



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

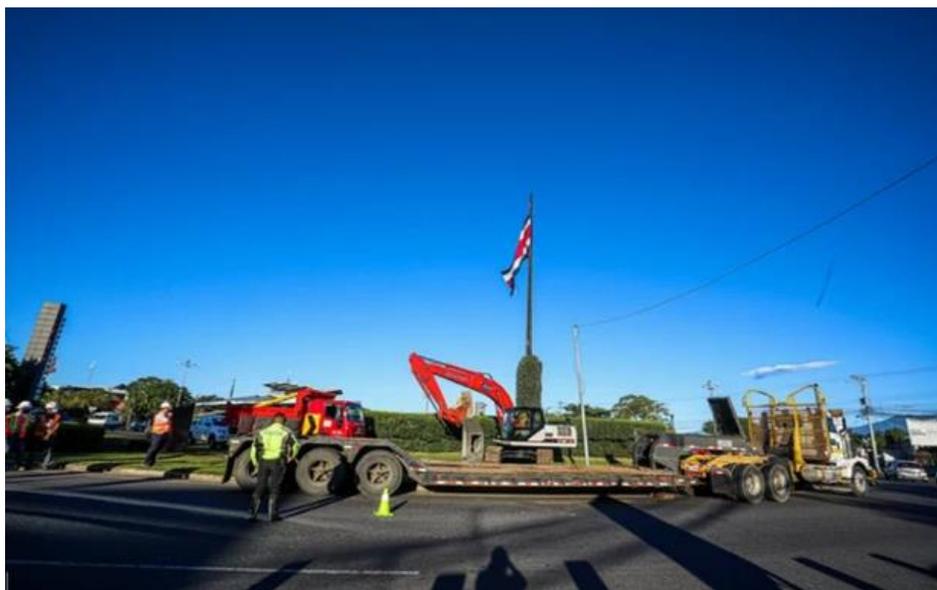


LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-0186-2021

Informe de verificación de deformaciones verticales en el muro de relleno reforzado del Eje 6. Proyecto paso a desnivel rotonda de La Bandera



Fuente: UNOPS

Preparado por:

Ing. Laura Solano Matamoros
Ing. Gustavo A. Badilla Vargas. D.Sc.
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Octubre, 2021





1. Informe EIC-Lanamme-INF-0186-2021		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de verificación de deformaciones verticales en el muro de relleno reforzado del Eje 6. Proyecto paso a desnivel rotonda de La Bandera		4. Fecha del Informe 29/10/2021
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen <i>Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra un resumen de los resultados obtenidos de la evaluación de la verticalidad del muro de relleno reforzado del Eje 6 del proyecto paso a desnivel rotonda de La Bandera, con las mediciones realizadas el día 20 de octubre del presente año. Los resultados obtenidos demuestran que los muros evaluados presentan desplomes hacia adentro y hacia afuera del muro que cumplen con la tolerancia establecida por el CR-2010, de una relación de 13 mm por cada 3 m de altura. Lo cual indica que han sido adoptadas prácticas constructivas adecuadas en la construcción de los muros. Cabe resaltar que, aunque el CR-2010, no especifica como desfavorable la condición de desplomes hacia afuera del muro, la Federal Highway Administration (FHWA) en su manual FHWA-NHI-10-025, "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and reinforced Soil Slopes – Volume II", en la sección 4.05 "Levantamiento del muro", específicamente en la subsección (B) "Tolerancias de colocación para muros con revestimiento prefabricado" indica que la masa negativa (desplome hacia afuera) no es aceptable, por lo que se considera aconsejable tomar las medidas constructivas del caso para evitar la condición de desplome hacia afuera aunque se encuentren dentro de la tolerancia del CR-2010. Finalmente, es importante mencionar que el manual de la FHWA indica que las secciones de muro que no se ajusten a las tolerancias establecidas, deben ser reconstruidos sin costo adicional para la Administración, ya que, los paneles desalineados no pueden ser empujados, ni tampoco pueden ser tirados para colocarlos en su lugar; puesto que esto, puede dañar los paneles y refuerzos, y con ello debilitar el sistema.</i>		
8. Palabras clave Muros de relleno reforzado, verticalidad, desplome	9. Nivel de seguridad: -	10. Núm. de páginas 11
13. Preparado por:		
Ing. Laura Solano Matamoros Programa de Ingeniería Geotécnica		Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc. Programa de Ingeniería Geotécnica
14. Revisado y aprobado por:		
Ing. Ana Lorena Monge Sandí Coordinadora de Programa de Ingeniería Geotécnica		



