

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE,  
Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO**

**VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO VIAL**

**APLICACIÓN DE LA FENOLFTALEÍNA  
EN ALGUNAS AREAS DE LA INGENIERIA CIVIL**

**Elaborado por: Glenda Xiomara Campos Hernández, Inga. Civil.  
Unidad Técnica, Gerencia de Investigación y Desarrollo**

**Edwin Ricardo Alvarenga, Ing. Civil.  
Gerente de Investigación y Desarrollo.**

**Coordinador: Daniel Antonio Hernández Flores, Ing. Civil.  
Director.**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, MARZO DE 2009**

## **OBSERVACIÓN**

**El contenido de este informe refleja las opiniones de los autores, quienes son responsables de los hechos y la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador. Este informe no constituye una norma, especificación o regulación.**

## APLICACIÓN DE LA FENOLFTALEÍNA EN ALGUNAS AREAS DE LA INGENIERIA CIVIL

### 1.0 Resumen.

*En el presente estudio se abordan aspectos generales sobre el compuesto químico denominado fenolftaleína y está enfocado principalmente en la utilización de dicho compuesto químico en actividades relacionadas con algunas áreas de la ingeniería civil, específicamente en lo concerniente a la evaluación de estructuras de concreto hidráulico; así como en actividades de control de la calidad en suelos estabilizados, incorporados en obras de infraestructura vial. El documento se ha elaborado con base en una investigación bibliográfica y en experiencias obtenidas en las actividades de verificación de la calidad e investigaciones aplicadas, que desarrolla la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador.*

### 2.0 Introducción.

*Aplicación de la Fenolftaleína en Algunas Áreas de la Ingeniería Civil*, surge de la necesidad de contar con un documento de apoyo técnico, en el que se resuman los principales aspectos relacionados con la fenolftaleína y la aplicabilidad de dicho compuesto químico en algunas áreas de la Ingeniería Civil, específicamente en lo relacionado con actividades de Evaluaciones de estructuras de concreto hidráulico y en el Control de calidad en la construcción de capas de suelos estabilizados. Lo anterior, con el objeto de fortalecer las actividades de evaluación y verificación de la calidad que realiza la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial, en los proyectos de infraestructura vial que ejecuta el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano.

El estudio se ha elaborado con base en una investigación bibliográfica, basada principalmente en documentos técnicos de agencias internacionales, tales como: American Concrete Institute (ACI), Portland Cement Association (PCA), Federación Interamericana del Cemento (FICEM), Federal Highway Administration (FHWA) y la Asociación Nacional de Cales y Derivados de España (ANCADE). Cabe indicar que algunos de los aspectos indicados en este reporte, constituyen una traducción libre de cierta información contenida en documentos técnicos de las agencias antes indicadas, debido a la relevancia que esta posee sobre el tema. También se ha considerado, las experiencias registradas por personal técnico de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV-VMOP), en actividades de evaluación de estructuras y en trabajos de verificación de la calidad realizadas en proyectos viales.

### 3.0 Generalidades sobre la Fenolftaleína.

La **fenolftaleína**, es un compuesto químico que se obtiene por la reacción de dos componentes: 1) El Fenol y 2) El Anhídrido Ftálico, en presencia de ácido sulfúrico. El Fenol, en forma pura, es un sólido cristalino de color blanco-incoloro a temperatura ambiente; el Anhídrido Ftálico es un sólido en forma de escamas a temperatura ambiente y en forma fundida es un líquido claro libre de insolubles, sedimento y turbidez. La fenolftaleína no es soluble en agua y generalmente es utilizada en solución con alcohol etílico, en una proporción entre 1.0% y 2.0%.

La solución de fenolftaleína es frecuentemente utilizada como un indicador de la concentración del ión hidrógeno, mejor conocido como Potencial de Hidrógeno (**pH**), a través del cual es posible medir la acidez ó basicidad de una solución. El término proviene de **p**ondus **H**ydrogenii ó **P**otentia **H**ydrogenii (del latín *pondos*, peso; *potentia*, potencia; *hydrogenium*, hidrógeno). El Potencial de Hidrógeno (pH), se puede determinar mediante la ecuación propuesta por el químico danés Forenses, definida como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno, tal como se indica en la ecuación 1, a continuación:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log 1/(\text{H}^+). \quad (1)$$

Por ejemplo, una solución con una concentración de iones hidrógeno  $[\text{H}^+]$  de  $1 \times 10^{-7}$  (0.0000001), posee un pH de 7, ya que:  $\text{pH} = -\log[10^{-7}] = 7$ . Al respecto, un pH de 7 es indicativo de una solución neutra; en soluciones ácidas el valor de pH es menor a 7 y se considera la presencia de una base si el valor de pH oscila entre 7 y 14. Cabe indicar que la mayoría de indicadores de pH poseen una escala de valores que oscilan entre 0 y 14; sin embargo, existen compuestos con valores de pH abajo de cero, tal como el ácido de las baterías de vehículos.

A continuación, en la figura 1, se presenta los rangos de pH correspondientes a valores típicos para suelos, suelos modificados con cemento o cal, concreto hidráulico; así como para algunos líquidos de uso común.

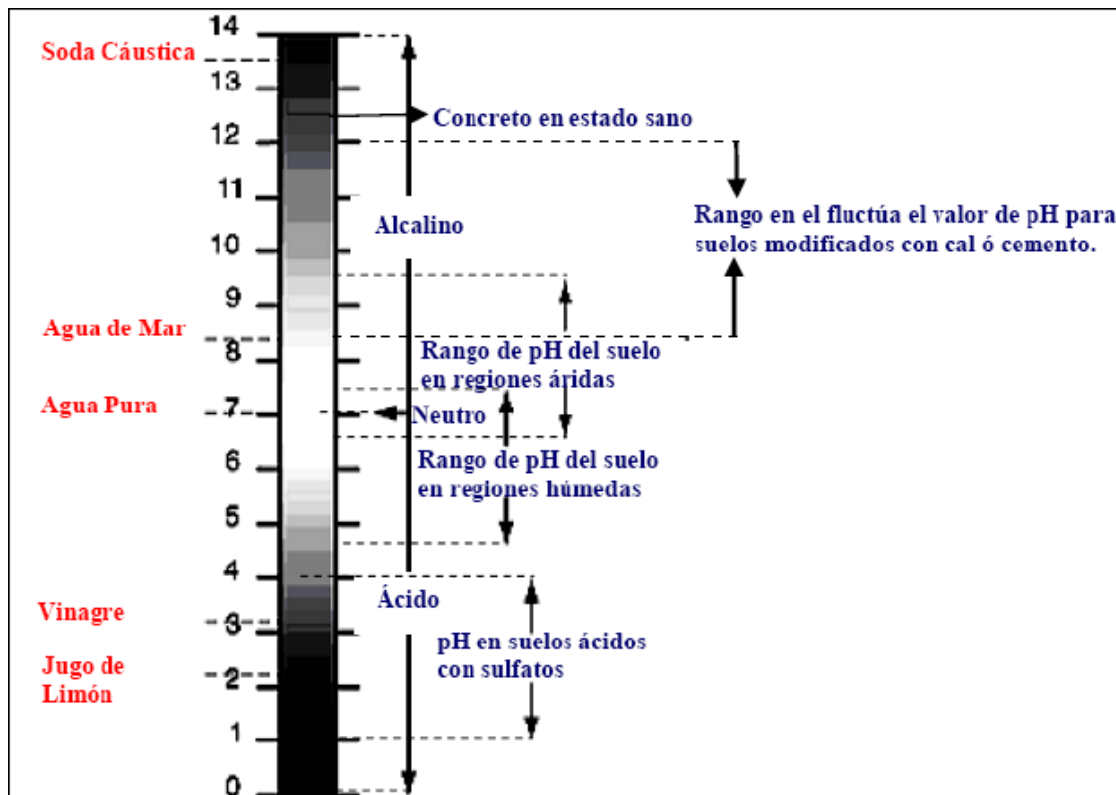


Figura 1: Rango de valores de pH.

