



BOLETÍN TÉCNICO LanammeUCR

Volumen 1, N.º 2
Febrero, 2024

Aplicación de especificaciones del CR-2020 en la construcción de bases granulares estabilizadas con cemento

Luis Paulino Rodríguez Solano

✉ luis.rodriguezsolano@ucr.ac.cr

Auditor técnico
Unidad de Auditoría Técnica

Marco Morales Abarca

✉ marco.moralesabarca@ucr.ac.cr

Estudiante de ingeniería civil
Unidad de Auditoría Técnica



Introducción

Según la Federal Highway Administration [FHWA] (2016), el término base estabilizada hace referencia a la capa de la estructura de pavimento compuesta por una mezcla de uno o más agregados y un material cementoso. Este boletín tratará sobre bases estabilizadas con cemento, cuyo propósito es justamente usar las características de este para mejorar la resistencia y mitigar el efecto de factores climáticos en la estructura. Las bases estabilizadas con cemento proporcionan una superficie sobre la que se puede colocar el pavimento, recibiendo así las cargas, redistribuyéndolas y transmitiéndolas a una capa sub-base, rasante o subrasante.

El objetivo es divulgar la normativa vigente y la metodología de diseño, esto último de acuerdo con los lineamientos del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2020, pero no sin antes establecer una comparación entre versiones de este manual publicadas en años anteriores como el CR-2010, su actualización realizada en 2017 y la aclaración hecha a la misma mediante el oficio LM-PI-025-2018. En la Figura 1 se muestra una línea de tiempo.

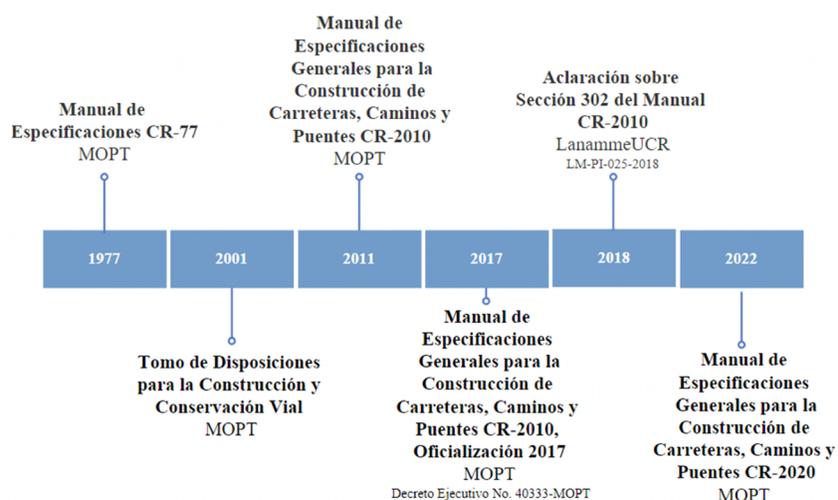


Figura 1. Línea de tiempo de normativa para la construcción de carreteras, caminos y puentes en Costa Rica relacionada con bases estabilizadas con cemento.

Importancia

La aplicación del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (MOPT, 2022) es esencial en el diseño y construcción en todo proyecto de infraestructura vial del país, ya que está fundamentado en criterios técnicos y estándares, tanto nacionales como internacionales. La correcta ejecución de los lineamientos ahí dispuestos en cuanto a procesos constructivos y controles de calidad tienen un impacto directo en el resultado final del proyecto. En este contexto y específicamente haciendo

referencia a la sección 302 del manual de especificaciones CR-2020, un adecuado diseño de la base estabilizada reduce el agrietamiento por contracción en mezclas con alto contenido de cemento, y con ello reduce daños en la estructura de pavimento. Es por esto que parámetros como el contenido de cemento, agua y energía de compactación son de suma importancia para que la resistencia sea óptima, y evitar que se produzca un efecto adverso en la estructura producto de agrietamientos como los mostrados en la Figura 2.