Contenido

I.	Introducción	4
II.	Información existente sobre la verticalidad del muro de relleno reforzado del Eje 6.	4
III.	Uso de sistemas lidar estacionarios para el levantamiento de modelos tridimensionales de los muros de relleno reforzado	6
III.1	Hallazgos en la cara del muro de relleno reforzado ubicado en el Eje 6 (MSR-EJE6_011.D). 8	
IV.	Comentarios finales	9
V.	Referencias	10



Informe de verificación de deformaciones verticales en el muro de relleno reforzado del Eje 6. Proyecto paso a desnivel rotonda de La Bandera

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra un resumen de los resultados obtenidos de la evaluación de la verticalidad del muro de relleno reforzado del Eje 6 del proyecto paso a desnivel rotonda de La Bandera, con las mediciones realizadas el día 20 de octubre del presente año.

A continuación, se presentan algunos comentarios relacionados con los resultados, análisis desarrollados y el cumplimiento de las tolerancias admisibles de deformaciones para este tipo de estructuras, así como también algunas recomendaciones y buenas prácticas existentes en la bibliografía internacional para el adecuado cumplimiento de estas tolerancias.

II. Información existente sobre la verticalidad del muro de relleno reforzado del Eje 6.

A partir de los datos suministrados por la administración del proyecto como control topográfico de la verticalidad del muro de los levantamientos realizados en las fechas 15 de junio y 17 de agosto del presente año, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 1.

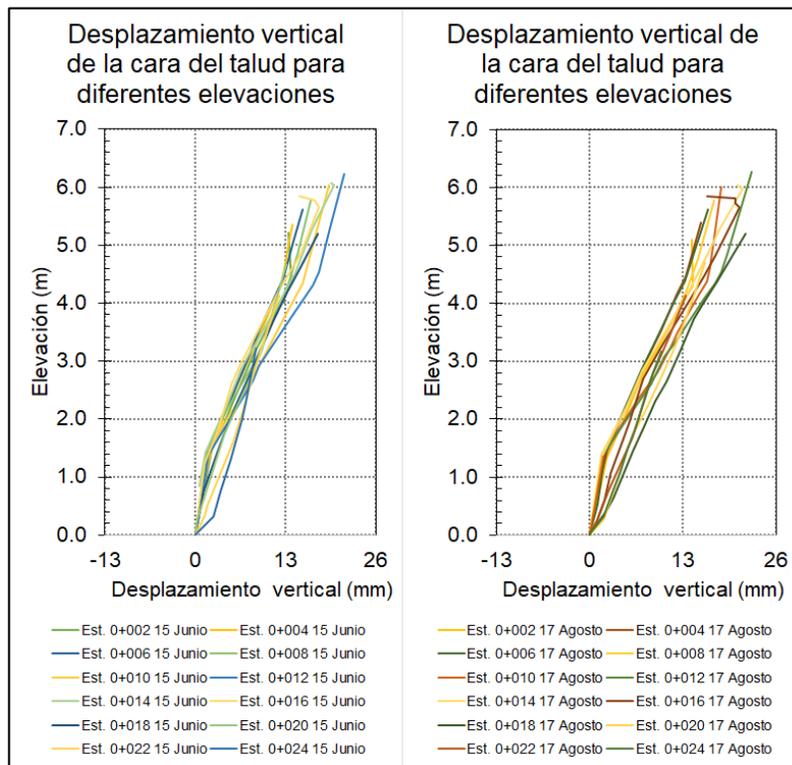


Figura 1. Resultados de verticalidad del muro MSR-EJE6_011.D



Se puede observar que las mediciones muestran consistencia en la tendencia del deslome del muro, además la medición realizada en el mes de agosto, en general presentan valores mayores que los obtenidos en la medición de junio.

