



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-PIG-10-2021

Informe de la revisión del diseño del muro de retención del Proyecto Ampliación Ruta 32: desde el Puente Ricardo Saprissa al Barrio Socorro

INFORME FINAL



Tomado de: <https://www.ameliarueda.com>

Preparado por:

Ing. Ana Lorena Monge S., M.Sc - Coordinadora
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Marzo, 2021



1. Informe LM-PIG-10-2021		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de la revisión del diseño del muro de retención del Proyecto Ampliación Ruta 32: desde el Puente Ricardo Saprissa al Barrio Socorro.		4. Fecha del Informe 3 de marzo de 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 Lanamme, se presenta a continuación el resultado de la revisión de los informes relacionados con el estudio de suelos realizado a la altura del Barrio Socorro, para generar el diseño de los muros que se colocarán en los taludes de corte de la ampliación de la Ruta Nacional 32.</i> <i>De esta revisión se observa que la extensión de la exploración del sitio parece insuficiente pues abarca solo 50 m del diseño completo del muro que equivale a 1 km de longitud. Además, por la información limitada se realizan suposiciones para establecer el modelo geotécnico que no muestran haber sido corroboradas por inspección visual, tanto del responsable del estudio de suelos como del diseñador de los muros.</i> <i>Un aspecto relevante es la falta de claridad para el establecimiento de los parámetros geotécnicos en el diseño de los muros. Aunado a la falta de realizar el análisis de estabilidad de las secciones considerando sobrecarga en el talud derecho dada la cercanía de las casas, así como de un análisis de deformaciones en la zona cercana al condominio de casas de lujo cercano a la Ruta 32.</i> <i>Para estos aspectos se considera recomendable solicitar las aclaraciones del caso.</i>		
8. Palabras clave Diseño de muros, muros pasivos, ensayos de campo, modelo geotécnico, parámetros geomecánicos	9. Nivel de seguridad: -	10. Núm. de páginas 11
11. Preparado y aprobado por: Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc Coordinadora del Programa de Ingeniería Geotécnica		



CONTENIDO

I.	Introducción	4
II.	Revisión del informe del estudio de suelos “LAB-GEO-001: Estudio de suelos: Proyecto muros Barrio Socorro ampliación R.N 32 del puente Virilla a intersección R.N 117”	4
III.	Revisión del informe “e-16-2020: Diseño geotécnico de muro reforzado con anclajes pasivos, ampliación de la vía R.32 desde el final del puente sobre el río Virilla a restaurante Doña Lela”	7
III.1	Condiciones del terreno	7
III.2	Diseño del muro	9
III.3	Revisión estructural de los pernos del muro	10
IV.	Revisión de los planos de los muros de la Ruta 32	10
V.	Comentarios finales.....	11
VI.	Referencias	11



Informe de la revisión del diseño del muro de retención del Proyecto Ampliación Ruta 32: desde el Puente Ricardo Saprissa al Barrio Socorro

I. Introducción

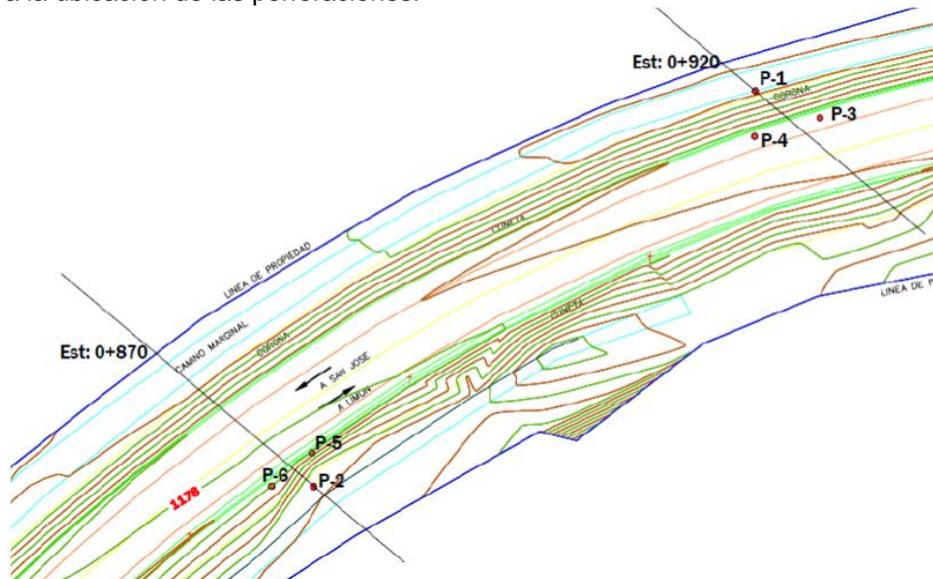
Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra la revisión del diseño del muro de retención del Proyecto Ampliación Ruta 32: desde el Puente Ricardo Saprissa al Barrio Socorro, así como de los informes anexos. Los documentos revisados son los siguientes:

