



Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-0441-2022

Informe de verificación de deformaciones verticales en los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas



Preparado por:

Ing. Laura Solano Matamoros
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Abril, 2022





1. Informe EIC-Lanamme-INF-0441-2022		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de verificación de deformaciones verticales en los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas		4. Fecha del Informe 01/04/2022
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 en la evaluación de la verticalidad en los muros de relleno reforzado del paso a desnivel San Miguel en la ruta nacional 1, Limonal – Cañas. Los resultados obtenidos demuestran desplomes hacia adentro y hacia afuera de los muros analizados. Estos desplomes, en el caso del muro que conforma la cara frontal del paso San Miguel, cumple con las especificaciones de verticalidad solicitadas en la sección 255 del CR-2010. Sin embargo, el muro del lado derecho sentido Limonal-Cañas presenta no conformidades de verticalidad según el 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 15
11. Preparado por: <hr/> Fecha: 01 / 04 / 2022		
12. Revisado y aprobado por: <hr/> Fecha: 01 / 04 / 2022		



Contenido

I.	Introducción.....	4
II.	Antecedentes relacionados con la verticalidad de los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas	4
III.	Uso de sistemas lídar estacionarios para el levantamiento de modelos tridimensionales de los muros de relleno reforzado	5
	III.1 Hallazgos en la cara frontal del muro de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas.....	7
	III.2 Hallazgos en el muro de relleno reforzado de la margen derecha “tramo inicial” del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, sentido (Limonal- Cañas).....	9
	III.3 Hallazgos en el muro de relleno reforzado de la margen derecha “tramo final” del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, sentido (Limonal- Cañas).....	12
IV.	Comentarios finales	14
V.	Referencias	15



Verificación de deformaciones verticales en los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación de la verticalidad en los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas, de las mediciones realizadas los días 23 y 24 de febrero del presente año.

Entre los documentos revisados se encuentran:

- El informe *EIC-Lanamme-INF-0096-2022 "Revisión de Anexo I – 669 142- Visita a la obra Ruta Nacional 1, Limonal-Cañas*. Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR. Enero de 2022
- El informe *EIC-Lanamme-INF-0136-2022 "Visita RN 1, Limonal – Cañas"*. Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR. Febrero de 2022
- Anexo I - 669 142-Limonal-Cañas- Visita Obra 2021-11-08-10 San Miguel y Aserradero.

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 se indican algunas recomendaciones y buenas prácticas existentes en la bibliografía internacional para el adecuado cumplimiento de estas tolerancias.

II. Antecedentes relacionados con la verticalidad de los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas

Como se mencionó en el informe "EIC-Lanamme-INF-0136-2022", fueron observadas deformaciones importantes, en el eje vertical, en los paneles de concreto que forman parte de los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel. En dicho informe, se enfatizó la importancia de realizar un análisis de estabilidad del muro de suelo reforzado, para evaluar las implicaciones que tiene el incumplimiento de las tolerancias verticales observadas en sitio y sus efectos en la seguridad y operación futura, así como también, consultar a ingenieros geotecnistas especializados para establecer medidas adecuadas para mejorar la estabilidad y seguridad de la obra.

Cabe destacar que en este mismo informe se enfatizó que la sección 255 "Muros con suelo reforzado" del Manual de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2010) establece que, para este tipo de muro, la tolerancia vertical (de la superficie a la base) no debe exceder la relación de 13 mm por cada 3 m de altura.

Por su parte, el informe "Anexo I - 669 142-Limonal-Cañas- Visita Obra 2021-11-08-10 San Miguel y Aserradero", evidencia que se tiene conocimiento del incumplimiento con la verticalidad en las columnas de paneles de los muros de tierra armada (también conocidos como muros con suelo reforzado), con valores de desplome en porcentaje que oscilan entre 1,09% y 1,86%. En este mismo documento, se indica el uso de las especificaciones de verticalidad de la normativa de la Federal Highway Administration (FHWA) "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume II", según el autor de este oficio, esta bibliografía menciona que se permite para muros mayores a 6,00 m, se podrá ampliar la deformación horizontal 2,5% por cada 400 psf, o sea por cada 19,15kN/m².



Por lo que, en los muros analizados, con desplomes hacia afuera del muro, los cuales reportaron en este informe con deformación máxima medida de 2,04%, no habría problemas en las tolerancias de alineamientos permitidos, ya que basados en la interpretación dada del documento se permite un desplome máximo de 2,31%. Al respecto de estas afirmaciones, se comenta más adelante que es un error de interpretación del texto utilizado. Adicionalmente, se debe contemplar que existe normativa nacional que indica cuáles deben ser las especificaciones de cumplimiento para este tipo de muros, ya que están dadas en el CR-2010.

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

Debido a los cuestionamientos existentes con respecto 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 está 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).

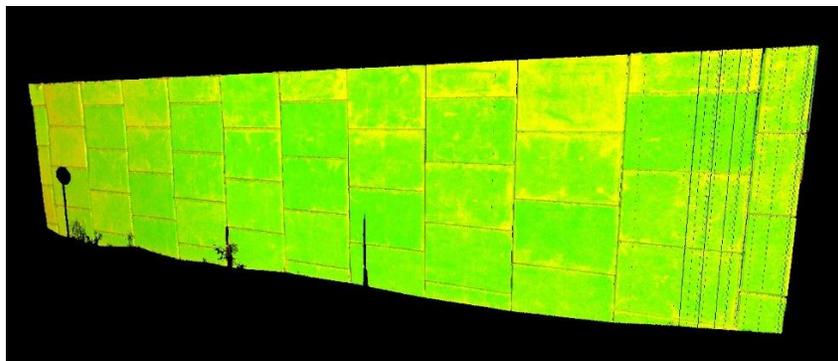
Específicamente, para el levantamiento realizado en Limonal – Cañas, fue utilizado un escáner LEICA modelo C10 de segunda generación de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA – Lanamme-UCR, con capacidad de realizar un levantamiento de prácticamente cualquier ambiente. Este 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.

