



Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-EIC-PIG-I-0016-2021

Informe de Revisión 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-0016-2021		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de Revisión del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera		4. Fecha del Informe 20/05/2021
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. A partir de la revisión de los documentos de la memoria de cálculo y planos del muro de relleno reforzado (sistema de tierra armada) ubicados en el eje 6 para proporcionar estabilidad al talud que conforma la margen del río Torres, se hace necesario solicitar información adicional sobre la existencia de nuevas memorias de cálculo para las modificaciones observadas. Especialmente, es necesario solicitar informaciones relacionadas con el espesor del enrocado colocado con mortero, así como las propiedades mecánicas de esta cimentación y de los demás parámetros de los materiales empleados en el muro, puesto que existen diferencias entre los parámetros originalmente utilizados en la memoria de cálculo y lo que se observa en los nuevos planos. Lo anterior, permitirá verificar y evaluar el dimensionamiento de la profundidad de entrega (D) y los niveles de esfuerzos debajo del paramento del muro. De esta manera, será posible verificar el cumplimiento de la capacidad de soporte del terreno de cimentación, el cumplimiento de calidad, especificaciones y estándares de seguridad que garanticen el cumplimiento de las premisas de diseño y 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 11
13. Preparado por: Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, D.Sc. Ingeniero Programa de Ingeniería Geotécnica Fecha: 20/mayo/2021		
14. Revisado y aprobado por: Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc Coordinadora del Programa de Ingeniería Geotécnica Fecha: 20/mayo/2021		



Contenido

I.	Introducción	4
II.	Comentarios generales	4
II.1	Dimensiones del muro	5
II.2	Propiedades mecánicas de los materiales empleados en el muro	6
II.3	Características del enrocado colocado con mortero como cimentación del muro de suelo reforzado	6
II.3.1	Comentarios sobre la profundidad de entrega (D) y la capacidad de soporte.....	7
III.	Comentarios finales	10
IV.	Referencias	11



Informe de revisión 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 muro de relleno reforzado (sistema de tierra armada) ubicados en el eje 6 para 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
- 203031-201-PD-BG-TOMO 06-02 Proyecto de las intersecciones de La Bandera y Guadalupe. San José (Costa Rica). Proyecto de diseño de detalle. Tomo 6. Planos. Versión Julio 2015
- LM-EIC-PIG-I-0012-2021 Informe de visita de campo: Proyecto intersección rotonda de La Bandera.
- Los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04

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.

Se revisan los documentos “203031-201-PD-BG-TOMO 04-02” y “203031-201-PD-BG-TOMO 06-02” los cuales contienen las memorias de cálculo y los planos, respectivamente, del muro de relleno reforzado, elaborado por la empresa EUROESTUDIOS. Estos documentos presentan la propuesta inicial del muro, haciendo la acotación de que para aquel momento no había sido posible acceder a la zona de apoyo del muro para la obtención de datos del terreno en la profundidad requerida. De esta manera, la empresa EUROESTUDIOS sugirió que previo al inicio de las obras de cimentación, sería necesario realizar estudios complementarios de reconocimiento de campo en profundidad y que con la ayuda de especialistas en geotecnia se confirmaría o modificarían las hipótesis de partida de los diseños. La acotación se considera adecuada desde el punto de vista geotécnico para asegurar el adecuado apoyo de la estructura propuesta.

Por su parte, el informe LM-EIC-PIG-I-0012-2021, de la visita realizada el 13 abril del presente año, apuntó algunas diferencias observadas en sitio, entre lo que se había presentado en los documentos anteriores y lo que pudo evaluarse en campo. Específicamente, se notaron variaciones en el nivel de cimentación del muro, así como del espesor del enrocado colocado con mortero, por lo cual se solicitaron los documentos referentes a posibles modificaciones en el proyecto. De esta manera, fueron recibidos los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04 con los cambios correspondientes.