[Figura modificada del documento Natural Resources Sciences, March 2006. Queensland Government]

La superficie de los materiales a los cuales se les aplica la solución de Fenolftaleína, adquieren diferentes rangos de tonalidad, de acuerdo a la alcalinidad de los mismos, por ejemplo, cuando se está en presencia de condiciones fuertemente ácidas ( $\text{pH} \leq 0$ ), se presenta un color naranja; en el rango entre 0 y 8.2 no se observa reacción; en el rango entre 8.2 y 12 se observa que adquiere una tonalidad entre rosa y púrpura; y en el rango de valores de pH mayores a 12, no presenta reacción. Lo anterior se presenta de manera esquemática en la Tabla 1, a continuación:



Valor de pH	< 0	0 - 8.2	8.2 - 12.0	> 12.0
Condiciones	Fuertemente ácidas	Ácidas o Neutras	Alcalinas	Fuertemente alcalinas
Color	Naranja	No Reacciona	Rosa	No Reacciona
		----		----

Tabla 1: Rangos de acción del compuesto químico “Fenolftaleína”.  
[Tabla modificada de información contenida en Enciclopedia Libre Wikipedia]

La fenolftaleína es un ácido débil que pierde cationes  $\text{H}^+$  en solución. La molécula de fenolftaleína es incolora, en cambio el anión derivado de la fenolftaleína es de color rosa. Cuando se agrega una base, la fenolftaleína (siendo esta inicialmente incolora) pierde cationes  $\text{H}^+$  formándose el anión y haciendo que tome la coloración rosa.

Es importante señalar que la manipulación de la fenolftaleína requiere de algunas precauciones, las cuales se indican a continuación:

<b>Recomendaciones generales para la manipulación de Fenolftaleína y medidas a tomar en caso de accidentes</b>	
<b>Almacenamiento:</b> Mantener el compuesto en un local bien ventilado, a temperatura ambiente, en recipientes bien cerrados y alejado de fuentes de ignición y calor.	
<b>Protección personal:</b> Usar guantes y gafas apropiadas durante su manipulación.	
<b>En presencia de</b>	<b>Acción Tomada</b>
Fuga o Derrame	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar el contacto con la sustancia.</li> <li>• Evitar la formación de polvo.</li> <li>• No inhalar los vapores.</li> <li>• Recoger en seco y proceder a la eliminación de los residuos.</li> </ul>
Incendio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflamable. Mantener alejado de fuentes de ignición. Los vapores son más pesados que el aire, por lo que pueden desplazarse a nivel del suelo. Puede formar mezclas explosivas con aire.</li> <li>• Utilizar como medios de extinción: agua, <math>\text{CO}_2</math>, espuma o polvo.</li> </ul>

Primeros Auxilios	Ojos	Lavar por irrigación los ojos con abundante agua la cual debe ser limpia y fresca (manteniendo abiertos los párpados).
	Piel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Despojarse de la ropa contaminada.</li> <li>• Lavar completamente las zonas afectadas con abundante agua.</li> </ul>
	Inhalación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evacuar al afectado de la zona contaminada y trasladarlo al aire libre.</li> <li>• En caso de asfixia proceder a la respiración artificial.</li> </ul>
	Ingestión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provocar el vómito.</li> <li>• Tomar abundante agua. No beber leche.</li> <li>• En caso de malestar, pedir atención médica.</li> </ul>
	En caso de pérdida del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nunca dar a beber ni provocar el vómito.</li> </ul>

Tabla 2: Precauciones sobre el uso de la Fenolftaleína.

[Modificado de Ficha de riesgos del indicador de fenolftaleína, empresa MERCK (Conforme al reglamento (CE) n° 1907/2006 (REACH))]

#### 4.0 Usos de la Fenolftaleína en Ingeniería Civil.

En general, la fenolftaleína ha sido utilizada principalmente en el área química como indicador ácido-base y en el área farmacéutica como componente químico, especialmente en la elaboración de laxantes y en algunos casos ha sido utilizado en estudios forenses. Sin embargo, su uso se ha extendido en el área de la ingeniería civil, en actividades relacionadas con la evaluación de estructuras de concreto reforzado; así como en el control de calidad de suelos estabilizados. A continuación, en los siguientes apartados, se presenta de manera general las aplicaciones de este compuesto en las áreas de la ingeniería civil indicadas anteriormente.

#### 4.1 Uso de la Fenolftaleína en la Evaluación de Estructuras de Concreto Hidráulico.

En general, las actividades de evaluación de una estructura, están orientadas a verificar la condición de la misma, a nivel funcional y estructural, de forma integral o de algunos de los elementos que la constituyen. Lo anterior, permitirá detectar la presencia de daños y/o deterioros, la tasa de progresión y las causas que los originaron, estimar la vida remanente, definir los trabajos de mantenimiento preventivo, correctivo o de reforzamiento, necesarios para mantener o mejorar los niveles de servicio que la estructura presenta, entre otros.

Con base en las recomendaciones indicadas en el documento ACI 437R-03, *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings*, las actividades que deben realizarse como parte de la evaluación de una estructura, en su fase inicial o de diagnóstico, consisten básicamente en: **1) Revisión de registros sobre la estructura**, relacionados con: el diseño original (planos, especificaciones, memorias de cálculo, investigación geotécnica, código de diseño, otros); materiales de construcción utilizados; registro del proceso constructivo (bitácoras, materiales, reportes de

inspección, registros de control de calidad, otros); registros durante la etapa de servicio de la estructura (usos, mantenimientos, reparaciones o remodelaciones, registros del medio ambiente, actividad sísmica, huracanes, otros) y **2) Investigación de la condición actual de la estructura**, llevada a cabo a partir de **Inspección visual** y ensayos in situ, destructivos y/o no destructivos.

De manera particular, en lo que respecta a la **Inspección Visual de la Estructura**, es posible identificar la presencia de deterioros, daños y/o anomalías, generadas por las cargas de servicio a las que ha estado sometida la estructura o por efecto de las condiciones medioambientales, las cuales pueden afectar el desempeño estructural del elemento. Al respecto, uno de los deterioros más críticos en estructuras de concreto reforzado, está relacionado con el deterioro del acero de refuerzo por efecto de la corrosión<sup>[1]</sup>, el cual puede ocurrir debido al ingreso de iones agresivos de cloruros, principalmente en ambientes marinos y/o por la generación del **fenómeno de carbonatación en el concreto**, siendo este último donde tiene aplicabilidad la fenolftaleína, lo cual se abordará en los siguientes apartados.

#### 4.1.1 Fenómeno de carbonatación.

Previo a la explicación del fenómeno de carbonatación, se considera necesario abordar algunos aspectos relacionados sobre las características del concreto hidráulico, a partir del cual pueda visualizarse con mayor facilidad la incidencia de dicho fenómeno.

