



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



Guía para inspectores

*para la construcción de bases
estabilizadas con cemento*



PITRA

Programa de
Infraestructura
del Transporte

Guía para inspectores para la construcción de bases estabilizadas con cemento

Herra-Gómez, Luis Diego 1; Guerrero-Aguilera, Sergio 2;
Loría-Salazar, Luis Guillermo 3; Salas-Chaves, Mauricio 4;
Sequeira-Rojas, Wendy 5 y Oviedo-Lorío, Bianca 6.

1 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica
PITRA LanammeUCR

2 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica
PITRA LanammeUCR

3 Coordinador General Programa de Infraestructura del
Transporte (PITRA) LanammeUCR

4 Ingeniero Auditor, Unidad de Auditoría Técnica
PITRA LanammeUCR

5 Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica
PITRA LanammeUCR

6 Asistente, Unidad de Auditoría Técnica
PITRA LanammeUCR

Palabras clave: PITRA, base estabilizada con cemento,
prácticas constructivas, inspección.

Resumen



La presente publicación es el resultado de una revisión de literatura, tanto nacional como internacional, relacionada con la estabilización de bases con cemento. Tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar las labores de estabilización de bases con cemento. Este documento describe los atributos necesarios en un inspector, conceptos importantes, personal necesario, equipo, maquinaria y materiales requeridos para la actividad. Asimismo, se ilustra y describe el procedimiento detallado para la realización de un trabajo eficiente, en un lenguaje sencillo. Se enmarcan recomendaciones especiales para el inspector y se presenta una lista de chequeo. Finalmente, se presentan ejemplos de prácticas adecuadas e inadecuadas en la estabilización de bases con cemento. Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR que busca eliminar la reincidencia de procedimientos inadecuados durante la labor de estabilización de bases con cemento, de manera que se garanticen obras de mayor durabilidad y una adecuada inversión de los recursos.



Contenido

Resumen	2
Introducción	5
Conceptos	6
Personal	10
Equipo y maquinaria	10
Materiales	12
Proceso constructivo	12
1. Inspección de equipo	13
2. Colocación de dispositivos de prevención y control de tránsito	13
3. Dispositivos de protección personal y seguridad ocupacional	13
4. Tramo de prueba	14
5. Mezclado del material granular con el cemento	14
5.1. Mezclado en el sitio	14
5.1.1. Escarificación o recuperación de la superficie	15
5.1.2. Nivelación	17
5.1.3. Dosificación del cemento	17
5.1.3.1. Dosificación del cemento en sacos	18
5.1.3.2. Dosificación del cemento a granel	18
5.1.3.3. Dosificación del cemento vía húmeda	19
5.1.4. Mezcla de material de base con cemento	20
5.1.5. Dosificación del agua	20
5.1.6. Mezclado	21
5.1.7. Observaciones adicionales con respecto al mezclado en sitio	22
5.2. Mezclado en planta	23
5.2.1. Transporte	24
5.2.2. Colocación	24

6. Conformación	25
7. Compactación	26
8. Acabado	27
9. Juntas	27
10. Curado	28
11. Apertura al tránsito de vehículos	28
12. Remover desechos sobrantes, retirar equipo y señales de seguridad	30
Distribución del cemento para la dosificación en sacos	30
Ejemplo de cálculo	30
Lista de chequeo	34
Ejemplos	47
Buenas prácticas constructivas	47
Prácticas deficientes	49
Referencias	52

INTRODUCCIÓN

El contenido de la siguiente guía tiene como objetivo proporcionar una herramienta a los inspectores de campo para ejecutar las labores de supervisión de la estabilización con cemento de una base granular.

Esta guía representa un esfuerzo por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA- LanammeUCR, que busca con este documento eliminar la reincidencia de procedimientos inadecuados durante la estabilización con cemento de bases granulares, de manera tal que se garantice obras de mayor durabilidad.

La guía está enfocada en las buenas prácticas del proceso constructivo de bases **estabilizadas** con **cemento**.

ATRIBUTOS NECESARIOS EN UN BUEN INSPECTOR

Los atributos personales necesarios en un inspector comienzan por la honestidad. El inspector debe ser honesto y debe comportarse de una manera justa y recta.

En momentos de presión debe mantener su compostura y tomar buenas decisiones. Debe tener sentido común para ejecutar decisiones competentes. Debe ser sincero en sus relaciones con las personas, poseer habilidades diplomáticas, ser cortés y capaz de manejar situaciones difíciles sin generar hostilidad.

Por encima de todo, debe ser muy observador y ser capaz de llevar registros completos con la información relevante diaria. El inspector deberá trabajar en conjunto con el ingeniero para determinar las intervenciones y prácticas constructivas más adecuadas de acuerdo con la obra a realizar.

Conceptos

Base estabilizada: base granular tratada al adicionarle un agente estabilizador (asfalto, cal o cemento) para mejorar sus características mecánicas, especialmente la capacidad soportante, resistencia a los agentes atmosféricos, estabilidad volumétrica, entre otros.

La estabilización con cemento generalmente se emplea para aumentar la resistencia a la compresión del material de la base, así como incrementar su resistencia ante las cargas de tránsito y obtener mezclas con un mejor comportamiento ante la erosión.

Bombeo: es la pendiente transversal de la carretera en los tramos donde el alineamiento horizontal es recto. Permite dirigir el agua de lluvia que cae sobre la vía hacia las cunetas. Se mide como la razón entre la distancia vertical (x) la distancia horizontal (y), tal como se muestra en la siguiente figura.

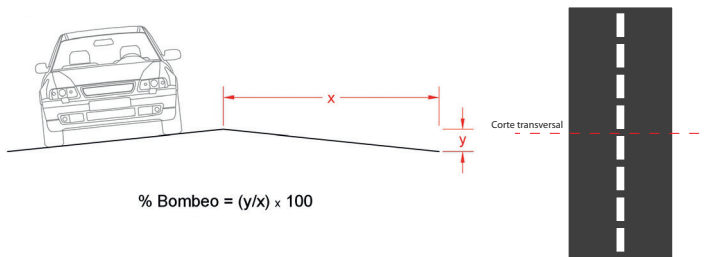


Figura 1. Cálculo del bombeo en una carretera

Curado: es el proceso por el cual se mantiene la humedad e hidratación en mezclas elaboradas con cemento. Esto permite que se lleven a cabo las reacciones químicas en la mezcla que le permiten ganar resistencia.

Emulsión asfáltica: material bituminoso líquido, que se define como una dispersión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsionante que a la vez proporciona la unión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su uso (MOPT, 2010). Dentro de los usos de la emulsión asfáltica se encuentran el riego liga y los riegos de imprimación.

Escarificación o recuperación: consiste en la disgregación de una capa de la superficie del terreno para que posteriormente pueda ser mezclada, extendida y compactada.