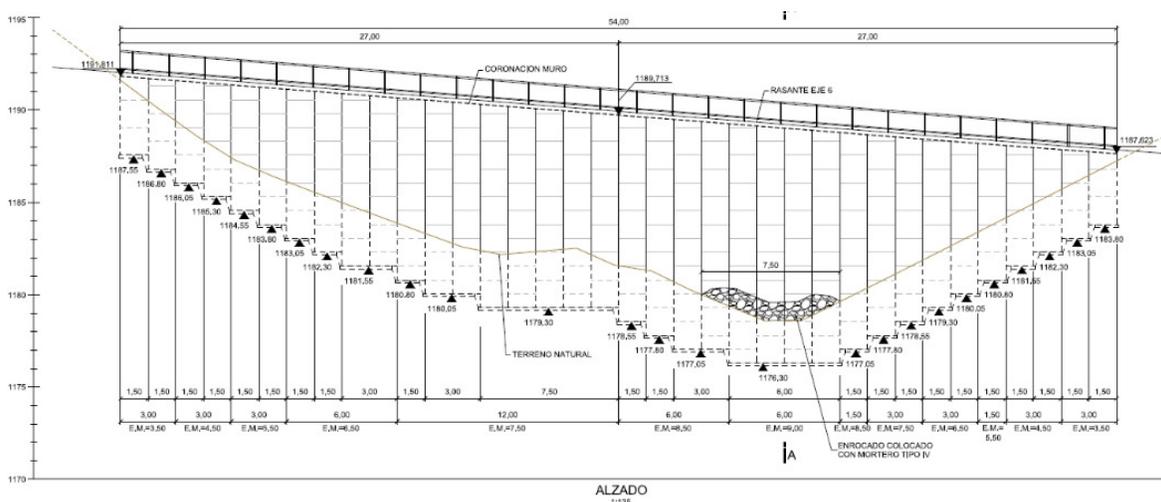
En los siguientes apartados, se realizarán los comentarios pertinentes a la comparación entre la propuesta inicial y los nuevos planos revisados y estudiados.

Informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021	Mayo, 2021	Página 4 de 11
--------------------------------	------------	----------------

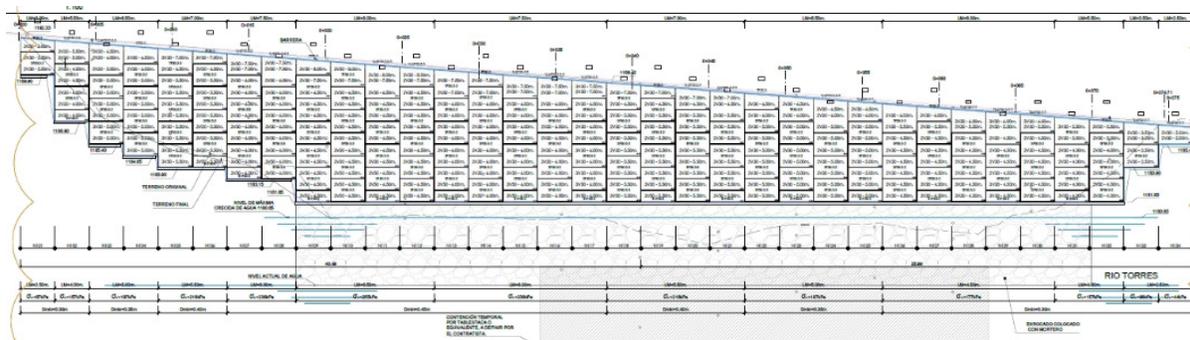
II.1 Dimensiones del muro

Al revisar los documentos “203031-201-PD-BG-TOMO 04-02” y “203031-201-PD-BG-TOMO 06-02”, se indica que la obra se trata de un muro de suelo reforzado en la zona de salida del viaducto del paso inferior de La Bandera, con una longitud de 54 m y una altura máxima de 13,50 m. Inicialmente se indica que el dimensionamiento del muro estaba condicionado por la excavación de los primeros dos metros y medio del suelo de cimentación (ver [Figura 1a](#)).