En la Tabla 1 se muestran los valores de la diferencia de verticalidad en diferentes intervalos de altura para ambos levantamientos. Los valores entre paréntesis corresponden a los desplomes hacia afuera del muro (condición desfavorable), por el contrario, los valores sin paréntesis corresponden a desplomes hacia adentro del muro.

Tabla 1. Valores obtenidos para la diferencia de verticalidad, en mm, observada para diferentes intervalos de elevación para los levantamientos del 15 de junio y 17 de agosto

Estación	Diferencia de elevación (m)				Total
	0-3	1-4	2-5	3-6	
Est. 0+002 15 Junio	(8.03)	(10.60)	(9.06)	0.00	(13.42)
Est. 0+002 17 Agosto	(8.35)	(11.22)	(9.48)	0.00	(14.22)
Est. 0+004 15 Junio	(7.59)	(9.84)	(9.46)	0.00	(14.03)
Est. 0+004 17 Agosto	(7.83)	(10.01)	(10.26)	0.00	(15.45)
Est. 0+006 15 Junio	(7.50)	(9.63)	(10.21)	0.00	(15.42)
Est. 0+006 17 Agosto	(7.78)	(10.06)	(10.63)	0.00	(16.42)
Est. 0+008 15 Junio	(8.59)	(11.09)	(11.20)	0.00	(16.59)
Est. 0+008 17 Agosto	(8.66)	(11.50)	(11.44)	0.00	(17.28)
Est. 0+010 15 Junio	(9.62)	(12.60)	(12.36)	(9.49)	(19.19)
Est. 0+010 17 Agosto	(10.21)	(13.20)	(12.19)	(8.09)	(18.30)
Est. 0+012 15 Junio	(9.63)	(13.84)	(13.77)	(11.33)	(21.47)
Est. 0+012 17 Agosto	(10.12)	(13.92)	(14.43)	(11.84)	(22.62)
Est. 0+014 15 Junio	(7.24)	(11.31)	(12.29)	(12.60)	(19.57)
Est. 0+014 17 Agosto	(8.00)	(11.75)	(12.73)	(12.92)	(20.53)
Est. 0+016 15 Junio	(6.80)	(10.04)	(11.91)	0.00	(15.05)
Est. 0+016 17 Agosto	(8.88)	(10.84)	(12.58)	0.00	(16.40)
Est. 0+018 15 Junio	(8.77)	(10.60)	(11.79)	0.00	(17.70)
Est. 0+018 17 Agosto	(11.90)	(11.23)	(12.76)	0.00	(21.73)
Est. 0+020 15 Junio	(8.90)	(9.23)	0.00	0.00	(13.11)
Est. 0+020 17 Agosto	(11.02)	(10.07)	0.00	0.00	(16.12)
Est. 0+022 15 Junio	(8.96)	(8.29)	0.00	0.00	(12.10)
Est. 0+022 17 Agosto	(9.61)	(9.60)	0.00	0.00	(13.43)
Est. 0+024 15 Junio	(8.46)	0.00	0.00	0.00	(8.80)
Est. 0+024 17 Agosto	(9.42)	0.00	0.00	0.00	(9.92)

Nota:

(Signo negativo) = Desplome hacia afuera del muro

Signo positivo = Desplome hacia adentro del muro

Condición desfavorable

Condición favorable

Se puede resaltar que en algunas secciones se encuentran cumpliendo la tolerancia establecida por el CR-2010, de una relación de 13 mm por cada 3 m de altura, sin embargo, se encuentran muy cercanas al límite, puesto que los valores oscilan entre 1.5 y 12.8 mm. Además, a pesar de que el CR-2010 no cuenta con especificaciones para la tolerancia respecto a la altura total del muro, se puede evidenciar como para estas mediciones prácticamente la totalidad del muro presenta desplome superior a 13 mm respecto a la altura total.

Finalmente, no hay claridad en la metodología para la obtención de la información de verticalidad del muro por lo que no se puede determinar con certeza si los desplomes presentados son hacia adentro o hacia afuera de la cara del muro. Dada esta situación, se considera adecuado realizar el levantamiento con el sistema lidar estacionario con el que cuenta el LanammeUCR, con el fin de verificar la condición de verticalidad del muro.