Cuando se trate de un proyecto de reacondicionamiento de la calzada, la superficie de ruedo deteriorada se pulveriza y se mezcla con el material de la base. La profundidad de la recuperación usualmente se encuentra entre 20 cm y 30 cm, según indique la Administración. Algunas veces la pulverización puede incluir parcial o totalmente la capa de ruedo, dependiendo del diseño de la base por colocar.

Material de secado: es un material granular cuyas partículas deben ser duras, durables o fragmentadas de la trituración de grava o piedra (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010), y que se aplica sobre el riego de imprimación para generar una capa seca que no se adhiera ni se desprenda con el paso de vehículos. Este material debe estar libre de partículas orgánicas y de arcillas, además, el tamaño de sus partículas no debe ser mayor a 9,5 mm (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).



Figura 2. Colocación de material de secado sobre un riego de imprimación
Fuente: Metong Portugal, s.f.

Peralte: inclinación transversal de la carretera en los tramos en curva, destinada a contrarrestar parcialmente la fuerza centrífuga del vehículo (SIECA, 2011), es decir ayuda a que el vehículo permanezca en la vía, evitando que se salga del camino. El peralte se calcula como se muestra en la siguiente figura, para esto, el inspector debe medir las distancias "x" y "y" que se observan. Esta inclinación también ayuda a la evacuación del agua superficial tal como lo hace el bombeo.

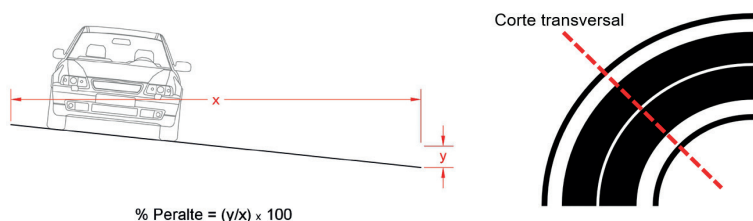


Figura 3. Cálculo del peralte en una carretera

Riego de imprimación: riego uniforme de emulsión asfáltica que se aplica sobre la base estabilizada o granular, con el fin de protegerla de la erosión o del paso temporal de tránsito. Este puede contribuir con la adherencia entre la carpeta asfáltica y la base, además se reduce la emisión de polvo y ayuda en la impermeabilización de la base protegiendo la estructura.



Figura 4. Colocación del riego de imprimación
Fuente: LanammeUCR

Tasa de dosificación: corresponde a la tasa de riego de emulsión asfáltica por área, generalmente litros por metros cuadrados (l/m^2).

Tiempo de rompimiento: tiempo necesario para que las partículas de agua se separen de la emulsión. En esta etapa ocurre un cambio de coloración en la emulsión de café a negro, pero todavía hay presencia de agua en la emulsión asfáltica.

Tiempo de curado o rompimiento total: tiempo necesario para que el agua introducida en el proceso de producción de la emulsión se evapore completamente de la emulsión asfáltica. Esta etapa involucra el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas de la emulsión asfáltica por lo que hay mayor habilidad de adherencia entre capas (Asphalt Institute, 2008).

Tramo de prueba: permite establecer el patrón de compactación a utilizar en el proyecto, registrando aspectos como el número de pasadas de la compactadora, su velocidad, frecuencia de vibración, secuencia de recorrido para un ancho de estabilización definido, con el fin de cumplir con la densidad requerida en el diseño. Además, permite verificar que las condiciones planteadas en el diseño (por ejemplo; resistencia) se cumplan o de lo contrario permite ajustar de manera oportuna el diseño propuesto.

Personal

- Encargado
- Operadores de maquinaria
- Ayudantes
- Controladores de tránsito
- Cuadrilla de topografía

Equipo y maquinaria

El proceso de estabilización con cemento de una base granular requiere del equipo correcto para obtener un trabajo de calidad y duración adecuadas. A continuación, se muestra el equipo y maquinaria necesarios para llevar a cabo este proceso.

<p>Barredora mecánica: se utiliza para eliminar material suelto sobre la base estabilizada antes del riego de imprimación. Además, para eliminar el exceso de material de secado sobre el riego de imprimación.</p>	 A yellow mechanical sweeper with a large rotating brush and a hopper for debris, used for cleaning surfaces.
<p>Cámara fotográfica: realizar un registro fotográfico georreferenciado para la base de datos de la ruta.</p>	 A silver and black digital camera with a lens cap removed, used for georeferenced photography.
<p>Camión tanque: permite el rociado de agua cuando se requiera para mantener la humedad óptima del material estabilizado antes de iniciar la compactación y durante los días de curado de la base.</p>	 A white tanker truck with a large cylindrical tank, used for transporting and spraying water.
<p>Codal o escantillón: pieza de madera o aluminio perfectamente recta de al menos 3 metros de longitud, que sirve para comprobar la regularidad superficial longitudinal y transversal de la capa.</p>	 A long, thin, straight tool with a yellow handle, used for checking the surface regularity of the base layer.

<p>Compactador de llanta de hule: puede ser necesario en la etapa final de la compactación de la base para darle el acabado superficial. Además se utiliza para fijar el material de secado sobre la imprimación.</p>	
<p>Compactador vibratorio de rodillo: se utiliza en el proceso de compactación de la base estabilizada con cemento. Se debe escoger el peso adecuado del compactador según el tipo de material o suelo y espesor de la capa, de manera que se logre densificar adecuadamente sin triturar el material.</p>	
<p>Distribuidor de agregados: Se utiliza para colocar el material de secado de manera uniforme sobre el riego de imprimación una vez que éste último ha roto. Este también es usado para la construcción de tratamientos superficiales.</p>	
<p>Distribuidor de emulsión asfáltica: debe tener un sistema de calentamiento y termómetro para controlar la temperatura, así como un sistema de aspersión. El rociador de asfalto debe estar en buenas condiciones para obtener riegos homogéneos. Se pueden utilizar aspersores manuales siempre y cuando se logre una distribución adecuada (homogénea y bien dosificada) sobre la superficie.</p>	
<p>Equipo de topografía: se requiere para tener un adecuado control de los espesores de la base después de la compactación y acabado, así como de las pendientes transversales (bombeo y peralte) y pendientes longitudinales.</p>	
<p>Extendedora de cemento: posee un sistema que utiliza la velocidad del vehículo para hacer girar un tornillo “sin fin” colocado en el tanque de almacenamiento, el cual empuja el cemento hacia el distribuidor, esparciéndolo de manera uniforme sobre la superficie.</p>	

<p>Niveladora: Se utiliza para nivelar la base estabilizada y dejarla en la cota prevista para el proyecto.</p>	
<p>Pavimentadora: Si el mezclado se realiza en <u>planta</u>, es recomendable distribuir la mezcla con una pavimentadora o colocadora para lograr una distribución homogénea de acuerdo con espesores, pendientes y alineamientos especificados en el contrato.</p>	
<p>Recuperadora: Es una máquina que posee un tambor con dientes o picos que gira en sentido contrario al avance. Se utiliza tanto en el proceso de escarificación (recuperación), como en el mezclado con cemento cuando el proceso se realiza in situ.</p>	
<p>Vagonetas: deben de tener fondos metálicos herméticos, limpios y lisos, pintados con material que evite que la mezcla se adhiera al fondo. Provisto de una lona impermeable, para proteger los materiales transportados contra la intemperie. Se utilizan si es necesario el acarreo del suelo desde un sitio de préstamo o para transportar la mezcla cuando el mezclado se realice en planta.</p>	

Materiales

- Agregados para base estabilizada con cemento
- Cemento hidráulico
- Agua
- Emulsión asfáltica
- Material de secado

Proceso constructivo

Es importante realizar los procedimientos correctos en la ejecución de obras contratadas, de manera que se logre la mayor durabilidad y se asegure la inversión realizada. Se deben aplicar las especificaciones del cartel y los códigos de construcción del país.