De esta manera, fue realizado el levantamiento de aproximadamente 350 metros en total, que contemplan la cara frontal del muro y la margen del lado derecho (sentido Limonal- Cañas), tal y como se muestra en la Figura 1.

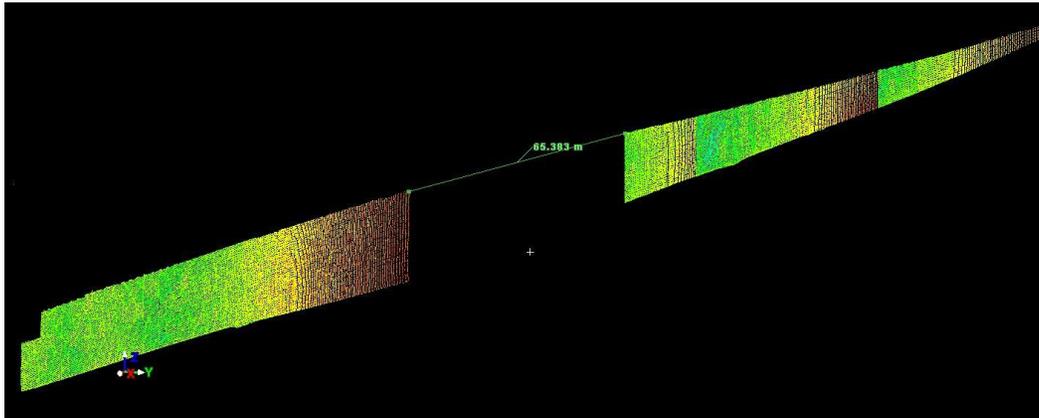


Figura 1. Ubicación de los muros de relleno reforzado del paso elevado San Miguel

Con base en la nube de puntos levantada con el escáner lidar se procedió a generar un 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. La Figura 2 muestra los MEDs obtenidos para los Muro 1 (cara frontal) y Muro 2 (costado derecho, sentido Limonal – Cañas) evaluados. Como puede observarse en ambos modelos, se obtiene una buena representación de las caras de los muros de relleno reforzado, donde se pueden apreciar cada uno de los paneles o escamas que conforman la cara del muro, así como el resto de los elementos estructurales que también forman parte de la estructura.



(a)



(b)

Figura 2. Modelo de elevación digital de los muros de relleno reforzados evaluados: (a) Muro cara frontal (b) Muro margen derecha, del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas

Como se observa en la Figura 2 b, debido a un error en proceso de almacenamiento de datos por parte del equipo, quedó un faltante de aproximadamente 65 metros en el muro, por lo que se procedió a realizar el análisis tomando las nubes de puntos de la sección inicial y la sección final por aparte.

A partir de los modelos mostrados en la Figura 2 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 1 m para el muro correspondiente a la cara frontal y cada 3 m para el muro de la margen derecha, 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 columna construida en los muros de relleno reforzado en la dirección este-oeste para el muro de la cara frontal y para el caso del muro de la margen derecha la numeración de los estacionamientos en orden ascendente en el sentido sur-norte.

III.1 Hallazgos en la cara frontal del muro de relleno reforzado del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas

Con base en el levantamiento realizado, en el caso del Muro 1, los resultados obtenidos de la verticalidad del mismo se muestran en la Figura 3. En este caso se presentan los resultados de las secciones a intervalos cada 1 metro. El eje vertical corresponde a la altura o elevación de la cara del muro (en metros) y el eje horizontal el desplazamiento vertical de la cara del muro (en milímetros). En el caso del eje horizontal, las líneas de división corresponden a la tolerancia que permite el Manual de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2010). En estas figuras, el lado izquierdo del gráfico representa el relleno del muro y las discontinuidades observadas representan las juntas de los paneles prefabricados de concreto.

Altura del muro (m) vs Desplazamiento vertical del muro (mm)

