</td><td>172,38</td><td>57,27</td></tr> <tr><td>1 min</td><td>0,050</td><td></td><td>126</td><td>278,46</td><td>92,51</td></tr> <tr><td>1 min 30 seg</td><td>0,075</td><td></td><td>155</td><td>342,55</td><td>113,80</td></tr> <tr><td>2 min</td><td>0,100</td><td>1000</td><td>180</td><td>397,8</td><td>132,16</td></tr> <tr><td>2 min 30 seg</td><td>0,150</td><td></td><td>202</td><td>446,42</td><td>148,31</td></tr> <tr><td>3 min</td><td>0,200</td><td>1500</td><td>233</td><td>514,93</td><td>171,07</td></tr> <tr><td>4 min</td><td>0,250</td><td></td><td>255</td><td>563,55</td><td>187,22</td></tr> <tr><td>6 min</td><td>0,300</td><td></td><td>280</td><td>618,80</td><td>205,58</td></tr> <tr><td>8 min</td><td>0,400</td><td></td><td>310</td><td>685,10</td><td>227,61</td></tr> <tr><td>10 min</td><td>0,500</td><td></td><td>330</td><td>729,30</td><td>242,29</td></tr> </tbody> </table>	Tiempo de Prueba	Penetración (pulg) * 10 ⁻³	Esfuerzo Estandar (lb/pulg ²)	Lect. Dial de carga	Carga (lbs)	Esfuerzo (lbs/pulg ²)	6 seg	0,005		9	19,89	6,61	30 seg	0,025		78	172,38	57,27	1 min	0,050		126	278,46	92,51	1 min 30 seg	0,075		155	342,55	113,80	2 min	0,100	1000	180	397,8	132,16	2 min 30 seg	0,150		202	446,42	148,31	3 min	0,200	1500	233	514,93	171,07	4 min	0,250		255	563,55	187,22	6 min	0,300		280	618,80	205,58	8 min	0,400		310	685,10	227,61	10 min	0,500		330	729,30	242,29	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">VALOR CORREGIDO DEL C.B.R.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 0.1"</td> <td>13,22</td> </tr> <tr> <td>A 0.2"</td> <td>11,40</td> </tr> <tr> <td>Valor escogido</td> <td>13,22</td> </tr> </tbody> </table>	VALOR CORREGIDO DEL C.B.R.		A 0.1"	13,22	A 0.2"	11,40	Valor escogido	13,22
Tiempo de Prueba	Penetración (pulg) * 10 ⁻³	Esfuerzo Estandar (lb/pulg ²)	Lect. Dial de carga	Carga (lbs)	Esfuerzo (lbs/pulg ²)																																																																												
6 seg	0,005		9	19,89	6,61																																																																												
30 seg	0,025		78	172,38	57,27																																																																												
1 min	0,050		126	278,46	92,51																																																																												
1 min 30 seg	0,075		155	342,55	113,80																																																																												
2 min	0,100	1000	180	397,8	132,16																																																																												
2 min 30 seg	0,150		202	446,42	148,31																																																																												
3 min	0,200	1500	233	514,93	171,07																																																																												
4 min	0,250		255	563,55	187,22																																																																												
6 min	0,300		280	618,80	205,58																																																																												
8 min	0,400		310	685,10	227,61																																																																												
10 min	0,500		330	729,30	242,29																																																																												
VALOR CORREGIDO DEL C.B.R.																																																																																	
A 0.1"	13,22																																																																																
A 0.2"	11,40																																																																																
Valor escogido	13,22																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Humedad Penetración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1 (grs)</td> <td>330,00</td> </tr> <tr> <td>P2 (grs)</td> <td>312,00</td> </tr> <tr> <td>P3 (grs)</td> <td>38,00</td> </tr> <tr> <td>W Pen.(%)</td> <td>6,6</td> </tr> </tbody> </table>			Humedad Penetración		P1 (grs)	330,00	P2 (grs)	312,00	P3 (grs)	38,00	W Pen.(%)	6,6																																																																					
Humedad Penetración																																																																																	
P1 (grs)	330,00																																																																																
P2 (grs)	312,00																																																																																
P3 (grs)	38,00																																																																																
W Pen.(%)	6,6																																																																																
Grafico para el cálculo del C.B.R.																																																																																	
 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">EXPANSION TOTAL (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura del Molde (mm)</td> <td>127</td> </tr> <tr> <td>Lectura de expansión Inicial (.01mm)</td> <td>0,020</td> </tr> <tr> <td>Lectura de expansión 1er día (.01mm)</td> <td>0,035</td> </tr> <tr> <td>Lectura de expansión 2do día (.01mm)</td> <td>0,048</td> </tr> <tr> <td>Lectura de expansión 3er día (.01mm)</td> <td>0,069</td> </tr> <tr> <td>Lectura de expansión 4to día (.01mm)</td> <td>0,082</td> </tr> <tr> <td>EXPANSION TOTAL (%)</td> <td>0,065</td> </tr> </tbody> </table>			EXPANSION TOTAL (%)		Altura del Molde (mm)	127	Lectura de expansión Inicial (.01mm)	0,020	Lectura de expansión 1er día (.01mm)	0,035	Lectura de expansión 2do día (.01mm)	0,048	Lectura de expansión 3er día (.01mm)	0,069	Lectura de expansión 4to día (.01mm)	0,082	EXPANSION TOTAL (%)	0,065																																																															
EXPANSION TOTAL (%)																																																																																	
Altura del Molde (mm)	127																																																																																
Lectura de expansión Inicial (.01mm)	0,020																																																																																
Lectura de expansión 1er día (.01mm)	0,035																																																																																
Lectura de expansión 2do día (.01mm)	0,048																																																																																
Lectura de expansión 3er día (.01mm)	0,069																																																																																
Lectura de expansión 4to día (.01mm)	0,082																																																																																
EXPANSION TOTAL (%)	0,065																																																																																
La información aquí reportada pertenece únicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita del Ingeniero de Control de Calidad de SHJ INGENIERIA S.A.S.																																																																																	
ING. JHON ALEXANDER SALAS BARRETO DIRECTOR TECNICO		KEVIN ROMERO MONROY LABORATORISTA Y/O AUXILIAR																																																																															

 Ingenieria S.A.S Laboratorio de Suelos, Concretos y Asfaltos	ENSAYO CBR METODO I	Codigo: Fo-L-020 Fecha: 29/10/2012 Version: 2 Pagina: 1 de 1																																																																								
OBRA: PRUEBAS DE GEOSTAB DE 300 MTS REALIZADAS EN LA VIA CALONA (POZO)- KANANASKI (PLATAFORMA)		NORMA: INV-E 148																																																																								
CLIENTE: HYDRAM LTDA																																																																										
LOCALIZACION: VIA CALONA (POZO)- KANANASKI (PLATAFORMA)																																																																										
DESCRIPCION: ARCILLA ARENOSA DE COLOR NARANJA																																																																										
FECHA RECIBO: 12-abr-14		FECHA ENSAYO: 16-abr-14																																																																								
OBSERVACIONES: CBR - TERRENO DESPUES DE APLICACION																																																																										
DIAMETRO DE LA MUESTRA: 15,09 cm ALTURA DE LA MUESTRA: 13,00 cm VOLUMEN DE LA MUESTRA: 2324,95 cm ³																																																																										
PENETRACION																																																																										
Constante del anillo = 2,21 Area Muestra = 3,141592654																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tiempo de Prueba</th> <th>Penetración (pulg) * 10⁻³</th> <th>Esfuerzo Estandar (lb/pulg²)</th> <th>Lect. Dial de carga</th> <th>Carga (lbs)</th> <th>Esfuerzo (lbs/pulg²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6 seg</td><td>0,005</td><td></td><td>20</td><td>44,2</td><td>14,68</td></tr> <tr><td>30 seg</td><td>0,025</td><td></td><td>101</td><td>223,21</td><td>74,16</td></tr> <tr><td>1 min</td><td>0,050</td><td></td><td>152</td><td>335,92</td><td>111,60</td></tr> <tr><td>1 min 30 seg</td><td>0,075</td><td></td><td>187</td><td>413,27</td><td>137,30</td></tr> <tr><td>2 min</td><td>0,100</td><td>1000</td><td>245</td><td>541,45</td><td>179,88</td></tr> <tr><td>2 min 30 seg</td><td>0,150</td><td></td><td>250</td><td>552,5</td><td>183,55</td></tr> <tr><td>3 min</td><td>0,200</td><td>1500</td><td>278</td><td>614,38</td><td>204,11</td></tr> <tr><td>4 min</td><td>0,250</td><td></td><td>290</td><td>640,90</td><td>212,92</td></tr> <tr><td>6 min</td><td>0,300</td><td></td><td>308</td><td>680,68</td><td>226,14</td></tr> <tr><td>8 min</td><td>0,400</td><td></td><td>329</td><td>727,09</td><td>241,56</td></tr> <tr><td>10 min</td><td>0,500</td><td></td><td>346</td><td>764,66</td><td>254,04</td></tr> </tbody> </table>	Tiempo de Prueba	Penetración (pulg) * 10 ⁻³	Esfuerzo Estandar (lb/pulg ²)	Lect. Dial de carga	Carga (lbs)	Esfuerzo (lbs/pulg ²)	6 seg	0,005		20	44,2	14,68	30 seg	0,025		101	223,21	74,16	1 min	0,050		152	335,92	111,60	1 min 30 seg	0,075		187	413,27	137,30	2 min	0,100	1000	245	541,45	179,88	2 min 30 seg	0,150		250	552,5	183,55	3 min	0,200	1500	278	614,38	204,11	4 min	0,250		290	640,90	212,92	6 min	0,300		308	680,68	226,14	8 min	0,400		329	727,09	241,56	10 min	0,500		346	764,66	254,04		
Tiempo de Prueba	Penetración (pulg) * 10 ⁻³	Esfuerzo Estandar (lb/pulg ²)	Lect. Dial de carga	Carga (lbs)	Esfuerzo (lbs/pulg ²)																																																																					
6 seg	0,005		20	44,2	14,68																																																																					
30 seg	0,025		101	223,21	74,16																																																																					
1 min	0,050		152	335,92	111,60																																																																					
1 min 30 seg	0,075		187	413,27	137,30																																																																					
2 min	0,100	1000	245	541,45	179,88																																																																					
2 min 30 seg	0,150		250	552,5	183,55																																																																					
3 min	0,200	1500	278	614,38	204,11																																																																					
4 min	0,250		290	640,90	212,92																																																																					
6 min	0,300		308	680,68	226,14																																																																					
8 min	0,400		329	727,09	241,56																																																																					
10 min	0,500		346	764,66	254,04																																																																					
VALOR CORREGIDO DEL C.B.R.																																																																										
A 0.1 " 17,99 A 0.2" 13,61 Valor escogido 17,99																																																																										
Humedad Penetración																																																																										
P1 (grs) 317,80 P2 (grs) 302,20 P3 (grs) 64,50 W Pen.(%) 6,6																																																																										
Grafico para el cálculo del C.B.R.																																																																										
																																																																										
La información aquí reportada pertenece únicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita del Ingeniero de Control de Calidad de SHJ INGENIERIA S.A.S																																																																										
 ING. JHON ALEXANDER SALAS BARRETO DIRECTOR TECNICO		 KEVIN ROMERO MONROY LABORATORISTA Y/O AUXILIAR																																																																								

HUMEDAD Y PESO UNITARIO.	
No. del Molde	7
Peso muestra húmeda + molde (grs)	10898,0
Peso del Molde (grs)	4518,0
Peso de la muestra húmeda (grs)	6380,0
Peso de la muestra seca (grs)	6018,9
Peso de la muestra seca (lbs)	13,28
Volumen del molde (Cm ³)	2,324
Densidad muestra seca (lb/pe3)	2,181
Contenido de humedad (%)	6,6
Recipiente No.	9
Peso de la muestra húmeda + Recip (grs)	317,80
Peso de la muestra seca + Recip (grs)	302,20
Peso del recipiente	64,50
Porcentaje de humedad (%)	6,6
EXPANSION TOTAL (%)	
Altura del Molde (mm)	127
Lectura de expansión Inicial (.01mm)	0,010
Lectura de expansión 1er día (.01mm)	0,043
Lectura de expansión 2do día (.01mm)	0,054
Lectura de expansión 3er día (.01mm)	0,068
Lectura de expansión 4to día (.01mm)	0,750
EXPANSION TOTAL (%)	0,591

OBSERVACIONES:



Yopal, JUNIO 13 de 2011

INFORME UNS-006

Señores:

UNISERVIS LTDA

Atn. **ING. MANUEL**

Ciudad.

Ref: DISEÑO DE SUELO- CEMENTO Y GEOSTAB PARA ESTABILIZACION VIA VOLCANERAS MUNICIPIO DE YOPAL DEPARTAMENTO DE CASANARE

Respetado ingeniero:

A continuación se hace un breve resumen del procedimiento seguido para la obtención de los resultados de densidad máxima en suelo cemento, y los porcentajes de cemento con respecto al volumen de material afirmado y base triturada 70-30% fuente La Capilla:

SUELO CEMENTO (AFIRMADO Y BASE TRITURADA)

Clasificación del suelo U.S.C	GM-GP
Clasificación del suelo A.A.S.H.T.O:	A-1-a
Densidad máxima proctor:	2,099gs/cm ³
Contenido cemento:	8,0%

PROCEDIMIENTO:

1. Conocidos los datos de densidad máxima y humedad optima (normas de ensayo INV E-809 y E-807, respectivamente), se moldearon y compactaron en moldes estándar en 6 probetas utilizando 8,0%, 10,0% y 12,0% de cemento Boyacá ,y 6 probetas utilizando geostab 50 cc m3 y cemento 2%, 3%, 4%, 5% y 6% respectivamente, cumpliendo el procedimiento expuesto por la normatividad colombiana y el INVIAS, con este procedimiento se deberá garantizar una resistencia mínima de veintiún punto cuatro kilogramos por centímetro cuadrado (21,4 kg/cm²). Se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a densidades de las probetas:

Probeta No.	Contenido de cemento (%)	Densidad obtenida lbs/pie ³	Densidad obtenida gr/cm ³
1	8,0	139,0	2,224
2	8,0	139,3	2,228
3	10,0	143,0	2,288
4	10,0	143,4	2,295
5	12,0	149,0	2,384
6	12,0	150,1	2,401



Probeta No.	Contenido de geostab (L)	Densidad obtenida lbs/pie3	Densidad obtenida gr/cm3
1	2%	146,9	2,355
2	2%	145,7	2,335
3	3%	148,1	2,374
4	3%	147,9	2,371
5	4%	155,0	2,484
6	4%	152,8	2,449
7	5%	155,6	2,495
8	5%	155,0	2,484
9	6%	156,2	2,503
10	6%	157,3	2,521

2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para el ensayo de resistencia a la compresión se tomaron las probetas del 8.0%,10.0% y 12% con cemento y 2%, 3%, 4% 5% y 6% con geostab y cemento, se realizó el siguiente procedimiento:

- se realizó su medición y pesaje,
- se pasaron a la prensa de compresión.
- Y se determino su resistencia en kg/cm^2 y PSI (se anexa formato de laboratorio)



Ingenieria E.U.

Laboratorio de suelos, concretos y asfaltos

SHV Ingenieria E.U. Laboratorio de suelos, concretos y asfaltos		ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION										Código Fo-L- 06			
												Versión 01			
												Fecha 17/10/2008			
												Página 1 de 1			
OBRA:	CONSTRUCCION DE SUB-BASE ESTABILIZADA CON GEOSTAB DEL K1 AL K1+400 VIA VOLCANERAS										NORMA:	NTC 673 / 1513			
CLIENTE:	UNISERVIS LTDA										INFORME N°	UNS- 006			
LOCALIZACION:	CORREGIMIENTO DE MUNICIPIO DE YOPAL CASANARE														
DESCRIPCION:	BRIQUETA ELABORADA CON CEMENTO T1 BOYACA, MATERIAL EXISTENTE GRANULAR DE BASE														
FECHA TOMA:	11/06/2011										FECHA INFORME:	13-06-011			
OBSERVACIONES:	METODO B NOTAS TECNICAS TCPC														
PORCENTAJE DE CEMENTO	FECHA DE TOMA	No. PROBETA	DIAS DE CURADO	FECHAS DE ROTURA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm²)	VOLUMEN (cm³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm³)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA FECHA P.S.I.	RESISTENCIA ESTIMADA A LOS 28 DIAS	RESISTENCIA PORCENTUAL RESPECTO A Fc	TIPO DE FALLA
8,0%	11-Jun	1	2	13-Jun	7,5	12,7	44,2	561,1	1248	2,224	1250	28,3	404,2		
	11-Jun	2	2	13-Jun	7,5	12,8	44,2	565,5	1260	2,228	1268	28,7	410,0		
10,0%	11-Jun	3	2	13-Jun	7,5	13,1	44,2	578,7	1324	2,288	1420	32,1	459,2		
	11-Jun	4	2	13-Jun	7,5	13,0	44,2	574,3	1318	2,295	1440	32,6	465,6		
12,0%	11-Jun	5	2	13-Jun	7,5	13,1	44,2	578,7	1380	2,384	1600	36,2	517,4		
	11-Jun	6	2	13-Jun	7,5	13,3	44,2	587,6	1411	2,401	1590	36,0	514,1		
La información aquí reportada pertenece únicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita de SHV INGENIERIA EU															
ING. SIRLEY HERNANDEZ VEGA Coordinadora de Calidad										ROBINSON OLMOS Jefe de Laboratorio					



Ingenieria E.U.