Por su parte, de acuerdo con los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04 ([Figura 1b](#)) se mantiene la propuesta de un muro de suelo reforzado. Sin embargo, la longitud del muro fue modificada para una longitud de 76,5 m y una altura máxima de aproximadamente 8,5 m. En este sentido, se considera favorable la reducción de la altura máxima del muro, puesto que una reducción de la altura muro, también implica una disminución del volumen de relleno de material. De estos mismos planos se observa que la longitud de los flejes (L) cumplen con las recomendaciones del “Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado” el cual establece que la longitud de estos debe ser superior o igual a 0,7 la altura del muro (H). Sin embargo, tal y como lo indica este mismo documento, dependiendo de las consideraciones de estabilidad general, así como la fricción entre el suelo y los elementos de soporte podría requerir longitudes L superiores a 0,7 H.



a) Propuesta de diseño inicial de muro de suelo reforzado



b) Nuevo diseño de muro de suelo reforzado
Figura 1. Dimensiones de muros propuestos



II.2 Propiedades mecánicas de los materiales empleados en el muro

Al revisar el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 04-02” relacionado con las memorias de cálculo del muro inicialmente propuesto, se observa que fueron asumidas las siguientes propiedades para los materiales:

- Ángulo de fricción interno del macizo de 36°
- Ángulo de fricción interno del trasdós de 30°
- Ángulo de fricción interno de la cimentación de 30°

Por otro lado, conforme con los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04, los criterios de diseño según AASHTO 2012, indica los siguientes valores:

- 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°

Como el valor del ángulo de fricción interno del trasdós indicada en los planos es mayor que el valor utilizado en la memoria de cálculo presentada en el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 04-02”, se puede esperar que los resultados finales se encuentren del lado de la seguridad. Mientras que, el valor del ángulo de fricción interno del macizo presentada en los planos es menor que el utilizado en la memoria de cálculo, lo cual podría sugerir que la estructura colocada en campo podría presentar un comportamiento de menor capacidad que lo esperado. Debido a lo anterior, se considera oportuno solicitar una aclaración de cómo estas variaciones pueden influir en los cálculos finales y, así, verificar que las condiciones de diseño y construcción del muro son apropiadas para garantizar su correcto funcionamiento.

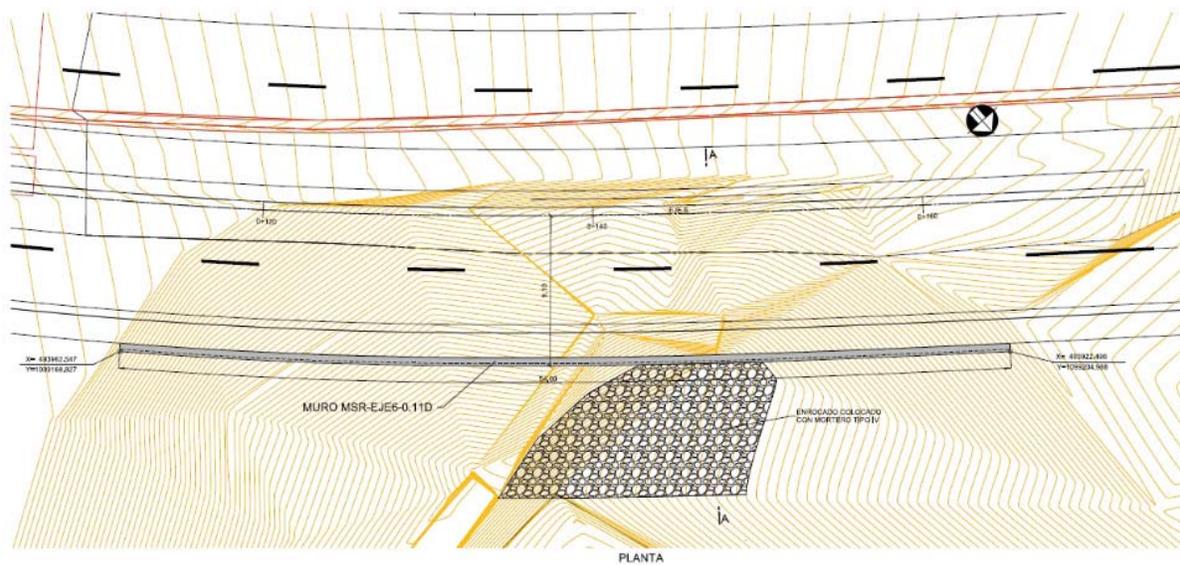
II.3 Características del enrocado colocado con mortero como cimentación del muro de suelo reforzado

