



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-EIC-PIG-I-0017-2021

Informe de revisión de la memoria de cálculo del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera



Fuente: UNOPS

Preparado por:
Ing. Gustavo Adolfo Badilla Vargas, D.Sc.
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Mayo, 2021





1. Informe LM-EIC-PIG-I-0017-2021		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de revisión de la memoria de cálculo del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera		4. Fecha del Informe 26/05/2021
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>A solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR se presenta a continuación el resultado de la revisión del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D del proyecto La Bandera. El presente informe es un complemento a la revisión realizada en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, en el cual se solicitaba información adicional sobre las memorias de cálculo para las modificaciones observadas. A partir de la revisión de los documentos de la memoria de cálculo realizada por la empresa VSL Construction Systems SA, fue posible constatar que existen diferencias importantes entre la propuesta inicial del muro de suelo reforzado y la estructura del muro que está siendo construido. En general, fueron constatadas diferencias en los parámetros mecánicos de los materiales utilizados, la geometría y, en especial, en la cimentación del muro. De la revisión realizada, se destaca la importancia de verificar constantemente la capacidad de soporte obtenida en sitio para la cimentación y comparar estos valores con la presión de servicio σ_v, que se muestra en la Tabla 2, para las diferentes alturas del muro. Ya que, en el caso que sea inferior a lo esperado, será necesario exigir al Contratista realizar las obras de mejora que fueran necesarias para garantizar el cumplimiento de calidad, especificaciones y estándares de seguridad contemplados en el diseño y en el correcto funcionamiento del muro.</i>		
8. Palabras clave Muros de suelo reforzado, profundidad de entrega, enrocado colocado con mortero.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 9
13. Preparado por: Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc. Ingeniero Programa de Ingeniería Geotécnica Fecha: 26/mayo/2021		
14. Revisado y aprobado por: Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc. Coordinadora del Programa de Ingeniería Geotécnica Fecha: 26/mayo/2021		



Contenido

I.	Introducción	4
II.	Comentarios generales	4
II.1	Dimensiones del muro	4
II.2	Propiedades mecánicas de los materiales del muro	5
II.3	Comentarios sobre la cimentación de enrocado colocado con mortero como cimentación del muro de suelo reforzado – Capacidad de Soporte y profundidad de entrega (D)	6
III.	Comentarios finales	8
IV.	Referencias	9



Informe de revisión de la memoria de cálculo del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra la revisión realizada por el Programa de Ingeniería Geotécnica a los documentos de la memoria de cálculo y planos del rediseño realizado para el muro MSR-EJE6_011.D con la finalidad proporcionar estabilidad al talud que conforma la margen del río Torres.

Entre los documentos revisados se encuentran:

- 203031-201-PD-BG-TOMO 04-02 Proyecto de las intersecciones de La Bandera y Guadalupe. San José (Costa Rica). Proyecto de diseño de detalle. Tomo 4. Anexo 08 Estructuras (2). Versión Julio 2015
- LM-EIC-PIG-I-0012-2021 Informe de visita de campo: Proyecto intersección rotonda de La Bandera.
- LM-EIC-PIG-I-0016-2021 Informe de revisión del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera
- Los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04
- Muros de suelo reforzado VSOL® Muro del eje 6 Memoria de cálculo

A continuación, se muestran los comentarios de los resultados y análisis desarrollados.

II. Comentarios generales

La revisión realizada esta basada en los documentos aportados por la unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

El presente informe es un complemento a la revisión realizada en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, en el cual se solicitaba información adicional sobre las memorias de cálculo para las modificaciones observadas en el MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera, con la finalidad de verificar el cumplimiento de las especificaciones y estándares de seguridad asumidos para el cumplimiento de las premisas de diseño y el correcto funcionamiento del muro.

En los siguientes apartados, se realizarán los comentarios pertinentes a los aspectos comentados en el informe anterior y las informaciones suministradas en la memoria de cálculo, presentada en el documento del muro de suelo reforzado VSOL® Muro del eje 6 Memoria de cálculo, elaborado por la empresa VSL Construction Systems SA.