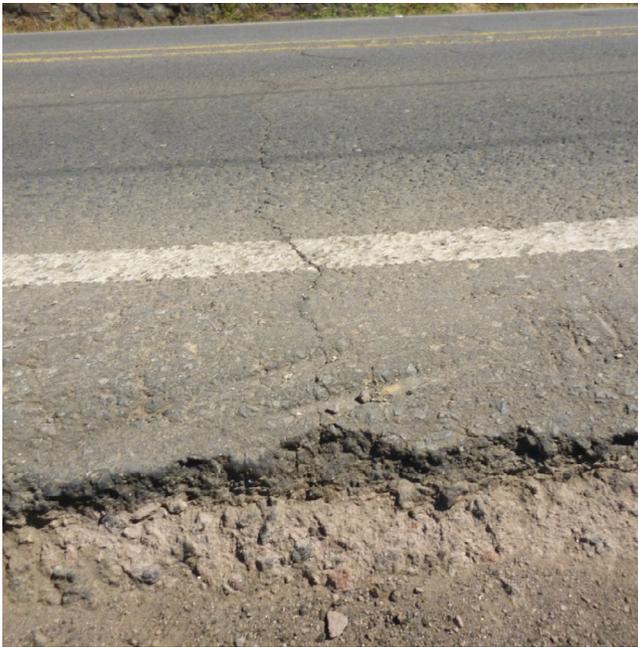


Figura 2. Reflejo de grieta de la base estabilizada en la capa asfáltica.
Fuente: Herra, 2019

Criterios técnicos

Una de las principales modificaciones realizadas en la oficialización del CR-2010 hecha en 2017 y el CR-2020, con respecto al CR-2010, es precisamente la adición de un límite máximo en la resistencia a compresión (ver Tabla 1). Lo que responde a diferentes situaciones presentadas en proyectos de infraestructura vial en el país, en los cuales los ensayos de laboratorio de bases estabilizadas con cemento evidenciaron altas resistencias a la compresión. De ahí la iniciativa de la Contraloría General de la República de solicitar al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y a LanammeUCR la emisión de un criterio técnico en referencia al tema (Cordero, 2018).

En relación con la resistencia a la compresión de bases estabilizadas con cemento, se ha generado un criterio cualitativo para estimar el efecto de resistencias mayores o menores a las especificadas en la norma. Según Arce (2011), el criterio mostrado en la Tabla 2 puede ser aplicado para predecir el comportamiento que tendrá esta base estabilizada con cemento en función de la resistencia a la compresión a los 7 días de formados los especímenes de laboratorio.

Tabla 1. Límites de resistencia en sección 302 del CR-2010 revisión 2017.

Resistencia a la compresión a los 7 días	Especificación	
Máxima	3,9 MPa	39,7 kg/cm ²
Promedio	3 MPa	30,5 kg/cm ²
Mínima	2,1 MPa	21,4 kg/cm ²

Fuente: MOPT, 2017

Tabla 2. Agrietamiento de bases estabilizadas con cemento en función de su resistencia a la compresión a los 7 días.

Resistencia a la compresión a los 7 días	Agrietamiento
$R_{c7} \leq 20 \text{ kg/cm}^2$	Muy leve o imperceptible
$20 \text{ kg/cm}^2 \leq R_{c7} \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	Muy leve a leve
$30 \text{ kg/cm}^2 \leq R_{c7} \leq 40 \text{ kg/cm}^2$	Leve a moderado
$40 \text{ kg/cm}^2 \leq R_{c7} \leq 55 \text{ kg/cm}^2$	Moderado a alto
$60 \text{ kg/cm}^2 \geq R_{c7}$	Alto a severo

Fuente: Jiménez, 2011

En guías de diseño de referencias internacionales tales como la Portland Cement Association (PCA), específicamente en su publicación “*Guide to Cement-Treated Base (CTB)*” (PCA, 2006), las resistencias para bases estabilizadas con cemento aceptadas están en el rango de los 300 psi y los 550 psi, esto en unidades del Sistema Internacional equivale a aproximadamente 2,1 MPa y 5,5 MPa. Para el caso particular de Costa Rica, se cuenta con normativa nacional que regula la resistencia en bases estabilizadas, y al igual que la guía de la PCA, establece un límite máximo y límite mínimo de resistencia. Los límites establecidos en el CR-2010 en su actualización 2017 responden a las características mecánicas comprobadas en campo y a los materiales y procedimientos constructivos aceptados a nivel nacional.



Figura 3. Proceso constructivo de bases estabilizadas con cemento en el proyecto “Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39”.