- LAB-GEO-001, Estudio de suelos, Barrio El Socorro, Ampliación de Ruta 32
- Diseño muro cosido e-16-2020 - ruta nacional 32 Saprissa - Doña Lela
- PLANOS MURO RN 32 SAPRISSA - DOÑA LELA

A continuación, se muestran los comentarios al respecto de la revisión de dicho documento.

II. Revisión del informe del estudio de suelos “LAB-GEO-001: Estudio de suelos: Proyecto muros Barrio Socorro ampliación R.N 32 del puente Virilla a intersección R.N 117”

Se revisan el estudio de suelos realizado por la empresa Bel Ingenieros Consultores, “LAB-GEO-001: Estudio de suelos: Proyecto muros Barrio Socorro ampliación R.N 32 del puente Virilla a intersección R.N 117”, el cual se encuentra entre las estaciones 0+870 y 0+920. El estudio de suelos consistió en la realización de 6 ensayos de penetración estándar (SPT por sus siglas en inglés), 3 en la estación 0+870 y 3 en la estación 0+920, a distintas alturas. En la siguiente figura se observa la ubicación de las perforaciones.



Fuente: Informe LAB-GEO-001 de Bel Ingenieros Consultores

Figura 1. Ubicación de las perforaciones realizadas para el estudio de suelos



De manera que se observa que en la estación 0+870 las perforaciones P-2, P-5 y P-6 se realizaron en el talud a mano derecha en el sentido San José – Limón. La perforación P-2 se ubica en la corona del talud y las P-5 y P-6 en el pie. Para la estación 0+920, las perforaciones P-1, P-3 y P-4 se realizaron en el talud a mano izquierda en el mismo sentido, siendo P-1 la que se ubica en la corona del talud y, P-3 y P-4 al pie.

La configuración de la ubicación de las perforaciones (unas en la corona y otras al pie del talud) en la zona se considera adecuada, si se tratase de una investigación puntual de los taludes mencionados en el párrafo anterior. Sin embargo, tomando en consideración que se trata del diseño de muros de retención en ambas márgenes de la carretera y que se extienden desde la salida del puente Ricardo Saprissa hasta la salida al Barrio Socorro (aproximadamente 1 km), la investigación puede resultar insuficiente.

En la Figura 2, se muestra la línea roja que representa la extensión de los muros y los puntos blancos exponen la ubicación de las perforaciones. Como puede observarse, la distribución de estas perforaciones en una distanciada de 50 m, puede generar una información reducida respecto a la longitud real de los muros.



Figura 2. Extensión de los muros de retención Puente Ricardo Saprissa – Barrio Socorro

Vale la pena mencionar que a pesar de que la investigación geotécnica para este estudio de suelos se efectúa según los lineamientos del apartado 4.1.2 del Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica, se considera recomendable realizar una mayor cantidad de perforaciones en cada margen, con una mayor separación entre ellas, de tal forma que se obtenga más información de los materiales que conforman los taludes a lo largo de la extensión de los muros.



Ante la situación constructiva actual del proyecto, donde se producen avances importantes, puede ser posible que lo indicado en el párrafo anterior no se pueda realizar de manera expedita para completar la información con la que se cuenta en el estudio de suelos. Por ello, se considera recomendable que se complemente la información obtenida en este estudio de suelos, con el levantamiento de información de campo que puedan realizarse en los sitios de los taludes que se encuentran excavados. Con esto, se puede validar el modelo geotécnico establecido, tanto en el estudio de suelos como en el informe de diseño de los muros, y si se presenta alguna diferencia entre el modelo y el comportamiento real de los materiales del sitio, sea posible solicitar investigación adicional más puntual, sin generar retrasos en el avance de la construcción de los muros.