III. Uso de sistemas lidar estacionarios para el levantamiento de modelos tridimensionales de los muros de relleno reforzado

Debido a los resultados obtenidos a partir de las mediciones topográficas realizadas por la Administración del proyecto, a la verificación de deformaciones y la verticalidad de las caras de los muros de suelo reforzado, se procedió a realizar un levantamiento de los muros utilizando un sistema de lidar terrestre estacionario.

Según Ruiz, P. et al. (2014), la palabra lidar proviene del acrónimo en inglés Laser Imaging Detection and Ranging, cuya traducción al español sería “detección de imágenes por láser y distancia”. El fundamento de la tecnología lidar se basa en medir distancias iluminando un objetivo con un rayo láser y posteriormente analizando la luz reflejada e información generada en ese objetivo. Cada dato o punto generado con lidar por sí solo no tiene mucha utilidad; sin embargo, al unir los millones de puntos generados a partir de un barrido con un escáner láser en un área específica, se pueden recrear superficies en tres dimensiones. Para ello, todos los pulsos de retorno del láser son registrados y almacenados en la memoria del escáner y se calcula la distancia entre el instrumento y el objeto donde se reflejó el rayo láser.

Usando principios de física y óptica, el escáner puede obtener la posición de cada punto a partir del haz refractado, la cual es almacenada como una coordenada x-y-z. Con esto es posible registrar reptación, cárcavas, grietas, vegetación, elementos de fachadas de edificios, carros, personas, etc., con un error máximo de ubicación de puntos de 3 mm, el cual puede reducirse a menos de 1 mm si se aplican procedimientos de topografía de precisión y rutinas que se encuentran incluidas el software de la unidad. Con el modelo tridimensional creado, es posible obtener distancias, alturas, pendientes y volúmenes con un alto grado de precisión. Con estos modelos se pueden crear superficies, figuras sólidas y modelos de elevación que pueden ser utilizados en programas de diseño asistido por ordenador (conocidos como CAD) o en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Específicamente, para el levantamiento realizado en el paso a desnivel de la rotonda de La Bandera, fue utilizado un escáner EICA modelo C10 de segunda generación de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA – Lanamme-UCR, con capacidad de realizar un levantamiento de prácticamente cualquier ambiente. Este modelo presenta un rango efectivo de operación de hasta 200 m. La portabilidad de este equipo y su alta velocidad en la toma de datos permite realizar fácilmente trabajos de levantamiento digital de diferentes obras de infraestructura como edificios, puentes, muros de retención, etc. De esta forma, es posible contar un registro digital fidedigno de la condición particular del objeto levantado y determinar cambios estructurales, asentamientos diferenciales, deterioros y deformaciones.

En la figura 2 es posible observar el punto desde donde se realizó la medición para la fachada del muro de relleno reforzado del eje 6. Desde esta zona es posible abarcar toda la longitud del muro que se encuentra finalizado.



Figura 2. Ubicación del muro de relleno reforzado ubicado en el Eje 6 del proyecto paso a desnivel de la rotonda de La Bandera

De esta manera, fue realizado el levantamiento del muro de relleno reforzado ubicado en el Eje 6 del proyecto paso a desnivel de la rotonda de La Bandera que se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Fachada del muro de relleno reforzado ubicado en el Eje 6 del proyecto paso a desnivel de la rotonda de La Bandera

Con base en las nubes de puntos levantadas con el escáner láser se procedió a generar el Modelo de Elevación Digital (MED). Lo anterior permite recrear modelos tridimensionales que permiten analizar la forma y características de las superficies de las caras de los muros para identificar y cuantificar posibles deformaciones que serían imposibles apreciarlas visualmente desde el terreno.

A partir del modelo (MED) fue posible generar las curvas de nivel a intervalos cada 1 cm. Con estas curvas de nivel se definieron secciones transversales al eje longitudinal del muro separadas cada 4 m, con la finalidad de evaluar la verticalidad de las caras de los muros de relleno reforzado. Para efectos de los resultados que se presentan a continuación el estacionamiento 0+000 se definió en la sección este de la cara frontal del muro y la dirección de crecimiento del estacionamiento en el sentido en que va aumentando la altura del muro.

III.1 Hallazgos en la cara del muro de relleno reforzado ubicado en el Eje 6 (MSR-EJE6_011.D).