A continuación, se presenta el procedimiento constructivo detallado para la realización de un trabajo eficiente.

1. Inspección de equipo

Antes del inicio de los trabajos se debe revisar con anticipación que el equipo que se empleará se encuentre en perfectas condiciones y que su funcionamiento sea el adecuado, para garantizar buenos resultados.

2. Colocación de dispositivos de prevención y control de tránsito

El ingeniero de la obra debe dar al personal de campo instrucciones sobre el señalamiento temporal de obra para controlar el tránsito. Es indispensable que el inspector consulte al ingeniero acerca del procedimiento a seguir y transmitirlo a las cuadrillas como se indique. Este aspecto es de gran importancia, ya que tiene implícito responsabilidades civiles y penales, donde están en juego vidas humanas.

Debe encargarse de que se cumplan los requisitos de seguridad especificados en el contrato. Esto puede involucrar un control de las operaciones de los equipos, y el uso de elementos tales como banderilleros, conos, barreras, luces de advertencia y reflectores de acuerdo con el Manual Técnico de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la Ejecución de Trabajos en las Vías, de la Dirección General de Ingeniería y Tránsito del MOPT en su versión vigente.

Se debe contar con banderilleros debidamente identificados y con los implementos de seguridad y equipo como, por ejemplo: chaleco retrorreflectivo, banderillas, radio intercomunicador entre otros.

3. Dispositivos de protección personal y seguridad ocupacional

La seguridad es un aspecto que concierne a todo el personal de trabajo. El inspector debe estar muy pendiente para poder garantizar que se mantengan las condiciones y prácticas seguras en el

proyecto. Para el inspector, la seguridad del proyecto comienza con él mismo. El inspector debe servir como ejemplo en el uso del equipo de seguridad personal, como son los chalecos retro-reflectivos, zapatos, anteojos, ropa de protección y casco de ser necesario.

Además, debe verificar que el personal cuente con el uniforme, equipo de protección personal y otros elementos de seguridad ocupacional en concordancia con las normas nacionales establecidas al respecto.

4. Tramo de prueba

Antes de iniciar las labores para la construcción del tramo de prueba, se deberá verificar que el material que se coloque haya sido previamente aprobado por la Administración con base en las especificaciones establecidas. Para el caso en el que se realiza una base estabilizada reciclada se deberá realizar la escarificación del material existente para verificar los requerimientos de granulometría especificados en esta sección.

El tramo de prueba deberá tener una longitud mínima de 100 m, al ancho total del carril de diseño. La ubicación del tramo de prueba estará sujeta a la aprobación de la Administración.

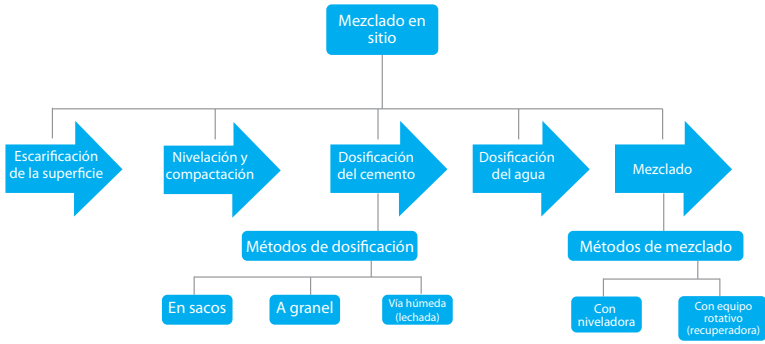


5. Mezclado del material granular con el cemento

El proceso de mezclado puede realizarse en el sitio o en una planta mezcladora.

5.1. Mezclado en el sitio

Este proceso se compone de la escarificación o recuperación de la superficie, nivelación, dosificación del cemento, dosificación del agua y mezclado, como se muestra en el siguiente esquema.



Además, existen diferentes métodos para realizar la etapa de dosificación del cemento, los cuales se verán en detalle más adelante. De igual manera, la etapa final de mezclado puede realizarse con niveladora o con recuperadora. Ambos métodos se explican en secciones posteriores.

5.1.1. Escarificación o recuperación de la superficie

Se debe disgregar una capa de la base a estabilizar según la profundidad especificada, de manera que se facilite el mezclado del material con el cemento. Esta etapa puede realizarse con una recuperadora, la cual escarifica la superficie y a su vez tritura las partículas de agregado más grandes. Una vez que el material está suelto, se deben retirar aquellas partículas de agregado que sobrepasen el tamaño máximo permitido para el proyecto.



Figura 5. Escarificación de superficie con recuperadora
Fuente: LanammeUCR

Además, la humedad de la superficie debe revisarse para que esté en una condición cercana al óptimo. Esto puede verificarse en sitio tomando un puñado del material de la base y comprimiéndolo con la mano hasta formar un grumo, si este grumo humedece la mano entonces la humedad está próxima al óptimo.



Figura 6. Prueba rápida para determinar si la humedad está en una condición cercana al óptimo
Fuente: LanammeUCR

Si el material contiene una humedad muy inferior al óptimo (seco: se desmorona cuando se aprieta un puñado), debe agregarse un poco de agua sin llegar a sobrepasar la humedad óptima. Por el contrario, si está muy húmedo (exceso de agua cuando se comprime con la mano), se debe mover el material con la niveladora para que se seque un poco.

El inspector puede realizar la prueba anterior para identificar la condición de humedad del material. Si encuentra que el material está seco o muy húmedo, puede recomendar que se tomen las medidas explicadas anteriormente.



Figura 7. Base con exceso de humedad
Fuente: LanammeUCR

Si el inspector cuenta con un densímetro nuclear, puede revisar el porcentaje de humedad del material utilizando este equipo y con esto verificar si se encuentra cerca de la humedad óptima de compactación.

Es importante resaltar que existen procedimientos normados para determinar la humedad del suelo: AASHTO T 134 o ASTM D558 (Métodos de prueba estándar para las relaciones de humedad - densidad de las mezclas de suelo - cemento). Con estas normas se deben validar los resultados.

5.1.2. Nivelación

Esta etapa debe realizarse para dejar una superficie más regular y facilitar así la dosificación y distribución del cemento.