Tal y como se mencionó en el informe LM-EIC-PIG-I-0012-2021, a partir de la visita de campo se observó que el enrocado colocado con mortero presenta diferencias con la geometría presentada en el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 06-02”. Como se indicó en este informe, el enrocado colocado con mortero estaba previsto con 1 m de espesor. Sin embargo, en la visita en campo, no fue posible determinar el nivel al cual se construyó la cimentación del muro MSR Eje 6-011D.

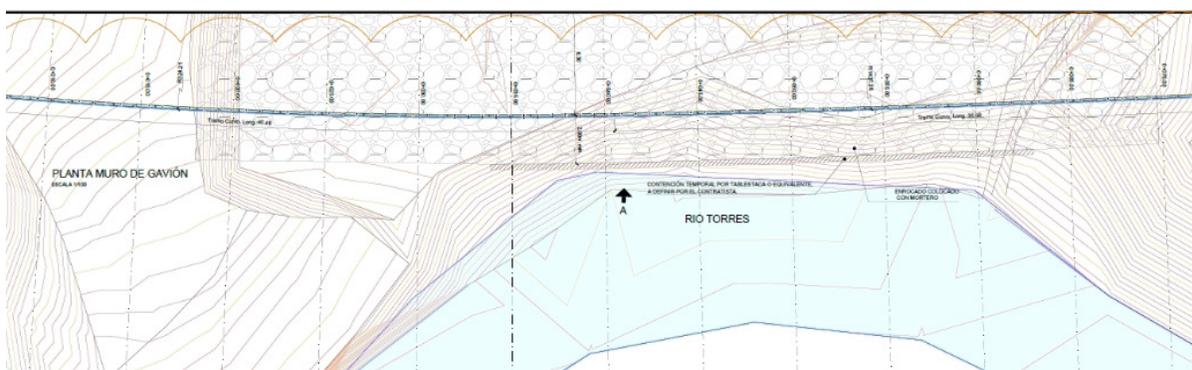
Inicialmente, tal y como se puede constatar al comparar la [Figura 2a](#) y [2b](#), correspondiente a la geometría presentada en el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 06-02” y el archivo de los planos 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04 respectivamente, se observa que en la propuesta inicial, solamente una pequeña extensión del muro se encontraría cimentada próxima al enrocado colocado con mortero. Por su parte, los planos más recientes indican que la gran mayoría del muro se encuentra cimentado sobre el enrocado colocado con mortero. Aunque, es posible esperar que el enrocado de concreto presenta mejores características de soporte para el muro de suelo reforzado propuesto, se desconoce el espesor del enrocado colocado con mortero construido así como las propiedades mecánicas de esta cimentación. Debido a esto, no es posible hacer la debida revisión para verificar el cumplimiento de calidad, especificaciones y estándares de seguridad para garantizar el cumplimiento de las premisas de diseño que garanticen el correcto funcionamiento del muro.

Por otro lado, se sugiere solicitar información relativa al sistema de contención temporal que está siendo (o será) utilizado, puesto que según los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04, esta información es definida por el contratista de la obra. Sin embargo, en este momento no se cuenta con ningún dato para verificar si el sistema temporal de contención es adecuado para garantizar la seguridad de la obra durante la etapa constructiva, ni tampoco durante el periodo de servicio del proyecto.