Con respecto al modelo geotécnico establecido para la zona, este se considera adecuado para la longitud investigada. Para extrapolar el uso de este modelo a lo largo del resto del proyecto, es importante considerar lo indicado en el párrafo anterior. Un aspecto que se desea señalar es respecto a la conformación final de las capas G2, G3 y G4 del perfil 2 presentado por la empresa Bel Ingenieros Consultores en su informe, ya que dada la información obtenida de las perforaciones P-2, P -5 y P-6 y su ubicación, no se logra visualizar la representación que se le está dando en el modelo. Dado que este modelo es la base para el establecimiento del modelo geotécnico mostrado por la empresa HSolis en el diseño de los muros de retención, se considera recomendable solicitar la aclaración correspondiente.

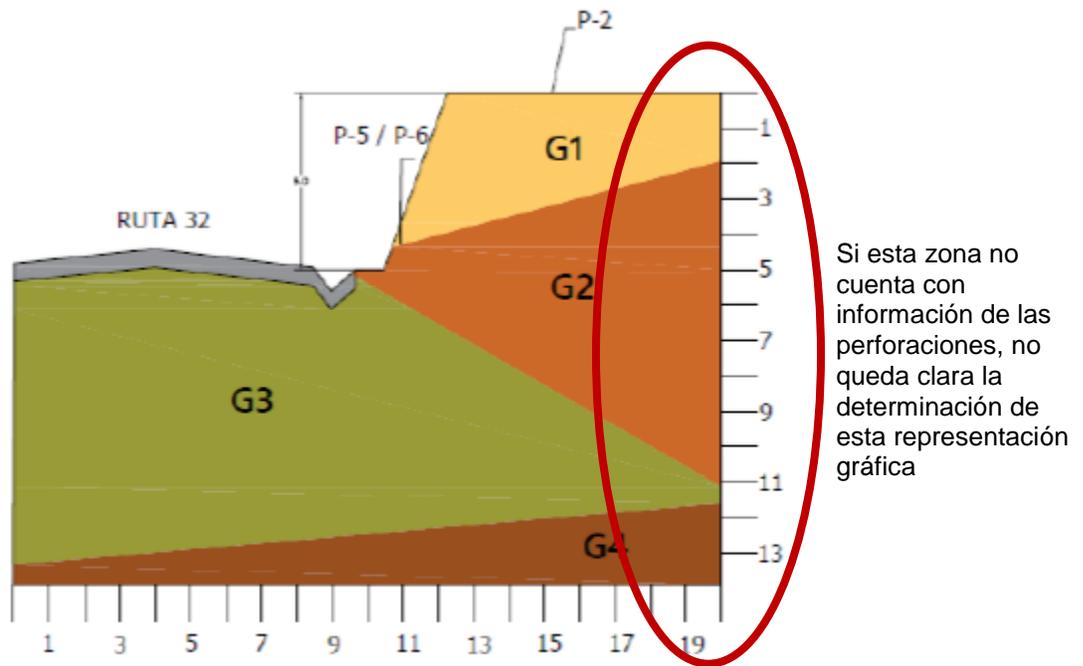


Figura #4. Perfil 2

Fuente: Informe LAB-GEO-001, Bel Ingenieros Consultores

Figura 3. Perfil 2 establecido en el estudio de suelos

Por último, con respecto a los parámetros geomecánicos en el apartado 5.1.1 obtenidos a partir de los ensayos realizados, no se tienen comentarios.



III. Revisión del informe “e-16-2020: Diseño geotécnico de muro reforzado con anclajes pasivos, ampliación de la vía R.32 desde el final del puente sobre el río Virilla a restaurante Doña Lela”

Se revisa el documento “e-16-2020: Diseño geotécnico de muro reforzado con anclajes pasivos, ampliación de la vía R.32 desde el final del puente sobre el río Virilla a restaurante Doña Lela” elaborado por la empresa HSolís, que se basa en el informe LAB-GEO-001 de la empresa Bel Ingenieros Consultores anteriormente comentado. A continuación, se muestran los resultados más relevantes de la revisión.