La alcalinidad ó basicidad del concreto se debe principalmente al hidróxido cálcico, que se forma durante la hidratación de los silicatos del cemento y a los álcalis que puedan estar incorporados como sulfatos en el clinker; estas sustancias provocan valores de pH de 12 ó mayores, correspondientes a la fase acuosa contenida en los poros, por lo que se sitúa en el extremo más alcalino de la escala de pH. Con éstos valores de pH y en presencia de una cierta cantidad de oxígeno, el acero de refuerzo de las estructuras de concreto, se encuentra en una condición pasiva, debido a que esta recubierto de una película compacta y continua de óxidos transparentes, que minimiza la ocurrencia de la corrosión por períodos indefinidos, aún en presencia de humedades elevadas en el concreto. Cabe indicar que dicha película no detiene la corrosión, sino que la reduce a un nivel muy bajo, el cual típicamente posee una tasa de 0.1  $\mu\text{m/año}$ <sup>[2]</sup>; sin la existencia de dicha película, el acero de refuerzo en el concreto puede corroerse a una tasa de al menos tres veces mayor que la indicada anteriormente.

La carbonatación se caracteriza por la reducción del valor de pH del concreto, que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio (que posee alto pH) a carbonato de calcio, que tiene un pH neutral, provocando que la matriz de concreto posea un valor de pH de aproximadamente 8.0, cabe indicar que una pasta de cemento totalmente carbonatada presenta un pH de 7. La susceptibilidad del concreto a ser afectado por la carbonatación, está íntimamente relacionado con la permeabilidad que éste presente, debido a los vacíos que puedan quedar atrapados durante

---

<sup>[1]</sup> ASTM G 15; *Standard Terminology to Corrosion and Corrosion Testing ASTM Internacional*, define el término corrosión como: La reacción química o electroquímica entre un material, usualmente metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y sus propiedades.

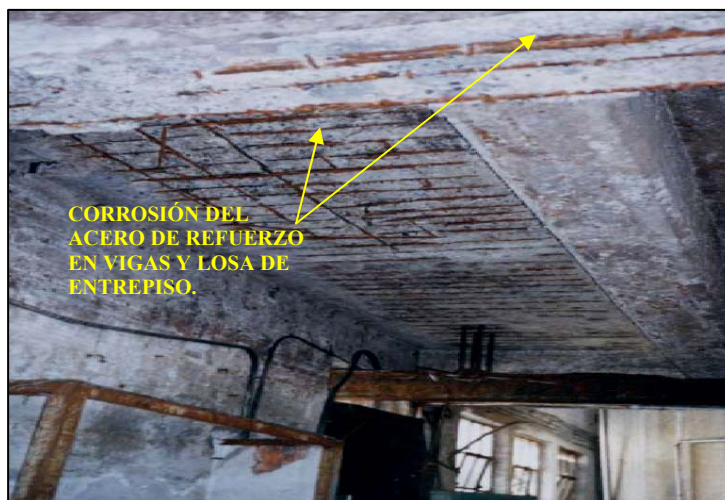
<sup>[2]</sup> *ACI 222R-01 Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*, en el Capítulo 2, Mechanism of Corrosion of Steel in Concrete, Sección 2.2.2 Nature of the Passive Film.



el proceso de hidratación y por efecto de las fisuras que se han generado en el mismo, debido a las retracciones de fraguado y por temperatura, o por agrietamientos durante su etapa de servicio.

La tasa de carbonatación depende de la porosidad y el contenido de humedad del concreto, es un proceso progresivo que avanza desde la superficie expuesta del concreto hacia el interior, a una velocidad que es tanto menor cuanto mejor sea la calidad del concreto de recubrimiento. Es importante mencionar que el proceso de carbonatación requiere de la presencia de humedad; si el concreto posee una condición muy seca (humedad relativa menor de 40%), el bióxido de carbono no puede disolverse y no ocurre la carbonatación; si el concreto está muy húmedo (humedad relativa mayor de 90%) el bióxido de carbono no puede entrar al concreto y tampoco se carbonatará. La carbonatación puede ocurrir bajo condiciones de humedad relativa entre 40% y 90%, y la condición óptima es a una humedad relativa de 60% <sup>[3]</sup>.

Cabe indicar que *la carbonatación puede ser acelerada por la presencia de grietas o porosidad en el concreto* <sup>[4]</sup>, lo que constituye una desventaja considerable en estructuras de concreto reforzado, debido principalmente a la ocurrencia del fenómeno de la corrosión (ver fotografía 1), debido a que se pierde la pasividad en el acero de refuerzo, lo cual puede conllevar al colapso de las estructuras debido a la pérdida de sección del refuerzo de las mismas.



Fotografía 1: Corrosión del acero de refuerzo de una estructura, por efecto de la carbonatación en el concreto.

[Figura modificada del documento Reparación de Concreto del BASF, The Chemical Company.]

En general, puede considerarse que son tres (3) los factores principales que influyen en el inicio del proceso de corrosión por efecto de carbonatación: **1)** Espesor delgado de recubrimiento, **2)** Presencia de grietas y **3)** Alta porosidad, asociada a bajos factores de cemento y alta relación agua-cemento <sup>[4]</sup>.

De acuerdo a investigaciones realizadas sobre la carbonatación, por la Portland Cement Association (PCA), indica que el proceso de avance de la carbonatación es de 1 mm /año <sup>[5]</sup>, lo

<sup>[3]</sup> 222R-01 Protection of Metals in Concrete Against Corrosion, en el Capítulo 2, Mechanism of Corrosion of Steel in Concrete, Sección 2.2.4.2 Initiation of corrosion by Carbonation

<sup>[4]</sup> ACI 365.1R Service Life Prediction State of the Art Report, Capítulo 2, Sección 2.2.1.6 Steel Reinforcement Corrosion.

<sup>[5]</sup> Documento Concrete Defects and Repair Strategy, Department of Real Estate and Construction, The University of Hong Kong, January 2007.



cual refleja que es un proceso bastante lento, que podría detectarse con mucha anticipación antes de que ocurran daños en el acero de refuerzo.

#### 4.1.2 Procedimiento para identificar la presencia de carbonatación.

Una de las prácticas utilizadas para la identificación del fenómeno de carbonatación, es a través de análisis petrográfico de muestras de concreto, lo que permite determinar la profundidad de carbonatación, lo cual está descrito en ASTM C 856 *Petrographic Examination of Hardened Concrete*. Uno de los métodos consiste en tomar una pequeña muestra de la pasta del espécimen de una superficie recién fracturada, con el objeto de determinar si el carbonato de calcio está presente; la verificación de la zona afectada es determinada observando especímenes tomados a diferentes profundidades de la superficie expuesta. El segundo método, es preparar una sección delgada y se utiliza un microscopio petrográfico para identificar el concreto carbonatado, tal como se muestra en la figura 2.



Figura 2: Profundidad de carbonatación de una sección de concreto, usando microscopio petrográfico.

[Figura modificada del documento Carbonation as an Indicator of Crack Age by Dipayan Jana and Bernard Erlin.]

También, existe un procedimiento ampliamente utilizado en campo, para la identificación de las áreas que se han visto afectadas por la carbonatación, basado en la identificación de zonas con diferentes valores de pH. Considerando que al ocurrir el fenómeno de carbonatación, existe un “frente”<sup>[2]</sup> de avance desde la superficie hacia el interior del elemento de concreto, generando zonas con bajos o altos valores de pH, respectivamente. Por lo anterior, es posible identificar las zonas con bajos valores de pH, los cuales corresponden a las zonas afectadas por la carbonatación, utilizando un indicador de pH, que para el caso se utiliza una solución de **Fenolftaleína**.

En general, el procedimiento consiste en la exposición de un área de concreto (preferentemente cerca del borde del elemento) ó extraer un testigo (núcleo), en la zona del elemento donde exista

incertidumbre sobre la presencia de carbonatación. Luego de realizar la respectiva limpieza de la zona o de los especímenes, se lleva a cabo la aplicación de una solución al 2 % de fenolftaleína (en alcohol), las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, debido a que una vez carbonatado el concreto, el valor de pH disminuye y alcanza un valor fuera del rango que la solución de fenolftaleína es capaz de identificar (mediante variaciones de tonalidad en coloración), mientras que si el concreto se encuentra no carbonatado se observará variación en la tonalidad del mismo (ver fotografía 2), debido a que el pH del concreto se encuentra en el rango entre 8.2 y 12.5 aproximadamente (ver figura 1, apartado 3.0 Generalidades de la fenolftaleína).