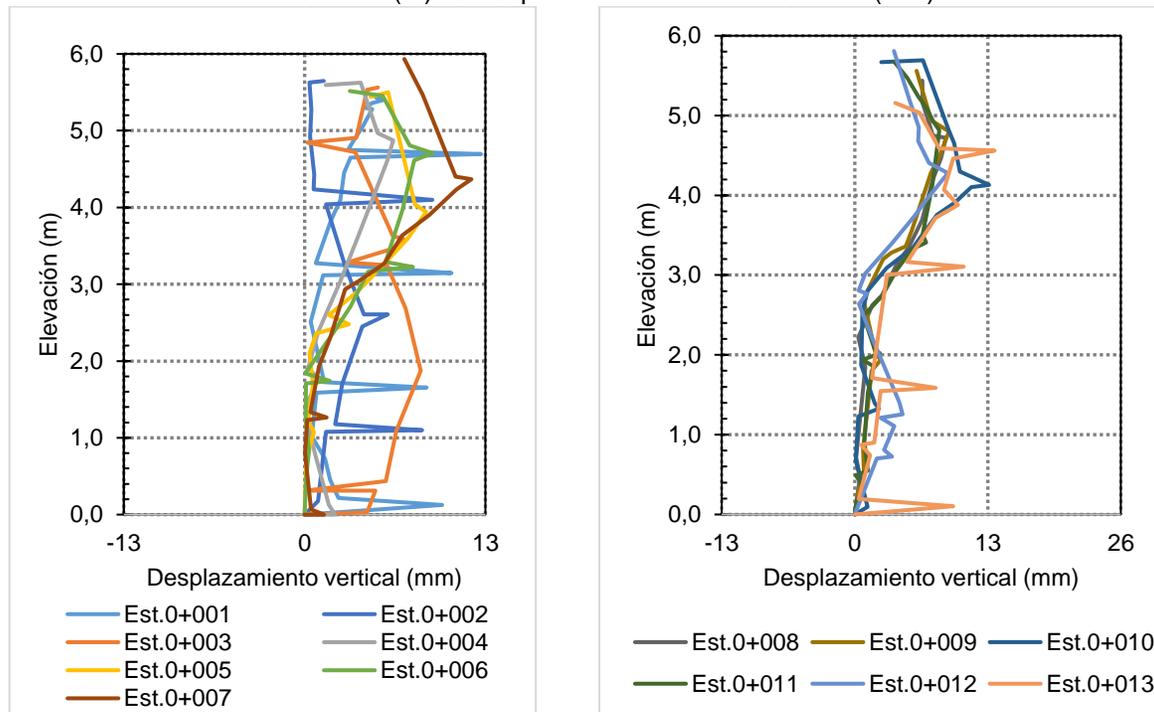


Figura 3. Resultados de verticalidad del Muro de relleno reforzado (cara frontal)

Como se puede observar en la Figura 3, el muro presenta desplomes, tanto hacia afuera del muro como hacia adentro del mismo, con valores que se encuentran dentro de la tolerancia establecida por el CR-2010, de una relación de 13 mm por cada 3 m de altura, lo cual indica buenas prácticas constructivas en el levantamiento del Muro.

Con la finalidad de cuantificar y evidenciar la verticalidad del muro, la Tabla 1 muestra los valores de la diferencia de verticalidad observada por cada 3 m de altura, en la sección longitudinal del muro. Los valores entre paréntesis, mostrados en la Tabla 1, corresponden a los desplomes hacia afuera del muro (signo negativo), donde se nota que ninguno de los valores excede la tolerancia permitida por el CR-2010, de igual manera los desplomes hacia adentro del muro (signo positivo), tampoco existen incumplimientos de las tolerancias.

Tabla 1. Valores obtenidos para la diferencia de verticalidad observada por cada 3 m de altura para cara del muro de relleno reforzado del Muro Cara Frontal

Estación	Diferencia de elevación (m)				Total
	0-3	1-4	2-5	3-6	
Est.0+001	(1,17)	(1,75)	(2,92)	(4,38)	(5,11)
Est.0+002	(3,42)	(0,12)	2,87	4,52	(1,39)
Est.0+003	(6,50)	1,07	4,36	2,80	(5,27)
Est.0+004	(2,48)	(4,14)	(4,78)	0,46	(1,52)
Est.0+005	(4,31)	(7,19)	(6,26)	(1,69)	(4,74)
Est.0+006	(4,10)	(6,86)	(6,31)	0,25	(3,26)
Est.0+007	(3,52)	(9,43)	(8,34)	(3,74)	(7,17)
Est.0+008	(3,61)	(6,86)	(6,26)	(2,99)	(6,60)
Est.0+009	(2,02)	(5,74)	(5,27)	(4,17)	(6,05)



Est.0+010	(2,54)	(10,29)	(8,01)	13,03	(2,60)
Est.0+011	(3,82)	(6,39)	(5,33)	(0,50)	(3,86)
Est.0+012	(0,98)	(3,83)	(3,46)	(2,88)	(3,83)
Est.0+013	(3,16)	(7,22)	(4,47)	(1,94)	(3,97)

Nota:

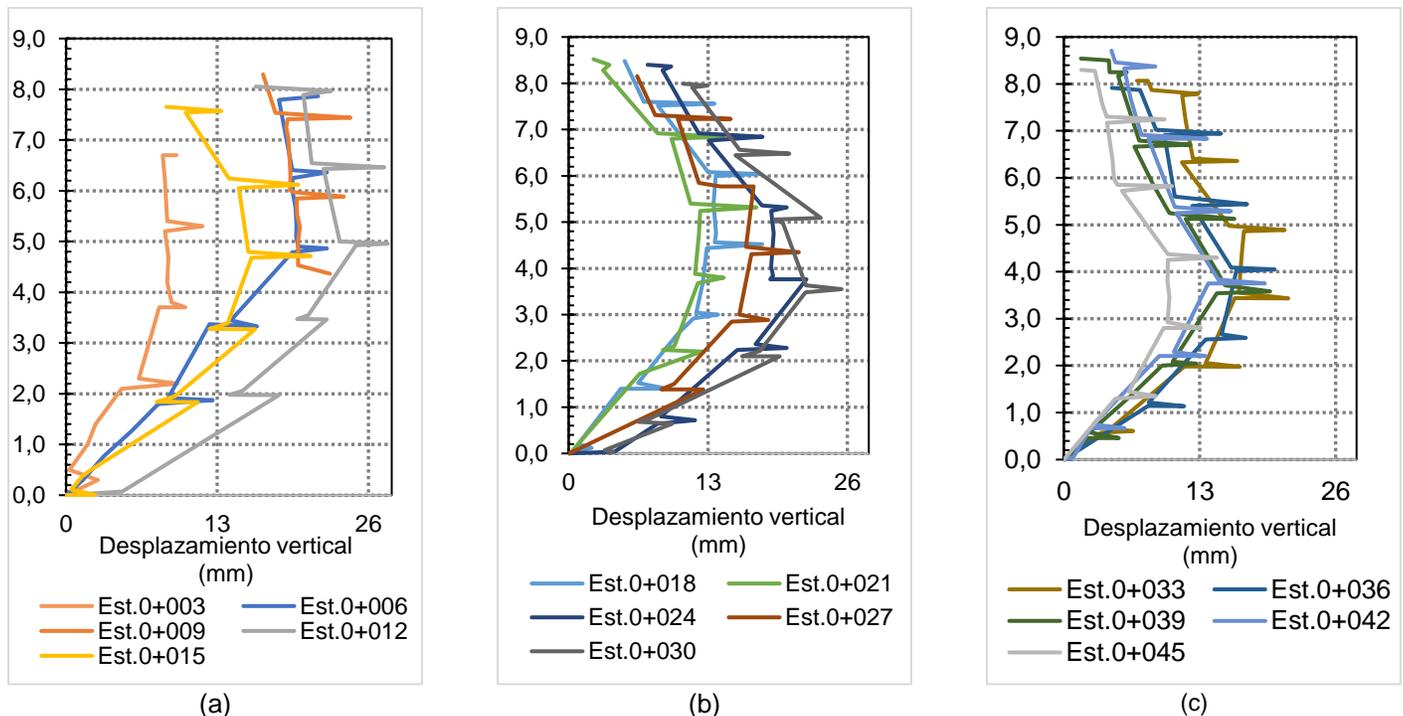
(Signo negativo) = Desplome hacia afuera del muro