II.1 Dimensiones del muro

Como se comentó en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, las dimensiones del muro sufrieron modificaciones con respecto a la propuesta original. En este sentido, tanto los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04, que fueron revisados anteriormente y la memoria de cálculo contenida en el documento "VSEX.669.147-ME6. Muros de suelo reforzado VSOL®: Muro del eje 6: Memoria de cálculo" confirman que el muro del Eje 6, corresponde a un muro paralelo a la carretera, con una longitud total de 76,48 metros. Las alturas mínimas y máximas del muro corresponden a 1,20 metros y 9,23 metros, respectivamente. La [Figura 1](#), muestra la geometría y las dimensiones del muro que será construido en el Eje 6.

Informe LM-EIC-PIG-I-0017-2021	Mayo, 2021	Página 4 de 9
--------------------------------	------------	---------------

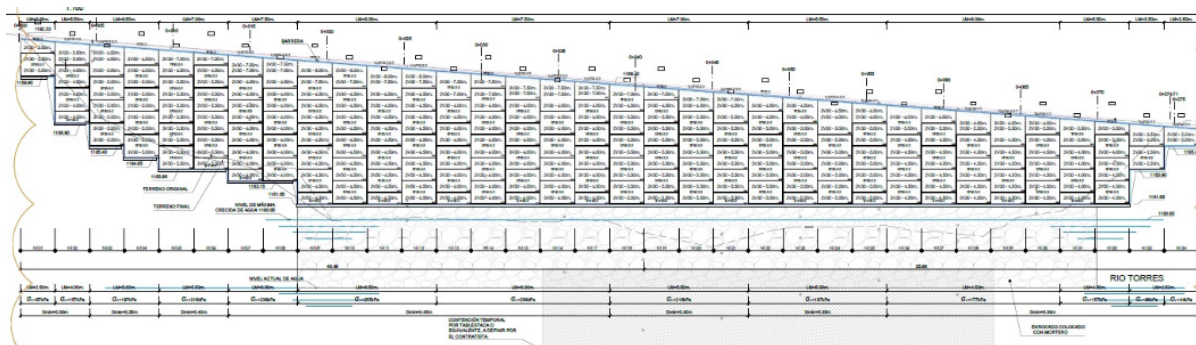


Figura 1. Dimensiones del muro propuesto en el Eje 6, según el nuevo diseño propuesto

II.2 Propiedades mecánicas de los materiales del muro

Tal y como fue apuntado en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, fueron encontradas diferencias en las propiedades mecánicas y en los parámetros del suelo a utilizarse en el muro. Así pues, el documento VSEX.699.147-ME6, confirmó que las propiedades contenidas en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04, corresponden a los mismos valores utilizados en la memoria de cálculo. Estos valores, fueron provistos por la empresa Grupo Puentes y se resumen a continuación:

- Ángulo de fricción interno del macizo $\geq 34^\circ$
- Ángulo de fricción interno del trasdós $\geq 34^\circ$
- Ángulo de fricción interno de la cimentación de 30°

Además, el documento presentando por VSL Construction Systems SA, proporciona otras características que deben cumplir los materiales a utilizar en el muro. Estos valores son comparados con los valores especificados en el CR-2010 para establecer su cumplimiento (ver [Tabla 1](#)):

Tabla 1. Propiedades de los materiales a emplear en el muro

Propiedades	Características	Valores límite en la memoria de cálculo	Especificaciones del CR-2010	Cumplimiento
Mecánicas	Ángulo de fricción interno	$\geq 34^\circ$	$\geq 34^\circ$, en la porción que pasa la malla de 2 mm	*
	Tamaño máximo partículas del suelo	75mm	≤ 100 mm	Cumple
	%Pas No. 40	$\leq 60\%$	0-60	Cumple
	%Pas No. 200	$\leq 15\%$	0-15	Cumple
	Índice plasticidad PI=LL-LP	<6	<6	Cumple
Físico-químicas	Contenido materia orgánica	≤ 100 mg/kg	≤ 100 mg/kg	Cumple
	Sulfatos solubles (SO4)	≤ 2000 mg/kg	≤ 200 mg/kg	*
	pH	4,5 – 9,0	5-10	*

Como se observa en la tabla anterior, la mayoría de los parámetros cumple con las especificaciones del CR-2010. En el caso de los parámetros marcados con (*) es necesario solicitar algunas aclaraciones con respecto al valor utilizado en la memoria de cálculo. Por ejemplo, en el caso del ángulo de fricción interno, es necesario verificar si el valor indicado por VSL Construction Systems SA, corresponde al material que pasa la malla de 2 mm. Por su parte, en el caso del incumplimiento del pH es necesario verificar si valores inferiores a 5, tal y como lo especifica el CR-2010, puede afectar el comportamiento

de los materiales. Ya en el caso de los sulfatos solubles, es necesario verificar la magnitud del valor indicado por VSL Construction Systems SA.