Informe LM-EIC-PIG-I-0016-2021	Mayo, 2021	Página 6 de 11
--------------------------------	------------	----------------



a) Propuesta del diseño inicial para la extensión del área de enrocado colocado con mortero



b) Extensión del área de enrocado colocado con mortero en el nuevo diseño
Figura 2. Ubicación del área de enrocado colocado con mortero

II.3.1 Comentarios sobre la profundidad de entrega (D) y la capacidad de soporte

Según el “Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado”, mencionado como referencia en la memoria de cálculo presentada en el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 04-02”, la profundidad de entrega (D) 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. Este valor de D depende de factores como:

- Riesgo de descalce de la obra durante trabajos posteriores (zanjas) o bajo ciertas condiciones naturales (terrenos en pendiente, socavación, etc.)
- Riesgo de sifonamiento en caso de concentrarse las filtraciones bajo el paramento.

En este sentido, después de la revisión realizada de la memoria de cálculo contenida en el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 04-02” fue posible constatar que la profundidad de entrega (D) asumida para los diseños iniciales fue de 2,25 m. Por su parte, los planos presentados en el documento “203031-201-PD-BG-TOMO 06-02”, tal y como se muestran en la [Figura 3](#), indican esta misma consideración de esta profundidad de entrega, $D = 2,25$ m, en la construcción de los muros de suelo reforzado, tanto para

las secciones que no tienen el muro de enrocado colocado con mortero, así como en las secciones con la presencia del enrocado colocado con mortero. Obsérvese, además que, en la [Figura 3b](#), el enrocado colocado con mortero también aporta una profundidad de entrega (D), ya que se encuentra por encima de la cimentación del muro.