Como anteriormente se mencionó, la energía de compactación utilizada durante la construcción y la preparación de los especímenes para ensayos de laboratorio, que posteriormente serán utilizados para la determinación de la densidad máxima y del contenido óptimo de humedad en la mezcla, se encuentran definidos dentro de la normativa nacional. En este contexto, en los últimos años se ha generado cierta confusión entre los métodos que se deben utilizar para llevar a cabo los ensayos respectivos. A manera de resumen se presenta en la Tabla 3 las metodologías solicitadas en cada edición del manual.

En general, para la determinación de estos parámetros se utiliza el Ensayo Proctor. Según la American Society for Testing and Materials (2021), el ensayo de compactación Proctor es útil para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua de moldeado que se requiere para alcanzar las propiedades mecánicas óptimas. Ahora, existen variaciones de este ensayo como lo es el caso del Proctor Estándar, normado por AASHTO T 134 y Proctor Modificado, normado en AASHTO T 180. En las diferentes versiones del Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (MOPT, 2010. MOPT, 2017. MOPT, 2022) se ha variado la metodología de diseño y control de calidad de las bases estabilizadas con cemento, y con esto han surgido ciertas incongruencias entre lo que se aplica y lo que indica la normativa vigente.

En 2018, posterior a la publicación de la oficialización del CR-2010 hecha en 2017, el LanammeUCR emitió el oficio LM-PI-025-2018 en el cual se realizaron una serie de aclaraciones en diferentes apartados.

Tabla 3. Metodología de compactación de la sección 302 en las diferentes versiones del Manual de especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras Caminos y puentes.

Versión	Método para obtener densidad óptima	Método de moldeo de especímenes
CR-2010	T 180 (método D)	AASHTOT 180 (método D)
Oficialización del CR-2010 hecha en 2017*	T 134 (método B)	AASHTOT 180 (método C)
CR-2020	T 134 (método B)	AASHTOT 180 (método C)

*Aclaración realizada mediante oficio LM-PI-025-2018

En términos generales, estas aclaraciones hacen referencia a tres subsecciones de la sección 302 “Base Granular Estabilizada con Cemento” del CR-2010 (oficialización del 2017). Específicamente se refiere a las subsecciones 302.03 “Diseño de mezcla (equivalente a BE-25)”, 302.11 “Control de calidad en obra” y 302.15 “Requerimientos mínimos para muestreo y ensayos”. Para todas estas subsecciones se solicita que la preparación de los especímenes de base estabilizada se realice de acuerdo con la norma AASHTO T 180 Método C. A En la Tabla 4 se resumen las principales características de este ensayo.

Referente a la compactación y el acabado de la base estabilizada con cemento, el CR-2020 en la subsección 302.07 indica: “La base estabilizada será compactada de manera uniforme hasta obtener una densidad máxima seca no menor del 97 % del Proctor modificado”. Este valor de densidad solicitado por el CR-2020 debe interpretarse como un valor mínimo, mas no como una cota máxima. De acuerdo con estadísticas obtenidas de ensayos de

laboratorios de verificación en proyectos auditados por LanammeUCR, los resultados de compactación superan el mínimo establecido en la totalidad de los registros. Debido a lo anterior, se concluyó que la especificación se encuentra acorde con los procedimientos constructivos utilizados en el país. Ya que el moldeo de especímenes mediante la norma AASHTO T 180 evalúa el material colocado con un valor de densidad máxima seca del 100%, resulta beneficioso que el material compactado en campo presente condiciones lo más semejantes posibles a las utilizadas en los ensayos de laboratorio.

Por otro lado, los ensayos de durabilidad mencionados en la subsección 302.03, apartado C, de la oficialización hecha para el CR-2010 en 2017, fueron omitidos en el CR-2020. Los criterios de aceptación para normas relacionadas con durabilidad AASHTO T 135 y AASHTO T 136 generaron una tendencia a sobrepasar la resistencia máxima a la compresión estipulada en la subsección 302.11 “Control de calidad en obra”, donde se especifican los límites para la producción de bases estabilizadas con cemento. La inclusión de normativa relacionada a durabilidad de bases estará sujeta a la generación de nueva investigación al respecto.

Tabla 4. Especificaciones del CR-2020 para la aplicación de ensayo Proctor Modificado.

Variable	AASHTO T 180 Método C
Tamaño de agregado	Pasando malla 0,75 in (19 mm)
Tamaño de muestra	11 lb o 5 kg
Molde	4 in o 101,6 mm
Número de capas	5
Espesor de capa después de la compactación	5 in o 125 mm
Peso del mazo	10 lb o 4,54 kg
Número de mazazos	25
Altura de caída del mazo	18 in o 457 mm
Energía de compactación*	275023,86 kgf m/m ³

*Calculado por los autores

Fuente: MOPT, 2020



Figura 4. Acabado de bases estabilizadas con cemento en el proyecto “Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39”.