Fotografía 2: Aplicación de solución de fenolftaleína en superficie recién expuesta de concreto.

[Figura modificada del documento Reparación de Concreto del BASF, The Chemical Company.]

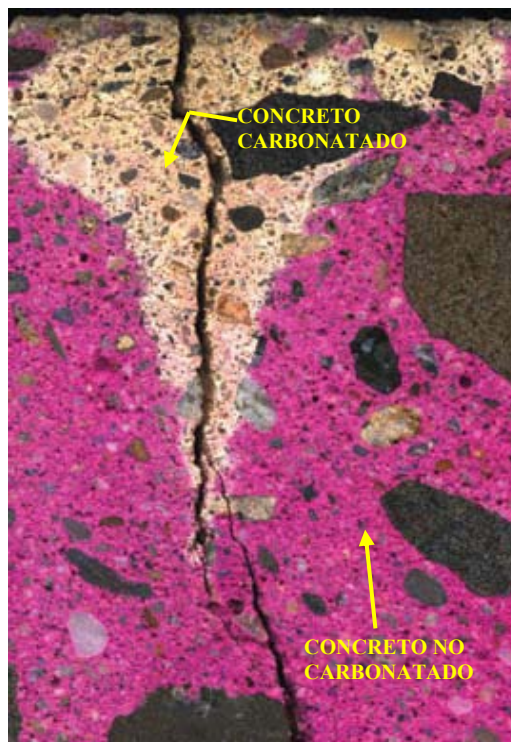
De esta manera, mientras más intenso sea el color (púrpura) que adquiere el concreto, con la aplicación de la solución de fenolftaleína, existe una menor probabilidad de la presencia de carbonatación, (ver fotografía 3).



Fotografía 3: Profundidad de carbonatación de una superficie de concreto recién fracturada, luego de la aplicación de una solución de fenolftaleína.

[Figura modificada del documento Carbonation as an Indicator of Crack Age by Dipayan Jana and Bernard Erlin.]

También, en el documento Carbonation as an Indicator of Crack Age (remitirse a la referencia bibliográfica número 7), se indica que se ha observado que la distancia de carbonatación en una pared agrietada, se incrementa usualmente en relación con el ancho de la grieta, debido a que está expuesta continuamente al bióxido de carbono e incrementándose además cuando mayor sea la relación agua/cemento (a/c) utilizada. Sin embargo, dicha distancia se ve disminuida cuando se realiza sello de grietas y también cuando en la grieta se depositan materiales existentes en el entorno (tales como polvo). En la fotografía 4, se observa la sección transversal de una pared agrietada, a la cual se le ha aplicado solución de fenolftaleína.



Fotografía 4: Sección transversal de pared agrietada, donde se ha aplicado solución de Fenolftaleína. Se observa que la carbonatación se extiende en forma de “V”, en la zona de mayor espesor de la grieta.  
[Figura modificada del documento Carbonation as an Indicator of Crack Age by Dipayan Jana and Bernard Erlin.]

Con base en lo anterior y apoyado en estudios sobre carbonatación, algunas agencias han desarrollado modelos, orientados a estimar el período en el que podría ocurrir la carbonatación total de la capa de concreto. Al respecto, en el documento ACI 365.1R *Service-Life Prediction State of the Art Report*, se establece la siguiente relación:

$$t = L/R_c \quad (2)$$

Donde:

- t : Período en el que se desarrollará la carbonatación (años).
- R<sub>c</sub> : Tasa de carbonatación, mm/año (valor promedio 1.0 mm/año)
- L : Recubrimiento remanente de concreto no carbonatado (mm).

En general, el fenómeno de carbonatación no es posible evitarlo; sin embargo, si es posible prolongar el período en el cual se puede desarrollar, empleando las siguientes consideraciones al momento del diseño y ejecución de obras:

- Aumentar el espesor del recubrimiento del refuerzo, en concreto reforzado.
- Utilizar en el concreto hidráulico, relaciones agua/cemento (a/c) bajas.
- Disminuir la porosidad del concreto.
- Ejecución de una buena compactación y curado del concreto.
- Utilizar revestimientos sintéticos.

#### 4.2 Uso de la Fenolftaleína en el Control de Calidad en Suelos Estabilizados.

En general, los materiales que constituyen las capas de una estructura de pavimento flexible o rígido, deben poseer las características necesarias que garanticen un adecuado desempeño de la estructura durante su vida útil, bajo las condiciones de carga impuestas por el flujo vehicular y ante las condiciones climatológicas existentes en el sitio, aspectos que deben ser establecidos en la etapa de diseño de la estructura. De manera particular, en lo que respecta a los suelos que puedan constituir dichas capas, deben realizarse las investigaciones requeridas, a través de las cuales se evalúe de manera representativa si los materiales a utilizar, existentes en el sitio o procedente de bancos de préstamo, satisfacen los requerimientos mínimos de calidad establecidos en las especificaciones técnicas, en términos de características físicas y/o de resistencia, o en su defecto realizar la modificación correspondiente de sus propiedades.

Al respecto, existen diferentes técnicas orientadas a mejorar la calidad de los suelos, a través de métodos mecánicos o la modificación de sus propiedades físico-químicas, mediante la incorporación de aditivos orgánicos e inorgánicos, materiales bituminosos, cementos hidráulicos, cal hidratada, entre otros, que en adelante se denominará en este documento “**material estabilizador**”. Cabe señalar que la efectividad del material estabilizador a utilizar, está íntimamente relacionada con el desarrollo de un adecuado diseño de la mezcla, a partir del cual se establezca entre otros la dosificación y el contenido de humedad óptimo, y también deberá prestarse mucha atención en el control de calidad en las diferentes etapas del proceso constructivo, para la conformación de las capas de suelo estabilizadas. Particularmente en la etapa de **mezclado de los materiales**, se deberá verificar la homogeneidad de la mezcla suelo - material estabilizador, a partir de una Inspección visual de la mezcla, actividad que puede facilitarse mediante la utilización del reactivo químico **fenolftaleína**, cuando el material estabilizador lo constituye cemento hidráulico o cal hidratada. A continuación se presenta un resumen de los aspectos más relevantes:

- **Inspección visual:** <sup>161</sup> se realiza con el objeto de verificar la uniformidad de la mezcla suelo-material estabilizador, principalmente cuando el proceso de mezclado de los materiales se ha realizado en el sitio, para lo cual puede realizarse pequeñas excavaciones o pozos separados a distancias regulares al espesor total de la capa, donde es posible visualizar el grado de uniformidad del color del material expuesto y también la homogeneidad de la mezcla.

---

<sup>161</sup> Manual de Estabilización de Suelos con Cal. Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España (ANCADE), Madrid.