5.1.3. Dosificación del cemento

Como se puede ver en el esquema antes presentado, la dosificación del cemento puede hacerse por tres métodos: en sacos, a granel o por vía húmeda. Sea cual sea la forma en que se dosifique, el objetivo es distribuirlo de manera uniforme y en las cantidades indicadas en el diseño, para lograr una mezcla homogénea. A continuación, se explica cada uno de los métodos.

5.1.3.1. Dosificación del cemento en sacos

Se colocan los sacos de cemento sobre el material extendido, a una distancia que permita una distribución uniforme y garantice la tasa de dosificación seleccionada. Luego deben romperse los sacos cuidadosamente evitando el levantamiento de partículas de cemento y procurando distribuirlo lo mejor posible sobre la base. La distribución puede hacerse de forma manual, con rastrillos (como en la Figura 8) o con niveladora.



Figura 8. Dosificación de cemento por sacos
Fuente: Echeverry, 2016

El inspector debe verificar que las distancias entre los sacos permiten cumplir con la cantidad de cemento por metro cúbico que se indica en el diseño de la estabilización.

En la sección “Distribución del cemento para la dosificación en sacos” se muestra un ejemplo de cálculo de las distancias entre sacos y del porcentaje de cemento que se está aplicando.

5.1.3.2. Dosificación del cemento a granel

Para este método se requiere del uso de maquinaria para esparcir el cemento. El distribuidor automático posee un tornillo “sin fin” que gira de acuerdo a la velocidad del vehículo, por lo que es muy

importante que el operario mantenga una velocidad constante a lo largo del trayecto y que ésta permita dosificar la cantidad adecuada de cemento.



Figura 9. Dosificación del cemento a granel
Fuente: SBI International Holdings AG, Guatemala & Latinoamérica

En los dos métodos de dosificación de cemento anteriores (en sacos y a granel) debe tenerse cuidado cuando se tienen velocidades del viento altas, pues esto puede ocasionar el levantamiento de un exceso de partículas de cemento, que consecuentemente pueden generar problemas en la salud de las personas cercanas al proyecto y otras implicaciones ambientales. Además de producir pérdidas de cemento.

5.1.3.3. Dosificación del cemento vía húmeda

Este método consiste en la aplicación de una mezcla de agua y cemento (o lechada) que va siendo mezclada con el material granular, para lo cual se utiliza un tren de estabilización, que se compone de un equipo que dosifica la mezcla de agua y cemento sobre el material granular y un equipo mezclador que va detrás combinando todos los componentes.

5.1.4. Mezcla de material de base con cemento

En esta etapa se utiliza una recuperadora, la cual posee un tambor con puntas especiales que gira en sentido contrario al avance de la máquina, mezclando el cemento con el material de la base.



Figura 10. Recuperadora o estabilizadora
Fuente: LanammeUCR, 2018

El inspector debe revisar que las puntas de la recuperadora se encuentren en buen estado y verificar su condición para determinar si éstas deben remplazarse.

5.1.5. Dosificación del agua

El material de la base y el cemento deben estar suficientemente mezclados cuando el agua entre en contacto con ellos para evitar la formación de grumos de cemento o sitios con material granular sin cemento donde no se va a desarrollar resistencia requerida.

Este paso puede realizarse empleando un camión tanque o cisterna con atomizador a presión para distribuir uniformemente el agua a manera de rociado hasta alcanzar la humedad óptima, sin sobrepasarla.

No debe realizarse este paso si la dosificación del cemento se hizo por vía húmeda.

Además, la dosificación del agua puede realizarse de forma simultánea con el mezclado en sitio si se utiliza una recuperadora. En ese caso, un camión tanque transfiere el agua al tambor de la recuperadora, dosificando el agua y mezclando al mismo tiempo.

Para esto, la barra rociadora de la recuperadora debe proporcionar un rociado uniforme y suave. Se debe verificar que no existan fugas de agua cuando el equipo se encuentre apagado o detenido con el fin de que no se sature algún punto de la base y afectar la resistencia requerida.

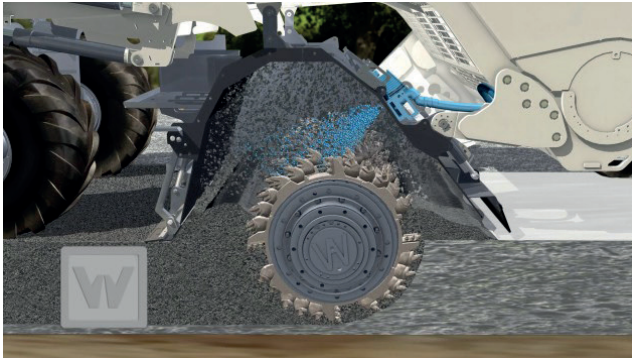


Figura 11. Dosificación de agua y mezclado simultáneo.
Fuente: WIRTGEN, 2018

5.1.6. Mezclado

Como se mencionó anteriormente, el mezclado en sitio puede realizarse con niveladora o con equipo rotativo (recuperadora). En cualquier caso, la mezcla debe ser homogénea y cumplir con la humedad requerida.

Mezclado con niveladora:

- Debe realizarse una inspección visual durante todo el proceso de mezclado para verificar la homogeneidad de la mezcla.
- Deben realizarse varias pasadas de izquierda a derecha y viceversa en relación al avance del equipo.

Se prefiere este método únicamente en obras pequeñas, debido a que se requiere mucha experiencia por parte del operador para lograr una homogenización adecuada.

Mezclado con equipo rotativo (recuperadora):

- Se garantiza un mezclado más homogéneo.
- Se debe definir el ancho de las líneas de acción de la máquina, que usualmente se encuentran entre 2 m y 2,5 m (Molina Murillo, s.f.) y calibrar la profundidad del mezclado.
- Se debe monitorear la humedad del suelo, la cual tiende a disminuir con el uso de este equipo.

5.1.7. Observaciones adicionales con respecto al mezclado en sitio

Alternativamente, cuando la dosificación de cemento se realiza **por sacos o a granel**, el proceso de escarificación de la superficie puede realizarse después de la dosificación del cemento. En estos casos, se coloca uniformemente la cantidad de cemento requerida sobre la superficie que será estabilizada e inmediatamente, mediante una recuperadora, se procede a escarificar la superficie.



Figura 12. Mezclado de cemento, agua y material de base
Fuente: LanammeUCR

Dicho procedimiento permite además dosificar el agua al mismo tiempo, si se utiliza un camión tanque como se señaló en la Figura 11.

Es caso de realizar este método, el procedimiento se muestra a continuación:



5.2. Mezclado en planta

Consiste en la elaboración de la mezcla de material granular, cemento y agua en una planta que generalmente permanece en un sitio cercano al del proyecto. Usualmente este tipo de mezclado se realiza en proyectos donde es necesario la utilización de nuevos materiales granulares.

Por otra parte, con este tipo de mezclado se tiene un mayor control en la homogeneidad de la mezcla y, con una buena coordinación con los equipos de transporte, se pueden lograr rendimientos de construcción muy altos.