Laboratorio de suelos, concretos y asfaltos

Ingenieria E.U. Laboratorio de suelos, concretos y asfaltos ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Código: Fo-L-06 Versión: 01 Fecha: 17/10/2008 Página: 1 de 1															
OBRA: CONSTRUCCION DE BASE ESTABILIZADA CON GEOSTAB DEL KI AL K1+400 VIA VOLCANERAS CLIENTE: UNISERVIS LTDA LOCALIZACION: CORREGIMIENTO DE MUNICIPIO DE YOPAL CASANARE DESCRIPCION: BRIOLETA ELABORADA CON CEMENTO T1 BOYACA Y GEOSTAB MATERIAL EXISTENTE GRANULAR DE BASE FECHA TOMA: 26/06/2011 OBSERVACIONES: METODO B NOTAS TECNICAS IDPC NORMA: NTC 673 / 1513 UNS-006 FECHA INFORME: 28-06-011															
PORCENTAJE DE CEMENTO Y GEOSTAB	FECHA DE TOMA	No. PROBETA	DIAS DE CURADO	FECHAS DE ROTURA	DIAME TRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm²)	VOLUMEN (cm³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm³)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA FECHA (kg/cm²)	RESISTENCIA ESTIMADA A LOS 7 DIAS (P.S.I.)	PORCENTAJE CON RESPECTO A F'c	TIPO DE FALLA
2,0%	24-Jun	1	2	26-Jun	7,5	12,4	44,2	547,8	1290	2,355	880	19,9	284,6		☒
	24-Jun	2	2	26-Jun	7,5	12,6	44,2	556,7	1300	2,335	850	19,2	274,9		☒
3,0%	24-Jun	1	2	26-Jun	7,5	12,5	44,2	552,2	1311	2,374	980	22,2	316,9		☒
	24-Jun	2	2	26-Jun	7,5	12,6	44,2	556,7	1320	2,371	990	22,4	320,1		☒
4,0%	24-Jun	3	2	26-Jun	7,5	12,1	44,2	534,6	1328	2,484	1070	24,2	346,0		☒
	24-Jun	4	2	26-Jun	7,5	12,2	44,2	539,0	1320	2,449	1080	24,4	349,2		☒
5,0%	24-Jun	5	2	26-Jun	7,5	12,3	44,2	543,4	1336	2,495	1210	27,4	391,3		☒
	24-Jun	6	2	26-Jun	7,5	12,3	44,2	543,4	1330	2,484	1220	27,6	394,5		☒
6,0%	24-Jun	5	2	26-Jun	7,5	12,3	44,2	543,4	1360	2,503	1330	30,1	430,1		☒
	24-Jun	6	2	26-Jun	7,5	12,3	44,2	543,4	1370	2,521	1320	29,9	426,8		☒
La información aquí reportada pertenece únicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita de SHV INGENIERIA EU															
 ING. SIRLEY HERMANDEZ VEGA Coordinadora de Calidad										ROBINSON OLIVOS ROBINSON OLIVOS Jefe de Laboratorio					



Como se puede observar el resultado de las dos probetas de materiales afirmado y base triturada (70%-30%) en la cual efectuó la resistencia correcta con el ensayo del 8,0% en cemento y se obtuvo como promedio $f'c=28.5 \text{ kg/cm}^2$. Con las dos probetas de geostab y cemento se obtuvo como promedio $f'c=22.3 \text{ kg/cm}^2$ lo cual cumple con la especificación del INVIAS art 341-07

A partir de estos parámetros, cuando se este desarrollando la ejecución de la obra, se deben seguir las especificaciones contempladas en el ART 341 INVIAS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Dosificación: Como primera medida se estableció un 3.0 % de cemento y 50 cc m3 de geostab en peso para estabilizar materiales afirmado y base triturada.

2. Calidad De Los Materiales De La Mezcla

✓ **Material existente y Granular base :** El material por estabilizar con cemento podrá provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, agregados locales de baja calidad, o escorias o mezclas de cualesquiera de ello, libres de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar el correcto fraguado del cemento. Deberá, además, cumplir los siguientes requisitos generales:

✓ **Granulometría:** El material por estabilizar no podrá contener más de cincuenta por ciento (50%), en peso, de partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No.4); ni más de cincuenta por ciento (50%), en peso, de partículas que pasen el tamiz de 75 μm (No.200).

Además, el tamaño máximo no podrá ser mayor de setenta y cinco milímetros (75 mm), ni superior a la mitad (1/2) del espesor de la capa compactada.

✓ **Plasticidad:** La fracción inferior al tamiz de 425 μm (No.40), deberá presentar un límite líquido inferior a treinta y cinco (35) y un índice plástico menor de quince (15), determinados según normas de ensayo INV E-125 y E-126. Estos límites se pueden exceder, si el Constructor demuestra al Interventor que el equipo de que dispone, tiene una capacidad de disgregación suficiente para conseguir una mezcla íntima y homogénea de un suelo más plástico con el cemento.

✓ **Composición química:** La proporción de sulfatos del suelo, expresada como $\text{SO}_4^{=}$, no podrá exceder de medio por ciento (0.5%), en peso, al ser determinada según la norma de ensayo INV E-233.



- ✓ **Cemento:** Debe ser Boyacá y deberá cumplir lo especificado en las normas ICONTEC 121 y 321.
- **GEOSTAB:** El GEO-STAB es un estabilizador electroquímico cuya finalidad específica es la estabilización de arcillas, es un compuesto derivado de la fracción naftalénica de hidrocarburos. Es un líquido soluble en agua a la que ioniza rápidamente, aumentando su conductividad y facilidad de intercambio catiónico. Presenta un color Pardo-Rojizo, densidad específica de 1,15 y Ph. de 1,0.
- ✓ **Agua:** El agua utilizada para la estabilización deberá estar libre de sustancias perjudiciales. su pH deberá encontrarse entre cinco y medio y ocho (5.5 - 8.0) y el contenido de sulfatos, expresado como SO₄= 4, no podrá ser superior a un gramo por litro (1 g/L)2.
- 3. **Aplicación:** se puede realizar de dos formas: a) Una vez mezclado el suelo con el cemento se irriga el producto previamente diluido en agua, según la dosificación de diseño y b) Colocar primero la adición en el suelo y luego el cemento. Escogiendo cualquiera de las alternativas anteriores se mezcla el suelo, el cemento y el aditivo empleando el equipo idóneo para este trabajo. El número de pasadas será el necesario para garantizar la homogeneidad de la mezcla.
- 4. **Controles para aplicación:** Queda a criterio de la persona encargada del control de calidad, el grado de compactación que se vaya a utilizar, quedando estipulado en los términos de referencia del contrato. Para realizar el control de compactación en obra, se deben establecer las determinaciones en terreno por medio de los métodos convencionales (cono de arena y/o densímetro nuclear), una vez se ha realizado la actividad de mezclado, conformado y compactado.
- 5. **Aceptación de la mezcla:** Para establecer los grados de aceptación en cuanto a resistencia de la base estabilizada, se deben compactar probetas con el material utilizado en la pista, y ensayarlas a los siete días de curado para obtener un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, resistencia calculada en el diseño original.
- 6. **Juntas de Trabajo:** Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado. Si la capa estabilizada no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, deberán disponerse también, juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada.
- 7. **Tiempo de Curado:** Cuando se requiera, y una vez terminada la conformación y compactación de la capa estabilizada, deberá someterse al tiempo mínimo de curado correspondiente a 24 horas.



Ingenieria E.V.

Laboratorio de suelos, concretos y asfaltos

- 8. Limitaciones de la Ejecución:** La Temperatura Ambiente deberá ser superior a los 5° C, se evitará la realización de trabajos bajo la lluvia.

ING. SIRLEY HERNANDEZ VEGA
CORDINADORA DE CALIDAD

ROBINSON OLMOS
JEFE DE LABORATORIO



AL CONTESTAR CITE ESTE NÚMERO: CE - 201804662
ASUNTO: Certificación de Producto GEOSTAB
DEPENDENCIA: 20 - Subgerencia de Infraestructura

Bogotá, 2018/10/17

Señores
LUIS ANDRES SAENZ MARTINEZ
HYDRAM
CARRERA 68 K # 78 - 63
Bogotá D.C.

ASUNTO: Certificación de Producto GEOSTAB

Por medio del presente certificamos que en el proyecto de rehabilitación de la vía la Quinta – Represa del Neusa en el municipio de Cogua – Cundinamarca, el contratista CONSORCIO MIRAMONTES 2017, utilizando el producto denominado GEOSTAB, el cual sirve para la estabilización de las arcillas presentes en la estructura de la vía proyecto que se viene ejecutando dentro del marco del contrato ICCU -1174-2017.

Cordialmente

NESTOR ANDRÉS GUERRERO PEÑA
Profesional Especializado ICCU

Proyecto: Nestor Andres Guerrero



CUNDINAMARCA
"EL DORADO"
13 DE FEBRERO DE 1958

Calle 26 #51-53 Bogotá D.C.
Sede Administrativa - Torre Central Piso 8.
Código Postal: 111321 - Teléfono: 491634 - 7491800
@CundinamarcaGov @CundinamarcaGov
www.cundinamarca.gov.co



ESTUDIOS



INFORME DE APLICACIÓN GEOSTAB

Elaborado por

Revisado por

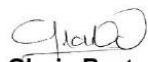
Aprobado por

Equipo Calidad

Fecha 31/07/2015

Equipo Técnico

Fecha 31/07/2015


Gloria Restrepo
Directora
Fecha 31/07/2015

Red INNOVIAL
Medellín, 31 de julio de 2015

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto “ESTUDIO, SELECCIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS ALTERNATIVOS DE ESTABILIZACIÓN, ENDURECIMIENTO Y/O PAVIMETOS DE RASANTES EN PRUEBAS PILOTO DE ANTIOQUIA” que desarrollan la Gobernación de Antioquia, la Universidad de Antioquia, la Universidad de Medellín y la Red INNOVIAL cuyo propósito es evaluar diferentes tecnologías de estabilización disponibles en el mercado y monitorear en el tiempo la respuesta estructural de la vía en términos de resistencia y durabilidad, queremos informarle las condiciones de aplicación de su producto **GEOSTAB** en los diferentes tramos de prueba.

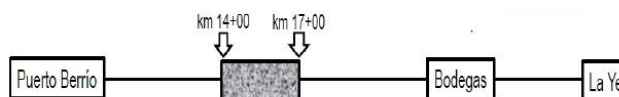
La Investigación se lleva a cabo en 5 subregiones del Departamento de Antioquia, donde se construyeron pistas de prueba, cada una de las pistas está dividida en dos subpistas, las cuales tienen como fin evaluar el comportamiento del producto cuando éste se encuentra protegido por una capa de rodadura (subpista 1) y cuando se encuentra expuesto (subpista 2).

CONDICIONES DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO GEOSTAB

Subregión Magdalena Medio



Esquema Pista de Prueba



Vía Puerto Berrio La Y - Bodega	
Distancia desde Medellín (km)	191
Temperatura (°C)	25-28
Precipitación (mm)	2000-2500
Altura (msnm)	125



INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

El producto **Geostab** fue aplicado el **25 de Febrero de 2015** desde el km **15+694** hasta el km **15+759** a una profundidad de **15 cm**, dicho tramo fue posteriormente cubierto con una capa de rodadura de 5 cm compactos con un material pétreo impregnado de asfalto (MAPIA). La siguiente aplicación se hizo entre el km **14+979** y el km **15+044** con un espesor de **15 cm** el **24 de Febrero de 2015**, dicho tramo no lleva ningún tipo de protección superficial adicional.

En la aplicación se utilizó el kit básico de maquinaria que consta de motoniveladora, retroexcavadora y vibro compactador. Además, con el fin de garantizar una buena homogeneización del suelo aditivado, darle un mejor acabado a los tramos y hacer una evaluación técnico-económica del uso de una máquina alternativa relativamente nueva en el ámbito nacional, en esta vía se incluyó una máquina recicladora. La operación del kit de maquinaria durante el proceso constructivo estuvo a cargo de la empresa **COLASFALTOS S.A.**, la aplicación del producto estuvo a cargo de todo el equipo técnico de las instituciones participantes y se realizó siguiendo las indicaciones de **Leonardo González** como representante de la empresa **Hydram Ltda.**

A continuación se muestran los valores de los parámetros medidos en campo en la etapa constructiva

Tabla 1. Parámetros medidos en campo para la subpista 1

Densidad (g/cm3)	
Fecha: 12/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
1.822	1.725
CBR in situ	Cono dinámico
Fecha: 23/07/2015	Fecha: 06/03/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 4	CBR(%): 59.28

Tabla 2. Parámetros medidos en campo para la subpista 2

Densidad (g/cm3)	
Fecha: 16/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
1.81	1.684
CBR in situ	Cono dinámico
Fecha: 24/07/2015	Fecha: 06/03/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 4	CBR(%): 49.53

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

Registro fotográfico

- **Subpista 1: Estabilizante con capa de rodadura**



Fotografía 1. Material disgregado



Fotografía 2. Aplicación del producto



Fotografía 3. Mezclado



Fotografía 4. Compactación



Fotografía 5. Tramo terminado



Fotografía 6. Tramo terminado con protección superficial

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

- **Subpista 2: Estabilizante expuesto**



Fotografía 7. Homogeneización



Fotografía 8. Disgregación del material con recicladora

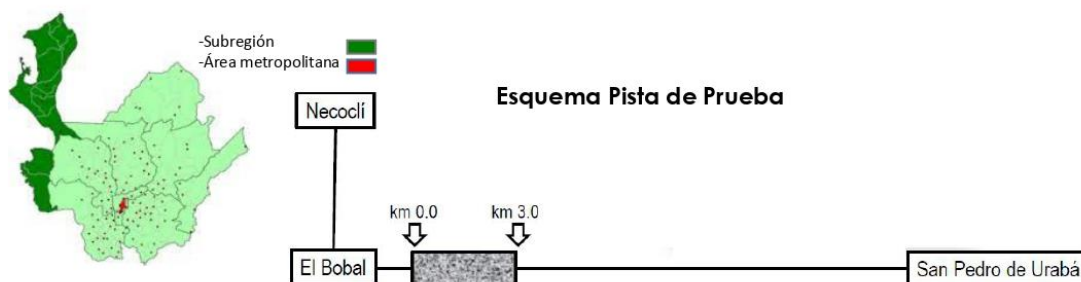


Fotografía 9. Tramo terminado



Fotografía 10. Tramo terminado

SUBREGIÓN URABÁ



INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

Vía El Bobal - San Pedro de Urabá	
Distancia desde Medellín (km)	368
Temperatura (°C)	28-30
Precipitación (mm)	2000-2500
Altura (msnm)	8

El día **20 de Febrero** del año en curso se aplicó el producto **Geostab** entre las abscisas km **0+000** y km **0+075** con una profundidad de **30 cm**, dicho tramo va cubierto con un revestimiento asfáltico reducido (doble riego). Para el caso de la subpista donde el estabilizante queda expuesto la aplicación se hizo entre los km **2+165** y km **2+234** y con un espesor de **20 cm** el **12 de Marzo de 2015**.