Es importante destacar también como un cambio relevante en la normativa vigente, la modificación del contenido de la sección 304 del CR-2020, ahora titulada “Recuperación de pavimento para capas de base”. En su versión anterior (CR-2010) esta sección hacía referencia a la estabilización de agregados. En el año 2016, mediante el oficio LM-IC-D-0657-16 y en atención al oficio o CRAM-2016-021, LanammeUCR emitió un criterio técnico sobre las observaciones hechas en el oficio ICCYC028-2016. Entre estas observaciones se destaca la ambigüedad entre las secciones 302 y 304 del CR-2010, situación previamente detectada por LanammeUCR. En 2019, LanammeUCR emite el informe LM-PI-UNAT-048-19 “Estudio de la propuesta de actualización de la sección 304 Recuperación y estabilización in situ, de capas de pavimento, del CR-2020” en el que se hace referencia a esta actualización. Mediante este informe se identificó la necesidad de realizar una modificación en el alcance de la sección 304 de la oficialización del CR-2010 hecha en 2017, con el fin de evitar la dualidad de contenido entre esta y la sección 302. También se identificó la ausencia de un límite máximo para la resistencia a la compresión en la sección 304 de la oficialización hecha al CR-2010 en 2017, situación que puede dar pie al diseño de bases estabilizadas con cemento con altas resistencias; esto era lo que precisamente se quería evitar mediante la inclusión de esta cota superior a la resistencia en la sección 302 de la misma versión del manual.

Ante lo anteriormente mencionado, se emitió la recomendación de optar por unificar ambas secciones (sección 302 y sección 304) en cuanto a contenidos referentes a bases estabilizadas con cemento y, por otro lado, hacer un reajuste en la sección 304 del CR-2010. Entre los cambios más relevantes de la sección 304 están el cambio de nombre, aclaración de objetivos y alcance de esta.

Estudio de caso

En los informes LM-AT-044-2019 (Sequeira et al, 2020) y EIC-Lanamme-INF-0449-2023 (Sequeira et al, 2023) realizados por LanammeUCR, “Informe de Auditoría Técnica Calidad de materiales y prácticas constructivas del proyecto Construcción de Paso a desnivel en intersección Garantías Sociales, Ruta Nacional No. 39” y “Análisis del caso y resumen de

los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39” respectivamente, se evidenció que las metodologías empleadas en la preparación de especímenes para pruebas de resistencia a la compresión no fueron las especificadas en la oficialización del CR-2010 hecha en 2017 y en el alcance del oficio LM-PI-025-2018, que establece que “se deberán preparar los especímenes de acuerdo con la norma AASHTO T180 método C (molde de 4 in, 5 capas, 25 golpes, mazo de 4,54 kg)”. Contrario a esto, la metodología empleada para la preparación de estos especímenes ha sido la del ensayo Proctor Modificado Reducido, en el cual la principal diferencia en cuanto al ensayo Proctor Modificado radica en la cantidad de capas que se utilizan para la preparación de los especímenes. Este diferenciador causa un efecto que reduce en un 40% la energía de compactación utilizada. Esta metodología recién mencionada, no cumple con las especificaciones del manual ni tampoco con la energía de compactación requerida en bases estabilizadas con cemento. En la Tabla 5 se presenta una comparativa entre el método de la normativa vigente y el observado en el proyecto auditado, incluyendo características tales como energía de compactación, número de capas, entre otras.

Con base en una revisión bibliográfica para establecer una comparación entre los resultados obtenidos a partir del ensayo Proctor modificado y Proctor modificado reducido, se encontró que este último presenta ventajas, según mencionan Shaivan y Sridharan (2020) en “*Comparasion of Reduced Modified Proctor vs Modified Proctor*” para el caso de especímenes compuestos de suelo únicamente. El estudio muestra que los valores de peso unitario máximo seco son comparables y los valores de contenido de humedad óptima difieren mínimamente. También, a través de la realización de ensayos se determinó que el contenido de humedad óptimo se correlaciona con el límite líquido, y que la relación de valores de peso unitario máximo seco con el contenido de humedad óptimo es casi el mismo. Sin embargo, no hay investigaciones relacionadas a ensayos Proctor Modificado Reducido con especímenes de bases estabilizadas de materiales granulares con cemento, según se especifica en el CR-2020.