Con base en el levantamiento realizado, en el caso del muro norte cara lateral este, los resultados obtenidos de la verticalidad se muestran en la Figura 4. Los resultados mostrados corresponden a secciones a intervalos cada 4 m, en las cuales el eje horizontal corresponde al desplazamiento horizontal en milímetros (mm) y el eje vertical corresponde a la altura del muro en metros (m). Para la figura mostrada, el lado izquierdo del gráfico representa el relleno del muro y las discontinuidades observadas representan las juntas de los paneles prefabricados de concreto.

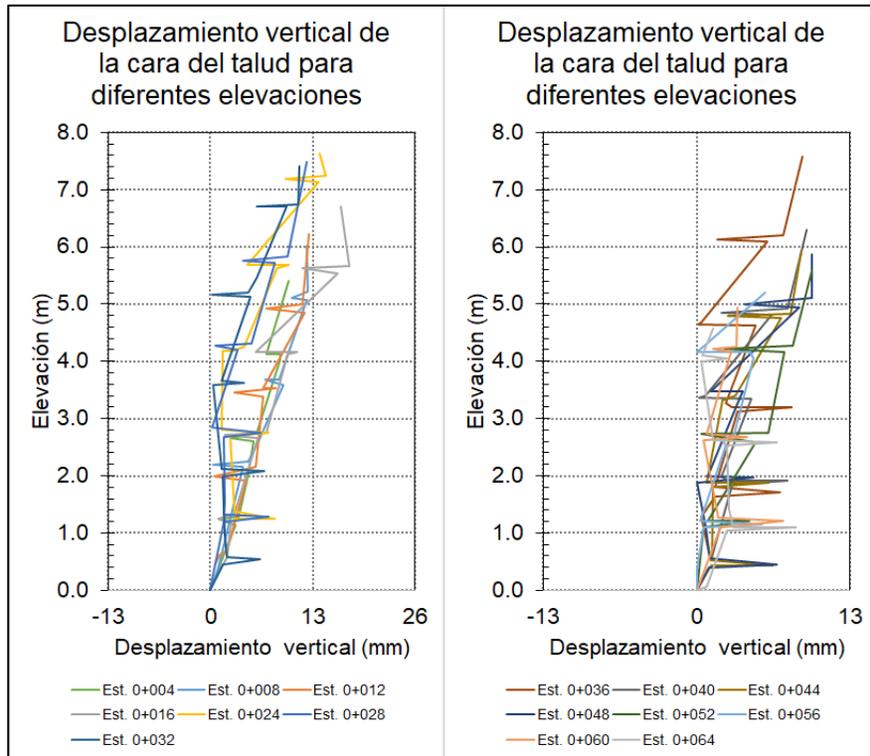


Figura 4. Resultados de verticalidad del muro MSR-EJE6_011.D

Como se puede observar en la Figura 4, en general el muro presenta desplomes hacia afuera de la vertical del muro en todos los estacionamientos, sin embargo, estos desplomes se encuentran dentro de la tolerancia establecida por el CR-2010, de una relación de 13 mm por cada 3 m de altura.

Cabe resaltar que de acuerdo con el manual de la FHWA se establece que los desplomes hacia afuera no son aceptables, según se indica en la sección 4.05, subsección (b) “Tolerancias de colocación para muros con revestimiento prefabricado”. Sin embargo, el CR-2010 no hace distinción a este respecto.

En la Tabla 2 se muestran los valores de la diferencia de verticalidad en diferentes intervalos de altura, así como los desplomes respecto a la altura total del muro para las diferentes estaciones evaluadas. Los valores entre paréntesis corresponden a los desplomes hacia afuera del muro (condición desfavorable), por el contrario, los valores sin paréntesis corresponden a desplomes hacia adentro del muro.