Signo positivo = Desplome hacia adentro del muro

III.2 Hallazgos en el muro de relleno reforzado de la margen derecha “tramo inicial” del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, sentido (Limal- Cañas)

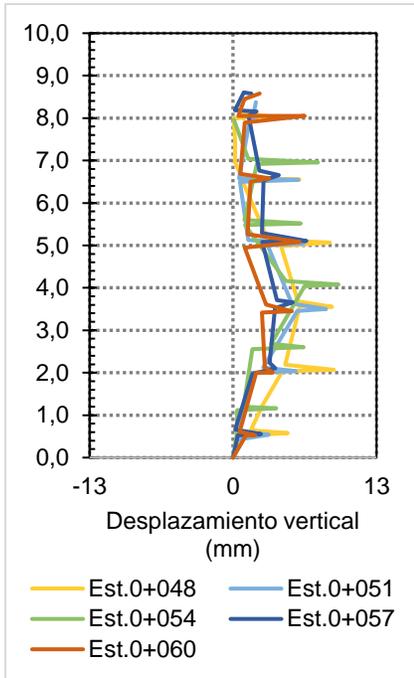
Con base en el levantamiento realizado, en el caso del Muro 2 en el “Tramo inicial”, los resultados obtenidos corresponden a los primeros 114 m de muro. La verticalidad del mismo se muestra en la Figura 4 a, b, c, d, e, f, g, h. En este caso se presentan los resultados de las secciones a intervalos cada 3 metros. El eje vertical corresponde a la altura o elevación de la cara del muro (en metros) y el eje horizontal el desplazamiento vertical de la cara del muro (en milímetros). En el caso del eje horizontal, las líneas de división corresponden a la tolerancia que permite el Manual de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2010). En estas figuras, el lado izquierdo del gráfico representa el relleno del muro y las discontinuidades observadas representan las juntas de los paneles prefabricados de concreto.

Altura del muro (m) vs Desplazamiento vertical del muro (mm)

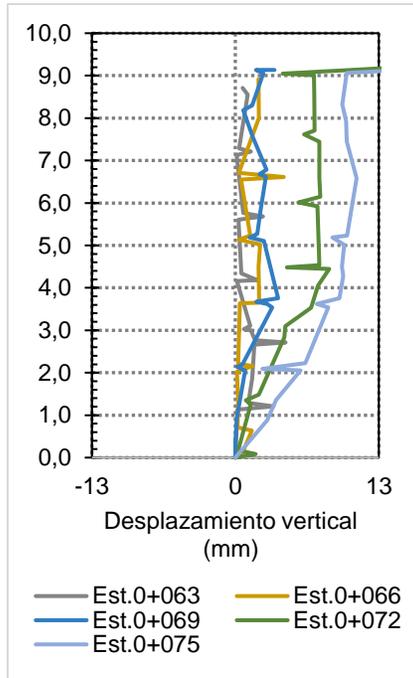




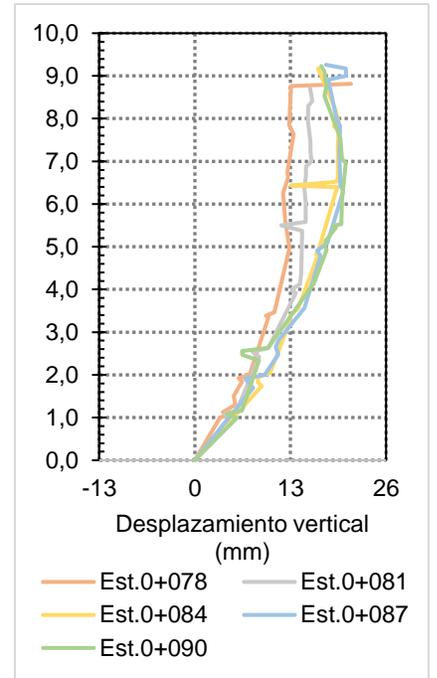
Altura del muro (m) vs Desplazamiento vertical del muro (mm)



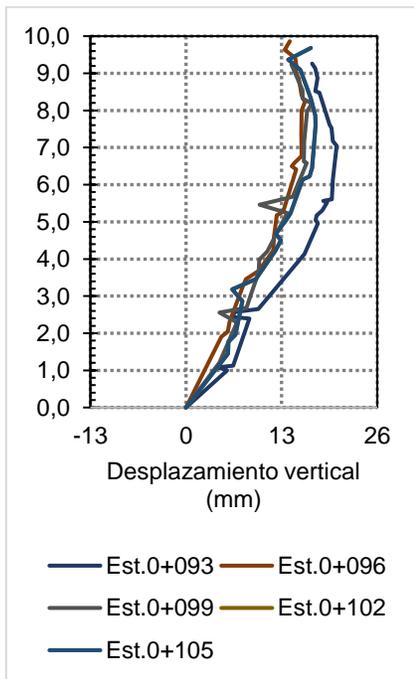
(d)