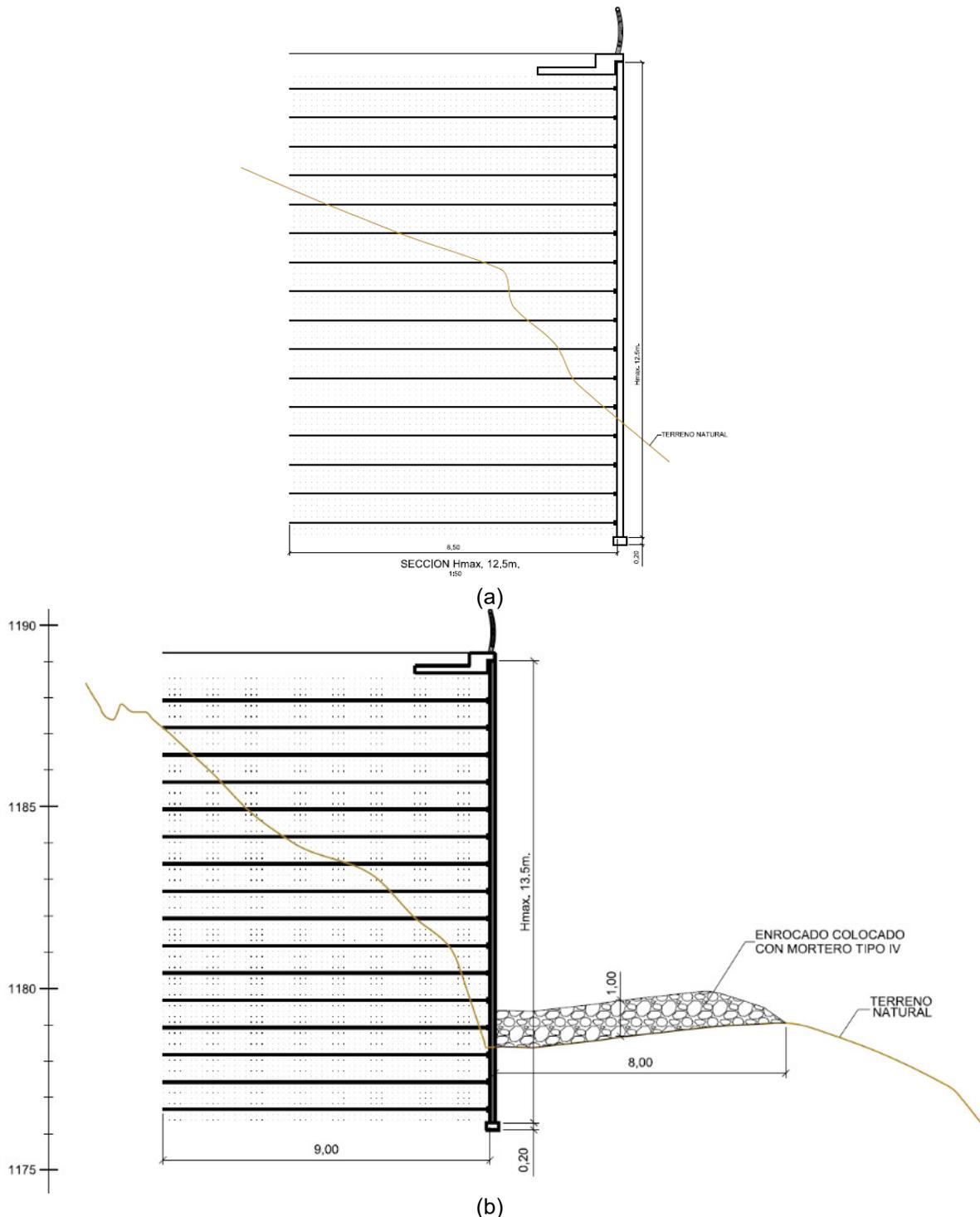
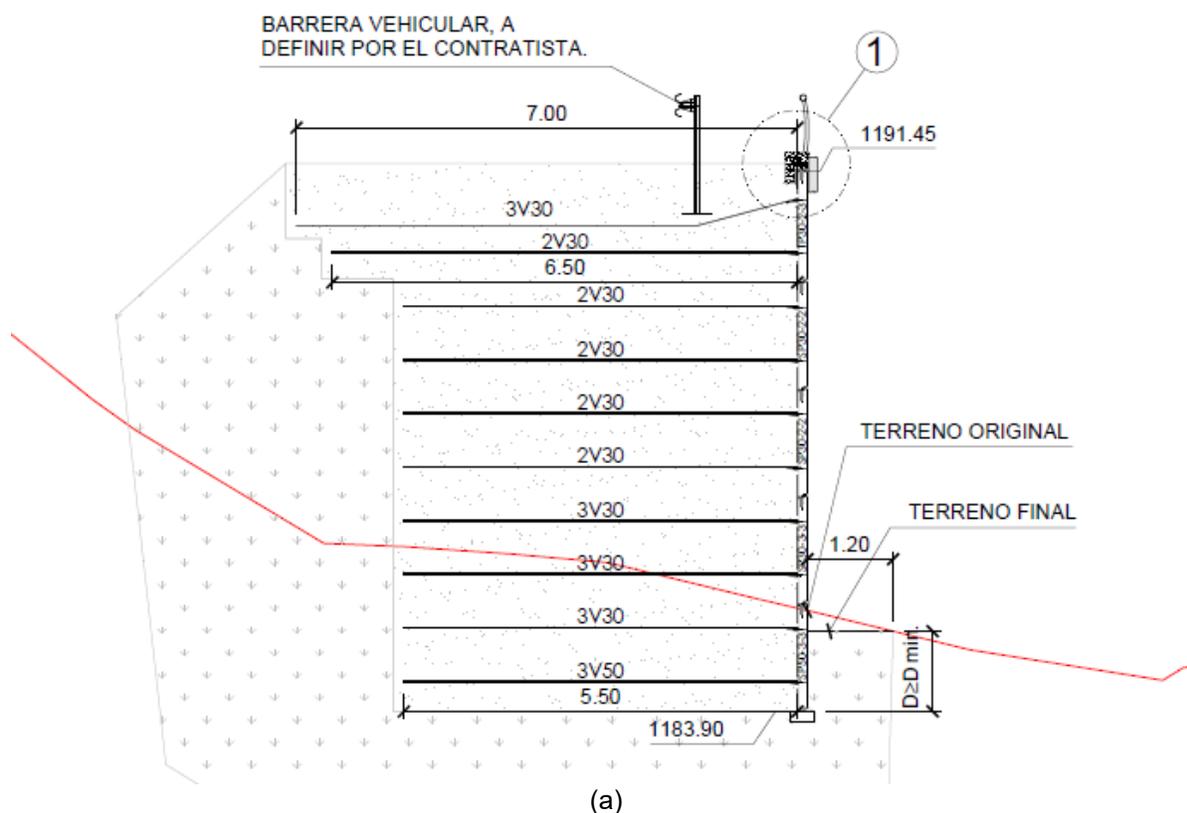