II.3 Comentarios sobre la cimentación de enrocado colocado con mortero como cimentación del muro de suelo reforzado – Capacidad de Soporte y profundidad de entrega (D)

En el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, se observó que la propuesta del muro sufrió modificaciones en lo que respecta a la extensión o área del muro cimentada sobre el enrocado colocado con mortero. En este sentido la memoria de cálculo contenida en el documento “VSEX.669.147-ME62” comprueba que el muro del Eje 6, se apoya en la mayoría de su longitud (en la zona más cercana del Río Torres), en una base formada por un enrocado colocado con mortero.

En este sentido, el documento presentado por VSL Construction Systems SA., establece valores de presión admisible del terreno de cimentación que sean suficientes para resistir las cargas que transmitirá el muro de suelo reforzado VSol.

De esta manera, en la memoria de cálculo se determina la presión de servicio (o presión de contacto) que transmite el muro, σ_v , usando la metodología de Meyerhof. Esta presión se compara con la carga de hundimiento del suelo de cimentación (indicada en el informe geotécnico) con un factor de seguridad de 2,25 (1,50x1,50) en lugar del valor de 3 usualmente utilizado en geotecnia. Criterio adoptado por VSL para este tipo de estructuras. Sin embargo, con respecto al valor del Factor de Seguridad utilizado en la memoria de cálculo, se debe tener en consideración lo que establece el Código de Cimentaciones de Costa Rica, documento de aplicación obligatoria para las obras geotécnicas del país, en el cual se indica que, como regla general, deberá aplicarse un factor de seguridad de 3 si el terreno es de tipo normal y si sus propiedades se han investigado en forma correcta. Ahora bien, el mismo Código de Cimentaciones indica que el Factor de Seguridad a utilizar no debe ser inferior a 2,0 aunque se conozcan las cargas con un grado de precisión elevado y se conozcan excepcionalmente bien las propiedades del suelo. Teniendo esto en cuenta, se recomienda solicitar al Contratista y a la empresa VSL Construction Systems SA. brindar mayores informaciones que permitan respaldar o justificar el cambio en el valor del factor de seguridad, para verificar si esta variación puede responder a una definición excepcional y precisa de las cargas impuestas y de las propiedades del suelo.

Adicionalmente, durante la revisión de la memoria de cálculo, aparentemente fueron realizados los análisis de estabilidad interna y externa de los muros de suelo reforzado. Sin embargo, no se presentan de forma explícita los valores de los factores de seguridad obtenidos, sino que solamente aparece la palabra “OK” indicando el cumplimiento de los criterios. Así pues, se recomienda solicitar los valores numéricos correspondientes con la finalidad de verificar el cumplimiento de los criterios.

Así pues, si los estudios del informe geotécnico indican que la capacidad de la cimentación es insuficiente para resistir las cargas que transmite el muro VSol o si se prevén asentamientos incompatibles con el buen funcionamiento de la estructura, previamente al inicio del montaje del muro se deberá mejorar el suelo de cimentación con métodos geotécnicos apropiados. Entre las técnicas que pueden ser consideradas, entre otras se mencionan las siguientes:

- Sustitución de capas de baja calidad por un suelo bueno y, si es preciso, tratado;
- Precarga;
- Consolidación dinámica;
- Columnas de grava;
- Inyección de pasta de cemento a alta presión (“jet-grouting”);
- Ejecución de drenes verticales para acelerar la consolidación.

En el caso específico del muro del Eje 6, los valores de las presiones máximas de servicio que transmite el muro, σ_v , se encuentran indicadas debajo de los alzados en los Planos del Proyecto.

Informe LM-EIC-PIG-I-0017-2021	Mayo, 2021	Página 6 de 9
--------------------------------	------------	---------------

Por otro lado, como se mencionó en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, otro parámetro que debe ser considerado en el diseño corresponde a la profundidad de entrega (D) (también conocida como empotramiento mínimo), la cual debe dimensionarse, en principio para evitar el hundimiento del terreno situado debajo del paramento, y al mismo tiempo evitar el sifonamiento por flujo en torno al mismo. Según la memoria de cálculo presentado por VSL Construction Systems SA, para este tipo de muros según la normativa, se puede adoptar una profundidad mínima de un 5% de la altura del paramento (es decir, $H/20$). Esta profundidad puede cambiarse si el terreno de apoyo fuera muy competente o si la pendiente del intradós no es pronunciada, o bien, dependiendo de la capacidad de soporte del suelo de cimentación.