III.1 Condiciones del terreno

A este respecto, se observa que las condiciones del terreno las resumen en las cuatro unidades geotécnicas mostradas en el estudio de suelos, solo que en el informe LAB-GEO-001 no se le asigna una descripción a cada unidad geotécnica establecida, sino que se les caracteriza con los parámetros geomecánicos resultantes de la realización de los ensayos a muestras tomadas en los ensayos SPT.

En el informe de la empresa HSolís, se observa que se le asigna una descripción a cada una de las unidades geotécnicas encontradas en el sitio, la cual se resume en la Tabla 1, y son tomadas del apartado 4.3 del informe LAB-GEO-001 donde se realiza la descripción de los materiales encontrados en cada una de las perforaciones SPT.

Tabla 1. Descripción de las unidades geotécnicas del sitio

Unidad geotécnica	Descripción	Capas LAB-GEO-001
UG 1	Suelo orgánico negro	A
UG 2	Limo arcilloso arenoso de color café oscuro, de consistencia variable entre media, compacta y muy compacta (Nspt entre 4 y 45) y plasticidad media	B
UG 3	Limo arcilloso arenoso de color café claro, de consistencia variable entre media compacta, muy compacta y dura (Nspt entre 6 y 87) y plasticidad media	C
UG 4	Lahar o lavina de color café gris, de compacidad relativa densa, (Nspt entre 40 y 90)	D

Al respecto, se comenta que cuando se observan las hojas de perfiles de perforación mostrados en el Anexo A del informe LAB-GEO-001, no necesariamente coincide la caracterización de las unidades geotécnicas establecidas en el informe de la empresa HSolís, con la descripción de las capas realizadas en el apartado 4.3. A pesar que el diseño se basa en los parámetros geomecánicos de las unidades geotécnicas, y no es la descripción de los materiales, conviene solicitar la aclaración al respecto de dicha interpretación.

Por otro lado, se observa que la empresa HSolís realiza la determinación de las propiedades geomecánicas de las unidades geotécnicas de tres maneras: la cohesión se obtiene por medio de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados por Bel Ingenieros Consultores, el valor del peso específico se obtiene por medio de correlación con el número de SPT realizada por Meyerhof y el ángulo de fricción efectivo se determina por medio de la correlación con el índice de plasticidad realizada por Terzaghi, Peck y Mesri en 1996.



Al respecto, se comenta que los valores de cohesión no corresponden de manera exacta con los mostrados en el informe LAB-GEO-001. Esto se puede observar en la Tabla 2.

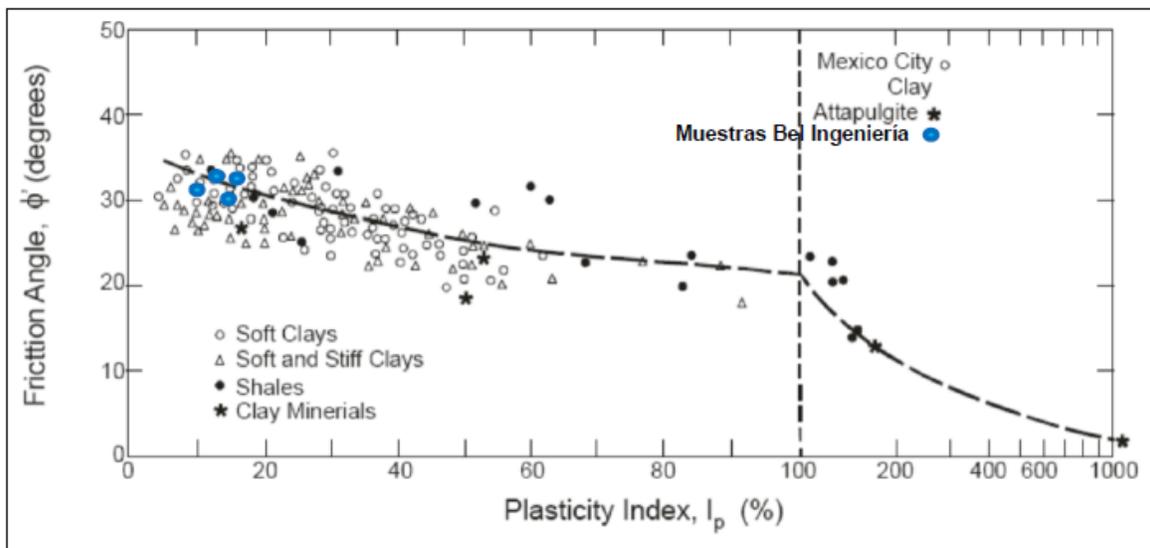
Tabla 2. Valores de cohesión tomados en el diseño vrs los mostrados en LAB-GEO-001