Figura 13. Planta mezcladora de suelo-cemento
Fuente: Ciber, 2018

La mezcladora debe ser calibrada de manera que las cantidades de material granular, cemento y agua que ingresan a la planta sean las apropiadas para el proyecto que se esté realizando. Una vez calibrada, la planta debe ser revisada diariamente para verificar que se cumpla con las dosificaciones requeridas.

5.2.1. Transporte

El transporte de la mezcla debe considerar que la humedad debe mantenerse, por lo que las vagonetas de acarreo deben contar con cubiertas protectoras para evitar la pérdida del agua por calor o viento, o en caso contrario, evitar un exceso de humedad por lluvia.

Además, el tiempo de transporte debe limitarse a un máximo de 30 minutos. El inspector debe verificar que este tiempo no sea excedido debido a que una vez que el material empieza a endurecer, el extendido hace que se pierdan enlaces que ya se venían desarrollando con la reacción del agua y el cemento, consecuentemente el material puede empezar a perder las capacidades para las que fue diseñado.

5.2.2. Colocación

El material de planta estabilizado con cemento debe ser colocado en el sitio del proyecto sin segregación sobre una superficie preparada, en una cantidad tal que produzca un espesor compacto de densidad uniforme. Es importante considerar que la compactación reducirá el espesor de las capas, aspecto que debe tomarse en cuenta para garantizar los espesores requeridos en la estructura y respetar el nivel de rasante necesario (Molina Murillo, s.f.).

Usualmente se utilizan pavimentadoras o “*finishers*” debido a que dejan la capa a compactar más homogénea que con el uso de niveladoras. Esta etapa puede realizarse con una pavimentadora cuyo ancho permita dejar abierto el tránsito en un carril, cuando así se requiera.

La junta longitudinal que se genera debe tratarse como se explica más adelante en la sección de juntas.

6. Conformación

Cuando la mezcla se realiza en sitio (o cuando se realiza en planta, pero no se coloca con pavimentadora), el material queda muy suelto, por lo que se dificulta el trabajo de conformación con niveladora. Por esto puede realizarse una compactación preliminar (antes de la conformación) con rodillo compactador sin vibración (Molina Murillo, s.f.).

Mediante el uso de una niveladora, en esta etapa se establecen las características geométricas superficiales que tendrá la base estabilizada (Figura 14), como el bombeo y el peralte.



Figura 14. Conformación de una superficie de base estabilizada
Fuente: LanammeUCR

Cuando se trate de una obra de reacondicionamiento de la calzada, la superficie debe ser conformada y compactada de acuerdo con las líneas y perfiles del pavimento existente, cortando o adicionando material de base según sea necesario. Se debe considerar que estos perfiles originales de la calzada pueden irse modificando con el tiempo por lo que es necesario recuperarlos con las actividades de conformación.

7. Compactación

Se deben determinar la cantidad de pasadas del equipo compactador densificando un tramo de prueba con una longitud mínima de 100 m, al ancho total del carril de diseño (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010). Además, es muy importante que la humedad de la mezcla esté en el óptimo al iniciar este paso.



Figura 15. Compactación de base estabilizada con cemento
Fuente: LanammeUCR

Ningún sector debe dejarse en reposo más de 30 minutos durante las operaciones de compactación. Cuando el mezclado se realiza en sitio todas las operaciones de compactación deben completarse dentro de una hora desde el inicio de la mezcla, o hasta 2 horas si se utiliza retardador (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

En el caso de que la mezcla sea producida en planta, no debe transcurrir un tiempo superior a 60 minutos entre el mezclado y el inicio de la compactación (ICCYC y PCA, 2014).

Si el espesor de la base supera los 23 cm, es necesario realizar la compactación en capas. Para asegurar la adherencia entre ellas, se puede humedecer la superficie y colocar cemento (ICCYC y PCA, 2014).

8. Acabado

La superficie debe quedar plana, libre de roderas, bordes y grietas, además debe mantenerse húmeda durante las labores de acabado.

Utilizando un codal o escantillón se debe verificar que el bombeo y los peraltes tengan las pendientes adecuadas conforme al diseño geométrico, además de la regularidad superficial.

9. Juntas

Al final de cada día de construcción se debe hacer una junta transversal haciendo un corte dentro de la zona terminada para formar una cara aproximadamente vertical.

Para carreteras que cubran un área amplia, la base estabilizada deberá ser construida en una serie de carriles paralelos, de longitud y ancho conveniente, para lo cual se deberán formar juntas longitudinales rectas haciendo un corte dentro de la zona terminada para formar una cara aproximadamente vertical (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010).

Si el tiempo de colocación de dos paños adyacentes es mayor de 30 minutos, se debe hacer una junta de construcción. Se deberá prestar atención a la construcción de la junta para que ésta sea lo más vertical posible y se compacte correctamente.

10. Curado

Se debe mantener la humedad de la mezcla en edades tempranas, de manera que ésta desarrolle las propiedades mecánicas para las cuales fue diseñada. Para esto se debe realizar un riego de agua continuo después de la compactación y acabado, teniendo especial cuidado en los bordes y juntas de construcción, y manteniendo la superficie húmeda durante al menos 7 días. Transcurrido este tiempo, debe realizarse un riego de emulsión asfáltica sobre la superficie húmeda (riego de imprimación), con esto se evita que el agua se escape fácilmente y se protege la base estabilizada.

Se debe asegurar que la superficie esté libre de partículas de polvo antes de aplicar el riego de imprimación. Para esto, se debe realizar el barrido con la barredora mecánica.

11. Apertura al tránsito de vehículos

No se recomienda abrir al tránsito de vehículos en menos de siete días, pues en este tiempo la base estabilizada se encuentra en proceso de ganancia de resistencia. Por lo tanto, antes de que se cumplan los siete días, el tránsito sobre la base debe ser restringido mediante un adecuado señalamiento y la colocación de dispositivos que eviten el paso de vehículos sobre esta superficie, principalmente tratándose de tránsito pesado y maquinaria.



Figura 16. Colocación de barreras para impedir el tránsito vehicular sobre la base estabilizada
Fuente: LanammeUCR

Si la superficie de la base estabilizada se abre al tránsito después de siete días, se debe proporcionar y aplicar material de secado sobre el riego de imprimación una vez que éste ha roto, para proteger los trabajos realizados de la intemperie y del paso de tránsito, creando una superficie de ruedo temporal.

Si la base estabilizada se abre al paso de vehículos se debe regular la velocidad de tránsito mediante señalización adecuada para que no se generen deterioros en la base mientras inicia el proceso de colocación de la carpeta de rodamiento.

Además, se debe ***barrer y retirar el exceso de material*** de secado en la superficie. Las acumulaciones de material de secado sobre una base estabilizada pueden provocar reservas de agua que a su vez son un factor que acelera el deterioro de la base estabilizada. Además, el material de secado que queda suelto puede crear una superficie altamente deslizante para los vehículos que circulen sobre ella. Por otra parte, esto podría crear nubes de polvo que disminuyen la visibilidad de los conductores y podrían afectar el proceso del drenaje del agua pluvial de la superficie de ruedo.