Además de estos parámetros, tal y como se mencionó en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021 la longitud de los flejes (L) debería ser mayor o igual a 0,7 la altura del muro o paramento (H).

Bajo estos supuestos, en el caso específico del muro del Eje 6, VSL determina los valores que debe cumplir el muro propuesto. De esta manera, la **Figura 2**, muestra un ejemplo de los valores de las presiones máximas de servicio que transmite el muro, σ_v , y las profundidades de entrega (D_{min}) que se encuentran indicadas debajo de los alzados en los Planos del Proyecto.

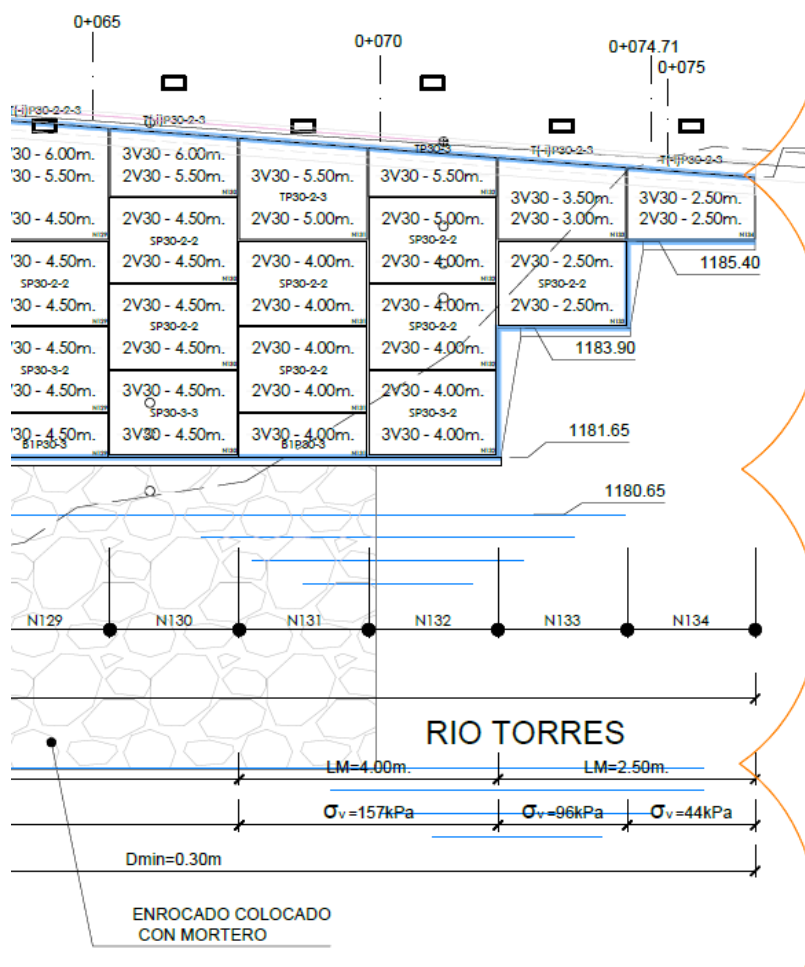


Figura 2. Ejemplo de valores de las presiones máximas de servicio transmitidas por el muro, σ_v , y las profundidades de entrega (D_{min})

Con base en los valores reportados en la memoria de cálculo suministrada por VSL, es posible obtener la [Tabla 2](#), la cual presenta un resumen con los valores de D_{\min} , L y σ_v para las diferentes alturas de paramento tipo, H , considerados en los cálculos y que deben ser verificados en campo para el cumplimiento de los diseños propuestos.

De los resultados mostrados en la [Tabla 2](#), se puede decir que todos los valores de la profundidad de entrega son iguales a superiores a la recomendación de una profundidad mínima de un 5% de la altura del paramento (es decir, $H/20$). De igual forma la longitud de los flejes (L), son superiores o iguales a 0,7 la altura del muro o paramento (H).