Unidad geotécnica	Cohesión de diseño (kPa)	Cohesión LAB-GEO-001 (kPa)
UG 1	5	29.4
UG 2	5	53.0
UG 3	10	85.3
UG 4	20	181.4

Se considera importante solicitar la aclaración respecto a este asunto, sobre todo porque los valores son muy distintos en su cuantía y el orden. Vale la pena comentar que los valores de cohesión obtenidos en el informe LAB-GEO-001 se encuentran más cercanos a las correlaciones entre la cohesión y el número de golpes que existen en la literatura. Este aspecto es importante de aclarar, ya que tanto en los análisis de estabilidad como en el diseño de los muros, se utilizan los valores mostrados en la Tabla 2 determinados por HSolis.

Otro aspecto a destacar es que los valores de cohesión obtenidos por Bel Ingenieros Consultores, son resultado del ensayo de compresión confinada, por lo que estos datos corresponden a valores de cohesión no drenada. Por otro lado, se observa que los valores del ángulo de fricción producto de la correlación realizada por HSolis, se encuentran en la condición efectiva o drenada. Llama la atención que el análisis de estabilidad se realiza combinando parámetros en condiciones distintas (total y efectiva) y no está demás indicar que el comportamiento de los materiales en esfuerzos totales y en esfuerzos efectivos puede ser significativamente diferente. Por este motivo, se recomienda igualmente solicitar la aclaración al respecto.

Con respecto a la correlación que se realiza para determinar los valores de ángulo de fricción, se observa que se colocan los resultados de las cuatro muestras de Bel Ingenieros consultores en el gráfico de correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri, mencionado en párrafos anteriores, tal como se muestra en la Figura 4.

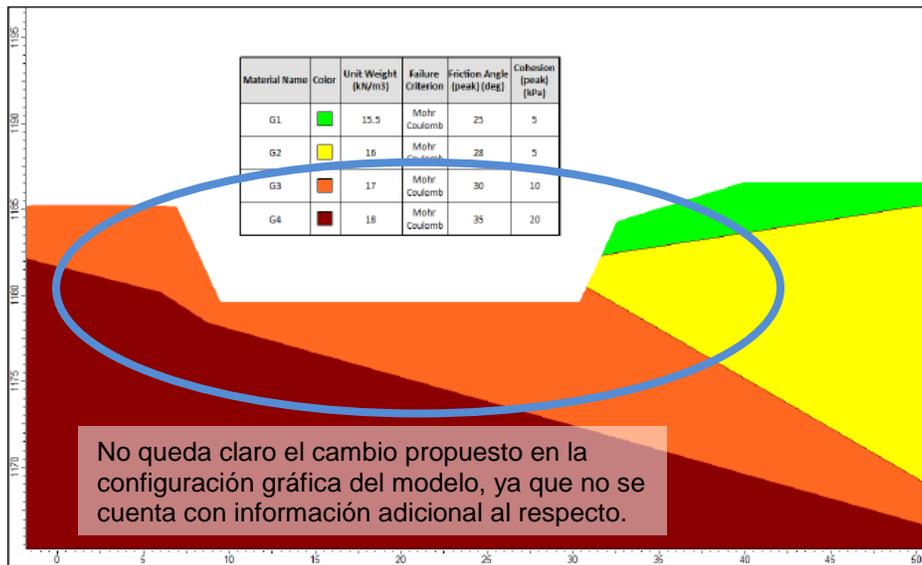


Fuente: Informe e-16-2020, HSolis

Figura 4. Correlación realizada para determinar el ángulo de fricción

Con relación a esto, no se tiene claro cómo se ubican estos puntos azules de las muestras de Bel en la gráfica, pues en el informe LAB-GEO-001, específicamente en el apartado 4.3.2, solo se muestran resultados del índice de plasticidad de dos muestras la B y la C, y como se mencionó anteriormente, no es evidente la correlación entre las capas A, B, C y D, con las unidades geotécnicas establecidas para el modelo. Por lo tanto, parece que no existe la información necesaria para establecer la correlación de estas cuatro unidades geotécnicas para determinar el ángulo de fricción. Se recomienda solicitar la justificación al respecto.