12. Remover desechos sobrantes, retirar equipo y señales de seguridad

Se deben remover todos los desechos y escombros producto de las labores realizadas, dichos materiales, aparte de generar un paisaje sucio ante la ciudadanía, pueden causar obstrucciones en los sistemas de drenaje, propiciando deterioros acelerados en los trabajos realizados.

13. Retirar equipos y señales de seguridad que no estén en uso

Conforme el frente de obra avanza a lo largo del proyecto, el inspector debe asegurarse que los dispositivos y señales temporales que no estén en uso sean retiradas. Este tipo de señales, cuando advierten situaciones que no representan la actualidad de la carretera, provocan que los conductores pierdan credibilidad sobre estos dispositivos, disminuyendo su efectividad.

Distribución del cemento para la dosificación en sacos Ejemplo de cálculo

Se requiere realizar la estabilización de una base con una cantidad de cemento de 73 kg por cada metro cúbico de base. La profundidad de la estabilización es de 30 cm, en un solo carril de 3,5 m de ancho y el material de la base posee una densidad de 2 178 kg/m³. Para conocer la distancia a la que deben colocarse los sacos de cemento, se puede realizar el siguiente cálculo.

1) Los datos que se tienen son:

- Profundidad: $h = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$
- Ancho: $a = 3,5 \text{ m}$
- Cantidad de cemento por metro cúbico: $c = 73 \text{ kg/m}^3$

2) Calcular el volumen de la base en un tramo de $L = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$

$$V = h \cdot a \cdot L$$

$$V = (0,30 \text{ m}) \times (3,5 \text{ m}) \times (1000 \text{ m}) = 1050 \text{ m}^3$$
$$V = 1050 \text{ m}^3$$

3) Calcular la cantidad de cemento requerida (m_c):

$$m_c = c \cdot V$$

$$m_c = (73 \text{ kg/m}^3) \times (1050 \text{ m}^3)$$
$$m_c = 76\ 650 \text{ kg}$$

4) Calcular la cantidad de sacos de cemento (s) para un tramo de 1 km

Si cada saco contiene 50 kg de cemento, entonces:

$$s = \frac{m_c}{50 \text{ kg}}$$

$$s = \frac{76\ 650 \text{ kg}}{50 \text{ kg}}$$

$$s = 1533 \text{ sacos}$$

5) Distancia entre sacos (d)

Para un solo carril, los sacos pueden colocarse en pares, entonces la cantidad de pares de sacos en un kilómetro será:

$$\text{pares de sacos} = \frac{\text{cantidad de sacos}}{2} = \frac{s}{2}$$

$$\text{pares de sacos} = \frac{1533 \text{ sacos}}{2} = 767 \text{ pares}$$

La distancia (d) entre pares de sacos de cemento se calcula

$$d = \frac{L}{\text{pares de sacos}}$$

$$d = \frac{1000 \text{ m}}{767 \text{ pares}}$$

$$d = 1,3 \text{ m}$$

6) Finalmente, se estima la distancia entre los sacos a lo ancho del tramo

Como se colocan en pares, el ancho de la estabilización se divide entre 2 (éste será el número de divisiones), si se colocaran en trío, deberá dividirse entre 3, etc. Los sacos se ubicarán en el centro de cada división, por lo tanto, la distancia b se calcula como sigue

$$b = \frac{\text{ancho}}{2 \times \text{número de divisiones}} = \frac{a}{2 \times 2}$$

$$b = \frac{3,5 \text{ m}}{2 \times 2}$$

$$b = 0,88 \text{ m}$$

A continuación, se puede ver un esquema con la distribución de los sacos del ejemplo de cálculo anterior.

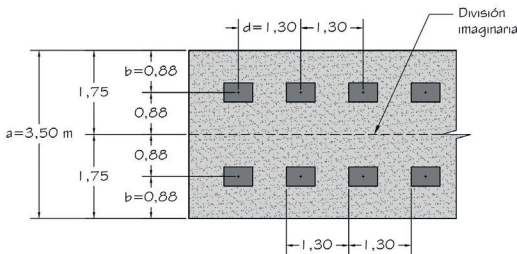


Figura 17. Distribución de sacos de cemento para estabilización de base (vista superior)

Por otra parte, para conocer el porcentaje de cemento es necesario conocer la densidad del material de base, que en este caso es $\rho = 2178 \text{ kg} / \text{m}^3$. Entonces:

$$\%_{\text{cemento}} = \frac{\text{cantidad de cemento por metro cúbico}}{\text{densidad del material de base}} \times 100$$

$$\%_{\text{cemento}} = \frac{c}{\rho} = \frac{73 \text{ kg} / \text{m}^3}{2178 \text{ kg} / \text{m}^3} \times 100$$

$$\%_{\text{cemento}} = 3,35\% \text{ (por peso de base)}$$

Lista de chequeo

EQUIPO REQUERIDO POR EL INSPECTOR	
Libreta de campo	
Formularios oficiales de la institución	
Lápiz o lapicero	
Cinta métrica	
Cuerda o codal/escantillón	
Cámara fotográfica	
Casco y chaleco de seguridad	
Calculadora portátil	
Copia de la guía de bases estabilizadas con cemento	
Dispositivo de comunicación	
MATERIALES	
Agregados para base estabilizada con cemento	
Agua	
Cemento hidráulico	
Emulsión asfáltica	
Material de secado	
EQUIPO Y MAQUINARIA	
Camión tanque	
Codal o escantillón	
Compactador de llanta de hule	
Compactador vibratorio de rodillo	
Dispositivos de control de tránsito	
Distribuidor de emulsión asfáltica	
Dosificador de cemento	
Niveladora	
Pavimentadora	
Recuperadora	
Vagonetas	

DATOS DEL PROYECTO		
ÍTEM	RESULTADO	
Fecha de inspección	___/___/_____	
Ruta y sección de control		
Estación de inicio y final del tramo evaluado	Inicio	Final
Longitud atendida (m)		
Ancho promedio(m)		
Espesor de base estabilizada de acuerdo al diseño (m)		
Anote el avance en metros por día (m/día)		
Anote la cantidad de sacos de cemento que se colocan en un día de trabajo		
Anote las condiciones climáticas que se presentan al momento de realizar los trabajos:		

CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE SACOS		
ÍTEM		RESULTADO
Densidad del material de base (kg/m ³)	ρ	
Cantidad de cemento requerida (kg/m ³)	c	
Profundidad de estabilización (m)	h	
Ancho de estabilización (m)	a	
Volumen de la base en un tramo de 1 km (m ³)	V	
Cantidad en kg de cemento requerida (kg)	m_c	
Cantidad de sacos de cemento en un tramo de 1 km	s	
Distancia longitudinal entre sacos (m)	d	
Distancia transversal entre sacos (m)	b	
% de cemento por peso	$\%_c$	