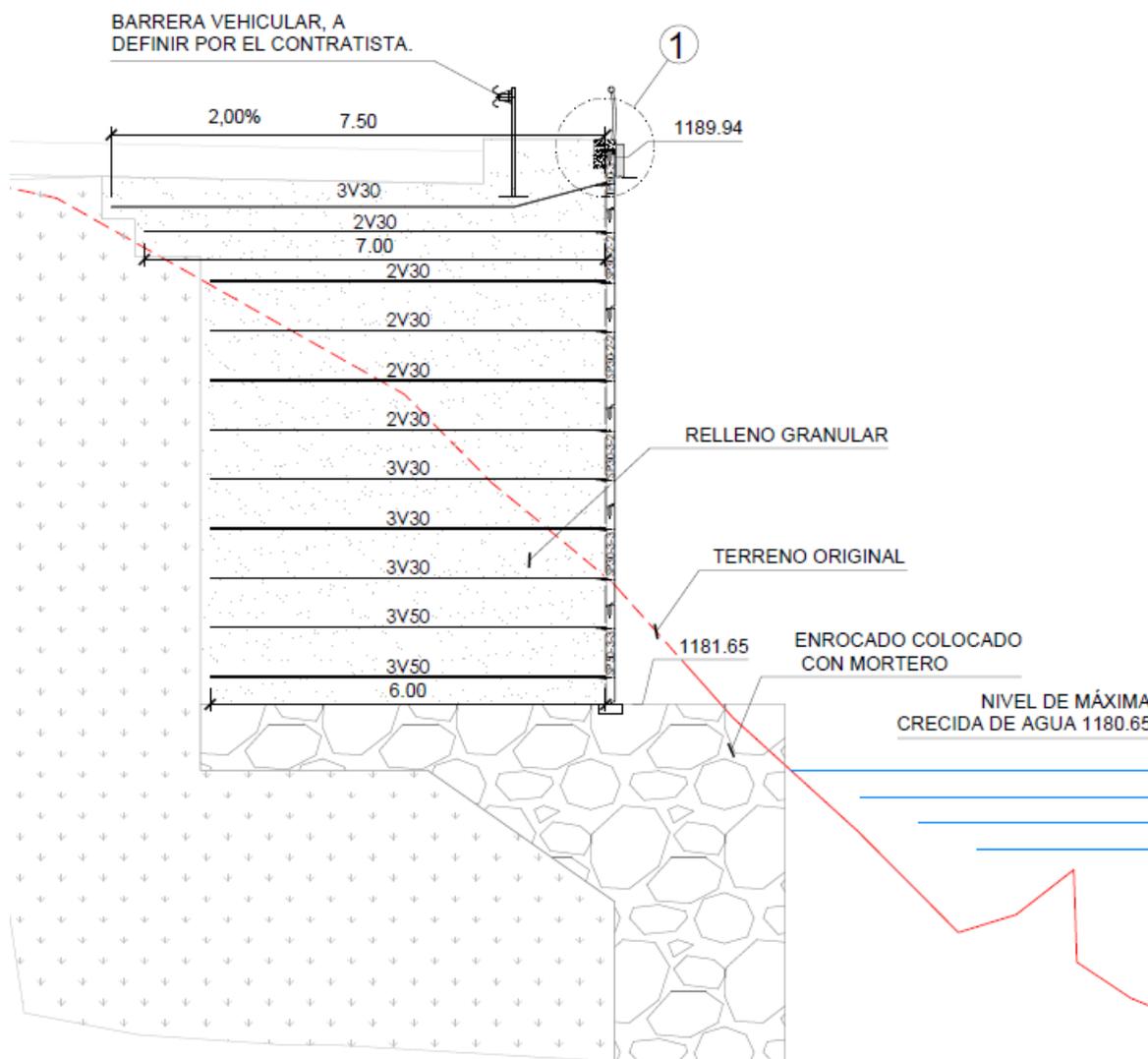