Por último, a pesar de que el modelo geotécnico es muy similar al establecido en el informe LAB-GEO-001 de Bel Ingenieros Consultores, se observan que también se hicieron suposiciones de la distribución de los materiales. En la Figura 5 se muestra el modelo geotécnico utilizado por HSolis, con las observaciones correspondientes. Igualmente es importante solicitar esta aclaración.



Fuente: Informe e-16-2020, HSolis

Figura 5. Modelo geotécnico establecido por la empresa HSolis

III.2 Diseño del muro

Para el diseño de los muros, la empresa HSolis establece tres secciones de interés, a saber: 0+650, 0+900 y 1+000, correspondiendo la sección central con la zona de estudio del informe LAB-GEO-001 de Bel Ingenieros Consultores. Es importante destacar que para las secciones restantes se está suponiendo una configuración similar a la del modelo geotécnico establecido en el apartado anterior, con cambios en la topografía, sin mostrar evidencia alguna de la verificación en sitio de esta hipótesis. No está demás indicar que al tratarse de una exploración in situ insuficiente, como se comentó en el apartado II, no se considera adecuado realizar este tipo de suposiciones, sin realizar al menos una verificación mediante la inspección visual en sitio.

Por otro lado, se observa que se está suponiendo una configuración topográfica distinta a lo observado en sitio para las secciones 0+650 y 1+000, ya que los modelos muestran un cambio de pendiente en el talud derecho, siendo que en sitio solamente se observa una pendiente de corte del talud.

Adicionalmente, estas secciones muestran únicamente la suposición de una sobrecarga debido a las edificaciones en el talud izquierdo y en la zona del pavimento, lo cual se considera adecuado. Sin embargo, en sitio se observa que el talud derecho es el que cuenta con condiciones más



críticas de afectación por sobrecarga debido a la cercanía de las zonas residenciales a la corona del talud. Es por ello que se considera recomendable y necesario, realizar el análisis de estabilidad considerando la sobrecarga correspondiente a las edificaciones en el talud derecho.

Aunado a lo anterior, se considera necesario realizar además un análisis de deformaciones en el talud derecho, en secciones alrededor del condominio de casas de lujo, debido a que, por lo observado en campo, la corona del talud de corte estará a pocos metros de la tapia que divide este condominio de la Ruta 32, pudiendo generar eventualmente afectaciones importantes en las edificaciones de este condominio cuando el muro pasivo sufra deformaciones por la redistribución de los esfuerzos in situ. No está demás indicar que esto podría significar un problema económico por las indemnizaciones que se deban realizar por estas afectaciones, que pudieron ser previstas y prevenidas mediante el análisis de deformaciones previo.

Por último, se observa que en el análisis de estabilidad de taludes no se considera el nivel freático en el medio, pues en el momento en que la empresa Bel Ingenieros Consultores realizó la exploración no se registró el nivel freático en las perforaciones realizadas y se estaba en plena época lluviosa (setiembre 2020). Esto se considera adecuado, pero es importante recalcar que, durante la etapa constructiva, se realice una inspección adecuada de la colocación de los drenajes indicados en el diseño de los muros. La no influencia del agua en la estabilidad de los taludes depende de la correcta colocación de los drenajes diseñados.

III.3 Revisión estructural de los pernos del muro

Con respecto a la revisión estructural realizado para los pernos y placas, la empresa HSolis sigue el procedimiento establecido en la publicación FHWA-NHI-14-007 "Soil Nail Walls Reference Manual" que es el utilizado más frecuentemente en el medio geotecnista, por lo que se considera adecuado. Es importante indicar que se debería incluir este manual en las referencias del informe de la empresa HSolis.

IV. Revisión de los planos de los muros de la Ruta 32

Con respecto a los planos generados a partir del diseño de los muros, no se tienen comentarios adicionales a los indicados anteriormente acerca de la conformación de las pendientes del talud derecho comentado en el apartado III.2.