CHEQUEO DEL EQUIPO		
ÍTEM	RESULTADO	
Anote la marca y modelo de la recuperadora		
Fecha de último cambio de puntas de la recuperadora	___/___/_____	
¿Las puntas de la recuperadora se encuentran en buen estado?	Sí	No
Anote la marca y modelo del camión cisterna		
¿Se observan fugas de agua en el camión cisterna?	Sí	No
Anote la marca y modelo del compactador de rodillo vibratorio		
Anote la marca y modelo del compactador llanta de hule		
Anote la marca y modelo de la niveladora		
Si se utiliza pavimentadora, anote la marca y modelo		
Anote si observó alguna deficiencia en los equipos anteriores o si se usó un equipo adicional:		

PROCESO CONSTRUCTIVO		
ÍTEM	RESULTADO	
Mezclado en sitio		
Anote la hora en que inician las labores de recuperación		
Anote la profundidad de la escarificación o recuperación		
¿Coincide la profundidad recuperada en el sitio con la que fue indicada por la Administración?	Sí	No
Anote el tamaño máximo de material granular que se indica en el diseño de la base estabilizada		
¿Se retiran las partículas que sobrepasan el tamaño máximo establecido en el diseño?	Sí	No
Anote la condición de humedad del material escarificado (seco, óptimo o con exceso de agua)		

ÍTEM	RESULTADO	
Dosificación de cemento en sacos		
Anote la distancia longitudinal entre sacos de cemento (m)		
Anote la distancia transversal entre sacos de cemento (m)		
¿Coinciden estas distancias con las calculadas por usted previamente?	Sí	No
¿Los sacos son colocados sobre la superficie con cuidado?	Sí	No
¿Los sacos son lanzados contra la superficie o se dejan caer desde la plataforma del camión de acarreo?	Sí	No
¿Se observa pérdida de cemento cuando los sacos son colocados o cuando se abren?		
Anote si la distribución se realiza de forma manual o con niveladora		
¿La distribución se nota homogénea y con total cobertura?	Sí	No
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la dosificación del cemento:		

ÍTEM	RESULTADO	
Dosificación de cemento a granel		
Anote la tasa de dosificación del cemento		
¿Se forman nubes de cemento debido a velocidades altas de viento?	Sí	No
¿La distribución se nota homogénea y con total cobertura?	Sí	No
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la dosificación del cemento:		
ÍTEM	RESULTADO	
Dosificación de cemento vía húmeda		
Anote la tasa de dosificación de la mezcla agua – cemento (lechada)		
¿La mezcla de base con lechada se nota homogénea y con color uniforme?	Sí	No
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la dosificación del cemento:		

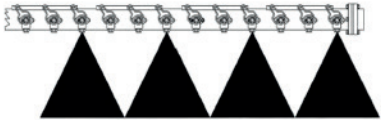
ÍTEM	RESULTADO	
Mezcla de material de base con cemento		
¿La mezcla de base con cemento se nota homogénea y con color uniforme?	Sí	No
Anote la condición de humedad del material (seco, óptimo o con exceso de agua)		
Anote si observó alguna deficiencia con respecto al mezclado de material de base con cemento:		
ÍTEM	RESULTADO	
Dosificación del agua y mezclado		
¿La aplicación de agua se realiza a manera de rociado y uniforme?	Sí	No
El material mezclado con el cemento y el agua se nota homogéneo y con color uniforme?	Sí	No
Anote la condición de humedad del material (seco, óptimo o con exceso de agua)		
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la dosificación de agua y mezclado:		

ÍTEM	RESULTADO	
Mezclado en planta		
Anote la matrícula de la vagoneta que transporta la mezcla desde la planta hasta el sitio		
Anote la hora en que llega la vagoneta al sitio		
Anote la hora en que la vagoneta partió de la planta mezcladora		
Anote la cantidad de base que contiene la vagoneta		
Anote la condición de humedad del material (seco, óptimo o con exceso de agua)		
¿La mezcla está cubierta en la vagoneta por algún material impermeable?	Sí	No
¿El color de la mezcla es uniforme?	Sí	No
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la condición de la mezcla de base estabilizada en la vagoneta o en su descarga		
Anote el equipo utilizado para la colocación de la mezcla (niveladora, pavimentadora)		
Anote el espesor de la capa de mezcla colocada		
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la colocación de la mezcla de base estabilizada:		

ÍTEM	RESULTADO	
Conformación, compactación y acabado		
¿Se cuenta con equipo de topografía para definir pendientes y elevaciones?	Sí	No
Anote la condición de humedad del material (seco, óptimo o con exceso de agua)		
Anote la cantidad de pasadas que se realizan con cada compactador:		
Anote el bombeo conformado (%)		
Si se encuentra en curva, anote el peralte conformado (%)		
Si cuenta con un densímetro nuclear, anote la densidad de la capa compactada y la respectiva humedad de compactación.		
¿Se notan huellas de llantas o hundimientos en la superficie?	Sí	No
Anote la hora en que finaliza la compactación y acabado		
Anote si observó alguna deficiencia con respecto a la conformación, compactación o acabado de la superficie:		

ÍTEM		RESULTADO	
Curado y tratamiento de juntas			
¿Se realiza el curado de la superficie luego de las labores de acabado?	Sí	No	
Anote si observó alguna deficiencia con respecto al curado de la superficie			
¿Se realizan cortes verticales en las juntas transversales?	Sí	No	
¿Se realizan cortes verticales en las juntas longitudinales?	Sí	No	
ÍTEM		RESULTADO	
Aplicación del riego de imprimación			
Anote la tasa de dosificación definida por el contratista o la ingeniería de proyecto			
Anote la tasa de dosificación indicada en el tablero de control del camión en caso de que éste cuente con el mismo			
Anote las revoluciones del motor del camión durante el riego de liga (rpm) y presión (psi):			
Anote el ancho de trabajo promedio empleado por el operario del camión			
Indique el volumen inicial del tanque de emulsión asfáltica			
Indique el volumen final de la emulsión asfáltica			
Indique el área total en la cual fue aplicada el riego de imprimación			

<p>Determine la tasa de emulsión asfáltica aplicada</p> $\text{Tasa de riego } (L/m^2) = \frac{(\text{medición volumen inicial}(L) - \text{medición volumen final}(L))}{\text{Longitud atendida}(m) \times \text{ancho promedio atendida}(m)}$	
<p>¿La tasa estimada coincide con la tasa registrada en el panel del camión dosificador, y la tasa sugerida por la ingeniería de proyecto o contratista?</p>	<p>Sí</p> <p>No</p>
<p>¿Se realizaron ensayos en sitio para verificar la tasa de dosificación?</p>	<p>Sí</p> <p>No</p>
<p>Indique la tasa de dosificación obtenida por el laboratorio en caso de realizarse los ensayos</p>	
<p>¿La tasa de dosificación obtenida coincide con la indicada por el contratista o ingeniería de proyecto?</p>	
ÍTEM	
RESULTADO	
Cobertura del abanico del camión dosificador	
 <p>Cobertura triple</p>	
 <p>Cobertura doble</p>	
 <p>Cobertura Simple</p>	