Tabla 5. Comparación entre método utilizado según los hallazgos del EIC-Lanamme-INF-0449-2023 y el establecido en la oficialización del CR-2010 hecha en 2017.

Variable	Proctor Modificado	Proctor Modificado Reducido
Norma	AASHTO T 180	-
Método	C	-
Tamaño de agregado	Pasando malla #4 (19 mm)	Pasando malla #4 (19 mm)
Tamaño de muestra	11 lb o 5 kg	11 lb o 5 kg
Molde	4 in o 101,6 mm	4 in o 101,6 mm
Número de capas	5	3
Espesor de capa después de la compactación	5 in o 130 mm	5 in o 130 mm
Peso del mazo	10 lb o 4,54 kg	10 lb o 4,54 kg
Número de mazazos	25	25
Altura de caída del mazo	18 in o 457 mm	18 in o 457 mm
Energía de compactación	275023,86 kgf m/m ³	165014,316 kgf m/m ³

Utilizando la información de la Tabla 5 para comparar las energías de compactación del método C del Proctor modificado y Proctor modificado reducido, se concluye que este último presenta una reducción de alrededor del 40%, y presenta un ahorro en el tiempo empleado para realizar el ensayo al tener que compactar 3 capas en lugar de 5. Como se mencionó, no existe investigación que respalde que las resistencias obtenidas a partir de la aplicación de este método vayan a ser similares a las especificadas en el Manual de Especificaciones vigente, que debería de ser de 3,0 MPa \pm 0,9 MPa a los 7 días.

En resumen, el caso de estudio está directamente relacionado con la resistencia a la compresión de las bases estabilizadas con cemento y con errores en la interpretación del Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes. Los diferentes criterios técnicos mencionados en este boletín, y que fueron emitidos por LanammeUCR, tienen como objetivo reducir al mínimo el impacto que ambigüedades o dualidades de criterio puedan tener en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial en el país.

Conclusiones

La sección 302 "Bases estabilizadas con Cemento (BE-25), del Manual de Especificaciones de Construcción de Carreteras, Caminos y puentes CR-2020, es el resultado de una revisión exhaustiva y un análisis de sus versiones anteriores, que tiene el fin de generar una normativa más clara en cuanto a metodología de diseño, controles de calidad y construcción de estas capas. Las bases estabilizadas con cemento son un componente esencial en las estructuras de las carreteras nacionales, debido a sus aportes en términos de transmisibilidad de cargas y su resistencia a factores climáticos. Por esto, el cumplimiento de la normativa vigente es fundamental, y debe ser aplicada durante el proceso de diseño, ejecución y control de calidad. La recopilación de criterios técnicos aquí mostrados y hallazgos en proyectos de infraestructura vial se espera que sirvan de referencia para evitar malinterpretaciones o diferencia de criterios en proyectos futuros.