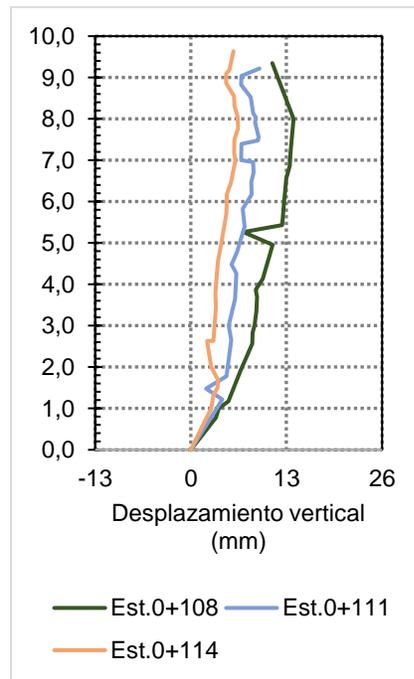
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 4. Resultados de verticalidad del muro margen derecha "tramo inicial"



Como se puede observar en la Figura 4, el muro presenta desplomes, tanto hacia afuera del muro como hacia adentro del mismo, con valores que se encuentran fuera de la tolerancia establecida por el CR-2010, que es una relación de 13 mm por cada 3 m de altura, lo cual indica que las prácticas constructivas en el levantamiento del muro presentan ciertas deficiencias.

En general, se observa que en los primeros 3 metros de altura, los muros presentaron desplomes hacia afuera del muro, destacándose como zona crítica hasta la Estación 0+045 y de la Estación 0+078 hasta la Estación 0+090, lo cual puede representar una condición desfavorable para la estabilidad y seguridad del muro. En algunas secciones del muro la tendencia del desplome hacia afuera se extiende en la totalidad de la altura del muro y en otras secciones analizadas a partir de los 4 m aproximadamente se presenta un cambio en la inclinación.

Con la finalidad de cuantificar y evidenciar estos incumplimientos la Tabla 2 muestra los valores de la diferencia de verticalidad observada por cada 3 m de altura. Los valores entre paréntesis, mostrados en la Tabla 2 corresponden a los desplomes hacia afuera del muro (signo negativo), donde se nota que existen incumplimientos de la tolerancia permitida por el CR-2010 a partir de los 3 metros de altura

Tabla 2. Valores obtenidos para la diferencia de verticalidad observada por cada 3 m de altura para cara del muro de relleno reforzado del Muro margen derecha "Tramo inicial"

Estación	Diferencia de elevación (m)								Total	
	0-3	1-4	2-5	3-6	4-7	5-8	6-9	7-10		8-11
Est.0+003	(7,13)	(7,04)	(4,15)	(1,42)	0,00					(9,48)
Est.0+006	(11,43)	(12,00)	(10,87)	(8,07)	(2,61)	6,55				(21,66)
Est.0+009	(12,45)	(13,31)	(11,54)	(6,88)	(2,10)	2,59				(16,93)
Est.0+012	(20,01)	(10,75)	(9,50)	(2,55)	1,29	3,60				(16,30)
Est.0+015	(14,83)	(9,27)	(5,93)	(0,06)	3,03	(2,12)				(8,61)
Est.0+018	(13,92)	(9,12)	(5,54)	0,20	2,65	7,48				(5,24)
Est.0+021	(10,96)	(7,92)	(2,19)	0,34	3,84	7,94				(2,32)
Est.0+024	(19,60)	(9,32)	(4,45)	3,85	11,08	9,54				(7,36)
Est.0+027	(15,91)	(7,70)	(5,01)	3,97	6,27	10,13				(6,40)
Est.0+030	(20,49)	(11,76)	(0,98)	2,31	7,03	8,61				(10,65)
Est.0+033	(15,46)	(10,60)	0,12	3,07	5,05	7,55				(7,00)
Est.0+036	(15,44)	(9,41)	(2,14)	5,12	5,83	7,81				(4,59)
Est.0+039	(13,06)	(10,09)	(2,58)	4,83	7,76	6,56	3,93			(1,65)
Est.0+042	(12,13)	(10,40)	(3,23)	2,60	6,99	5,35	4,95			(4,56)
Est.0+045	(9,95)	(6,14)	(0,34)	5,15	5,69	4,65	3,15			(1,65)
Est.0+048	(5,50)	(3,26)	(0,85)	3,78	5,35	5,17	0,98			(0,69)
Est.0+051	(4,76)	(3,85)	(1,32)	3,87	3,90	1,32	(1,12)			(2,07)
Est.0+054	(4,16)	(6,02)	(1,00)	2,78	1,86	2,26				(0,08)
Est.0+057	(3,60)	(3,10)	(0,57)	0,91	1,47	1,28	(1,08)			(1,67)
Est.0+060	(2,70)	(1,39)	(0,19)	1,24	1,66	(1,63)	(0,11)			(2,41)
Est.0+063	(1,42)	(0,15)	1,14	0,82	0,15	(0,37)	(0,08)			(0,66)
Est.0+066	(0,34)	(1,91)	(2,10)	(0,51)	1,41	0,10	(1,23)			(2,09)
Est.0+069	(2,26)	(3,47)	(1,84)	(0,13)	1,18	1,74	(0,05)			(3,53)
Est.0+072	(4,48)	(6,29)	(4,55)	(1,42)	(0,20)	0,38	(1,21)			(15,15)
Est.0+075	(4,11)	(3,05)	(0,95)	(0,12)	0,56	(9,41)				(20,55)
Est.0+078	(9,35)	(8,12)	(5,53)	(2,76)	(1,27)	(0,03)	(6,80)			(21,24)
Est.0+081	(11,07)	(8,51)	(6,80)	(4,01)	(2,68)	(0,83)	(0,61)			(15,68)
Est.0+084	(12,35)	(9,78)	(7,55)	(6,31)	(4,42)	(2,48)	1,50	2,50		(16,74)
Est.0+087	(12,25)	(11,02)	(7,81)	(7,40)	(4,01)	(1,96)	(0,94)	(0,03)		(17,84)
Est.0+090	(11,48)	(10,00)	(9,66)	(8,51)	(4,73)	(1,06)	2,27	3,01		(17,20)
Est.0+093	(11,32)	(9,95)	(9,84)	(8,61)	(4,90)	(1,12)	2,20	3,10		(17,16)
Est.0+096	(7,24)	(8,53)	(6,84)	(7,09)	(4,65)	(3,48)	(0,59)	1,77		(14,13)
Est.0+099	(8,75)	(6,29)	(6,86)	(6,43)	(5,99)	(3,38)	0,34	1,64		(14,31)
Est.0+102	(7,08)	(7,46)	(6,65)	(8,51)	(5,97)	(3,97)	(0,15)	1,16		(16,99)