En la aplicación se utilizó el kit básico de maquinaria que constó de este kit consta de motoniveladora, retroexcavadora y vibro compactador, la operación de este kit de maquinaria durante el proceso constructivo estuvo a cargo de la empresa **RENTING DE ANTIOQUIA S.A.S.** La aplicación del producto estuvo a cargo de todo el equipo técnico de las instituciones participantes y se realizó siguiendo las indicaciones de **Leonardo González** como representante de la empresa **Hydram Ltda.**

A continuación se relacionan los parámetros medidos en campo en la etapa constructiva:

Tabla 3. Parámetros medidos en campo para la subpista 1

Densidad (g/cm3)	
Fecha: 07/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
1.99	1.88
Cono dinámico	
Fecha: 24/09/2014	Fecha: 07/03/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 27	CBR(%): 249

Tabla 4. Parámetros medidos en campo para la subpista 2

Densidad (g/cm3)	
Fecha: 12/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
2.1	2.03
Cono dinámico	
Fecha: 26/09/2014	Fecha: 14/03/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 18	CBR(%): 53.015

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

Registro fotográfico

- Subpista 1: Estabilizante con capa de rodadura



Fotografía 11. Escarificación de la vía



Fotografía 12. Aplicación de producto



Fotografía 13. Compactación de la vía



Fotografía 14. Tramo terminado

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

- **Subpista 2: Estabilizante expuesto**



Fotografía 15. Vía conformada



Fotografía 16. Conformación de la vía



Fotografía 17. Compactación de la vía



Fotografía 18. Tramo terminado

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

SUBREGIÓN SUROESTE



Vía Amagá - La Clarita - Angelópolis	
Distancia desde Medellín (km)	23
Temperatura (°C)	16-19
Precipitación (mm)	2000-2500
Altura (msnm)	1950

Para esta pista de prueba la aplicación del producto **Geostab** se hizo el **21 de Febrero de 2015** desde el km **7+065** hasta el km **7+130** con una profundidad de **30 cm**, y lleva una capa de rodadura que consiste en una mezcla asfáltica semidensa tibia de 5 cm compactos. Posteriormente, el **27 de Febrero** se realizó nuevamente la aplicación del producto entre los km **8+755** y km **8+820** y con un espesor de **30 cm**, dicho tramo no tiene ninguna capa de rodadura.

En la aplicación se utilizó el kit básico de maquinaria que constó de este kit consta de motoniveladora, retroexcavadora y vibro compactador, la operación de este kit de maquinaria durante el proceso constructivo estuvo a cargo de la empresa **RENTING DE ANTIOQUIA S.A.S.** La aplicación del producto estuvo a cargo de todo el equipo técnico de las instituciones participantes y para la subpista 2, se realizó siguiendo las indicaciones de **Leonardo González** como representante de la empresa **Hydram Ltda.**

A continuación se relacionan los parámetros medidos en campo al momento de construcción:

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

Tabla 5. Parámetros medidos en campo para subpista 1

Densidad (g/cm ³)	
Fecha: 20/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
2.134	2.013
Cono dinámico	
Fecha: 29/08/2014	Fecha: 20/03/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 5.6	CBR(%): 170.76

Tabla 6. Parámetros medidos en campo para subpista 2

Densidad (g/cm ³)	
Fecha: 27/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
2.194	2.089
Cono dinámico	
Fecha: 29/08/2014	Fecha: 27/03/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 4.8	CBR(%): 142.68

Registro fotográfico

- Subpista 1: Estabilizante con capa de rodadura



Fotografía 19. Aplicación del producto



Fotografía 20. Homogeneización

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB



Fotografía 21. Conformación de la vía



Fotografía 22. Compactación



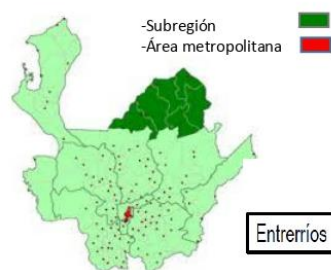
Fotografía 23. Tramo terminado



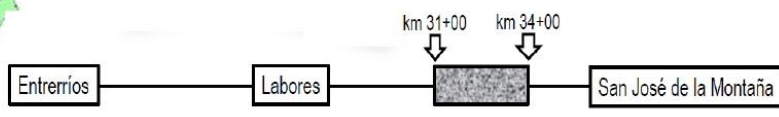
Fotografía 24. Tramo terminado

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

SUBREGIÓN NORTE



Esquema Pista de Prueba



Vía Entreríos-Labores-San José de la Montaña	
Distancia desde Medellín (km)	132
Temperatura (°C)	13-16
Precipitación (mm)	1500-2000
Altura (msnm)	2300

El producto **Geostab** se aplicó en la vía Entreríos - Labores - San José de la Montaña para la subpista con capa de rodadura de 5 cm compactos con un material pétreo impregnado de asfalto (MAPIA) el **09 de Marzo de 2015** y entre los km **31+514** y km **31+579**. Para la subpista donde el estabilizante queda expuesto la aplicación se hizo el **09 de Mayo** desde el km **33+173** hasta el km **33+238**.

En la aplicación se utilizó el kit básico de maquinaria que constó de este kit consta de motoniveladora, retroexcavadora y vibro compactador, la operación de este kit de maquinaria durante el proceso constructivo estuvo a cargo de la empresa **COLASFALTOS S.A.** La aplicación del producto estuvo a cargo de todo el equipo técnico de las instituciones participantes y se realizó siguiendo las indicaciones de **Leonardo González** como representante de la empresa **Hydram Ltda.**

A continuación se muestran los valores de los parámetros medidos en campo durante la etapa constructiva

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

Tabla 7. Parámetros medidos en campo para subpista 1

Densidad (g/cm ³)	
Fecha: 20/04/2015	
densidad húmeda	densidad seca
2.205	2.017
Cono dinámico	
Fecha:	Fecha: 28/04/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 6.19	CBR(%): 215.43

Tabla 8. Parámetros medidos en campo para subpista 2

Densidad (g/cm ³)	
Fecha: 20/04/2015	
densidad húmeda	densidad seca
2.225	2.017
Cono dinámico	
Fecha: 28/04/2015	Fecha:
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 6.65	CBR(%): 215.43

Registro fotográfico

- Subpista 1: Estabilizante con carpeta de rodadura



Fotografía 25. Recolección de sobretamaños



Fotografía 26. Aplicación de producto

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB



Fotografía 27. Conformación de la vía



Fotografía 28. Vía conformada



Fotografía 29. Compactación de tramo



Fotografía 30. Tramo terminado

- **Subpista 2: Estabilizante expuesto**



Fotografía 31. Tramo antes de estabilizar



Fotografía 32. Tramo terminado

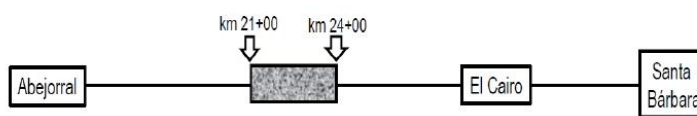
INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

SUBREGIÓN ORIENTE



-Subregión
-Área metropolitana

Esquema Pista de Prueba



Vía Abejorral-El Cairo-Santa Bárbara.	
Distancia desde Medellín (km)	90
Temperatura (°C)	16-19
Precipitación(mm)	1500-2000
Altura (msnm)	2275

La operación de maquinaria durante el proceso constructivo estuvo a cargo de la empresa **RENTING DE ANTIOQUIA S.A.S.**, la cual dispuso de un kit básico que constó de motoniveladora, retroexcavadora y vibrocompactador. La aplicación del producto se hizo el **25 de marzo de 2015** desde el km **21+750** hasta el km **21+815** con un espesor de **15 cm** y en esta subpista va cubierto con una carpeta de mezcla asfáltica semidensa tibia donada por la empresa **PAVIMENTAR S.A** de 5 cm compactos. El **14 de abril de 2015** se hizo la aplicación del producto con una profundidad de **15 cm** entre los km **23+245** y km **23+310**, para la subpista 2 donde el estabilizante queda expuesto.

El proceso constructivo y la aplicación del producto estuvieron a cargo de todo el equipo técnico de las instituciones participantes.

A continuación se relacionan los parámetros medidos en campo en la etapa constructiva:

Tabla 9. Parámetros medidos en campo para la subpista 1

Densidad (g/cm3)	
Fecha: 22/03/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
2.114	1.968
Cono dinámico	
Fecha: 12/09/2015	Fecha: 20/04/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 16.5	CBR(%): 82.65

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

Tabla 10. Parámetros medidos en campo para la subpista 2

Densidad (g/cm ³)	
Fecha: 21/04/2015	
Densidad húmeda	Densidad seca
3.249	3.052
Cono dinámico	
Fecha: 09/09/2015	Fecha: 20/04/2015
Sin estabilizante	Con estabilizante
CBR(%): 16.7	CBR(%): 130.31

Registro fotográfico

- Subpista 1: Estabilizante con capa de rodadura



Fotografía 33. Ensanchamiento de la vía



Fotografía 34. Escarificación de tramo



Fotografía 35. Compactación de la vía



Fotografía 36. Tramo terminado

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB

- **Subpista 2: Estabilizante expuesto**



Fotografía 37. Tramo antes de estabilizar



Fotografía 38. Tramo escarificado



Fotografía 39. Escarificación de suelo



Fotografía 40. Aplicación de productos

INFORME APLICACIÓN GEOSTAB



Fotografía 41. Tramo terminado

Agradecimientos

Las instituciones participantes en este estudio agradecen a la empresa **HYDRAM LTDA** por contribuir a la ejecución del Convenio de Asociación 2013-CF-20-0184 022-2014 celebrado entre la Universidad de Antioquia y la Gobernación de Antioquia.



DOCUMENTOS TÉCNICOS

GUÍA PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE CAPAS ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS ESTABILIZADAS MEDIANTE PROCESOS QUÍMICOS



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ

REVISIÓN	VERSIÓN	AÑO
01	01	2005

NOTA IMPORTANTE

Esta Guía se presenta con el propósito que los profesionales que se encuentran involucrados en las diferentes áreas de aplicación de la ingeniería de pavimentos, puedan establecer los parámetros mínimos necesarios para la implementación de procesos químicos de estabilización en proyectos viales como una alternativa de diseño.

Este documento involucra el uso de diferentes tecnologías de estabilización presentes en el mercado. El contenido de éste no refleja necesariamente el punto de vista o las políticas oficiales del Instituto de Desarrollo Urbano, dado que es una alternativa que el Instituto presenta para la ingeniería de consulta y su uso está en función de las comparaciones técnicas, ambientales y económicas respecto a los sistemas tradicionales que los consultores crean pertinentes, de acuerdo con el estado del arte en el tema.

De otra parte, la responsabilidad que conlleve la utilización de esta guía recaerá sobre el Consultor (Diseñador y/o interventor), el Constructor y el Proveedor.

1. INTRODUCCIÓN.

La estabilización y mejoramiento de suelos y materiales granulares es un conjunto de técnicas que buscan incrementar el desempeño mecánico y la durabilidad de materiales, y que son usadas en múltiples actividades en la ingeniería de pavimentos. Entre las aplicaciones que se destacan encontramos: la construcción de plataformas de trabajo, mejoramiento de subrasantes, mejoramiento de materiales de base, subbase y afirmados, utilización de material de reciclaje proveniente de la rehabilitación de vías para la conformación de capas de estructura de pavimento.

Actualmente existe una gran variedad de productos y sus respectivos procesos ofrecen tratamiento químico y/o físico a los materiales. El uso de ellos en el caso de estructuras de pavimentos, depende de factores propios de los materiales a estabilizar, del producto ofrecido, del proceso a implementar, de la función de la capa estabilizada en la estructura de pavimento y del uso que se pretende de acuerdo al tránsito.

Cuando las capas estabilizadas tienen un buen desempeño se pueden obtener beneficios tanto técnicos como económicos por reducción de tiempos en los procesos constructivos, reutilización de materiales, disminución del impacto ambiental, disminución de costos de mantenimiento y formulación de nuevas alternativas de construcción y rehabilitación de estructuras de pavimentos.

Bajo este marco de referencia nace este documento el cual es una guía en el uso de procesos de estabilización no establecidos en la normativa actual del país, por lo que se espera que la práctica de estabilización de las diferentes capas de la estructura de los pavimentos mejore y avance continuamente.

1.1. Reconocimientos

Este documento fue elaborado con los resultados y parámetros obtenidos durante el desarrollo del Convenio 006 de 2004 suscrito entre la Pontificia Universidad Javeriana y el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). Adicionalmente, se llevó a cabo una convocatoria pública al término de la cual se contó con la participación y colaboración de Geoscol Ltda, Kemtek Ltda, Acresquim Ltda, Estabilizadora de Vías - Estavias, Anpatec, Superficies Ecologicas y Caminos S.A. - SECSA, Salaco Colombia E.U., Editec S.A, prestando asistencia técnica y aportando su experiencia para la elaboración de este documento.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. Definición de Estabilización y Mejoramiento.

Estabilización consiste en la ejecución de todas las actividades necesarias para la construcción de una o varias capas estructurales de pavimentos constituidas por materiales resultantes de la escarificación de la capa superficial existente, o por material de préstamo, o una mezcla de ambos, incrementando su desempeño mecánico y durabilidad mediante procesos físico-químicos, con el menor deterioro ambiental y minimizando los riesgos para la salud de los seres vivos; de acuerdo con los lineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor,

cumpliendo con todo lo descrito en este documento. Los espesores de capa serán los indicados en las Especificaciones Técnicas Particulares y se entenderán medidos sobre la capa estabilizada.

2.2. Tipos de procesos de Estabilización.

Los procesos de estabilización contenidos en este documento son los siguientes:

Tabla 1: Procesos de estabilización Descritos en este documento.

Proceso	Código
Sistemas de Transporte Coloidal	STC
Estabilización Suelo - Polvo de Roca	SPR
Estabilización por medio del uso de Enzimas	ENZ
Estabilización Electroquímica de Suelos	EQS
Estabilizaciones a través de Bases Orgánicas	BO
Estabilizaciones con Adiciones a suelo Cemento	ASC

2.3. Capas estructurales Estabilizadas.

De acuerdo con los documentos del proyecto y la función para la que se diseñó la capa estabilizada, éstas pueden ser de cuatro (4) tipos como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Tipos de Capas Estabilizadas.

Tipo	Característica	Subcódigo
I	Base Estructural Estabilizada de Alto Desempeño*	I
II	Base Estructural Estabilizada	II
III	Subbase Estructural Estabilizada o Afirmados Estabilizados	III
IV	Capa Subrasante Estructural Estabilizada	IV

*Materiales Estabilizados que desarrollan valores de Módulo de Elasticidad Superiores a los 900 MPa (Ensayo Estático a los 7 días), Resistencia a la Compresión, Norma INV E 809.

2.4. Nomenclatura.

La identificación de la capa estabilizada se realiza a partir de los códigos definidos en los puntos anteriores y la versión de la última actualización de la guía, así:

[Letra "Capa"] [Guión] [Código] [Guión] [Subcódigo] [Punto] [Número versión]

Letra "Capa" se define como se indica a continuación:

B: Base. **SB:** Subbases. **SR:** Subrasantes.

Ejemplos:

Base de alto módulo estabilizada con sistema de transporte coloidal: B-STC-I

Subbase estabilizada con polvo de roca: SB-SPR-II

Subrasante con Estabilización Electroquímica: SR-EQS-IV

Subbase Estabilizada Con Enzimas: SB-ENZ-III

3. MATERIALES.

Los materiales que participan en los procesos de estabilización mencionados en este documento son:

3.1. Suelos:

Los materiales geotécnicos por estabilizar podrán ser naturales, clasificados, triturados reciclados o una mezcla de ellos y deberán estar exentos de sustancias perjudiciales. Además, deberán cumplir los siguientes requisitos:

3.1.1. Cualidades de los suelos.

La granulometría del material por estabilizar deberá ser tal que no permita la presencia de sobretamaños y/o partículas que impidan la óptima compactación de la capa en la estructura de pavimento, de igual manera deberá ajustarse al huso granulométrico, el cual será establecido por el Consultor, este permitirá obtener la máxima densidad posible estimada a través del ensayo de Relaciones de Peso Unitario-Humedad en los suelos equipo modificado (INV 142). Adicionalmente, La Tabla 3 presenta las cualidades mínimas generales de los materiales para estabilización según el tipo de proceso de estabilización a utilizar.

Tabla 3: Cualidades de los suelos a estabilizar según el proceso.

Producto/ Cualidad	Adiciones a Suelo - Cemento	Electro- químico	Sistema de Transporte Coloidal	Enzimas	Suelo – Polvo de Roca	Base Orgánica
Material	1. Gravas 2. Arenas 3. Limos 4. Arcillas	Materiales arcillosos y/o con matriz arcillosa	Gravas Arenas Limos Arcillas	1. Arcillas y Limos 2. Gravas y Arenas Arcillosas	Gravas Arenas Limos Arcillas	Gravas Arcillosas
Contenido de Materia Orgánica	< 2%*	< 2%,	S/R	S/R	< 10%,	S/R
% pasa tamiz Nº200	< 50%	> 15%	S/R	(18% - 30%)	S/R	> 40%.
Índice de Plasticidad	< 15*	> 5	S/R	1. (6% < IP < 20%) 2. (15% < IP < 40%)	< 50%	S/R

*En algunos procesos de estabilización esta restricción no aplica, sin embargo el Proveedor y el Consultor deberán garantizarlo por medio del soporte técnico adecuado.