- **Visualización de la uniformidad:** La visualización de un color uniforme en la superficie expuesta, en todo el espesor de la capa estabilizada, es un índice de que se ha realizado una mezcla apropiada de los materiales, la cual se facilita al utilizar fenolftaleína.
- **Utilización del reactivo químico fenolftaleína:** es aplicable durante el proceso constructivo de suelos que han sido mezclados con cemento hidráulico o cal hidratada. Lo anterior, debido a que el suelo natural que se encuentra comúnmente con un pH entre 4 y 6.5 aproximadamente, al mezclarse con cal hidratada que posee un pH de 12.4 o con cementos hidráulicos que poseen un pH de 12.5 aproximadamente, se produce un incremento en el valor del pH de dicha mezcla, obteniéndose un rango de pH entre 8.5 y 12.0, aproximadamente, el cual se encuentra dentro del rango de reacción de la fenolftaleína. La intensidad en el cambio de color que experimentarán los materiales, variará dependiendo del valor de pH, el cual está asociado a las características de los suelos y el material estabilizador.  
La aplicación de la fenolftaleína (previamente en alcohol al 2%), puede realizarse en la mezcla de suelo estabilizado en condición suelta así como en capas ya compactadas, para lo cual puede realizarse una excavación o la extracción de un testigo (núcleo). Dicho procedimiento puede realizarse durante el proceso constructivo o durante actividades de evaluación de estructuras que se encuentran en servicio.

#### 4.2.1 Uso de fenolftaleína durante la construcción de capas de suelo estabilizados.

En general, de acuerdo a la práctica ingenieril aceptada y las recomendaciones indicadas por agencias u organismos relacionados con el área de infraestructura vial, tal como la American Concrete Institute (ACI), Portland Cement Association (PCA), Federal Highway Administration (FHWA), el control de calidad que se ejecuta durante la construcción de capas de suelo estabilizados, utilizando cemento hidráulico o cal hidratada como material estabilizador, debe implementarse básicamente en las siguientes etapas o procesos: pulverización de los materiales, incorporación del contenido de cemento hidráulico o cal hidratada, incorporación del contenido apropiado de agua, mezclado, compactación y finalmente, el curado de la capa recién construida.

Considerando la importancia del control de calidad durante la etapa de mezclado, para el cumplimiento de los requerimientos establecidos en las especificaciones técnicas y sobre todo en el buen comportamiento del producto terminado, algunas agencias o instituciones recomiendan realizar dicha verificación auxiliándose de la utilización de una solución de **Fenolftaleína**, como parte del control de calidad durante las etapas de mezclado y/o compactación de las capas de suelo estabilizado. En la Tabla A-2, se presenta un resumen de las actividades de control de calidad, recomendadas por instituciones y/o agencias relacionadas con el uso de dichos materiales. Tal como se ha indicado anteriormente, la fenolftaleína (previamente elaborada en solución de alcohol al 2% de fenolftaleína) es un indicador del nivel de pH, por lo que la aplicación de dicha solución sobre la mezcla de suelo estabilizado en estado suelto o compactado, provocará un cambio en la tonalidad de los materiales, si estos presentan un pH entre 8.2 y 12 aproximadamente.

A continuación, en la fotografía 5, se observa el cambio de tonalidad de un suelo estabilizado con cemento hidráulico, que constituye la capa de base de una estructura de pavimento.



Fotografía 5: Vista de capa de base suelo-cemento con aplicación de fenolftaleína.  
[Registro fotográfico de trabajos de verificación de la calidad, durante la construcción de estructura de pavimento, UIDV-VMOP - Ministerio de Obras Públicas de El Salvador]

Cabe señalar que no existe un procedimiento estándar para la utilización de la fenolftaleína. Tampoco existen criterios sobre la interpretación de resultados (con base en el cambio en la tonalidad del material), a partir de los cuales se determine el tipo de material estabilizador que fue empleado y/o el contenido o proporción de los mismos en la mezcla.

Dentro del marco de investigaciones aplicadas que realiza esta Unidad, se realizaron algunas pruebas para verificar la reacción de una solución de fenolftaleína, en diferentes mezclas de suelos estabilizados, en condición suelta y en especímenes compactados. A continuación se indica de manera general, el procedimiento implementado en esta investigación:

- Se emplearon suelos comúnmente utilizados en obras de infraestructura vial, clasificados como Arena Limosa (SM), Limos (ML), Gravas bien graduadas con limos (GW-GM) y Gravas pobremente graduadas con limos (GP-GM),
- Se tomaron muestras de cada uno de los tipos de suelo antes indicados y se mezcló cemento hidráulico o cal hidratada, a 3% y 5% en peso,
- De cada una de las mezclas de suelo estabilizado, con cemento hidráulico o cal hidratada, se elaboraron especímenes cilíndricos de 4 pulgadas de diámetro y 6 pulgadas de alto, compactados aproximadamente a la humedad óptima,
- Se preparó una solución de fenolftaleína al 2%,
- Se aplicó la solución de fenolftaleína en la superficie de las mezclas de suelo estabilizado, en condición suelta (recién mezclados),
- También se aplicó dicha solución, en la superficie de cada uno de los especímenes elaborados con suelo estabilizado, inmediatamente después de su elaboración y a una edad de 8 días, estos últimos mantenidos bajo una condición de secado al aire después de su elaboración,
- Se verificó la reacción de las muestras de suelo estabilizado, luego de la aplicación de la solución de fenolftaleína. Al respecto, en Anexo (Tabla A-1) se presenta un resumen de los registros fotográficos que se obtuvieron durante la investigación, para cada uno de los tipos de suelo verificados, a excepción de los registros correspondientes a los especímenes elaborados utilizando suelo clasificado como Gravas pobremente graduadas con limos (GP-GM) y Limos



La tabla que se presenta a continuación, contiene algunos de los registros fotográficos antes referidos, correspondientes a la reacción que se generó en la superficie de especímenes elaborados utilizando una mezcla de Arena Limosa (SM) y cemento hidráulico o cal hidratada.