 <p>Riego rayado</p>		
¿La cobertura del riego de imprimación es uniforme y presenta buena cobertura?	Sí	No
Indique el porcentaje de cobertura aproximada del riego		
En caso de riegos de imprimación con poca cobertura, ¿se corrigieron las zonas con poca cobertura?	Sí	No
¿Se observaron pozos o acumulaciones de emulsión asfáltica en el riego aplicado (tomar fotos)?	Sí	No
En caso de haber exceso de riego de liga, ¿estos fueron eliminados?	Sí	No
ÍTEM		RESULTADO
Material de secado y limpieza del sitio		
¿El material de secado se aplicó de manera uniforme sobre el riego de imprimación?	Sí	No
¿Se eliminó el exceso de material de secado mediante el barrido?	Sí	No
¿Se eliminó por completo el material de secado en las cunetas o caños?	Sí	No
¿Se utilizan dispositivos para restringir el tránsito de vehículos sobre la base estabilizada en proceso de cura?	Sí	No
Anote la cantidad de días en que permanecerá cerrada la vía al tránsito de vehículos sobre la base estabilizada		

EJEMPLOS

Buenas prácticas constructivas



Fuente: Klein, 2013

Asegurar cobertura total con el riego de imprimación

El riego de imprimación debe ser uniforme y garantizar una cobertura total y homogénea.



Fuente: SBI International Holdings AG, Guatemala & Latinoamérica

Preparar el material sobre el que se colocará la mezcla de base

Si la mezcla se realiza en planta, es conveniente compactar y conformar el material sobre el cual se colocará la mezcla de base estabilizada con cemento.



Fuente: LanammeUCR

Conformar el bombeo desde la base estabilizada

Esto permitirá el drenaje adecuado del agua, evitando el deterioro. El ingeniero topógrafo debe marcar los niveles para conformarlo.



Fuente: LanammeUCR

Utilizar equipo de topografía

El uso de topografía constituye una buena práctica, pues permite garantizar que las condiciones geométricas planteadas originalmente en el diseño se cumplan en la etapa constructiva.



Fuente: LanammeUCR

Evitar el levantamiento de partículas de cemento

Colocar los sacos de cemento sobre la superficie y abrirlos cuidadosamente evita la pérdida de cemento por viento. Además, reduce impactos ambientales en el sitio del proyecto y constituye una medida de seguridad para los trabajadores.

Prácticas deficientes



Fuente: LanammeUCR

No retirar partículas con sobretamaño

No se deben dejar las partículas de agregado que sobrepasen el tamaño máximo establecido en el diseño de la base estabilizada.



Fuente: LanammeUCR

Desgastar la superficie cuando se realiza el curado

El curado de la mezcla debe realizarse de manera que el flujo de agua no desgaste la superficie compactada. Es ideal que sea en forma de rocío.



Fuente: LanammeUCR

Exposición prolongada al tránsito de vehículos

No se debe permitir que el tránsito de vehículos deteriore la superficie estabilizada. Estos deterioros ocurren por exceso de tiempo de exposición de la base estabilizada al tránsito. Es posible que se reflejen en la capa de rodamiento final.



Fuente: LanammeUCR

No retirar el material de secado

No debe dejarse el exceso de material de secado sobre la superficie, esto genera nubes de polvo y podría provocar el derrape de los vehículos que transitan sobre la vía, además del lanzamiento de partículas. Por otra parte, este material al ser desplazado por los vehículos, obstruye cunetas y otras obras de drenaje.



Fuente: LanammeUCR

Dejar caer los sacos de cemento o golpearlos contra la superficie

Cuando el cemento se dosifica en sacos debe colocarse de manera uniforme en la superficie. Además, los sacos deben abrirse cuidadosamente, bajo ninguna circunstancia deben tirarse contra la superficie, pues esta práctica genera nubes que afectan la integridad de los trabajadores y además se producen pérdidas de cemento.

REFERENCIAS

- Arce, M. (agosto de 2011). Bases estabilizadas con cemento. Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes. *Programa de Infraestructura del Transporte, II*(19).
- Asfaltico-SFR*. (s.f.). Obtenido de <http://seattlefrancophone.info/skianew-asfaltico.adp>
- Asphalt Institute. (2008). *Basic Asphalt Emulsion Manual MS-19* (Cuarta ed.). USA.
- Ávila, T., & Loría, L. (2012). Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento. *Publicación especial PITRA LanammeUCR, 1*.
- CAT. (s.f.). Recuperado el 23 de abril de 2018, de CAT: https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/motor-graders/k-series-motor-graders.html
- Ciber*. (2018). Recuperado el junio de 2018, de <https://www.ciber.com.br/es/productos/plantas-mezcladoras-frio/>
- Echeverry, V. (6 de octubre de 2016). *Blog 360 en Concreto*. Recuperado el 19 de abril de 2018, de Blog 360 en Concreto: <http://blog.360gradosenconcreto.com/suelo-cemento-rionegro-recupera-144-kilometros-vias-rurales/>
- ICCYC y PCA. (2014). *Manual de Construcción de Suelo - Cemento*. PCA. Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto.
- Klein, C. (2013). *Chip Seal over Gravel Road Proyect*. Silver Creek, Minnesota.

Metong Portugal. (s.f.). Obtenido de <http://metongportugal.com/1-6-1-chip-spreader.html>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010.*

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2015). *Manual Técnico de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la Ejecución de Trabajos en las Vías.* Dirección General de Ingeniería y Tránsito. MOPT.

Molina Murillo, E. (s.f.). *Conceptos básicos del suelocemento. Proceso constructivo.* Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, San José.

Sapei, J., & González, R. (octubre de 2014). Emulsiones de imprimación, su aporte en la adherencia. *Revista Infraestructura Vial*, XVI(28), 33-43.

SBI International Holdings AG, Guatemala & Latinoamérica. (s.f.). *SOLEL BONEH INTERNATIONAL.* Recuperado el 19 de abril de 2018, de SOLEL BONEH INTERNATIONAL: <http://solelboneh.com/galeria/index.php?album=Carreteras/Guatemala/En%20Ejecucion/Franja%20Transversal%20del%20Norte/Tramo%20I&image=aplicacion-suelo-cemento.jpg>

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.*

WIRTGEN. (2018). *Principio funcional del reciclaje en frío.* Obtenido de <https://www.wirtgen.de/de/technologien/kaltrecycling/funktionsprinzip-wr/funktionsprinzip-wr.php>

NOTAS


Dotted lines for note-taking.

NOTAS

A series of horizontal dotted lines for taking notes, spanning the width of the page.

Unidad de Auditoría Técnica-LanammeUCR

Contacto

 (506) 2511-2500

 direccion.lanamme@ucr.ac.cr

 www.lanamme.ucr.ac.cr

 Código Postal: 11501-2060



Centro de Transferencia Tecnológica

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana / Óscar Rodríguez Quintana.

Guía para inspectores: Para la construcción de bases estabilizadas con cemento, Enero, 2019.