Est.0+105	(7,08)	(7,46)	(6,65)	(8,51)	(5,97)	(3,97)	(0,15)	1,16	(16,99)
Est.0+108	(8,67)	(5,50)	(3,61)	(4,00)	(4,19)	(3,40)	0,83	2,32	(11,09)
Est.0+111	(5,14)	(2,58)	(1,61)	(2,52)	(0,75)	(2,17)	0,77	(2,23)	(9,33)
Est.0+114	(3,24)	(0,68)	(1,40)	(1,63)	(2,62)	(2,23)	0,07	0,31	(5,79)

Nota:

(Signo negativo) = Desplome hacia afuera del muro

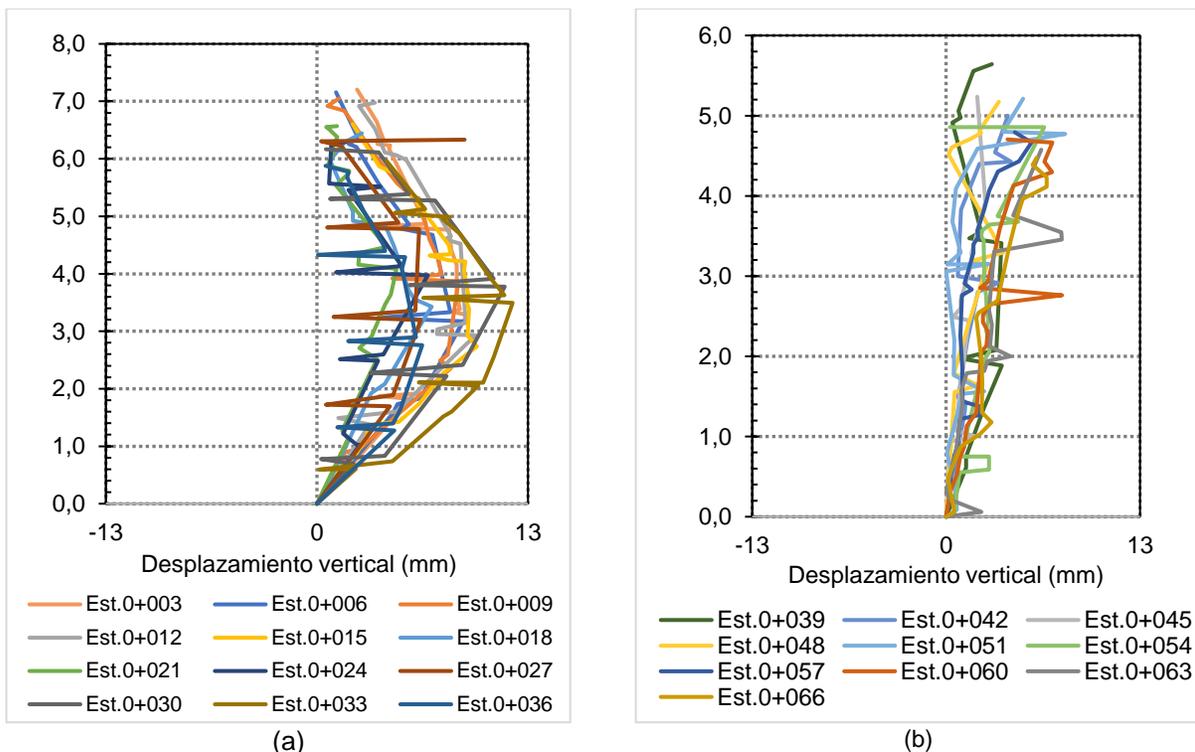
Signo positivo = Desplome hacia adentro del muro

Es importante destacar, que la magnitud de estos cambios de inclinación o pendiente, inicialmente hacia afuera y posteriormente hacia adentro del muro, son responsables de que sean observados en el sitio grandes deformaciones en el muro. Lo cual fue particularmente evidente en los estacionamientos iniciales que corresponden a las zonas de mayor altura del muro.

III.3 Hallazgos en el muro de relleno reforzado de la margen derecha “tramo final” del paso elevado San Miguel en Ruta Nacional 1, sentido (Limonal- Cañas)

Con base en el levantamiento realizado, en el caso del muro 2 “Tramo final”, los resultados obtenidos corresponden a los últimos 126 m de muro. La verticalidad del mismo se muestra en la Figura 5Figura 4 a, b, c, d. En este caso se presentan los resultados de las secciones a intervalos cada 3 metros. El eje vertical corresponde a la altura o elevación de la cara del muro (en metros) y el eje horizontal el desplazamiento vertical de la cara del muro (en milímetros). En el caso del eje horizontal, las líneas de división corresponden a la tolerancia que permite el Manual de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2010). En estas figuras, el lado izquierdo del gráfico representa el relleno del muro y las discontinuidades observadas representan las juntas de los paneles prefabricados de concreto.