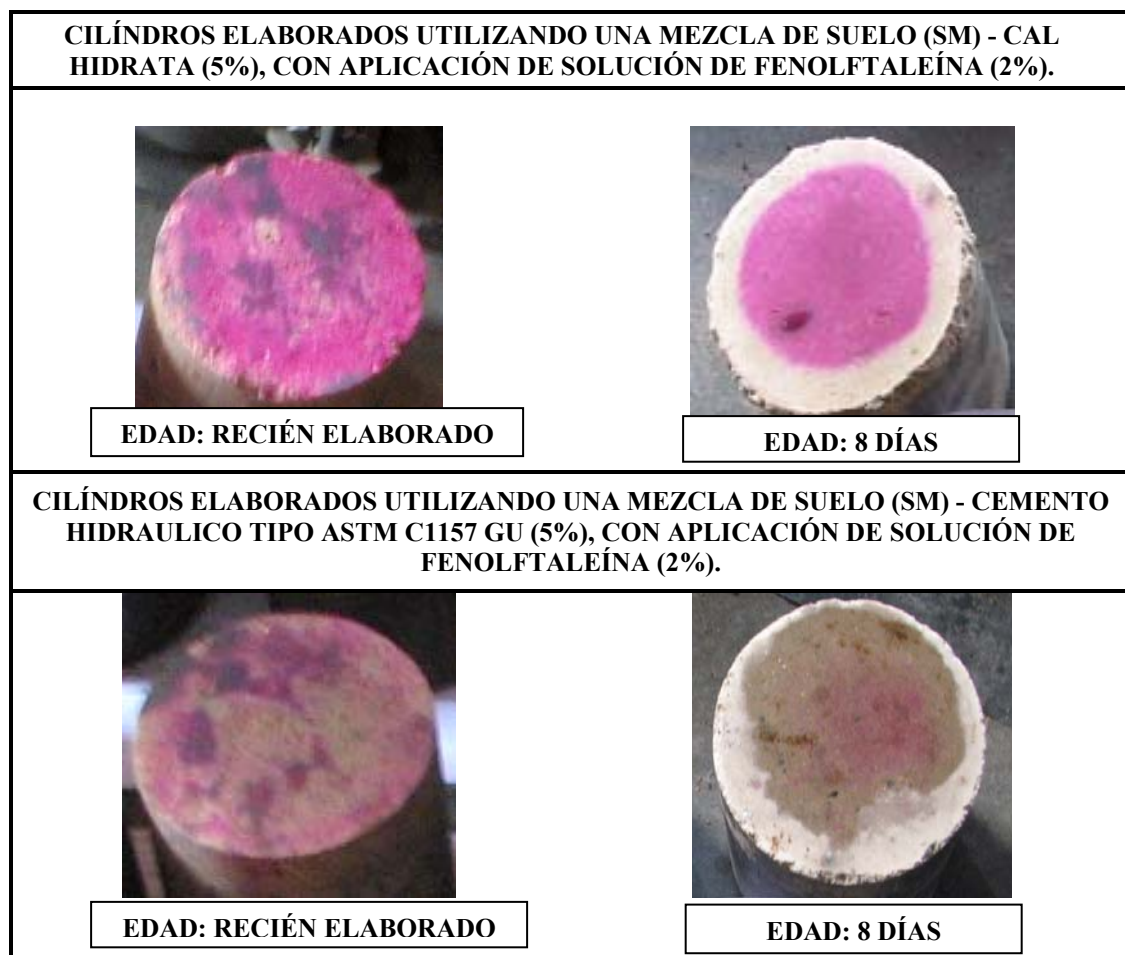


Tabla 3: Registros fotográficos sobre reacción de una solución de fenolftaleína aplicada en superficie de especímenes elaborados con suelo estabilizado.  
[Pruebas realizadas por la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV-VMOP)-  
Ministerio de Obras Públicas de El Salvador]

A continuación, se presenta un resumen sobre los aspectos que fueron observados durante las pruebas realizadas en el laboratorio:

- Al aplicar fenolftaleína en las muestras de suelo mezcladas con cal hidratada o cemento hidráulico, se observó que la reacción (cambio de tonalidad de la mezcla) fue más intensa en la mezcla suelo-cal que la generada en mezclas de suelo-cemento hidráulico.
- Al aplicar la fenolftaleína a diferentes edades, en especímenes compactados de mezclas de suelos estabilizados, se observó que la reacción se genera únicamente en las zonas y/o

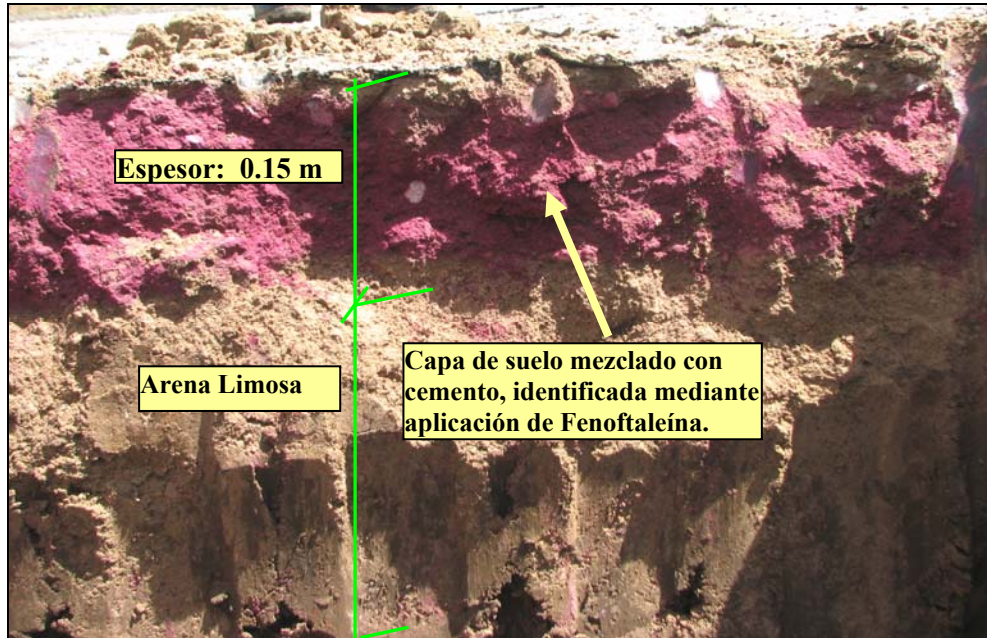
superficies que aún mantienen humedad, condición que principalmente se presenta al centro (núcleo) del espécimen.

- La intensidad en el cambio de color (tonalidad) de las mezclas de suelos estabilizados, luego de aplicar fenolftaleína, depende de las características del suelo (valor de pH) y del material estabilizador utilizado.
- Para las dosificaciones utilizadas en el estudio, se observó que al realizar la aplicación de fenolftaleína en suelos estabilizados, que poseen diferentes porcentajes de material estabilizador (cemento hidráulico o cal hidratada), entre el 3% y el 5% para ambos materiales, no se observó una variación significativa en la tonalidad púrpura que éstos adquieren.
- Para las condiciones analizadas en el estudio, la reacción que se genera en las mezclas de suelos estabilizados, al aplicar fenolftaleína, es instantánea, no requiere de ningún período extra de observación. Cabe señalar que no se observó reacción alguna en el caso de que las muestras hayan perdido completamente la humedad superficial.

#### **4.2.2 Uso de fenolftaleína en evaluaciones de estructuras existentes.**

La identificación de capas de suelo estabilizadas, con cemento hidráulico o cal hidratada, que conforman una estructura existente (rellenos, estructuras de pavimento, fundaciones, otros), también puede realizarse mediante la aplicación de fenolftaleína. La utilización de dicho compuesto es de gran utilidad, cuando se requiere verificar la presencia de capas de materiales estabilizados, principalmente cuando no se poseen registros de diseño, proceso constructivo, ubicación y/o espesores de las capas.

El procedimiento consiste en llevar a cabo una excavación en la estructura existente, hasta alcanzar la profundidad de las capas a verificar; el área de la excavación está relacionada con la profundidad de la capa de material a verificar y el espacio físico necesario para que el técnico evaluador realice la aplicación de la fenolftaleína en las paredes de la excavación. En la fotografía 6, se observa una zona de un relleno que posee una capa de suelo-cemento, en el cual se ha aplicado fenolftaleína.



Fotografía 6: Se observa reacción de suelo estabilizado con cemento al aplicar fenolftaleína.  
[Registro fotográfico de trabajos de evaluación de relleno estructural, realizados por la UIDV-VMOP - Ministerio de Obras Públicas de El Salvador]

Cabe indicar, que la evaluación utilizando fenolftaleína, también puede realizarse durante la ejecución de sondeos exploratorios, tal como el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), mediante la aplicación de la fenolftaleína en los testigos (núcleos) extraídos. En la fotografía 7, se observa una muestra de suelo en la cuchara muestrera, donde se ha realizado una aplicación de fenolftaleína para verificar la presencia de suelos estabilizados con cal hidratada.