S/R: El producto no presenta restricciones en este ítem.

3.1.2. Resistencia a La Abrasión.

Cuando la estabilización se realice sobre materiales que estén conformados por la presencia de agregados gruesos, se evaluará la resistencia a la abrasión del material, sin importar su procedencia, y se determinará por medio del ensayo: "Resistencia de los agregados a la abrasión por medio de la máquina de los ángeles", INV E 218/INV E 219. Ésta será de acuerdo con la granulometría que haya sido establecida por el Consultor. El valor máximo permitido es 50%.

3.1.3. Solidez.

El material por estabilizar no deberá presentar pérdidas en el ensayo de solidez superiores a doce por ciento (12%) o dieciocho por ciento (18%), según se emplee

sulfato de sodio o de magnesio. La resistencia a la desintegración será determinada por medio del ensayo, Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, INV E 220, y se realizará cuando la granulometría del material obedezca a los lineamientos establecidos en la norma de ensayo.

3.2. Material Estabilizante - Compuesto Químico – Aditivos.

Cada producto deberá estar respaldado por el Certificado de Calidad expedido por la entidad correspondiente, la hoja de seguridad y la ficha técnica del producto donde se indique: Características, usos, beneficios y resultados obtenidos en aplicaciones Nacionales o Internacionales. Así mismo, si el producto cuenta con patente, ésta deberá ser citada en los documentos anteriormente mencionados.

El Proveedor, el Consultor y el Constructor deberán garantizar que el producto por utilizar no implica riesgos de contaminación, ni peligro para la salud de seres vivos de acuerdo con la normativa ambiental vigente y aplicable, esta garantía estará respaldada por la hoja de Manejo Seguro del producto y será obligación del fabricante advertir sobre los riesgos potenciales. Así mismo el fabricante del producto prestará la asesoría necesaria para la elaboración del diseño de mezcla con su producto y el acompañamiento técnico en el momento de realizar la obra. Esto con el fin de que la capa estabilizada cumpla con las exigencias requeridas.

3.3. Cemento.

Cuando se requiera el uso de cemento para la estabilización, éste será Portland tipo I, y deberá cumplir lo especificado en las normas ICONTEC 121 y 321. En caso de requerirse un tipo de cemento diferente, éste será descrito por el Proveedor argumentando la razón técnica acerca del uso del mismo.

3.4. Agua.

El agua utilizada para la estabilización deberá estar libre de sustancias perjudiciales. Su pH deberá encontrarse entre cinco y medio y ocho ($5.5 - 8.0$)¹ y el contenido de sulfatos, expresado como SO_4^{2-} , no podrá ser superior a un gramo por litro (1 g/L)². En caso de presentarse una situación en la cual el agua a utilizar en la ejecución de los trabajos no cumple con los requisitos anteriormente mencionados se permitirá la utilización de la misma si y sólo si el proveedor del producto estabilizante explícitamente aprueba su utilización y éste se hará responsable de los resultados que se obtengan.

4. DISEÑO DE LA MEZCLA - DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO- ENSAYOS DE LABORATORIO.

4.1. Diseño de la Mezcla.

El diseño de la mezcla se debe realizar contando con la suficiente antelación al inicio de los trabajos. Este procedimiento debe estar avalado por los resultados de los ensayos de laboratorio relacionados en la Tabla 5 del numeral 4.3 que demuestren la conveniencia de uso de los materiales. Si al ejecutarse los ensayos de laboratorio necesarios se encuentra que los materiales requeridos no cumplen los requisitos exigidos, se deberán efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias.

¹ Norma ASTM D-1293

² Norma ASTM D-516

El diseño de la mezcla será determinado por el Consultor y el Proveedor y éste no debe ser modificado después de establecido. El contenido necesario de estabilizante y de agua deberá determinarse de acuerdo con el procedimiento de laboratorio establecido para tal caso, los criterios de elección del óptimo necesario deben estar claramente establecidos por el fabricante en los boletines de divulgación del producto y en las necesidades físico-mecánicas y de durabilidad de la capa, datos que forman parte de los documentos del proyecto. En la Tabla 4 se presentan los parámetros de control en el diseño de mezcla. Durante todo el proceso de elaboración de diseño de mezcla y construcción de la capa estabilizada el Proveedor del producto estará en la obligación de brindar asesoría técnica constante al Constructor.

Tabla 4: Parámetros de control en el Diseño de la Mezcla.

Capa / Ensayo	Capa Estabilizada Tipo I	Capa Estabilizada Tipo II	Capa Estabilizada Tipo III	Capa Estabilizada Tipo IV
Resistencia a la Compresión	> 4.0 MPa	> 2.5 MPa	> 1.2 MPa	> 0.5 MPa
CBR	> 100 %	> 80 %	> 50 %	> 10 %
Mod. de Elasticidad Estático a 7 días	> 900 MPa	> 600 MPa	> 400 MPa	> 150 MPa
Módulo Dinámico (Tracción Indirecta)	> 650 MPa	> 450 MPa	> 120 MPa	> 50 MPa
Tracción Indirecta Estática	> 2 MPa	> 1.3 MPa	> 0.6 MPa	> 0.3 MPa
Durabilidad (Cepillado)	< 14 %	< 10 %	< 8 %	< 6 %

4.2. Aplicación del Producto.

La Aplicación en cada caso será establecida por el Consultor y el Proveedor del producto, se realizará de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto, y deberá ser el resultado de un diseño de mezcla específico, para unas condiciones mecánicas y de durabilidad determinadas.

4.3. Ensayos de Laboratorio Recomendados para Diseño Estructural.

Los siguientes ensayos están asociados a los parámetros mecánicos y de durabilidad que se exigen del material estabilizado y que son necesarios para definir los espesores de las capas estructurales. El valor admisible está en función de la ubicación de la capa en la estructura del pavimento.

Tabla 5: Ensayos requeridos para el diseño estructural de la capa.

Capa / Ensayo	Capa Estabilizada Tipo I	Capa Estabilizada Tipo II	Capa Estabilizada Tipo III	Capa Estabilizada Tipo IV
Resistencia a la Compresión	x	x	x	x
CBR	x	x	x	x
Mod. de Elasticidad Estático a 7 días	x	x	x	x
Módulo Dinámico (Tracción Indirecta)	x	x	x	x
Tracción Indirecta Estática	x	x	x	x
Ley de Fatiga**	x	x		
Cepillado-Durabilidad**	x	x	x	x

El tipo de capa hace referencia a lo establecido en el numeral 2.3.

**Estos ensayos se realizarán si y sólo si los documentos del proyecto lo exigen y se emplean en la fase de diseño, no como parámetros de control del material estabilizado.

5. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.

5.1. Explotación de los materiales y elaboración de agregados.

Los procesos de estabilización contemplados en este documento permiten, generalmente, el uso de materiales provenientes del reciclaje de capas de la estructura de pavimento. La preparación de estos materiales consiste primordialmente en efectuar el retiro de sobretamaños del material fresado y/o escarificado y de agentes contaminantes tales como contenidos perjudiciales de materia orgánica (Ver Tabla 3).

En el caso de utilizarse materiales provenientes de canteras, los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto de características uniformes; según sea exigido en los documentos del proyecto. El retiro de sobretamaños deberá obligatoriamente realizarse en el lugar de explotación del material, al igual que los trabajos de clasificación del mismo. Los lugares que sean explotados en forma específica y exclusivamente para los trabajos en cuestión, deberán recuperarse en su totalidad con vegetación nativa de la zona de acuerdo con La Guía de Manejo de Ambiental del Instituto y el Plan de Manejo Ambiental Específico del Proyecto.

5.2. Transporte de Material.

Como se menciona en numerales anteriores, el objetivo principal de estos procesos de estabilización es el uso de materiales nativos, reciclados y/o marginales que se encuentran extendidos a lo largo de la vía, sin embargo, cuando los trabajos de estabilización incluyan la incorporación de suelos o materiales de aporte, éstos deberán transportarse a la vía protegidos con lonas y/o cobertores adecuados, asegurados a la carrocería, con el fin de impedir contaminación ambiental y que parte del material se pierda durante el trayecto cayendo sobre las vías por donde transitan los vehículos.

5.3. Equipos de Trabajo.

Para todos los casos de estabilización se solicitará básicamente el equipo aquí expuesto, este deberá ser compatible con los procedimientos de construcción adoptados, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución específico de las obras. El equipo solicitado incluirá: Volquetas, Cilindro Compactador, dinámico y/o estático según sea la necesidad, Equipo Irrigador de agua, Motoniveladora, Recicladora (en caso de requerirse), Buldózer, Herramienta Menor, en caso de requerirse equipo diferente al mencionado y/o no contarse con el equipo aquí indicado, éste podrá ser reemplazado por aquel que el Constructor considere apropiado, y deberá ser aprobado por el Interventor.

5.4. Fase de Experimentación.

Indefectiblemente al comienzo de todos los trabajos, el Constructor y el Proveedor elaborarán secciones de ensayo, de longitud, ancho y espesor definidos, donde se probará el equipo y se determinará el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de diseño y los parámetros establecidos en los documentos del proyecto.

De acuerdo con la Normas INV E 101 e INV E 103 se realizará la toma, conservación y transporte de muestras del suelo estabilizado y se decidirá su conformidad en relación con las condiciones especificadas en el diseño de la capa estabilizada, disgregación, humedad, espesor de la capa, proporción del producto y demás requisitos exigidos.

En el caso en que los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a las condiciones previamente establecidas, El Consultor, El Proveedor y el Constructor serán responsables de realizar inmediatamente las modificaciones precisas y de ser necesario se modificará el diseño, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones pertinentes, hasta que éstas resulten satisfactorias, sin que esto implique costos adicionales al proyecto.

5.5. Preparación de la Superficie Existente.

La colocación de la capa de material estabilizado sólo será autorizada cuando la superficie sobre la cual debe emplazarse tenga la calidad, densidad y las cotas indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas. Además, deberá estar concluida la construcción de las cunetas, desagües y filtros necesarios para el drenaje de la calzada, cuando así se requiera.

En caso de que la ejecución de trabajos se realice con el material existente en la vía, éste se escarificará en todo el ancho de la capa que se pretende tratar y mejorar, hasta una profundidad suficiente, permitiendo que una vez compactada la capa estabilizada, alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto. Si se contempla la adición de un suelo de aporte para mejorar el existente, ambos se deberán mezclar uniformemente antes de iniciar la distribución del producto estabilizante.

5.6. Pulverización del Suelo.

Dependiendo del proceso a utilizar y antes de aplicar el producto al material por estabilizar, sea que haya sido escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen que cumplan con los requerimientos señalados de calidad, se pulverizará con el equipo requerido en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos del proyecto. Cuando el proceso de estabilización utilizado no requiera de pulverización, el Constructor y el Proveedor deberán soportar por medio de la hoja de instrucción de uso del producto la no ejecución de esta labor.

El proceso de pulverización continuará hasta que se logre obtener una eficacia del ochenta y cinco por ciento (85%) referida al tamiz de 9.5 mm (3/8") y del setenta y cinco por ciento (75%) referida al tamiz de 4.75 mm (No.4), entendiéndose por eficacia la relación entre el tamizado en seco en obra y el tamizado húmedo en laboratorio. Si el suelo es difícil de pulverizar en estado natural, la operación se puede facilitar con un humedecimiento previo, el cual no podrá rebasar la humedad óptima para la mezcla. La longitud de calzada pulverizada no deberá exceder de la que pueda tratarse y compactarse de acuerdo con este documento en dos (2) días de trabajo. Una vez pulverizado el suelo, éste deberá conformarse a la sección transversal aproximada de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

5.7. Aplicación del Producto Estabilizante.

En la Tabla 6 se presenta la recomendación mínima de aplicación de los productos estabilizantes contemplados en el presente documento:

GUÍA PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE CAPAS ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS
ESTABILIZADAS MEDIANTE PROCESOS QUÍMICOS

Tabla 6: Aplicación del producto estabilizante.

Adiciones a Suelo-Cemento: su aplicación se puede realizar de dos formas:	
a)	Una vez mezclado el suelo con el cemento se irriega el producto previamente diluido en agua, según la dosificación de diseño.
b)	Colocar primero la adición en el suelo y luego el cemento. La definición de la alternativa, la establecerá el proveedor de acuerdo a las condiciones de la obra.
*Estabilización Electroquímica: El Estabilizador se diluye en agua, según la dosificación indicada y la solución establecida y se aplica por medio de riego uniforme o en su defecto y cuando las condiciones lo exijan, por inoculación.	
*Sistemas de Transporte Coloidal: Una vez escarificado el material a estabilizar se procede a extender el cemento para mezclado y a continuación se irriega el producto previamente dispersado en agua.	
*Productos a base de Enzimas: El aditivo se diluye en la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación del material a estabilizar, esto según la solución y dosificación establecida, y se aplica por incorporación mediante riego y mezclado uniforme al material por estabilizar.	
Estabilización Suelo – Polvo de Roca: Su aplicación se realiza con vehículos esparcidores sobre la superficie ya preparada. No obstante, en regiones de difícil acceso, esta labor puede llevarse a cabo con pala mecánica o descargando el material directamente de los sacos.	
Bases Orgánicas:	
Neutralizante	Forma de Aplicación
Sulfato de aluminio	Se incorpora el estabilizante diluido en agua irriigándolo con el carrotanque en el suelo previamente escarificado y pulverizado posteriormente se aplica el sulfato de aluminio diluido en agua.
Hidróxido de calcio	Se incorpora distribuyéndolo uniformemente sobre el suelo y luego el estabilizante disuelto en agua.
*La incorporación y aplicación del producto debe hacerse bajo los parámetros de concentración establecidos por el proveedor.	

5.8. Mezcla.

Luego de aplicar el producto estabilizante, con o sin ligante hidráulico según sea el caso, se efectuará la mezcla en todo el espesor indicado en los documentos del proyecto. Para la ejecución de la mezcla se empleará el equipo aprobado y ésta operación se realizará hasta el punto en que se obtenga homogeneidad en la composición. En caso de requerirse, se añadirá el agua faltante y se continuará la mezcla hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad, garantizando las pendientes requeridas antes de proceder a la compactación. La Tabla 7 presenta el procedimiento general de mezclado según el tipo de proceso.

Tabla 7: Procedimiento de mezclado de la capa.

Adiciones a Suelo-Cemento: De acuerdo con la secuencia prevista en la Tabla 6 se mezcla el suelo, el cemento y el aditivo empleando el equipo idóneo para este trabajo. El número de pasadas será el necesario para garantizar la homogeneidad de la mezcla.
Estabilización Electroquímica: No requiere de procedimiento de mezclado.
Sistemas de Transporte Coloidal: Se realiza empleando el equipo idóneo para este trabajo o conformando cordones longitudinales y realizando amasado hasta obtener una mezcla homogénea y uniforme.
Productos a base de Enzimas: Se efectúa el mezclado en todo el espesor empleando el equipo idóneo para este trabajo, de forma tal que se garantice una mezcla homogénea.
Estabilización Suelo – Polvo de Roca: La incorporación del estabilizante se realiza con el equipo establecido para esta labor. La profundidad se rige por los posteriores requerimientos planteados al tramo construido.
Bases Orgánicas: Después de incorporar el estabilizante, se mezcla y homogeniza el material con el equipo apropiado, luego se incorpora el neutralizante con el carrotanque y nuevamente se mezcla y homogeniza.

5.9. Compactación.

Una vez establecido el método de trabajo determinado en el numeral 5.4, Fase de Experimentación, se realizará la compactación la cual estará de acuerdo con el espesor, el tipo, número y estado de los equipos designados para esta labor. Los trabajos de compactación deberán terminarse en el lapso que fije el proveedor y/o fabricante del producto. En las zonas en las que por efectos técnicos y/o constructivos no se permita el empleo del equipo de mezcla y compactación se realizarán los trabajos con los medios y equipos que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad obtenida no sea inferior a la exigida en los documentos del proyecto. Para realizar el control de compactación se debe ejecutar el ensayo de peso unitario del suelo en el terreno, método del cono de arena, INV E 161³, o en su defecto el ensayo de peso unitario del suelo y del suelo-agregado en el terreno mediante métodos nucleares, INV E 164⁴.

5.10. Juntas de Trabajo.

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Si la capa estabilizada no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, deberán disponerse también, juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada. En todo caso las juntas de trabajo y traslapes que se requieran durante la construcción serán supervisados por el Proveedor y el Consultor cuidando seguir el procedimiento adecuado para este tipo de trabajo.