Altura del muro (m) vs Desplazamiento vertical del muro (mm)



Altura del muro (m) vs Desplazamiento vertical del muro (mm)

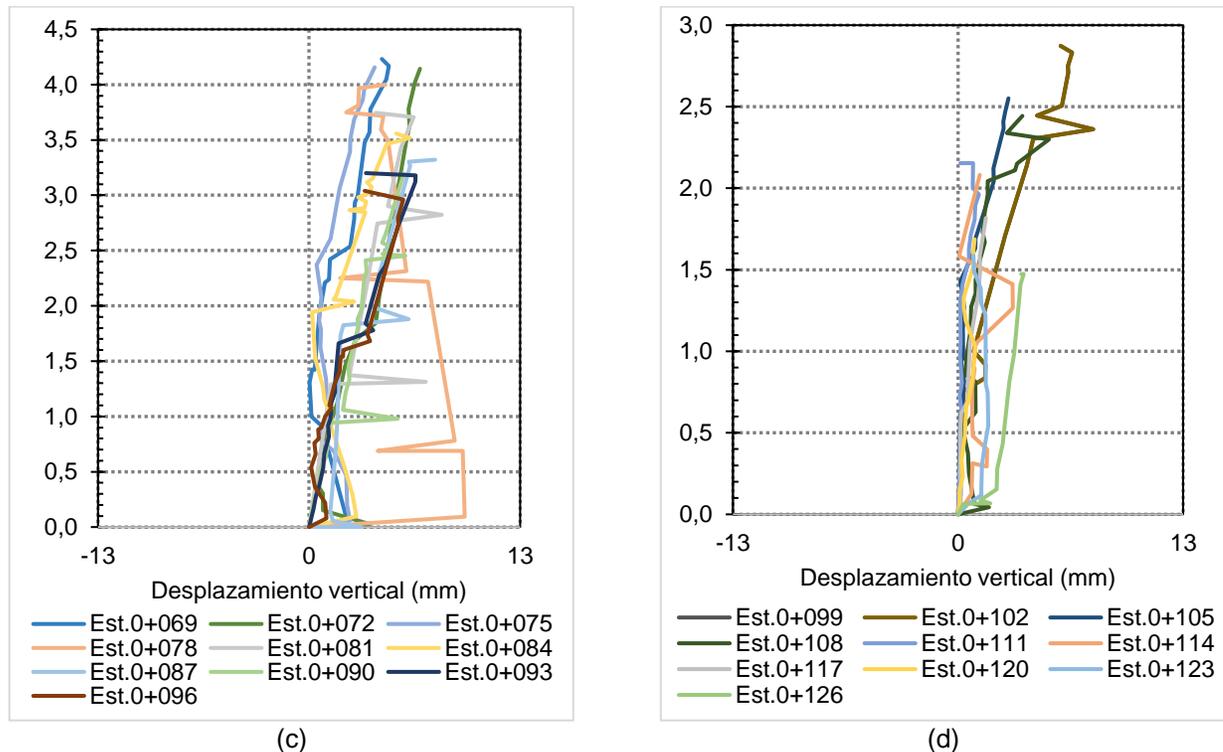


Figura 5. Resultados de verticalidad del muro margen derecha “tramo final”

Como se puede observar en la Figura 5, el muro presenta desplomes, tanto hacia afuera del muro como hacia adentro del mismo, con valores que se encuentran dentro de la tolerancia establecida por el CR-2010, con una relación de 13 mm por cada 3 m de altura, lo cual indica buenas prácticas constructivas en el levantamiento del Muro.

Con la finalidad de cuantificar y evidenciar la verticalidad del muro, la Tabla 3 muestra los valores de la diferencia de verticalidad observada por cada 3 m de altura, en la sección longitudinal del muro. Los valores entre paréntesis, mostrados en la Tabla 3, corresponden a los desplomes hacia afuera del muro (signo negativo), donde se nota que ninguno de los valores excede la tolerancia permitida por el CR-2010, de igual manera los desplomes hacia adentro del muro (signo positivo), tampoco existen incumplimientos de las tolerancias.

Tabla 3. Valores obtenidos para la diferencia de verticalidad observada por cada 3 m de altura para cara del muro de relleno reforzado del Muro margen derecha “Tramo final”

Estación	Diferencia de elevación (m)					Total
	0-3	1-4	2-5	3-6	4-7	
Est.0+003	(8,69)	(5,46)	0,24	3,95	5,70	(2,48)
Est.0+006	(8,66)	(4,69)	1,39	5,78	6,22	(1,18)
Est.0+009	(8,27)	(4,83)	0,22	4,53	6,57	(1,35)
Est.0+012	(7,41)	(6,61)	(1,20)	2,05	6,76	(3,56)
Est.0+015	(9,28)	(4,83)	0,23	5,74	6,88	(2,20)
Est.0+018	(6,13)	(3,53)	1,53	5,25	2,85	(2,77)
Est.0+021	(3,50)	(3,15)	0,10	2,65	6,31	(1,24)
Est.0+024	(4,90)	(1,42)	(0,13)	4,08		(1,80)
Est.0+027	(6,13)	(3,51)	0,11	4,04		(9,10)
Est.0+030	(10,09)	(6,01)	(0,63)	6,00		(0,55)