Tabla 2. Valores obtenidos para la diferencia de verticalidad, en mm, observada para diferentes intervalos de elevación para las estaciones evaluadas en el muro norte cara lateral oeste

Estación	Diferencia de elevación (m)				Total
	0-3	1-4	2-5	3-6	
Est. 0+004	(6.42)	(5.92)	(4.27)	0.00	(9.97)
Est. 0+008	(7.35)	(7.43)	(8.09)	(4.94)	(12.29)
Est. 0+012	(6.37)	(5.78)	(11.28)	(6.03)	(12.55)
Est. 0+016	(7.60)	(7.11)	(7.52)	(9.69)	(16.53)
Est. 0+020	(2.65)	(4.99)	(7.72)	(9.71)	(14.89)
Est. 0+024	(1.43)	0.78	(3.70)	(5.23)	(13.93)
Est. 0+028	(0.66)	(1.66)	(4.89)	(9.35)	(12.20)
Est. 0+032	(0.79)	(0.38)	(3.22)	(6.76)	(11.35)
Est. 0+036	(3.27)	(3.14)	0.25	(2.32)	(8.92)
Est. 0+040	(3.98)	(1.21)	(5.69)	(4.97)	(9.29)
Est. 0+044	(1.89)	(3.63)	(7.10)	0.00	(8.87)
Est. 0+048	(2.98)	(3.02)	(3.47)	(6.82)	(9.79)
Est. 0+052	(6.32)	(6.67)	(5.79)	0.00	(9.76)
Est. 0+056	(3.54)	(4.27)	(3.03)	0.00	(5.79)
Est. 0+060	(1.28)	(0.92)	(3.03)	0.00	(3.50)
Est. 0+064	(1.12)	2.04	0.00	0.00	(9.79)

Nota:

(Signo negativo) = Desplome hacia afuera del muro

Condición desfavorable

Signo positivo = Desplome hacia adentro del muro

Condición favorable

Cabe resaltar que en todos los casos se cumple la tolerancia establecida por el CR-2010, de una relación de 13 mm por cada 3 m de altura. Sin embargo, se resaltan los valores de desplome en las estaciones 0+016 a la 0+024, ya que respecto a la altura total del muro existe un desplome hacia afuera de la cara del muro que supera los 13 mm. De acuerdo con la Federal Highway Administration (FHWA) en su manual *FHWA-NHI-10-025*, "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and reinforced Soil Slopes – Volume II" la masa negativa (desplome hacia afuera) no se considera aceptable.

IV. Comentarios finales

Los resultados obtenidos del levantamiento realizado en campo demuestran que fueron obtenidos desplomes hacia afuera de la vertical del muro analizado, sin embargo, se concluye que en todos los casos se encuentran dentro de la tolerancia establecida por el CR-2010, de una relación de 13 mm por cada 3 m de altura.

Según los resultados obtenidos únicamente los estacionamientos 0+016, 0+020 y 0+024 presentan desplomes hacia afuera de la cara del muro que superan los 13 mm respecto a la altura total de la sección analizada. Si bien esta condición no se encuentra especificada como desfavorable en el CR 2010 sin embargo, según lo establece la Federal Highway Administration (FHWA) en su manual *FHWA-NHI-10-025*, "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and reinforced Soil Slopes – Volume II", en la sección 4.05 "Levantamiento del muro", específicamente en la subsección (B) "Tolerancias de colocación para muros con revestimiento prefabricado", se tiene lo siguiente:

"La tolerancia vertical total (plomada) de la pared terminada no debe exceder ½ pulgada (12,7mm) por cada 10 pies (3,05m) de altura de la pared. La masa negativa (desplome hacia afuera) no es aceptable."

Dado lo indicado anteriormente, se considera aconsejable tomar las medidas constructivas del caso para evitar la condición de desplome hacia afuera.

Finalmente, se considera importante destacar que cuando no se cumplan las tolerancias de las fachadas de los muros, es importante acatar la recomendación que en el mismo manual se indica: “las secciones de muro que no se ajusten a las tolerancias establecidas deben ser reconstruidos sin costo adicional para la Administración”, ya que los paneles desalineados no pueden ser empujados, ni tampoco pueden ser tirados para colocarlos en su lugar; pues puede dañar los paneles y refuerzos, y con ello debilitar el sistema del muro de retención.

V. Referencias

- Federal Highway Administration (2009). *FHWA-NHI-10-025 Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes – volumen II*. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Ruiz, P.; Garro, J.F; Soto, G.J. (2014). *El uso de imágenes l dar en Costa Rica: casos de estudio aplicados en geología, ingeniería y arqueología*. Revista Geológica de América Central, 51: 7-13, DOI: 10.15517/rgac. v51i1.16849