5.11. Curado.

Cuando se requiera, y una vez terminada la conformación y compactación de la capa estabilizada, deberá someterse a los tiempos mínimos indicados en la Tabla 8. Sólo si el Proveedor del producto lo autoriza y dependiendo del producto utilizado se permitirá o no el tránsito de vehículos sobre la capa antes o durante el tiempo de curado, y éste será responsable de los daños prematuros que ocurran a la capa. Cualquier tipo de riego de protección, durante o posterior a la etapa de curado lo establecerá el fabricante del producto y sólo podrá aplicarse una vez sea aprobado por el Interventor.

Tabla 8: Tiempos de Curado.

Adiciones a Suelo-Cemento: 24 horas*	Estabilización Electroquímica: S/R
Sistemas Coloidales: S/R	Productos a base de Enzimas: 72 horas
Suelo – Polvo de Roca: 24 horas	Bases Orgánicas: 72 horas

* En caso de requerirse un tiempo diferente se consultará con el fabricante del producto.
S/R: Sin Restricciones de Tiempo de Curado.

³ Correspondencia con las Normas AASHTO T 191 y ASTM D 1556.

⁴ Correspondencia con las Normas AASHTO T 238 y ASTM D 2922

5.12. Apertura al Tránsito.

La Tabla 9 indica los periodos mínimos que deben ser tenidos en cuenta para dar apertura al tránsito en el tramo del proyecto, una vez ha sido efectuada la estabilización. Los tiempos de apertura deberán ser verificados y confirmados por el Consultor teniendo como base el diseño de mezcla. Adicionalmente, La apertura será al inicio durante un tiempo corto que permita verificar el comportamiento de la capa estabilizada y localizar las áreas que deban ser objeto de corrección

Tabla 9: Apertura al Tránsito.

Adiciones a Suelo-Cemento: 24 horas*	Estabilización Electroquímica: Después que la mezcla alcance un 70% de la resistencia mínima a la compresión inconfiada o a la tracción indirecta
Sistemas de Transporte Coloidal: Inmediato	Productos a base de Enzimas: Inmediato.
Estabilización Suelo – Polvo de Roca: 24 horas	Bases Orgánicas: 72 horas

* En caso de requerirse un tiempo diferente se consultará con el fabricante del producto.

5.13. Conservación de la capa Estabilizada.

Cuando en un proyecto, se tenga programada la construcción inmediata, de una o mas capas, sobre la estabilizada, ésta se deberá conservar en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente, deberá ser corregido, sin incurrir en costos adicionales, cumpliendo la programación de la obra y satisfaciendo los requerimientos técnicos del proyecto.

5.14. Limitaciones de la Ejecución.

En caso de llevarse a cabo los trabajos ignorando las limitaciones establecidas en la Tabla 10, se deberá realizar el tratamiento correspondiente dispuesto en el numeral de conservación de la capa estabilizada.

Tabla 10: Limitaciones en la Ejecución de Trabajos

Adiciones a Suelo-Cemento: La Temperatura Ambiente deberá ser superior a los 5°C, se evitará la realización de trabajos bajo la lluvia.
Estabilización Electroquímica: Evitar la realización de trabajos bajo la lluvia.
Sistemas Coloidales: S/R
Productos a base de Enzimas: Evitar la realización de trabajos bajo la lluvia.
Estabilización Suelo – Polvo de Roca: Evitar la realización de trabajos bajo la lluvia.
Bases Orgánicas: S/R
*Cuando exista riesgo de lluvia no deberán ejecutarse trabajos de estabilización. S/R: Sin Restricciones.

6. RECIBO DE LOS TRABAJOS.

6.1. Controles generales.

Durante la ejecución de los trabajos, se adelantarán los siguientes controles principales:

Se verificará el buen estado y el correcto funcionamiento de los equipos y herramientas empleadas y la afinidad de las mismas con la ejecución de los trabajos según el proceso de estabilización escogido, de no ser así se podrá ordenar el reemplazo inmediato de aquellos que, a buen juicio, no permitan la correcta ejecución de los trabajos.

Comprobar que los materiales cumplen con los requisitos de calidad exigidos en este documento. Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de la ejecución del tramo de prueba con el proceso de estabilización escogido.

6.2. Controles de Producción y Tolerancia.

El agua y los agregados deberán cumplir los requisitos descritos en el numeral 3 de este documento, el producto estabilizante cumplirá los requerimientos establecidos de fábrica; los cuales podrán ser evaluados en cualquier momento a discreción del usuario. El material estabilizado será valorado con los controles indicados en la Tabla 11.

Tabla 11: Verificaciones sobre los Materiales Estabilizados.

Propiedad medida	Ensayo	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición	Granulometría	INV E 123	1 por jornada
Plasticidad	Límite líquido	INV E 125	1 por jornada
	Índice plástico	INV E 126	1 por jornada
Capacidad de soporte y/o Resistencia*	CBR**	INV E 148	1 por cada 100 metros lineales de capa estructural
	Resistencia a la Compresión**	INV E 809	1 por jornada
	Tracción indirecta Estático**	INV E 411	1 por Jornada
Durabilidad	Cepillado Humedecimiento y Secado	INV E 807	1 por mes
Dureza	Desgaste Los Ángeles	INV E 218/219	1 por semana

*Para la ejecución de los ensayos indicados se solicitarán un mínimo de tres (3) muestras por ensayo.

**El Consultor establecerá la edad de ensayo de las muestras, en caso de no indicarse, los ensayos serán a 7 días después de la toma de la muestra.

Cuando la Ejecución del Proyecto sea menor de una semana se deberán realizar los ensayos de Durabilidad y Dureza para el periodo contemplado de duración.

La Capacidad de Soporte o Resistencia media, de acuerdo al ensayo de control que sea establecido de la Tabla 11, de las probetas (R_m) debe ser igual o superior al noventa y siete por ciento (97%) de la resistencia correspondiente al diseño previamente establecido (R_d). A su vez, la resistencia de cada probeta (R_i) deber ser igual o mayor al noventa y cinco por ciento (95%) del valor medio, (R_m), admitiéndose, sólo un valor individual por debajo de ese límite. Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se rechazará el tramo al cual representan las muestras.

6.3. Control de Calidad del Producto Terminado.

El recibo de la capa estabilizada se realizará por medio de los controles de compactación, ensayo de peso unitario del suelo en el terreno, Método del cono de arena, INV E 161⁵, o en su defecto el ensayo de peso unitario del suelo y del suelo-agregado en el terreno mediante métodos nucleares, INV E 164⁶.

6.3.1. COMPACTACIÓN.

Se realizarán 4 ensayos de peso unitario de la capa compactada por jornada, los sitios para las tomas de muestras y/o mediciones in situ se elegirán al azar, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

La densidad seca promedio del lote (D_m) deberá ser igual o mayor a la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Relaciones de peso Unitario-Humedad en los suelos Equipo Modificado (INV E 142⁷) de referencia (D_e), efectuando la corrección previa por partículas de agregado grueso, siempre que ella resulte necesaria. El control de densidad se realizará en el espesor de capa realmente construido, de acuerdo con el proceso constructivo aplicado.

$$D_m \geq D_e$$

A su vez, la densidad seca obtenida en cada medida individual (D_i) deberá ser mayor o igual al noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad seca promedio del lote, admitiéndose sólo un valor debajo de esta exigencia.

$$D_i \geq 0.98 D_m$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos, implicará la obligación del Contratista de ejecutar nuevamente los trabajos hasta lograr las densidades especificadas.

6.3.2. ESPESOR.

Cuando se requiera, en los sitios escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño. Además el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, como mínimo, igual al noventa y siete por ciento (97%) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, so pena del rechazo del sector controlado.

6.3.3. DEFLEXIÓN DE LA CAPA.

La medición de la deformabilidad (deflexión) de la capa se realizará por medio del ensayo, Medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman, INV E 795, la deflexión será verificada con el valor del módulo de elasticidad establecido en el diseño. Ésta medición no se establece como control de aceptación o rechazo de la capa estabilizada.

⁵ Correspondencia con las Normas AASHTO T 191 y ASTM D 1556.

⁶ Correspondencia con las Normas AASHTO T 238 y ASTM D 2922

⁷ Correspondencia con las Normas AASHTO T 180 y ASTM D 1557

6.3.4. LISURA.

La uniformidad de la superficie de la obra ejecutada, se comprobará con una regla de tres metros (3 m) de longitud, colocada tanto paralela como normalmente al eje de la vía, no admitiéndose variaciones superiores a quince milímetros (15 mm) para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente según el proyecto geométrico. Cualquier irregularidad que exceda esta tolerancia deberá ser corregida por el Contratista, a su costo, el procedimiento a emplear deberá ser aprobado previamente por la Interventor y el Proveedor garantizando una buena adherencia y continuidad de la capa estabilizada.

El incumplimiento de los requisitos en los numerales 6.3.1 a 6.3.4 implica el rechazo del tramo.

7. MEDIDA.

La unidad de medida será el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material estabilizado colocado y compactado que cumpla a satisfacción los requerimientos técnicos de este documento cuando el cómputo de la fracción decimal de la obra aceptada resulte igual o superior a cinco décimas de metro cúbico ($\geq 0.5 m^3$) la aproximación al entero se realizará por exceso y cuando sea menor de cinco décimas de metro cúbico ($< 0.5 m^3$), la aproximación al entero se realizará por defecto.

El volumen se determinará por el sistema promedio de áreas extremas, utilizando las secciones transversales y la longitud real, medida a lo largo del eje del proyecto. No se medirán cantidades superiores a las especificadas en los documentos del proyecto, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la subrasante.

8. FORMA DE PAGO.

El pago se hará por metro cúbico al respectivo precio unitario establecido en los documentos del proyecto, por toda obra ejecutada de acuerdo tanto con esta guía y aceptada a satisfacción por el supervisor de calidad del proyecto.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de permisos ambientales para la explotación de los suelos y agregados; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos de explotación, selección, trituración, eventual lavado, transportes, almacenamiento, clasificación, desperdicios, cargues, descargues, mezcla, colocación, nivelación y compactación de los materiales utilizados; y los de extracción, bombeo, transporte y distribución del agua requerida.

Las procesos de estabilización propuestos contemplan el uso de materiales provenientes de la misma vía, para lo cual el precio unitario deberá incluir su escarificación en el espesor requerido y cuando se requiera su posterior pulverización hasta cumplir las exigencias de la respectiva guía. Tanto si los materiales provienen de la misma vía como si son transportados, el precio unitario deberá incluir también el suministro en el sitio del agua que se pueda requerir, la aplicación y mezcla del producto estabilizante; así como el suministro, almacenamiento, desperdicios, cargues, transporte, descargues y aplicación del producto requerido para el curado de la capa compactada, según lo exija la guía

particular del producto y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

En el caso de la construcción de capas estabilizadas con materiales provenientes de canteras o fuentes, explotadas exclusivamente para este trabajo, el precio unitario deberá incluir, los costos de adecuación paisajística de las mismas para recuperar las características hidrológicas al terminar su explotación; así como los de la fase de experimentación y de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

El Constructor deberá considerar, en relación con los explosivos que requiera, todos los costos que implican su adquisición, transporte, escoltas, almacenamiento, vigilancia, manejo y control, hasta el sitio e instante de utilización.

Los costos de la fase de experimentación, tramo de prueba, y los trabajos de laboratorio a cargo del Constructor, deberán estar incluidos en el precio unitario.

La preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por lo tanto, no habrá lugar a pago separado por este concepto, salvo que dicho ítem no forme parte del mismo contrato, caso en el cual el Constructor deberá considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del ítem objeto del pago.

9. ÍTEM DE PAGO.

El ítem aquí indicado se pagará al precio unitario de contrato por metro cúbico de capa estabilizada o la unidad de medición establecida de manera particular o en el diseño.

En el precio unitario deberá incluirse los costos correspondientes a las operaciones que se detallan a continuación: excavación o escarificación del suelo, carga, descarga, mezclado, transporte interno, distribución, provisión, transporte y aplicación del agua, compactación, curado (incluido provisión de los materiales correspondientes en los costos en que corresponda), mano de obra necesaria para completar los trabajos y conservación según lo establecido en el presente documento.

Capa estabilizada mediante procesos químicos

Metro cúbico (m^3)

Producto estabilizante o aditivo

g/m^3 , cm^3/m^3 , gl/m^3 ó L/m^3



MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022

Por la cual se adoptan las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional

EL DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

En ejercicio de las facultades legales y en especial las conferidas por los numerales 7.2, 7.6 y 7.19 del artículo 7 del Decreto 1292 de 2021, y

CONSIDERANDO:

Que el artículo 173 de la Ley 1955 de 2019 *"Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad"*, establece que: *Para la promoción del emprendimiento, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías e innovación en la infraestructura de transporte, el INVIA podrá incentivar la promoción del uso de tecnologías, mediante la cofinanciación de ejecución de tramos de prueba, con cargo a los presupuestos de los respectivos proyectos de infraestructura en desarrollo de los respectivos contratos. PARÁGRAFO. La regulación técnica para la implementación, estandarización, seguimiento, metodologías y protocolos de nuevas tecnologías para la intervención de la infraestructura de transporte, se definirá por el INVIA.*

Que el Decreto 1292 de 2021 *"Por el cual se modifica la estructura del Instituto Nacional de Vías"* establece en el artículo 2, numerales 2.2 y 2.20 que, corresponde al Instituto Nacional de Vías – INVIA, entre otras funciones, las siguientes: *"2.2 Elaborar conjuntamente con el Ministerio de Transporte los planes, programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, operación y mantenimiento, atención de emergencias y demás obras que requiera la infraestructura de su competencia."*, así como, *"2.20 Definir, expedir y adoptar la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo."*

Que el artículo 7° en los numerales 7.2, 7.6 y 7.19 del Decreto 1292 de 2021, estipulan que son funciones del Despacho del Director General del Instituto, las siguientes: *"7.2 Dirigir, coordinar, vigilar y controlar la ejecución de las funciones y programas del Instituto a través de sus dependencias y de su personal."*, *"7.6 Expedir y adoptar la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo."* y *"7.19 Emitir los actos administrativos que se requieran en desarrollo de la actividad técnica y administrativa del Instituto, de conformidad con las disposiciones vigentes."*

Que el Instituto Nacional de Vías – INVIA, puso en marcha el Plan de Acción Institucional 2019 - 2022 que tiene como propósito, entre otros: La terminación de proyectos estratégicos, la gestión vial integral con el mantenimiento y rehabilitación de la red nacional de carreteras, la terminación de corredores viales principales 2022, el planeamiento de corredores prioritarios de largo plazo visión 2030 y la construcción de corredores regionales y pactos territoriales; mediante la transformación técnica y modernización del Instituto, que incluye entre otras acciones: la actualización y/o elaboración de nueva regulación técnica, expedir la reglamentación técnica, identificar y evaluar nuevas tecnologías que puedan ser adoptadas y normalizadas, establecer lineamientos de sostenibilidad, la virtualización, banco de lecciones aprendidas; a través de la articulación con escuelas y universidades, gremios, entidades territoriales, veedurías ciudadanas, entre otros.



MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Resolución Número Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022

Por la cual se adoptan las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional

Que el desarrollo de nuevos y distintos métodos constructivos, sumado al cambio dinámico del parque automotor que ha contribuido en los incrementos de las cargas de tránsito, al igual que los aportes de la industria y de la academia en la investigación de materiales nuevos o existentes y nuevas tecnologías aplicables, ha generado la necesidad de construir documentos regulatorios relacionados con los requerimientos de calidad de nuevos materiales, técnicas de construcción y de los ensayos para su aceptación, así como de los estándares y procedimientos generales de ejecución, control y recibo para los trabajos de construcción habituales en la red nacional de carreteras.

Que en los últimos años se ha producido un avance en la actualización de normas internacionales que se han constituido como referentes para el país, tales como: Manual de Carreteras de Chile, volumen No. 5, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción (2019), California Department of Transportation (2018), Pliego de Especificaciones Técnicas Generales, Argentina (2017), Normatividad para la Infraestructura de Transporte (normativa SCT), Construcción (CTR) Carreteras (CAR), del Instituto Mexicano del Transporte (2016), Manual of contract documents of highway works U.K. Department for Infrastructure (2016), Western Australia Department of Transport (2015), Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3), Ministerio de Fomento, Gobierno de España, FP-14 Standard specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects (2014), Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, Perú (2013).