Fotografía 7: Aplicación de Fenolftaleína en Suelo Estabilizado con Cal Hidráulica, en muestra de suelo obtenida a través de sondeo exploratorio SPT.  
[Figura modificada del documento Reporte de investigación KTC-05-01/SPR 270-03-11 de la Universidad de Kentucky]

## 5.0 Conclusiones.

En general, con base en la investigación bibliográfica, en las investigaciones de laboratorio y lo observado en los trabajos de verificación de la calidad que ha ejecutado esta Unidad, respecto a la utilización de la fenolftaleína en algunas áreas de la ingeniería civil, se concluye lo siguiente:

- La fenolftaleína es una herramienta aplicable en la evaluación de estructuras de concreto reforzado, a través de la cual puede determinarse la presencia del fenómeno de carbonatación que pueda afectar el acero de refuerzo de dichas estructuras, sobre todo cuando las estructuras están expuestas a condiciones ambientales severas.
- La fenolftaleína es una herramienta aplicable en las actividades de control de calidad de suelos estabilizados, utilizando cemento hidráulico o cal hidratada, durante el proceso constructivo o en evaluación de estructuras existentes. Es importante tomar en consideración, que dicha herramienta se limita a identificar zonas con presencia de dichos materiales estabilizadores, ya que no es posible determinar el tipo y cantidad de los mismos en la mezcla.
- Existe la posibilidad de que algunos suelos, que hayan sido mezclados con cal o cemento, no reaccionen ante la aplicación de fenolftaleína. Lo anterior puede ocurrir, entre otros aspectos, si el valor de potencial de hidrógeno (pH) de la mezcla suelo-material estabilizador es menor del rango de reacción (8.2 -12.0) de la fenolftaleína o si la superficie donde se aplica la fenolftaleína se encuentra en una condición seca.
- La utilización de la fenolftaleína en actividades de evaluación, no requiere de equipo sofisticado ni de un operador especializado. Sin embargo, es necesario tomar en consideración las limitantes de dicha técnica y atender las recomendaciones de seguridad pertinentes establecidas por el fabricante, en lo relacionado con el almacenaje, preparación y aplicación.

**7.0 Referencias.**





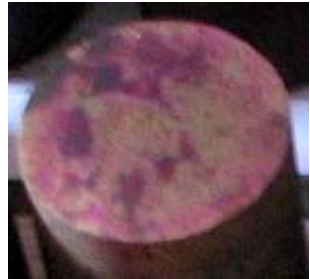





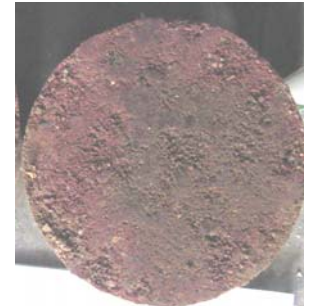

1. ASTM Designation G 15. “Standard Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing. American Society for Testing and Materials (ASTM).
2. ACI Committee 222R, report ACI 222R-01. “Protection of Metals in Concrete Against Corrosion”. American Concrete Institute (ACI).
3. Concrete Defects and Repair Strategy de Edward CY YIU, Department of Real Estate and Construction, The University of Hong Kong, January 2007.
4. ACI Committee 201.2R, report ACI 201.2R-01 “Guide to Durable Concrete”, American Concrete Institute (ACI).
5. ACI Committee 201.1R, report ACI 201.1R-92 “Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service”, American Concrete Institute (ACI).
6. ACI Committee 365.1R, report ACI 365.1R-00 “Service Life Prediction- State of the Art Report”, American Concrete Institute (ACI).
7. Carbonation as an Indicator of Crack Age. By Dipayan Jana (ACI Member Committee 116, 201 and 221, ASTM Members Subcommittee Co9.65 and President Petrographer, Construction Materials Consultants, Inc. Greensburg) and Bernard Erlin (ACI Honorary Member Committee 116 and Chair of 201).
8. Sample Preparation Techniques in Petrographic Examination of Construction Materials. A State of art Review. By Dipayan Jana (ACI Member Committee 116, 201 and 221, ASTM Members Subcommittee Co9.65 and President Petrographer, Construction Materials Consultants, Inc. Greensburg).
9. Guide to Nondestructive Testing of Concrete. Publication N° FHWA-SA-97-105. Federal Highway Administration (FHWA).
10. Swelling Pavements: KY 499 Still Country, Reseach Report KTC-05-01/ SPR 270-03-1I. University of Kentucky. Kentucky Transportation Center (College of Engineering).
11. ACI Committee 230.1R, report ACI 230.1R-90 “State of the Art Report on Soil Cement”. American Concrete Institute (ACI).
12. El estado del Arte del suelo-cemento en estructuras de pavimentos. Federación Interamericana del Cemento (FICEM).
13. Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Consideration. Publication N° FHWA-SA-93-005, December 1992. Federal Highway Administration (FHWA).

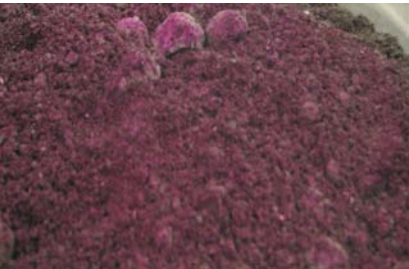







14. Soil-Cement Construction Handbook, Engineering Bulletin. Portland Cement Association (PCA).
15. Soil-Cement Laboratory Test Handbook. Portland Cement Association (PCA).
16. Soil-Cement Inspector`s Manual. Portland Cement Association (PCA).
17. Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales (SIECA). Convenio N° 596-0184.20, PROALCA II, SIECA, Marzo 2004.
18. Suggested Specifications for Soil-Cement Base Course Construction. Portland Cement Association (PCA).
19. Tratamiento de Suelos con Cal. Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España, (ANCADE), Madrid.
20. Manual de Estabilización de Suelos con Cal. Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España (ANCADE), Madrid.
21. Lime Stabilization & Lime Modification. Lime-Treated Soil Construction Manual. Bolletín 326. Publication January 2004.



# **Anexos**

**Tabla A-1:** Registros fotográficos sobre la reacción de suelos estabilizados, con cemento hidráulico o cal hidratada, al aplicar una solución de fenolftaleína al 2%.  
[Pruebas realizadas en el laboratorio de Materiales e Investigación Vial de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV-VMOP) - Ministerio de Obras Públicas de El Salvador]

MATERIAL	MUESTRA EN CONDICION SUELTA EDAD: RECIEN ELABORADO	MUESTRA COMPACTADA EDAD: RECIEN LABORADO	MUESTRA COMPACTADA EDAD: 8 DIAS
<p>MEZCLA DE SUELO (SM) - CAL HIDRATADA (5%)</p>			
<p>MEZCLA DE SUELO (SM) - CEMENTO (ASTM C1157 GU 5%)</p>			
<p>MEZCLA DE SUELO (GW-GM) - CAL HIDRATADA (5%)</p>			
<p>MEZCLA DE SUELO (GW-GM) - CEMENTO (ASTM C1157 GU 5%)</p>			

Continuación Tabla A-1...			
MATERIAL	MUESTRA EN CONDICION SUELTA EDAD: RECIEN ELABORADO	MUESTRA COMPACTADA EDAD: RECIEN LABORADO <sup>1</sup>	MUESTRA COMPACTADA EDAD: 8 DIAS
<b>MEZCLA DE SUELO (GP-GM) - CAL HIDRATADA (5%)</b>		-----	
		-----	
<b>MEZCLA DE SUELO (ML) - CAL HIDRATADA (5%)</b>		-----	
		-----	
<p>(1) No se cuenta con el registro fotográfico de las muestras compactadas a la edad indicada.</p>			

**Tabla A-2:** Resumen de recomendaciones de agencias internacionales sobre el Control de Calidad en Suelos Estabilizados con cemento hidráulico.