Figura 3. Secciones transversales del diseño inicial del muro de suelo reforzado: (a) muro cimentado en el suelo natural, (b) muro cimentado en las proximidades del enrocado colocado con mortero

Por su parte, en los planos contenidos en el archivo 203031-401-PD-BG-P-7.4.9-H01-H04, se observa que aquellas secciones del muro que no se encuentran cimentadas en el enrocado colocado con mortero presentan una profundidad de entrega (D) que no se encuentran explícitamente definida (ver [Figura 4a](#)), la cual según el mismo “Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado”, establece que en cualquier caso debe prever una profundidad $D \geq 0,40$ m para todas las obras, a no ser que estén cimentadas sobre un terreno compacto. Dicho lo anterior, se considera necesario solicitar la memoria de cálculo para los nuevos diseños del muro, con la finalidad de verificar los valores especificados para la profundidad de entrega (D) y evaluar si es suficiente para garantizar la seguridad del muro.

En el caso de las secciones del muro próximas al enrocado colocado de mortero, tal y como se muestra en la [Figura 4b](#), muestran una modificación importante con respecto al valor de la profundidad de entrega, donde sugiere que el valor D igual a cero. Esta condición puede ser aceptable, siempre y cuando, el muro se encuentre sobre un terreno compacto (roca firme, zócalo de concreto, antigua calzada, etc.), tal y como lo indica el “Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelo reforzado”. En todo caso, nuevamente se hace necesario solicitar la información del espesor del enrocado colocado con mortero, así como las propiedades mecánicas de esta cimentación y las memorias de cálculo correspondientes con la finalidad de evaluar si fue considerado el dimensionamiento de la profundidad de entrega (D) y si el nivel de esfuerzos debajo del paramento del muro podría rebasar la capacidad de soporte del terreno de cimentación.





(b)

Figura 4. Secciones transversales del nuevo diseño del muro de suelo reforzado: (a) muro cimentado en el suelo natural, (b) muro cimentado en las proximidades del enrocado colocado con mortero

III. Comentarios finales

Después de hacer la revisión del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera se hace necesario solicitar información adicional sobre las memorias de cálculo para las modificaciones observadas en el diseño del muro de suelo reforzado. Especialmente, es necesario solicitar informaciones adicionales sobre el espesor del enrocado colocado con mortero, así como las propiedades mecánicas de esta cimentación, así como también los demás parámetros de los materiales empleados en el muro, puesto que fueron observadas diferencias entre los parámetros originalmente utilizados en la memoria de cálculo y lo que se encuentra indicado en los planos. Lo anterior, permitirá verificar y evaluar el dimensionamiento de la profundidad de entrega (D), los niveles de esfuerzos debajo del paramento del muro para verificar el cumplimiento de la capacidad de soporte del terreno de



cimentación, el cumplimiento de calidad, especificaciones y estándares de seguridad que garanticen el cumplimiento de las premisas de diseño y el correcto funcionamiento del muro.

Aunque el presente informe fue enfocado en la revisión del rediseño del muro MSR-EJE6_011.D proyecto La Bandera, es necesario reforzar los comentarios presentados en el informe LM-EIC-PIG-I-0012-2021, en el cual se destaca la importancia de prestar atención a la adecuada selección y colocación de los rellenos de los muros de relleno reforzado y en general de cualquier relleno colocado en el proyecto de la rotonda de La Bandera hacia Guadalupe.

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) **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 6. Planos.** 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.