Que de conformidad con el avance en el desarrollo y aplicación de tecnologías modernas y productos de punta para la infraestructura de transporte, originado por los nuevos avances tecnológicos, así como el mejoramiento en equipos de construcción y metodologías para el control de calidad de las obras viales, se hace necesario generar las especificaciones generales de construcción de carreteras aplicadas a las nuevas tecnologías, con el fin de propender por una mayor competitividad que impacte la transformación productiva del país, generando procesos más eficaces y eficientes en las etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Que el INVÍAS, en desarrollo de sus competencias debe propender por la adopción de la regulación técnica de las nuevas tecnologías para la infraestructura del transporte, liderando el proceso de reglamentación técnica de las nuevas especificaciones generales de construcción de carreteras y de normas de ensayo de materiales para la construcción, mantenimiento y rehabilitación de la red nacional de carreteras.

Que el 28 de diciembre de 2020, el Instituto Nacional de Vías – INVÍAS, suscribió con la Universidad del Cauca el Convenio Interadministrativo No. 1633, cuyo objeto fue *“AUNAR ESFUERZOS TÉCNICOS, ADMINISTRATIVOS, JURÍDICOS Y FINANCIEROS, CON EL PROPOSITO DE EFECTUAR ACOMPAÑAMIENTO AL PROCESO DE REGULACIÓN TÉCNICA DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE”*, en el marco del procedimiento adoptado por el Instituto Nacional de Vías – INVÍAS mediante Resolución No. 000263 del 31 de enero de 2020, derogado por la Resolución No. 1536 del 06 de mayo de 2022, por medio de los cuales, se generaron dieciséis (16) artículos de nuevas especificaciones generales de construcción de carreteras y tres (03) normas de ensayos para materiales.

Que, atendiendo los principios que se deben aplicar en el marco del desarrollo de la función administrativa, tales como el de responsabilidad, celeridad, coordinación, participación y transparencia, se desarrolló un proceso colaborativo a través de mesas técnicas, que contó con la participación de los sectores productivos, académicos y gremiales, permitiendo



MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Resolución Número Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022

Por la cual se adoptan las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional concertar diferentes puntos de vista, aportes de conocimiento y experiencia a los documentos técnicos, resultado del proceso de regulación de las nuevas tecnologías.

Que, de acuerdo con lo expuesto, es necesario adoptar las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional.

Que el contenido de la presente resolución fue publicado en la página web del Instituto Nacional de Vías - INVIA, entre el 31 de marzo de 2022 y el 08 de abril de 2022 y entre el 16 y 25 de junio de 2022, en cumplimiento de lo determinado en el numeral 8 del artículo octavo de la Ley 1437 de 2011 y las observaciones recibidas durante la publicación, fueron atendidas según correspondía.

En mérito de lo expuesto,

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. OBJETO: Adoptar como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial nacional, los siguientes dieciséis (16) artículos que harán parte de las ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN, así como, tres (03) normas de ensayos para materiales.

CAPITULO	ARTICULO	TITULO
Explanaciones	Artículo 237-22	Estabilización de suelo con productos químicos no tradicionales
Afirmados, Subbases y Bases	Artículo 323-22	Subbase granular con agregado siderúrgico.
Pavimentos Asfálticos	Artículo 418-22	Fibras sintéticas de aramida y poliolefina de refuerzo para mezcla asfáltica
Pavimentos Asfálticos	Artículo 457-22	Mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para parcheo de pavimentos asfálticos
Estructuras y Drenajes	Artículo 611-22	Concreto Celular para rellenos
Estructuras y Drenajes	Artículo 633-22	Prefabricados de concreto reforzado de gran formato
Estructuras y Drenajes	Artículo 684-22	Estabilización de taludes con sistema combinado de muro plástico y anclajes
Estructuras y Drenajes	Artículo 685-22	Bolsas de geotextil gigantes (BGG)
Estructuras y Drenajes	Artículo 686-22	Muro en suelo claveteado con paneles de concreto
Estructuras y Drenajes	Artículo 687-22	Muros en suelo reforzado
Señalización y Seguridad	Artículo 702-22	Tachas reflectivas con espigo
Señalización y Seguridad	Artículo 703-22	Tachas electrónicas solares led
Señalización y Seguridad	Artículo 732-22	Barreras metálicas con rodillos
Obras Varias	Artículo 801-22	Cercas y cerramientos con postes ecológicos
Obras Varias	Artículo 840-22	Obras de ingeniería verde
Obras Varias	Artículo 850-22	Geobioingeniería



MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Resolución Número Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022

Por la cual se adoptan las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional

NORMA	TÍTULO
INV E 631-22	Relaciones humedad-peso unitario seco de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no tradicionales
INV E 632-22	Resistencia a la compresión inconfiada de muestras estabilizadas con productos químicos no tradicionales
INV E 826-22	Método para medir deflexiones mediante un deflectómetro de impacto liviano (LWD) en suelos

ARTÍCULO SEGUNDO. VIGENCIA: La presente Resolución rige a partir del día siguiente de su publicación.

PUBLÍQUESE, COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE,

Dada en Bogotá D.C., a los 15 días del mes de julio del 2022

JUAN ESTEBAN GIL CHAVARRÍA
Director General

Proyectó: Rafael Antonio Henao

Revisó: Neyla Teresa Moreno Vega

Revisó: Sandra Lorena Guacaneme

Revisó: Paula Andrea Vargas Rojas

Revisó: Aura Mercedes Jalaff
Ramírez

Vo.Bo: Gladys Gutiérrez Buitrago

VoBo: Guillermo Toro Acuña

VoBo: Juliana Sánchez Acuña

Gestor de Nuevas Tecnologías - Grupo de Reglamentación Técnica Innovación 

Coordinadora Grupo de Innovación 

Abogada Subdirección de Reglamentación Técnica e Innovación 

Abogada Subdirección de Reglamentación Técnica e Innovación 

Abogada Dirección Jurídica 

Subdirectora de Reglamentación Técnica e Innovación 

Director Técnico y de Estructuración 

Directora Jurídica

Firmado
digitalmente
por GUILLERMO
TORO ACUÑA

Estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales

Artículo 237-22

237.1 Descripción

Esta especificación consiste en los lineamientos, metodologías y protocolos de utilización de productos químicos no tradicionales, para la estabilización de suelos de subrasante o materiales existentes en las vías de bajos volúmenes de tránsito (NT1 de acuerdo con la Tabla 100-1 del artículo 100, Ámbitos de aplicación, términos y definiciones), utilizados como fundación, capa estabilizada no estructural o capa estabilizada estructural de un pavimento, de acuerdo con las dimensiones, lineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

El presente artículo aplica exclusivamente para productos químicos no tradicionales, aquellos aditivos que tengan una especificación como la cal, cemento, asfalto, etc., deben acogerse a su respectiva especificación.

Los lineamientos para la estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales deben garantizar parámetros mínimos de estabilización para su aplicación y estabilidad en el tiempo. Lo anterior no exime la responsabilidad de consultores, constructores e interventores. Los cuales requieren contar con la asesoría técnica en forma permanente y presencial del proveedor del producto y con un consultor especializado, para que bajo su responsabilidad compartida con el contratista y la interventoría se ejecuten los trabajos.

Nota aclaratoria:

Los estabilizantes no tradicionales, son mate-

riales de los cuales no se conoce totalmente su comportamiento y hace falta mayor investigación para poder definir sus características físico-mecánicas. En consecuencia el contenido de este documento no contempla necesariamente todos los aspectos que pueden conformar la elaboración del diseño de las mezclas resultantes en el laboratorio, sus parámetros de calidad y control durante la construcción de este tipo de estabilizaciones en sus distintas presentaciones que se ofrecen en el mercado por diferentes proveedores.

237.2 Materiales

237.2.1 Suelos a estabilizar

El material por estabilizar con productos químicos no tradicionales puede provenir de la escarificación de la capa superficial existente, o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, o combinación de material existente con material de préstamo.

Durante el estudio de suelos se debe evaluar la presencia, en los suelos, de materia orgánica o cualquier otro compuesto que pueda afectar las reacciones químicas del estabilizante con el suelo. El resultado del análisis de la composición química del suelo y la presencia de compuestos que puedan afectar la estabilización se debe tener en cuenta en la selección del tipo de estabilizante.

Los documentos del proyecto deben incluir el análisis de la selección del tipo de estabilizante, en el cual se descarte la presencia en el suelo de compuestos que puedan afectar las

reacciones químicas o mecanismos de estabilización de acuerdo con el producto químico no tradicional propuesto. En caso de que el producto químico no tradicional propuesto no cumpla con esta condición se debe estudiar el uso de otro tipo de estabilizante.

de productos estabilizantes y el efecto que se desea lograr en el suelo.

237.2.2 Productos químicos no tradicionales

Se definen cinco (5) tipos de productos químicos no tradicionales como se indica en la Tabla 237-1, en función de las familias químicas

Tabla 237-1 Tipos de productos químicos no tradicionales

Tipo de material	Familia de estabilizantes químicos	Descripción
Tipo 1	Emulsiones enzimáticas	Compuestos diversos de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas con el fin de reducir la plasticidad y permeabilidad del suelo.
Tipo 2	Materiales puzolánicos	Materiales que promueven reacciones cementantes, estas reacciones consisten en la solubilización de los compuestos de sílice y alúmina amorfas o débilmente cristalizadas en un medio altamente alcalino, con la consecuente formación de aluminosilicatos dicálcicos y tricálcicos hidratados.
Tipo 3	Polímeros y organosilanos	Sustancias derivadas de compuestos orgánicos con cadenas moleculares extensas, empleadas en la estabilización de suelos con el fin de reducir la permeabilidad y aglomerar las partículas; en algunos casos alteran el comportamiento hidrofílico del suelo mediante mecanismos electroquímicos y de encapsulamiento en la fracción fina.
Tipo 4	Sales inorgánicas	Compuestos químicos de naturaleza iónica empleados para el control de emisiones de polvo en carreteras y en la reducción de plasticidad.
Tipo 5	Aceites sulfonados – sales orgánicas	Agentes químicos de naturaleza surfactante, derivados de compuestos orgánicos, empleados en la estabilización de suelos para disminuir la plasticidad y la expansividad de los suelos modificando los fenómenos electroquímicos de la fracción fina.

237.2.3 Selección del aditivo

Durante la etapa de selección del producto químico no tradicional se debe definir una (1)

mezcla de suelo-aditivo químico en función de los criterios para el diseño del suelo estabilizado definidos en la Tabla 237-2.

Tabla 237-2 Criterios para selección de aditivo no tradicional

Característica	Criterio
Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad – RRC	Reportar
Porcentaje de resistencia residual después de inmersión – RRI	Reportar
Relación de la resistencia del suelo estabilizado después de saturación sobre el suelo natural seco sin estabilizar	Reportar (Nota 1)
Nota 1: En suelos cohesivos y cuando sea posible la realización del ensayo de compresión inconfiada del suelo natural.	

Si la capa de suelo de subrasante o material existente a estabilizar pretende ser usada con fines estructurales, esta debe ser resistente a los efectos del agua y presentar una durabilidad comprobada a los efectos climáticos y del tránsito a lo largo del periodo de diseño de la estructura. Los documentos del proyecto deben indicar la resistencia mínima a compresión inconfiada después de inmersión o saturación por capilaridad de acuerdo con las normas de ensayo INV E-631 e INV E-632.

Se deben elaborar probetas del proyecto de mezcla conforme a los tiempos de revisión de siete, catorce o veintiocho días (7 d, 14 d o 28 d), o lo que el fabricante recomiende según el tipo de estabilizante. Después de terminar el proceso de curado definido por el diseñador de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del producto químico no tradicional, las probetas se deben someter a inmersión por una hora (1 h) e inmediatamente después se debe realizar el ensayo de resistencia a compresión inconfiada, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma INV E-632.

La relación entre la resistencia a la compresión inconfiada después de saturación por

inmersión sobre la resistencia a la compresión inconfiada en seco se debe reportar en los documentos del proyecto como porcentaje de resistencia residual después de inmersión (RRI).

Un conjunto diferente de probetas se somete a saturación por capilaridad después del curado por siete, catorce o veintiocho días (7 d, 14 d o 28 d), o lo que el fabricante recomiende según el tipo de estabilizante. Las probetas se deben poner sobre una piedra porosa con una lámina de agua hasta un milímetro (1mm) sobre su superficie durante un periodo de veinticuatro horas (24 h), luego de las cuales se deben someter inmediatamente al ensayo de resistencia a la compresión inconfiada. La relación entre la resistencia a la compresión inconfiada después de saturación por capilaridad sobre la resistencia a la compresión inconfiada en seco se debe reportar en los documentos del proyecto como porcentaje de resistencia residual después de capilaridad (RRC).

En el caso de suelos cohesivos se debe determinar la resistencia a la compresión inconfiada del suelo seco y se debe determinar la relación de la resistencia del suelo estabilizado

después de saturación sobre el suelo natural seco sin estabilizar.

El interventor debe evaluar la efectividad como estabilizante del suelo del proyecto del producto químico no tradicional propuesto analizando los valores reportados de los criterios indicados en la Tabla 237-2 del presente artículo para avalar el uso del producto y la fórmula de trabajo propuesta.

Todas las resistencias a evaluar para el presente análisis deben ser determinadas como el promedio de por lo menos cinco (5) probetas. Esta evaluación se debe hacer para cada una de las secciones homogéneas definidas en los estudios geotécnicos con base en la caracterización y composición química de los suelos presentes en el proyecto.

El efecto del agua sobre el material estabilizado debe ser determinado mediante la evaluación de muestras compactadas según la norma de ensayo INV E-632.

237.2.4 Caracterización del suelo

Es necesario establecer la calidad de los materiales que van a servir como fundación del

suelo a estabilizar.

Específicamente, se debe verificar la capacidad de soporte del material o capa que va a funcionar como subrasante, para usarlo como indicador de la calidad de la misma, en términos de su resistencia.

El espaciamiento longitudinal para los sondeos o apiques debe ser de mínimo cada doscientos cincuenta metros (250 m) y deben tener una profundidad mínima uno coma cincuenta metros (1,50 m), sin embargo, la separación de los sondeos puede ser menor dependiendo de las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto.

Para la caracterización de los suelos de fundación y materiales sobre los cuales se va a llevar a cabo el proceso de estabilización, se deben realizar los ensayos descritos en los documentos específicos del proyecto y como mínimo se deben realizar los ensayos presentados en la Tabla 237-3. En el caso de suelos superiores al tamiz nro.10, se deben preparar las probetas siguiendo los lineamientos de INV E-614 bajo los mismos criterios: RRI, RRC e IRA.

Tabla 237-3 Ensayos de caracterización suelos

Título de la Norma	Norma Ensayo	Criterio
Clasificación de suelos y mezclas de suelo y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO)	INV E-180	Reportar
Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	INV E-181	Reportar
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125	Reportar
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	INV E-126	Reportar
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	INV E-123	Reportar

Título de la Norma	Norma Ensayo	Criterio
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213	Reportar
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (nro. 200) en los agregados pétreos mediante lavado	INV E-214	Reportar
Ensayos fisicoquímicos		
pH de los suelos	INV E-131	Reportar
Contenido de sulfatos solubles en los suelos	NLT-120/72	Reportar
Determinación de la capacidad de intercambio catiónico	NTC 5268	Reportar
Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico o mediante el ensayo de pérdida por ignición	UNE 103204 o INV E-121	Reportar
Conductividad eléctrica	NTC 5596	Reportar
Ensayos mecánicos		
Relación de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142	Reportar
Relaciones humedad-densidad de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no convencionales	INV E-631	Reportar
Módulo resiliente (opcional)	INV E-156	Opcional
Índice de resistencia al agua	INV E-632	Reportar
Velocidad de ascenso capilar	INV E-632	Reportar
Permeabilidad de suelos ensayos de cabeza variable	ASTM D5084	Reportar
Composicionales		
Fluorescencia de rayos X XRF	Sin norma (Nota 1)	Reportar
Difracción de rayos X DRX	Sin norma (Nota 1)	Reportar
Microscopía electrónica de barrido SEM (opcional)	Sin norma (Nota 1)	Opcional
Análisis térmicos TGA/DTA (opcional)	ASTM E1131	Opcional

Título de la Norma	Norma Ensayo	Criterio
Área Superficial por el método BET (opcional)	Sin norma (Nota 1)	Opcional
Nota 1: Los análisis composicionales son de carácter instrumental y aunque no tienen norma específica para los materiales evaluados, cualquier laboratorio que cuente con los equipos instrumentales puede realizarlos.		

237.2.5 Agua

El agua que se requiera para la estabilización debe ser limpia y libre de compuestos que pu-

diesen resultar perjudiciales en la interacción suelo-aditivo. Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 237-4.