N°	TITULO DEL DOCUMENTO	CONSIDERACIONES SOBRE EL CONTROL DE CALIDAD EN SUELOS ESTABILIZADOS.
1	<p><b>Reporte del Suelo Cemento. Comité ACI 230.1R. American Concrete Institute (ACI).</b></p>	<p>Considera que el Control de Calidad es esencial para que el producto final sea el adecuado y de acuerdo con lo proyectado, Recomienda que en la inspección de campo se deben controlar los factores siguientes: pulverización, contenido de cemento, contenido de humedad, uniformidad en el mezclado, compactación, espesores y tolerancias en la superficie y finalmente curado.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Sugiere la <b>aplicación de Fenolftaleína</b>, al respecto indica que: <i>“Luego de la compactación, un chequeo final de la uniformidad y espesor de la mezcla puede ser realizado, usando una solución de fenolftaleína al 2%. La solución puede aplicarse haciendo un corte en el suelo cemento recién compactado”</i>.</p>
2	<p><b>El estado del Arte del suelo-cemento en estructuras de pavimentos. Federación Interamericana del Cemento (FICEM).</b></p>	<p>Considera que el control de calidad es esencial para asegurar el buen comportamiento del producto terminado y el cumplimiento del trabajo realizado de acuerdo con los planos y especificaciones del proyecto. Expone de forma general los procedimientos de inspección y control de calidad de campo, los cuales se refieren fundamentalmente a los siguientes aspectos: pulverización, contenido de cemento, contenido de humedad, uniformidad en el mezclado, compactación, espesor y tolerancias de la superficie y curado.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Indica que para la verificación de la uniformidad en el mezclado del suelo-cemento in situ se realizan pequeñas excavaciones del orden de (0.40m) x (0.40m) x (Prof. igual ó superior al espesor de la capa), luego realizar una inspección visual comprobando la uniformidad en el color y el aspecto general de la mezcla. También sugiere que puede utilizarse <b>Fenolftaleína</b> <i>“para generar una reacción química con el cemento e identificar con mayor facilidad las zonas con mezclado deficiente”</i>.</p>

Continuación Tabla A-2...		
3	<b>Suelo y Base Estabilizada y las Consideraciones de Drenaje Asociadas. Publicación No. FHWA-SA-93-005, Diciembre 1992. Federal Highway Administrator (FHWA).</b>	<p>Este documento considera que el control de calidad se debe realizar en todas las etapas durante la construcción, consistentes básicamente en: la pulverización y/o escarificación del material a utilizar, aplicación de la cantidad correcta del material estabilizador, uniformidad en el mezclado, control del tiempo en la secuencia de operación para completar la mezcla, compactación y curado.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Establece que principalmente se debe realizar una evaluación visual de la mezcla. Luego sugiere la verificación con la <b>aplicación de un indicador de pH (Fenolftaleína).</b></p>
4	<b>Manual de Construcción del Suelo Cemento. Portland Cement Association (PCA).</b>	<p>Considera que el propósito de la inspección y control en campo en la construcción del suelo-cemento, es asegurar que los resultados se obtengan de acuerdo a los planos y especificaciones. La inspección y control, se recomienda realizar en lo relacionado con: contenido de cemento, contenido de humedad, mezclado, compactación y curado.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Indica que la verificación se realiza mediante la excavación de agujeros a intervalos regulares, alcanzando la profundidad del tratamiento e inspeccionar el color de la superficie de la mezcla de suelo-cemento recién expuesto. <b>No hace referencia a la aplicación de Fenolftaleína.</b></p>
5	<b>Manual de Inspector del Suelo-Cemento. Portland Cement Association (PCA).</b>	<p>El manual presenta los lineamientos sobre la inspección durante la construcción del suelo-cemento. Involucra principalmente dos etapas: a) Inspección y preparación del lugar, lo cual comprende el control en la identificación de los materiales, preparación del lugar, verificación del equipo y pulverización. b) Inspección del proceso de operación, el cual comprende el control durante la aplicación de cemento, aplicación de agua, uniformidad en el mezclado, compactación, acabado, construcción de juntas, grados de compactación y verificación final de la profundidad, curado y apertura al tráfico. Luego hace referencia al mantenimiento.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Indica que la uniformidad de la mezcla se puede verificar mediante inspección visual del color del material expuesto, luego de realizar pequeñas excavaciones a intervalos regulares, considerando la profundidad del tratamiento. <b>No hace referencia a la aplicación de Fenolftaleína.</b></p>



Continuación Tabla A-2...		
6	<p><b>Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales (SIECA)</b></p>	<p>El manual sugiere realizar un ajuste en el contenido de agua de la mezcla a un 2 por ciento sobre el contenido de humedad óptimo.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Indica que para la aceptación de las mezcla, se realiza la inspección visual del trabajo realizado, para efectos del cumplimiento con las normas del contrato y las prevalecientes en la industria. <b>No hace referencia a la aplicación de Fenolftaleína.</b></p>
7	<p><b>Especificaciones Sugeridas para Bases de Suelo Cemento Durante la Construcción. Portland Cement Association (PCA).</b></p>	<p>Establece que dentro de los requerimientos de construcción se debe considerar la preparación, escarificación, aplicación de cemento, mezclado y colocación etapas en las cuales destaca que no se debe realizar mezclado y/o colocación cuando existen temperaturas ambientes menores a 40°F (4°C) y finalmente el curado.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> No estable ningún método de verificación.</p>



**Tabla A-3:** Resumen de recomendaciones de agencias internacionales sobre el Control de Calidad en Suelos Estabilizados con cemento hidráulico.

N°	TITULO DEL DOCUMENTO	CONSIDERACIONES SOBRE EL CONTROL DE CALIDAD EN SUELOS ESTABILIZADOS.
1	<b>Tratamiento de Suelos con Cal. Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España, (ANCADE).</b>	<p>El documento considera que el objetivo del control de calidad, es asegurar la correcta ejecución al momento de la construcción, para ello se debe ejercer control en la ejecución del proceso constructivo, el cual comprende las etapas siguientes: preparación de los suelos, adición y extensión de la cantidad de cal compactación y control final.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Indica que puede hacerse visualmente, o por métodos físico-químicos. Los métodos más utilizados son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección Visual del Color y aspecto de la mezcla suelo-cal.</li> <li>- <b>Aplicación de la Fenolftaleína</b>, en las superficies recién expuestas, luego de realizar una excavación o de haber extraído un testigo.</li> <li>- Medición del pH.</li> </ul>
2	<b>Manual de Estabilización de Suelos con Cal. Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España (ANCADE), Madrid.</b>	<p>Considera que se debe ejercer el control de calidad en cada una de las fases que se mencionan a continuación: esscarificación o esponjamiento, adición y extensión de la cantidad de cal, mezclado del suelo y la cal en todo el espesor, compactación y curado de las mezclas suelo-cal. Respecto al control de la homogeneidad de la mezcla, destaca que se realiza a la vez que se realiza el control de la finura obtenida.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Sugiere realizar un control visual, basado en la finura obtenida, color y consistencia que será suficiente para tener una idea de la homogeneidad. Y después del mezclado, considera que es necesario hacer sondeos de suelo tratado, en general, un cambio de consistencia o de color, permite distinguir la profundidad de la acción. Se puede también <b>proyectar Fenolftaleína</b> sobre las paredes del sondeo para identificar cambios de color en la mezcla.</p>
3	<b>Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal. Estabilización y Modificación con Cal. Boletín 326 de Nacional Lime Association, Publicación de Enero del 2004.</b>	<p>En general considera las siguientes etapas dentro del control de calidad: esscarificación y pulverización inicial, aplicación de la cal, mezcla preliminar y adición de agua, período de fraguado, mezclado final y pulverización, compactación y curador final.</p> <p>➤ <b>Verificación de la Uniformidad de la Mezcla.</b> Para asegurar que la sección estabilizada tiene la profundidad correcta, se pueden excavar pequeños agujeros al azar y el suelo puede ser rociado con un indicador de pH, tal como la <b>Fenolftaleína</b>.</p>

[Pagina Principal](#)

Email: [uidv.contacto@mop.gob.sv](mailto:uidv.contacto@mop.gob.sv)