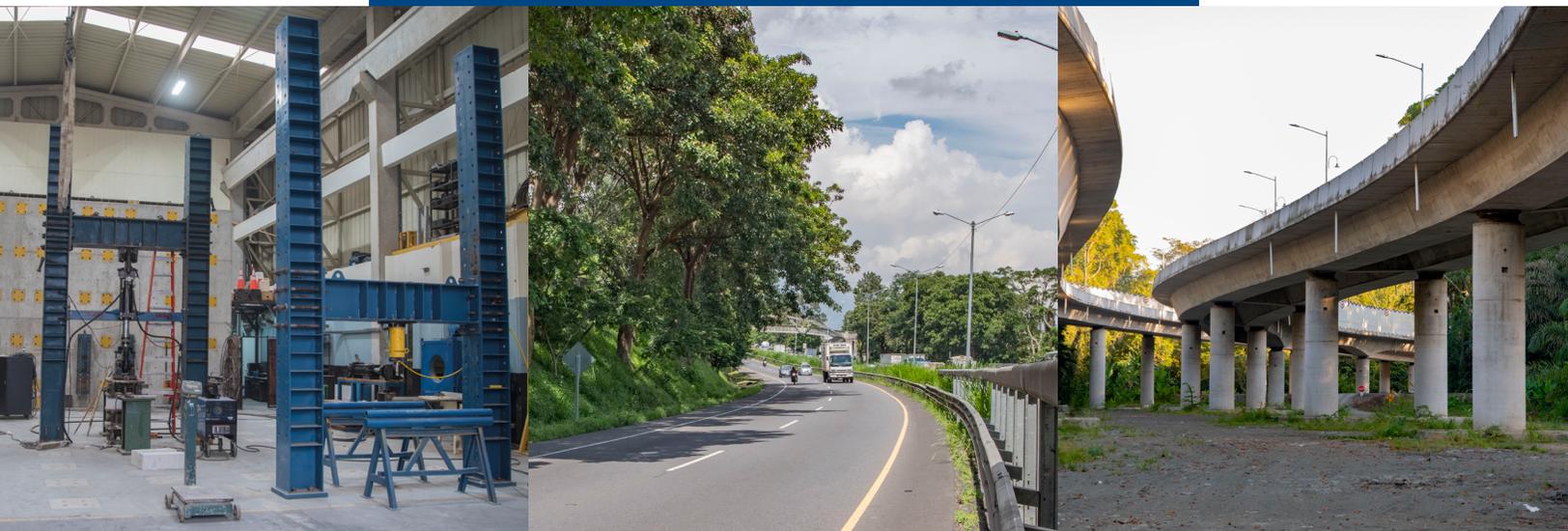
Ante la propuesta de uso de otras metodologías de compactación de especímenes para bases estabilizadas, se considera de suma importancia ampliar la investigación en cuanto al uso de métodos como el Proctor Modificado Reducido, y su posible aceptación en diseño y controles de calidad. Además, la inclusión a futuro de normativa referente la durabilidad de bases estabilizadas con cemento también está sujeta a la generación de investigación al respecto.

Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2010). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. Fifth Edition. Washington D.C: AASHTO
- Arce-Jiménez, M. (2011). *Bases estabilizadas con cemento Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes*. San José, Costa Rica.
- ASTM. *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*, D1557, ASTM International.
- Cordero-Solano, R. I. (2018). *Manual CR-2010. Proceso de actualización y Principales modificaciones de las secciones 301 subbases y bases granulares y 302 bases Granulares estabilizadas con cemento*.
- Chesner, W. H., Collins, R. J., MacKay, M. H., & Emery, J. (2002). *User guidelines for waste and by-product materials in pavement construction (No. FHWA-RD-97-148, Guideline Manual, Rept No. 480017)*. Recycled Materials Resource Center.
- Federal Highway Administration (FHWA). (2016). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction: Stabilized base*.
- Herra Gómez, L. D. (2019). *Bases estabilizadas con cemento y su importancia en el desarrollo vial costarricense*. LanammeUCR. <https://bloglanammeucr.wordpress.com/2019/04/09/bases-estabilizadas-con-cemento-y-su-importancia-en-el-desarrollo-vial-costarricense/>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT]. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-2010*.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT]. (2017). Decreto Ejecutivo DE No. 40333-MOPT publicado en La Gaceta, Alcance No. 99 del 9 de mayo de 2017, de la sección 302.03 Diseño de mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT]. (2022). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción De Carreteras, Caminos y Puentes CR-2020*.
- Portland Cement Association, PCA. (2006). *Guide to cement-treated base (CTB)*.
- Sequeira-Rojas, W., Acosta-Hernández, E., Salas-Chaves, M., & Guerrero-Aguilera, S. (2020). *LM-AT-044-201 Calidad de materiales y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de Paso a desnivel en intersección Garantías Sociales, Ruta Nacional No. 39*. LanammeUCR.
- Sequeira-Rojas, W., Fonseca-Chaves F., Guerrero-Aguilera, S. & Murillo-Contreras F. (2023). *EIC-Lanamme-INF-0449-2023 Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39*. LanammeUCR.
- Shaivan, H. S., & Sridharan, A. (2020). *Comparison of reduced modified proctor vs modified proctor*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38, 6891-6897.

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



Revisores:

- Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD.
Director del LanammeUCR
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, M. Sc.
Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica
- Ing. Tania Ávila Esquivel
Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación: MSc. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

Aplicación de especificaciones del CR-2020 en la construcción de bases granulares estabilizadas con cemento

Palabras clave: base estabilizada con cemento, BE-25, CR-2020, especificaciones

☎ (506) 2511- 2500

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr • www.lanamme.ucr.ac.cr