Tabla 237-4 Requisitos del agua a utilizar en la estabilización con productos químicos no tradicionales

Característica	Norma de ensayo	Requisito
pH	ASTM D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4 = g/l máximo	ASTM D516	1,0

237.2.6 Condiciones específicas para muestreo e investigación

Se deben realizar, con base en un muestreo representativo, las investigaciones requeridas que permitan establecer las características químicas y geotécnicas del suelo a estabilizar, el espaciamiento longitudinal para los sondeos o apiques debe ser de mínimo cada doscientos cincuenta metros (250 m) y deben tener una profundidad mínima de uno coma cincuenta metros (1,50 m), sin embargo la separación de los sondeos puede ser menor dependiendo de las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto, permitiendo identificar el material o aditivo de mayor potencial para mejorar las características mecánicas del suelo y garantizar la durabilidad.

Las muestras de suelo usadas en los ensayos de caracterización y composición química para realizar el diseño de mezcla y determinar

la fórmula de trabajo deben ser tomadas de la capa a estabilizar.

En caso de que a lo largo de la vía del proyecto se identifiquen suelos de diferentes características, la vía del proyecto se debe dividir en secciones homogéneas por tipo de suelo, para cada sección homogénea se debe seleccionar un producto químico no tradicional adecuado y determinar la respectiva fórmula de trabajo. Cada sección homogénea debe cumplir con lo indicado en el presente artículo.

237.3 Equipo

El constructor debe garantizar los equipos necesarios para la escarificación y la disgregación del material, la elaboración de la mezcla (planta de mezcla o máquina estabilizadora), motoniveladora, compactadores vibratorios y neumáticos, carrotanques para aplicar agua o aditivo y el material de curado de la capa compactada, para la formación de las juntas, equipos de transporte y herramientas menores.

237.3.1 Equipo para la elaboración de la mezcla de suelo aditivo

Los documentos del proyecto deben definir el tipo de equipo para elaborar la mezcla de suelo y producto químico, dentro de las siguientes opciones: planta de mezcla o máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio. El método de construcción debe garantizar la mezcla homogénea del suelo con el aditivo y debe ser avalado por el interventor. Si los documentos del proyecto no indican el equipo a utilizar, se debe definir el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo.

De utilizar máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio, debe comprobarse que, en la profundidad de estabilización, el suelo corresponda al suelo del tramo homogéneo; está comprobación se debe realizar mediante excavaciones de treinta por treinta centímetros por espesor de la capa (30 cm x 30 cm x espesor de la capa).

En cualquier caso, el equipo para la mezcla que suministre el constructor debe ser capaz de lograr una completa homogeneización de los componentes, dentro de las tolerancias establecidas en este artículo.

237.3.2 Equipos para explotación y manejo de materiales

En caso de que la estabilización incluya materiales transportados, el equipo debe incluir, también, elementos para su explotación, carga, transporte y clasificación.

237.3.3 Equipos para escarificación

Si está prevista la utilización de los materiales existentes en la vía, se debe contar con elementos apropiados para su escarificación.

237.4 Ejecución de los trabajos

Los documentos del proyecto deben indicar si se requiere la instalación de una capa de protección, sus características de acuerdo con los lineamientos del mismo y la finalidad para la cual se implemente (impermeabilización, protección al tráfico, seguridad, etc.); se deben definir tramos homogéneos que permitan garantizar los diseños de mezcla, los procesos constructivos y el control de calidad de la obra; aquellas capas estabilizadas que se proyecten para uso directo del tránsito deben demostrar su resistencia frente a factores climáticos y del tránsito.

237.4.1 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

237.4.1.1 Diseño de la mezcla

La mezcla de suelo aditivo se debe diseñar mediante los criterios de durabilidad y resistencia indicados en los documentos específicos del proyecto. El porcentaje óptimo debe ser aquel que permita cumplir con los parámetros definidos en las condiciones establecidas en el presente artículo y en los documentos del proyecto.

Se le debe exigir al contratista dejar constancia del porcentaje de uso respecto a la masa seca del material por estabilizar de todos los productos a utilizar en el proceso de estabilización; lo cual se debe indicar de manera detallada en la fórmula de trabajo a utilizar.

Las capas de suelo estabilizado que sean diseñadas y construidas con propósitos estructurales deben cumplir los criterios presentados en la Tabla 237-5 y soportar las cargas derivadas del paso de los vehículos, soportar la degradación generada por el agua, y poseer la durabilidad a la intemperie suficiente durante todo el periodo de diseño, así como soportar los efectos climáticos.

Tabla 237-5 Criterios de diseño para la mezcla de suelo aditivo

Ensayo	Norma de ensayo	Criterio
Resistencia		
Comportamiento de la resistencia con: Incremento en la edad	INV E-632	Crece
Resistencia a la compresión a siete (7) días, MPa Mínima	INV E-632	2,5 * RCN
Nota 1: La resistencia mínima debe ser la que se obtenga en la fórmula de trabajo y en ningún caso debe ser inferior a la establecida en esta tabla. Nota 2: Los documentos del proyecto pueden establecer un valor mayor de resistencia a la compresión a siete días (7 d). Nota 3: Los presentes valores son aplicables para suelos cuya resistencia a la compresión en estado natural sea superior cero coma cuatro Megapascuales (0,4 MPa), para suelos de resistencias inferiores, se debe efectuar un mejoramiento previo al proceso de estabilización con productos químicos no tradicionales. Nota 4: El proceso para el desarrollo de la resistencia de la capa estabilizada debe ser creciente en el tiempo y ser alcanzada muy rápidamente. RCN: Resistencia a la compresión inconfiada en estado natural del suelo compactado según norma INV E-632.		

237.4.1.2 Fórmula de trabajo

El constructor debe presentar al interventor una "Fórmula de Trabajo", la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indiquen en los documentos del proyecto.

La fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar:

- La clasificación del material por estabilizar según el sistema SUCS, norma INV E-180 o INV E-181.
- El tipo y marca de aditivo sólido empleado en el diseño.
- El tipo y la marca de los aditivos líquidos empleados en el diseño.
- Las fichas técnicas y de seguridad de todos los aditivos químicos empleados en el

diseño.

- El contenido óptimo de los aditivos, expresado en porcentaje respecto a la masa seca del material por estabilizar (COA %).
- En el caso de aditivos que se encuentren en estado líquido se debe tener en cuenta que para su dilución no se debe superar la cantidad de agua necesaria para alcanzar las condiciones óptimas de compactación.
- El valor de resistencia a la compresión de diseño a los siete días (7 d) (Rd).
- Los porcentajes óptimos de agua para mezcla y compactación.
- Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad de acuerdo con la Tabla 237-2.
- Porcentaje de resistencia residual des-

pués de inmersión de acuerdo con la Tabla 237-2.

- Relación de la resistencia del suelo estabilizado después de saturación sobre el suelo natural seco sin estabilizar de acuerdo con la Tabla 237-2 cuando aplique.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación o tramo de prueba; la fórmula ajustada debe cumplir con los requisitos establecidos para el diseño de la mezcla.

Si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o la clasificación de los materiales, o la composición química del suelo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula

de trabajo para revisión y aprobación del interventor.

237.4.1.2.1 Índice de resistencia al agua (IRA)

Para suelos estabilizados que pretendan ser usadas como capas estructurales además de los requisitos indicados en los numerales 237.4.1.1 y 237.4.1.2 se debe cumplir con lo siguiente:

Se debe garantizar la resistencia de muestras posterior al proceso de inmersión en agua establecido en la norma de ensayo INV E-632, mediante la evaluación del índice de resistencia al agua (IRA), que consiste en la relación porcentual entre las resistencias a la compresión posterior al proceso de inmersión y la correspondiente en estado seco.

$$\text{IRA (\%)} = \frac{\text{Resistencia a la compresión posterior a la inmersión o capilaridad}}{\text{Resistencia a la compresión en estado seco}} \times 100 \quad [237.1]$$

IRA $\geq$ 90% criterio de aceptación para capas de suelo diseñadas con propósitos estructurales

237.4.2 Fase de experimentación

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de ensayo o tramos de prueba de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo, así como determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación. Una vez aceptados por el interventor la fórmula de trabajo y el informe con el diseño de la mezcla, se procede a la realización de un tramo de prueba con el mismo equipo, procedimientos de protección, curado y espesor de la capa definidas en el proyecto. El tramo de prueba debe cumplir con los requisitos de calidad mencionados en el numeral 237.5.2.2.

Si los documentos del proyecto no establecen la longitud de tramos experimentales para validar los productos estos no podrán ser meno-

res de cincuenta metros (50 m) ni mayores a cien metros (100 m) longitudinales.

Con base en los resultados que se obtengan a partir de muestras tomadas del suelo estabilizado con el producto estabilizante, el interventor debe definir su conformidad con relación a las condiciones especificadas sobre disgregación, contenido de agua, espesor de la capa, grado de compactación, resistencia al agua, resistencia a la intemperie, proporción del producto estabilizante y demás requisitos exigidos.

En caso de que los ensayos indiquen que el suelo estabilizado con los productos químicos no tradicionales no se ajusta a dichas condiciones, este debe ser removido y reemplazado por el constructor hasta conseguir aprobación por parte del interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS); antes de efectuar el reemplazo, el constructor

debe hacer las modificaciones necesarias a los equipos y procedimientos de construcción y, si fuese preciso, se debe modificar el diseño hasta que se cuente con el aval del interventor.

El proceso se debe repetir cuantas veces sea necesario hasta que las secciones de ensayo cumplan con los requisitos establecidos en los documentos del proyecto.

237.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de construir la capa de suelo con el producto estabilizante se debe comprobar que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad y la planicidad apropiadas, así como las cotas indicadas en los planos o definidas por el interventor. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, se deben corregir de acuerdo con lo indicado en ella, hasta conseguir la aprobación del interventor.

En caso de que la construcción se vaya a realizar únicamente con el material existente en la calzada, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa de suelo y el sistema estabilizante alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto.

Si se contempla la adición de un material de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente, antes de iniciar la disgregación del material.

En todos los casos en que el proceso involucre el material del lugar, parcial o totalmente, se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere

necesarias.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada que requieran ser construidos, previamente a la construcción de la capa de suelo con el sistema de estabilización.

237.4.4 Transporte y almacenamiento de suelos

Cuando la construcción del suelo estabilizado incluya suelos de aporte, estos se deben transportar en vehículos apropiados protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, asegurándose a la carrocería de manera que se impida que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan los vehículos.

Si la estabilización se va a realizar sobre la superficie existente, esta debe ser acondicionada mediante el retiro de sobretamaños y eliminación de sectores que presenten contaminaciones, suelos orgánicos, saturación o cualquier otra irregularidad que comprometa la calidad de la estabilización. La capa por estabilizar debe ser escarificada y homogeneizada.

Cuando se requiera almacenar los suelos, se debe tener en cuenta lo indicado en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

237.4.5 Mezcla en la vía

237.4.5.1 Disgregación del material

Antes de realizar el proceso de homogeneización con el producto estabilizante, si el material por tratar, sea que haya sido escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados por el interventor, o sea una mezcla de ambos, presenta grumos o aglomeraciones de partículas, se disgrega con el equipo de construcción aprobado a partir de

los resultados de la fase de experimentación en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los planos u ordenada por el interventor. En caso de encontrarse sobretamaños, que no puedan ser disgregados, mayores a dos pulgadas (2 pulgadas) estos deben ser retirados. El proceso de disgregación se debe realizar hasta que se logren los requerimientos estipulados por el interventor. La longitud de calzada disgregada no debe exceder de la que se pueda tratar y compactar de acuerdo con esta especificación en dos días (2 d) de trabajo, salvo autorización escrita del interventor.

Una vez disgregado el material, éste se debe conformar a la sección transversal de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

237.4.5.2 Aplicación del producto químico

La aplicación del producto químico depende de su estado, en caso de encontrarse en estado líquido se debe hacer uso del carro tanque de tal manera que la aplicación sea uniforme sobre toda el área superficial del material, en caso de que el estabilizante se encuentre en estado seco se puede aplicar en bolsas o a granel.

En cualquier caso, el aditivo se debe esparcir sobre el agregado o suelo disgregado empleando el procedimiento aceptado por el interventor durante la fase de experimentación, de manera que se esparza la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar.

Durante la aplicación de los aditivos, la humedad del material no debe ser superior a la definida durante el proceso de diseño, para controlar la cantidad de aditivo y agua se debe tener un medidor de flujo y se debe revisar el volumen con los metros cúbicos (m³) de suelo a estabilizar, con el fin de lograr una mezcla

íntima y uniforme del material con el aditivo (líquido o sólido). Sobre el aditivo esparcido sólo se debe permitir el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el material.

237.4.5.3 Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el aditivo (seco, húmedo o conjunto), se debe efectuar la mezcla, empleando el equipo aprobado. El número de pasadas depende del equipo utilizado y debe ser el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea según se haya definido en la fase previa de experimentación. En caso de que se requiera, se debe añadir el agua faltante y continuar mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla debe ser la establecida en la fórmula de trabajo, con una tolerancia de más o menos de uno por ciento ($\pm 1\%$) respecto a la humedad óptima de compactación.

237.4.6 Mezcla en planta

Cuando la estabilización incluya suelos o agregados de aporte, estos se deben transportar a la planta de mezcla o a la vía, según sea el caso, en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería, para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan dichos vehículos.

237.4.7 Extensión y conformación

La mezcla elaborada sobre la vía se debe extender en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación, y se debe conformar en toda la sección transversal de la calzada.

Para el caso de mezcla en planta, si los docu-

mentos del contrato así lo requieren, se debe usar una máquina extendedora para estas labores; si no se requiere, la mezcla se puede extender y conformar con motoniveladora.

En todo caso, la cantidad de material extendido y conformado debe ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de suelo con aditivo por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos (2) o más capas, procurando que el espesor de cada una de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm).

El material extendido y conformado debe mostrar una distribución uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente.

237.4.8 Prefisuración

Cuando los documentos técnicos del proyecto así lo indiquen, se debe efectuar una prefisuración de las capas de suelo estabilizado con los productos químicos no tradicionales antes de iniciar su compactación. La necesidad de efectuar la prefisuración puede depender de factores tales como la posición de la capa dentro de la estructura, el tipo de rodadura, la resistencia del material suelo aditivo, y el tipo de medidas que eventualmente contemple el proyecto para evitar o controlar que el desarrollo de fisuras de contracción en la capa de suelo aditivo deteriore la rodadura del pavimento.

La prefisuración consiste en la ejecución de juntas transversales en fresco, es decir, del material extendido pero sin compactar. El diseño debe permitir establecer la distancia a la cual se deben realizar las juntas transversales en fresco; en general, la separación entre jun-

tas debe estar comprendida entre tres y cuatro metros (3 y 4 m).

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco, se deben utilizar equipos que efectúen en cada pasada un surco recto que penetre al menos dos tercios (2/3) del espesor de la capa y que, al mismo tiempo, introduzcan en él, un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto puede consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que, además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de la junta.

Se deben emplear equipos y métodos de ejecución aprobados por el interventor, cuya eficacia haya sido comprobada después de la realización de la fase de experimentación (numeral 237.4.2) en el tramo de prueba contemplado dentro del mismo proyecto.

237.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor durante la fase previa de experimentación.

El proceso de compactación debe ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, que puede estar débilmente adherida al resto de la capa de suelo mezclado con el sistema de estabilización. En caso de que lo anterior se produzca, tal capa debe ser eliminada hasta obtener una superficie uniforme y compacta.

Los trabajos de compactación deben ser terminados en un lapso no mayor de dos horas (2 h) desde el inicio de la mezcla, en caso de que el aditivo aplicado permita mayor tiempo entre el mezclado y la compactación sin deteriorar la calidad de la capa terminada, esta recomen-

dación se debe indicar en los documentos del proyecto para el aditivo propuesto. Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de experimentación, se deben compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación. Una vez terminada la compactación, la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado (si se requiere para el producto, según recomendaciones del fabricante).

237.4.10 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deben cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. En efecto, al término de la jornada de trabajo se debe formar una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Si la capa estabilizada no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, se debe disponer un procedimiento aceptable para el interventor, que considere juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada.

237.4.11 Curado de la capa compactada

El procedimiento y tiempo de curado se debe hacer de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto y dependiendo de las instrucciones técnicas del aditivo químico.

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede ser veinticuatro horas (24 h) después de terminada la compactación, la superficie de la capa de suelo-aditivo debe pre-

sentar un aspecto denso y homogéneo.

237.4.12 Apertura al tránsito

La capa de suelo estabilizada sólo se puede abrir al tránsito público de acuerdo con las condiciones particulares del proyecto y las tolerancias del presente artículo. La apertura debe ser inicialmente durante un tiempo corto que permita verificar el comportamiento de la capa compactada y localizar las áreas que deban ser objeto de corrección. Como resultado de lo observado en esta apertura parcial, el interventor debe definir el instante de apertura definitiva de la capa compactada, al tránsito público. De esta manera los tiempos de apertura al tránsito deben ser verificados y confirmados por el proveedor del producto y su consultor.