Adicionalmente, considerar lo siguiente en la lámina 07 de "Especificaciones técnicas":

1. En general utilizar adecuada y uniformemente las unidades tal como lo indica el S.I. Un ejemplo es el siguiente:

3.PANTALLA DE CONCRETO NOTAS GENERALES

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO: 38MM TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO:
25MM. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE 110KG/CM² LOS AGREGADOS DEBEN
CUMPLIR CON LA ASTM C33.

1. EL CONCRETO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, DEBERA TENER UNA RESISTENCIA NOMINAL $f_c=250\text{kg/cm}^2$ MEDIDAS EN PROBETAS TOMADAS EN OBRA EN CILINDROS DE 150x300mm, SOMETIDOS A LOS 28 DIAS A COMPRESION CONCENTRICA UNIAIXIAL SEGUN NORMA ASTM-39.
2. TODO EL ACERO LONGITUDINAL Y TRANSERSAL SERÁ GRADO 60, A53, CON UN ESFUERZO DE CEDENCIA DE 4200kg/cm²



2. Indicar correctamente la referencia de las normas de especificación para los materiales. A continuación, se muestra un ejemplo:

3.PANTALLA DE CONCRETO NOTAS GENERALES

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO: 38MM. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO: 25MM. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE 110KG/CM². LOS AGREGADOS DEBEN CUMPLIR CON LA ASTM C33.

1. EL CONCRETO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, DEBERA TENER UNA RESISTENCIA NOMINAL $f_c=250\text{kg/cm}^2$ MEDIDAS EN PROBETAS TOMADAS EN OBRA EN CILINDROS DE 150x300mm, SOMETIDOS A LOS 28 DIAS A COMPRESION CONCENTRICA UNIAIXIAL SEGUN NORMA ASTM-39.
2. TODO EL ACERO LONGITUDINAL Y TRANSERSAL SERÁ GRADO 60 A53, CON UN ESFUERZO DE CEDENCIA DE 4200kg/cm².

V. Comentarios finales

Una vez finalizada la revisión de los documentos mencionados en el apartado I, los aspectos más destacables en las que hay que estar atento para otros proyectos, es que la investigación geotécnica previa, se realice tratando de abarcar la mayor extensión posible para obtener la mejor y más fehaciente información del medio. Con ello, se reduce utilizar correlaciones para determinar los parámetros geomecánicos, se puede establecer un modelo geotécnico más representativo del sitio y se reducen las incertidumbres resultantes de los diseños propuestos.

Por otro lado, se considera recomendable solicitar las aclaraciones correspondientes al ingeniero responsable del diseño de los muros respecto a los valores establecidos para los parámetros geomecánicos (cohesión y ángulo de fricción) y los cambios establecidos en la conformación gráfica de los modelos geotécnicos si con la información limitada con la que se cuenta en el informe del estudio de suelos LAB-GEO-001 no es posible establecer los cambios por la falta de información.

Adicionalmente, es importante considerar realizar los análisis de estabilidad considerando la sobrecarga en el talud derecho en las secciones que se encuentren alrededor del condominio de casas de lujo, ya que no fueron considerados en el estudio. Así como incluir el análisis de deformaciones en esta misma zona, pues dada la cercanía de este condominio con la corona del talud y por ende con el muro de suelo cosido, es importante determinar si eventualmente podrían existir afectaciones importantes que generen un costo económico por pago de indemnizaciones por daños.

VI. Referencias

1. Bel Ingenieros Consultores. "LAB-GEO-001. Estudio de suelos: proyecto muros barrio El Socorro ampliación R.N 32 del puente Virilla a intersección R.N 117". Alajuela, 2020.
2. Das, Braja. "Fundamentals of Geotechnical engineering". Toronto, 2008.
3. Federal Highway Administration. "FHWA-IF-02-034. Geotechnical engineering circular No. 5". Washington, 2002.
4. Federal Highway Administration. "FHWA-NHI-14-007. Soil Nail Walls: Reference Manual". Washington, 2015.
5. H Solis, "Diseño de muro reforzado con anclajes pasivos. Ampliación de la vía R.32 desde el final del puente sobre el río Virilla a rest. Doña Lela". San José, 2020.