

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 SO₄²⁻, 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), entendiendo 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:

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 irrigándolo 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 Transito.

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.

Los 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 (m³)

Producto estabilizante o aditivo

g/m³, cm³/m³, gl/m³ ó L/m³