Tabla 2. Resumen de los parámetros que deben ser verificados en campo

H (m)	D_{\min} (m)	L (m)	σ_v , (kN/m ²)
1,50	0,30	2,5	43,89
2,25	0,30	2,5	66,52
3,00	0,30	2,5	96,16
3,75	0,30	3,0	116,97
4,50	0,30	3,5	137,30
5,25	0,30	4,0	157,31
6,00	0,30	4,5	177,11
6,75	0,34	5,0	196,76
7,50	0,38	5,5	216,30
8,25	0,41	6,0	235,75
9,00	0,45	6,5	255,15

Finalmente, como fue mencionado en el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021, aunque, es posible esperar que el enrocado de concreto presente mejores características de soporte para el muro de suelo reforzado propuesto, es necesario acompañar muy de cerca las propiedades mecánicas de la cimentación del muro. En este sentido, el mismo documento de la memoria de cálculo presentado por VSL Construction System, indica en el Plano No. 209-001 sobre “Detalles generales Sistema VSoL EPV” en el punto A.7 de los comentarios Generales, lo siguiente:

“La presión máxima que transmite el macizo reforzado a la cimentación se indica debajo del alzado del muro. Es responsabilidad del Contratista Principal verificar que la cimentación tiene capacidad suficiente y en caso contrario, realizar las obras de mejora que fueran necesarias”

Así también, en lo que respecta a la Ejecución, en el punto C2, se indica nuevamente la necesidad de realizar las obras de mejora de la cimentación que sean necesarias en el caso que la cimentación no tenga capacidad suficiente.

De esta manera, tanto el informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021 como el documento “VSEX.669.147-ME62” enfatizan la necesidad de que el Contratista de la obra lleve a cabo un seguimiento continuo de las propiedades mecánicas de esta cimentación. Estas propiedades, en especial, las capacidades de soporte obtenidas en campo, deben ser verificadas y comparadas con la presión de servicio (o presión de contacto) que transmite el muro, σ_v , que se muestra en la [Tabla 2](#), para ver si los valores obtenidos en sitio son iguales o superiores a estos últimos. De esta forma, será posible garantizar el cumplimiento de calidad, especificaciones y estándares de seguridad que garanticen el las premisas de diseño y el correcto funcionamiento del muro.

III. Comentarios finales

Después de hacer la revisión de la información correspondiente a la memoria de cálculo del diseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera, realizada por la empresa VSL Construction Systems SA, fue posible constatar que existen diferencias importantes entre la propuesta inicial del muro de suelo



reforzado y la estructura del muro que está siendo construido. En general, fueron constatadas diferencias en los parámetros mecánicos de los materiales utilizados, la geometría del muro y, en especial, en la cimentación del muro.

En este sentido, es necesario llevar a cabo un seguimiento continuo del cumplimiento de las propiedades de los materiales y de los parámetros de diseño que se muestran en las [Tablas 1 y 2](#), respectivamente. Especialmente, es necesario comprobar que el Contratista Principal de la obra verificará constantemente la capacidad de soporte de la cimentación obtenida en sitio y la comparará con los valores de la presión de servicio σ_v , que se muestra en la [Tabla 2](#), para las diferentes alturas del muro. Ya que, en el caso que sea inferior a lo esperado, será necesario exigir al Contratista realizar las obras de mejora que fueran necesarias para garantizar el cumplimiento de calidad, especificaciones y estándares de seguridad contemplados en el diseño y en el correcto funcionamiento del muro.

IV. Referencias

Euroestudios. (2015) **203031-201-PD-BG-TOMO 04-02 Proyecto de las intersecciones de La Bandera y Guadalupe. San José (Costa Rica). Proyecto de diseño de detalle. Tomo 4. Anexo 08 Estructuras (2)**. San José, Costa Rica.

Euroestudios. (2015). **Proyecto de las intersecciones de La Bandera y Guadalupe. San José (Costa Rica). Proyecto de diseño de detalle. Archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04**. San José, Costa Rica.

Programa de Ingeniería Geotécnica. (2021). **LM-EIC-PIG-I-0012-2021 Informe de visita de campo: Proyecto intersección rotonda de La Bandera**. LanammeUCR. San José, Costa Rica.

Programa de Ingeniería Geotécnica. (2021). **Informe: LM-EIC-PIG-I-0016-2021 Informe de revisión del rediseño del muro MSR-EJE6 011.D proyecto La Bandera**. LanammeUCR. San José, Costa Rica.

VSL Construction Systems SA. (2021). **VSEX.669.147-ME6: Muros de suelo reforzado VSOL®: Muro del eje 6: Memoria de cálculo**. Barcelona España.