Los productos químicos deben garantizar un rápido desarrollo de la resistencia de diseño establecida, permitiendo una apertura adecuada al tráfico de los vehículos.

237.4.13 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con productos químicos no tradicionales sólo se pueden llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior de cinco grados Celsius (5° C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella se produzca. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia y como resultado de ello la humedad de la mezcla supere el porcentaje óptimo de agua para mezcla y compactación, el constructor debe retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del interventor, sin costo adicional para el INVIAS. En caso de lluvia sobre la mezcla estabilizada esta debe retirarse y si ya fue compactada debe realizarse una verificación de los requisitos de calidad de la estabilización y de no cumplirse debe ser retirada.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVIAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que sea aprobado por este. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

237.4.14 Manejo ambiental

Se aplica lo pertinente del numeral 300.4.8 del artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas.

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para la ejecución de estabilizaciones de suelos con productos no tradicionales se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, así como en las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y protección de la comunidad. Así mismo, se deben tener en cuenta los resultados y las recomendaciones de los estudios ambientales realizados en la etapa de experimentación y los que contemplen la ficha técnica de cada producto estabilizante.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben estar incluidas en los costos del proyecto, por lo tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

237.4.15 Conservación de la capa terminada

El constructor debe conservar la capa de suelo estabilizada con productos químicos no tradicionales en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido a plena satisfacción de INVIAS.

237.5 Condiciones para el recibo de los trabajos.

237.5.1 Controles

En adición a lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos de control de la mezcla y, una vez compactada, de densidad, espesor y planicidad de la capa terminada.

237.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

237.5.2.1 Calidad de los materiales

237.5.2.1.1 Verificación del suelo objeto de estabilización

Se debe verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en los documentos del proyecto.

Se debe ordenar el retiro de los suelos y agregados que, a simple vista, presenten restos de material vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. Además, se deben efectuar las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 237-6.

El interventor puede adelantar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad del material por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Tabla 237-6 Verificaciones periódicas sobre el material por estabilizar

Título de la norma	Norma ensayo	Frecuencia
Clasificación de suelos y mezclas de suelo y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO)	INV E-180	1 vez por cada sección homogénea
Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	INV E-181	1 vez por cada sección homogénea
Determinación del límite líquido de los suelos	INV E-125	1 vez por cada sección homogénea
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	INV E-126	1 vez por cada sección homogénea
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	INV E-123	1 vez por cada sección homogénea
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	INV E-213	1 vez por cada sección homogénea
Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (nro. 200) en los agregados pétreos mediante lavado	INV E-214	1 vez por cada sección homogénea
Ensayos físicoquímicos		
pH de los suelos	INV E-131	1 vez por cada sección homogénea
Contenido de sulfatos solubles en los suelos	NLT-120/72	1 vez por cada sección homogénea
Determinación de la capacidad de intercambio catiónico.	NTC 5268	1 vez por cada sección homogénea
Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico o mediante el ensayo de pérdida por ignición	UNE 103204 o INV E-121	1 vez por cada sección homogénea
Conductividad eléctrica	NTC 5596	1 vez por cada sección homogénea
Ensayos mecánicos		
Relación de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	INV E-142	1 vez por cada sección homogénea

Título de la norma	Norma ensayo	Frecuencia
Índice de resistencia al agua	INV E-632	1 vez por cada sección homogénea
Velocidad de ascenso capilar	INV E-632	1 vez por cada sección homogénea
Permeabilidad de suelos ensayos de cabeza variable	ASTM D5084	1 vez por cada sección homogénea
Composicionales		
Fluorescencia de rayos X XRF	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Difracción de rayos X DRX	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Microscopía electrónica de barrido SEM (opcional)	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Análisis térmicos TGA/DTA (opcional)	ASTM E1131	1 vez por cada sección homogénea
Área Superficial por el método BET (opcional)	Sin norma (Nota 1)	1 vez por cada sección homogénea
Nota 1: Las secciones homogéneas a las que se refiere la presente tabla corresponden a las definidas en los documentos del proyecto.		

Cuando el interventor considere que las características del material que está siendo objeto de estabilización ha cambiado, se debe revisar la fórmula de trabajo para garantizar la calidad de la estabilización.

237.5.2.1.2 Calidad de los aditivos químicos

Cada vez que el interventor lo considere nece-

sario, se deben efectuar los ensayos de control establecidos por el fabricante que permitan verificar la calidad de los productos químicos.

Se deben presentar las fichas técnicas y de seguridad de los productos químicos para verificar su inocuidad frente al medio ambiente al ser usados como estabilizantes.

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de un producto cuya fecha de vencimiento

haya sido superada.

237.5.2.1.3 Calidad del agua

Siempre que exista alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se debe verificar que el agua no tenga componentes que afecten la reacción del suelo con el aditivo químico no tradicional empleado en el proyecto.

237.5.2.1.4 Calidad de los aditivos y productos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

237.5.2.2 Calidad de la capa estabilizada terminada

Para efectos del control, se considera como "lote", que se debe aceptar o rechazar en bloque, a la menor área construida que resulte de los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500 m) de capa de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de capa de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme, estar ajustada a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el

eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el interventor. La cota de cualquier punto de la capa compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

De cada fuente de suelos y agregados por utilizar en la producción de la capa de suelo estabilizado y para cualquier volumen previsto, se deben tomar mínimo tres (3) muestras, cada muestra conformada por cinco (5) especímenes y ejecutar los ensayos de la siguiente manera:

a) Para capas estabilizadas no estructurales:

- Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad o inmersión (RRc o RRi según Tabla 237-2):

$$RRm > RRd \quad [237.2]$$

RRm: Porcentaje de resistencia residual promedio después de capilaridad o inmersión de la muestra (Corresponde al promedio de RRc para capilaridad y RRi para inmersión).

RRd: Porcentaje de resistencia residual después de capilaridad o inmersión obtenido en el diseño de la fórmula de trabajo (Corresponde al promedio de RRc para capilaridad y RRi para inmersión obtenidos durante la determinación de la fórmula de trabajo).

- Resistencia a la compresión a los siete días (7 d) (MPa).

$$RCIm > 2,5 * RCN \quad [237.3]$$

$$RCi \geq 90\% (2,5 * RCN) \quad [237.4]$$

RCIm: Resistencia a la compresión inconfinada promedio de la muestra a los siete días (7 d).

b) Para capas estabilizadas estructurales:

Se deben cumplir todos los requisitos del literal a del presente numeral y además debe ser garantizada la resistencia de muestras posterior al proceso de inmersión en agua establecido en la norma de ensayo INV E-632, mediante la evaluación del índice de resistencia al agua (IRA), que consiste en la relación porcentual entre las resistencias a la compresión posterior al proceso de inmersión y la correspondiente en estado seco.

237.5.2.2 1 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, Selección al azar de sitios para la toma de muestras, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de compactación en el laboratorio, bajo la energía de compactación definida para el proyecto mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{yd_i}{yd_{i,max}} * 100 \quad [237.5]$$

Siendo:

GC_i : Valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

yd_i : Valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, sin efectuar corrección

de ella por presencia de sobre tamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$yd_{i,max}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, realizado sobre una muestra representativa del mismo.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, se deben aplicar los siguientes criterios para la aceptación del lote:

$GC_i(90) \geq 98,0\%$ se acepta el lote [237.6]

$GC_i(90) < 98,0\%$ se rechaza el lote [237.7]

Siendo:

$GC_i(90)$: Límite inferior del intervalo de confianza en el que, probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación GC_i .

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

El control de compactación en campo se debe realizar durante el proceso constructivo previa al curado y a que ocurran las reacciones químicas que resultan en la modificación del suelo y se puede realizar por cualquiera de los siguientes métodos:

- Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método de cono y arena (INV E-161).
- Determinación de la densidad y del contenido de agua del suelo y del suelo-agregado en el terreno empleando medidores nucleares (profundidad reducida) (INV E-164).

Si el lote es rechazado, el constructor debe remover la capa y reponerla hasta que sea aceptada por el interventor, sin costo adicional para INVIAS. El material removido se considera de propiedad del constructor.

237.5.2.2 2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no puede ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed \quad [237.8]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (ei) debe ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (ed), admitiendo sólo un valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$ei \geq 0,90 ed \quad [237.9]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote. En este caso, el constructor debe remover la capa cumpliendo los requisitos establecidos en los documentos del proyecto, de tal manera que pueda ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVIAS. El material removido se considera de propiedad del constructor.

237.5.2.2.3 Criterios opcionales de aceptación

Como criterios opcionales de aceptación de la capa estabilizada con materiales no tradicionales, pueden ser utilizados los siguientes ensayos de campo, previa realización de una validación experimental donde se establezcan calibración de parámetros campo-laboratorio, efectuando la respectiva comprobación a nivel de tramo de prueba y definiendo el criterio de

aceptación:

ASTM E2583 - Método de prueba estándar para medir deflexiones con un deflector de peso ligero (LWD).

ASTM D6758 - Método de prueba estándar para medir la rigidez y el módulo aparente del suelo y los agregados del suelo in situ mediante el método electromecánico.

ASTM D7698 - Método de prueba estándar para la estimación in situ de la densidad y el contenido de agua del suelo y agregados por correlación con el método de impedancia compleja.

237.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m³), aproximado a la décima (0,1), de mezcla colocada y compactada, aprobada por el interventor, de acuerdo con esta especificación. El volumen se debe determinar utilizando la longitud real medida a lo largo del eje de la vía y las secciones transversales establecidas en los documentos del proyecto, previa verificación de la conformidad de su anchura y espesor con dichos documentos y dentro de las tolerancias permitidas en este artículo.

No se deben medir cantidades en exceso de las especificadas, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones por parte del constructor.

Si los documentos del proyecto indican que el producto estabilizante se paga por aparte, la unidad de medida debe ser el kilogramo (kg) o litro (L) aproximado al kilogramo (kg) o litro (L) completo, según corresponda a la naturaleza del estabilizante, incorporado en la mezcla, debidamente aceptada por el interventor.

En este caso, para determinar la cantidad del producto estabilizante efectivamente incorporada a la mezcla, se debe tomar el porcenta-

je de estabilizante del lote determinado en la fórmula de trabajo. Se debe realizar el cálculo correspondiente y se debe aproximar al al kilogramo (kg) o litro (L) completo.

237.7 Forma de pago

El pago de la estabilización de suelos de subrasante o materiales existentes en las vías del proyecto, utilizados como fundación o capas estructurales de una estructura de pavimento con productos químicos no tradicionales se debe hacer por metro cúbico al respectivo precio unitario de contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con este artículo y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir la escarificación de la subrasante o materiales existentes en las vías del proyecto, utilizados como fundación o capas estructurales de una estructura de pavimento en el espesor requerido hasta cumplir con las exigencias de este artículo; los costos del suministro del producto estabilizador en el sitio; los costos de suministro de agua en el sitio que se pueda requerir para la estabilización y los costos de mezcla, colocación, nivelación y compactación.

El precio unitario debe incluir, también, el suministro en el sitio del agua para el curado de la capa compactada y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de obtención de todos los permisos ambientales requeridos; las instalaciones provisionales; los costos de los desvíos que se requieran construir durante la ejecución de las obras. Además, debe incluir los costos de la fase de experimentación, de todos los ensayos de campo y de laboratorio que estén a cargo del constructor, así como los de la señalización preventiva de la vía y el control del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos,

los de la conservación de la capa estabilizada terminada y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de los requisitos establecidos en el artículo 106, Aspectos ambientales.

Si los documentos del proyecto indican que el producto estabilizado se paga por aparte, el precio unitario de la capa estabilizada con productos químicos no tradicionales excluye el suministro en el sitio del mismo.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de la administración, los imprevistos y la utilidad del constructor.

237.8 Ítem de pago

Opción 1: El precio unitario de capa estabilizada con productos químicos no tradicionales.

- Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (incluye el suministro del producto estabilizador) = Metro cúbico (m³).

Opción 2: El precio unitario de capa estabilizada con productos químicos no tradicionales, no incluye el suministro del producto estabilizador.

- Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (no incluye el suministro del producto estabilizador) = Metro cúbico (m³).

Ítem	Descripción	Unidad
237.1	Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (incluye el suministro del producto estabilizador)	Metro cúbico (m³)

Ítem	Descripción	Unidad
237.2	Capa estabilizada con productos químicos no tradicionales (no incluye el suministro del producto estabilizador)	Metro cúbico (m³)



ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Existen muchas ocasiones en las que se requiere aumentar aún mas la resistencia de la estructura, dando mayor durabilidad a las vías e incrementando su consolidación para soportar altos volúmenes de tránsito.

También hay situaciones en las que la cantidad y calidad de las arcillas presentes en el suelo natural no alcanzan a manejar los niveles de plasticidad que son susceptibles de mejoramiento mediante la estabilización descrita en los capítulos anteriores.

Para esto se ha desarrollado una tecnología complementaria, denominada GEO STAB SC, la cual consiste en un aditivo especialmente diseñado para que con la adición de cemento se construyan estructuras de suelo – cemento, altamente eficientes, resistentes, de amplia duración, al tiempo que reducen las cantidades de materiales involucrados en el proceso.

DESCRIPCIÓN:

GEO STAB SC es un líquido con una mezcla balanceada de compuestos orgánicos e inorgánicos en un medio coloidal que al incorporarse a bases de vías con mezclas de suelo con cemento incrementa la resistencia a la compresión y la flexibilidad. Por lo tanto, la duración de las superficies de las vías aumenta entre un 50% y 100%. Esto siempre y cuando la estructura bajo la cual se instala, (sub base) tenga la suficiente resistencia (CBR) y no esté sujeta a variaciones volumétricas o alto índice de plasticidad. Si ello ocurre, primero debe estabilizarse con GEOSTAB.

El suelo estabilizado con cemento y GEO STAB SC es resistente a la lluvia y reduce la producción de polvo.

ACCIÓN:

Hay dos mecanismos por los cuales GEO STAB SC actúa: El primero de ellos se basa en la generación de enlaces y cristales entre los aluminio – silicatos de calcio y los materiales pétreos circundantes a las partículas de cemento que, en el medio coloidal de la hidratación y fraguado, produce unos cristales y ramificaciones mas robustos y fuertes.

El segundo mecanismo de acción consiste en que por efecto de la concentración de sales y aditivos se generan iones de metales que interactúan con los cationes de los minerales que constituyen la matriz del suelo, por efecto de las cargas eléctricas de los mismos (Potencial Z), lo que hace que haya una mayor humectación y por lo tanto mayor acercamiento entre las partículas, que se traduce en una mayor densificación

DOSIFICACIÓN:

De acuerdo con el estudio de suelos, diseño, nivel de tráfico y estructura, se establecerá el contenido de cemento y de GEO STAB SC para la aplicación. Por lo general, una dosis típica el contenido de cemento por metro cúbico de suelo es de 80 Kg - 100 Kg y GEO STAB SC 1 galón (4 kg), 4% con respecto al cemento.

De acuerdo con la humedad óptima de compactación, (Proctor) se disuelve el producto estabilizador en el agua requerida para irrigarse sobre la superficie. En términos generales la dilución se hace alrededor del 6%; Es decir cada litro de GEO STAB SC en 17 litros de agua.

PROCEDIMIENTO:

	Escarificación: Inicialmente se hace una escarificación con moto niveladora a unos de 15 centímetros de profundidad.
	De acuerdo con la dosificación establecida por el estudio de suelos, se disponen sobre la vía los bultos de cemento requeridos de acuerdo con el área. Como regla general, se estabiliza 15 cm de profundidad, es decir que 1 m ³ equivale aproximadamente a 6.5 m ² . Esto es, un bulto para cada 3 – 3,5 m ² . Se mide el ancho y la longitud de la vía y de acuerdo con esto, se ponen a lo largo de la vía. Una vez hecho esto se procede a romper las bolsas y liberar el cemento..

	Con ayuda de la moto niveladora, se mezcla lo mas uniformemente posible el cemento con el suelo, repartiendo los materiales en toda la superficie
	Una vez repartido uniformemente el cemento se irriga la totalidad de la solución calculada de GEO STAB SC y agua en toda el área y se incorpora dentro del suelo con la moto niveladora hasta que quede homogéneo.
	Ahora se procede con la conformación, la cual debe realizarse de acuerdo con el diseño de manejo de agua, es decir cuidando los bombeos que permitan una eficiente evacuación de agua hacia las cunetas.
	Una vez terminado el anterior procedimiento se compacta la superficie con vibro compactador, preferiblemente de 8 toneladas. Las primeras 4 pasadas utilizando vibración y luego sin esta hasta conseguir una superficie homogénea.