Est.0+033	(11,44)	(4,80)	2,06	6,97	(4,30)
Est.0+036	(6,03)	(1,57)	2,51	4,41	(0,54)
Est.0+039	(3,61)	0,12	0,68	1,15	(3,07)
Est.0+042	(0,78)	(0,42)	(2,70)		(4,15)
Est.0+045	(1,45)	(0,63)	(0,96)		(2,08)
Est.0+048	(2,50)	(1,34)	(2,05)		(3,53)
Est.0+051	(0,04)	(0,26)	(3,95)		(5,16)
Est.0+054	(2,50)	(2,82)	(0,70)		(0,25)
Est.0+057	(1,38)	(1,98)	(4,39)		(4,59)
Est.0+060	(2,91)	(3,00)	(2,09)		(4,13)
Est.0+063	(3,08)	(4,27)	(1,90)		(6,37)
Est.0+066	(3,81)	(3,49)			(6,08)
Est.0+069	(3,00)	(4,43)			(4,49)
Est.0+072	(5,40)	(5,01)			(6,83)
Est.0+075	(1,80)	(2,32)			(4,04)
Est.0+078	(5,34)	4,02			(4,70)
Est.0+081	(5,00)	(5,75)			(4,11)
Est.0+084	(3,37)	(5,28)			(5,36)
Est.0+087	(5,72)				(7,76)
Est.0+090	(5,43)				(5,83)
Est.0+093	(6,22)				(3,50)
Est.0+096	(4,61)				(3,42)
Est.0+099	(7,09)				(5,92)
Est.0+102	(5,96)				(5,92)
Est.0+105					(2,91)
Est.0+108					(3,71)
Est.0+111					(0,14)
Est.0+114					(1,26)
Est.0+117					(1,61)
Est.0+120					(0,97)
Est.0+123					(0,89)
Est.0+126					(3,65)

Nota:

(Signo negativo) = Desplome hacia afuera del muro

Signo positivo = Desplome hacia adentro del muro

IV. Comentarios finales

Los resultados obtenidos del levantamiento realizado en campo demuestran que el muro ubicado en la margen derecha del paso elevado San Miguel, presenta desplomes tanto hacia adentro como hacia afuera del eje vertical del muro.

Según los resultados obtenidos, el muro de la cara frontal presenta valores de verticalidad que se encuentran dentro de la tolerancia establecida por el CR-2010, en la sección 255, donde se establece una tolerancia de 13 mm por cada 3 m de altura, indicando que fueron realizadas buenas prácticas constructivas en el levantamiento del muro.

En el caso del muro ubicado en la margen derecha, como se mencionó anteriormente debido a un error en el proceso de almacenamiento de datos propio del equipo Lidar, existe un faltante de 67 m de longitud del muro. Basado en el análisis de los datos obtenidos, y observando la tendencia del comportamiento de verticalidad del muro, se observa que las zonas críticas, donde se encuentran las deformaciones que no cumplen con las especificaciones de la tolerancia establecida por el CR-2010, corresponden a las zonas de mayor altura del muro y disminuye conforme disminuye la altura del muro. Dicha condición coincide con lo indicado en el documento "Anexo I - 669 142-Limonal-Cañas- Visita Obra 2021-11-08-10



San Miguel y Aserradero”, en el cual se concluye que las columnas de menor altura no incumplen con la tolerancia de verticalidad del sistema constructivo.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 2 el incumplimiento de la verticalidad por cada 3 m de altura se encuentra localizado en las estaciones iniciales aproximadamente hasta la Estación 0+042. Posterior a esto, la sección comprendida entre las Estaciones 0+072 y 0+105, presentan desplome superior a 13 mm respecto a la altura total del muro, al compararlo con los respectivos gráficos se observa que el desalineamiento se ubica en la zona superior del muro. Esta situación se observó en campo y se indica en el documento “*EIC-Lanamme-INF-0136-2022*”. Basado en estos análisis, en la condición observada en campo y respaldada con el documento “*EIC-Lanamme-INF-0136-2022*”, además de los resultados consistentes con las conclusiones del documento “*Anexo I - 669 142-Limonal-Cañas- Visita Obra 2021-11-08-10 San Miguel y Aserradero*”, es esperable que la zona de datos faltante tenga un comportamiento similar a lo obtenido en las dos secciones analizadas, donde es posible que exista un desalineamiento en las secciones del muro con alturas mayores, y que la zona de alturas menores cumpla con la verticalidad para intervalos de cada 3 m de altura del muro. Por lo tanto, se considera que con la información obtenida en conjunto con los análisis previos y los presentes en este informe es suficiente para concluir dicha condición del muro.

Por lo tanto, es posible concluir que el muro presenta una zona crítica que indican no conformidades de la tolerancia establecida por el CR-2010, indicando prácticas constructivas deficientes en el levantamiento del muro. Esta zona esta comprendida entre las estaciones 0+000 hasta 0+045 del muro ubicado en la margen derecha del paso elevado San Miguel en la RN 1 Limonal- Cañas. En general esta margen del muro presenta desalineamiento hacia afuera del muro respecto a la altura total, lo que genera una sensación de inseguridad para los usuarios. Además, al presentar cierta inclinación hacia afuera del muro, se considera que esta condición resulta desfavorable para la estabilidad del muro y puede desmejorar una vez el proyecto entre en la fase operativa. Por lo tanto, se considera recomendable implementar un sistema de monitoreo para contar con un registro periódico de las deformaciones de verticalidad del muro en el tiempo y poder hacer recomendaciones de mejoramiento oportunas.

Finalmente, según el “Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume II”, se indica que: las secciones de muro que no se ajusten a las tolerancias establecidas deben ser reconstruidos sin costo adicional para la Administración, puesto que los paneles desalineados no pueden ser empujados, ni tampoco, pueden ser tirados para colocarlos en su lugar; ya que esto, puede dañar los paneles y refuerzos, y con ello debilitar el sistema.

V. Referencias

- Programa de Ingeniería Geotécnica (2022). *EIC-Lanamme-INF-0096-2022-Revisión de Anexo I – 669 142- Visita a la obra Rutana Nacional 1, Limonal-Cañas*. LanammeUCR. San José.
- Programa de Ingeniería Geotécnica (2022). *EIC-Lanamme-INF-0136-2022-Visita RN 1, Limonal - Cañas*. LanammeUCR. San José.