

I-IG-01-14

REVISIÓN DE SOLUCIÓN PROPUESTA DE
MUROS DE SUELO COSIDO

PROYECTO: INTERCAMBIO DE PASO ANCHO

– Programa de Ingeniería Geotécnica –



Elaborado por:
Ing. Ana Lorena Monge S, M.Sc

Noviembre 2014



Índice

I.	Resumen	2
II.	Introducción	2
III.	Descripción del proyecto	3
IV.	Revisión de información de la propuesta de los muros de suelo cosido.....	3
IV.1	Revisión de los estudios y modelos geotécnicos	3
IV.2	Revisión de diseño de los muros de suelo cosido	6
IV.3	Revisión de las especificaciones y planos constructivos de los muros de suelo cosido	10
V.	Conclusiones y recomendaciones	13

I. Resumen

El presente informe presenta comentarios acerca de la revisión de la información proporcionada acerca de la solución propuesta para el proyecto “Intercambio de Paso Ancho” del diseño de los muros de suelo cosido para la zona subterránea.

II. Introducción

Con el fin de mejorar la vialidad en la Ruta Nacional # 39 – Carretera de Circunvalación, se ha planteado realizar un paso a desnivel en la zona de Paso Ancho. Entre las soluciones presentadas, se encuentra la construcción de dos muros de suelo cosido ubicados al norte y al sur de la línea centro de la carretera.

El personal de la unidad de Auditoría Técnica del PITRA del LanammeUCR, está realizando una revisión previa de las soluciones planteadas para este proyecto, antes de que se inicie su construcción, para poder fiscalizar de manera apropiada las obras y para también realizar recomendaciones si es del caso.

En el presente informe se entregan los comentarios al respecto de la revisión de la información proporcionada acerca de la propuesta de los muros cosidos por parte de la empresa constructora MECO. Esta revisión se limita a realizar comentarios acerca de la documentación entregada acerca de los estudios geotécnicos presentados por las empresas INSUMA (2008) y Geotecnia & Construcción (2013) con respecto al modelo geotécnico presentado por MECO, la revisión del informe de la propuesta del diseño presentado por la empresa Geofortis a solicitud de MECO con su concordancia con el modelo geotécnico del medio, la revisión general de las especificaciones y planos constructivos presentados por MECO.

Cabe destacar que en la memoria de cálculo presentada por MECO, se muestra el diseño de la cimentación de los dos puentes propuestos, la cual consta de pilotes; además de que se presenta el diseño de cuatro muros de concreto reforzado como muro de cierre de contención, en cada extremo de los muros de suelo cosido. Estas dos obras (la cimentación de los puentes y los muros de concreto reforzado de contención) no se encuentran en el alcance de este informe.

Esta revisión ha sido solicitada por la unidad de Auditoría Técnica del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, al Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR.

III. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en un paso a desnivel subterráneo en el sentido este-oeste, que constará de seis carriles (tres en cada sentido) manteniendo la conformación de la rotonda existente y ampliando a dos carriles más en las zonas laterales, los cuales permiten el acceso y salida a la rotonda, en los sentidos este – oeste.

Sobre el paso a desnivel se proyecta construir dos puentes que permiten dar seguimiento a la rotonda actual, manteniendo su forma y funcionalidad.

Para la construcción del paso a desnivel se propone realizar dos muros de suelo cosido (soil nailing) en los sectores norte y sur respectivamente. Según la información revisada, se recomienda la construcción de esta solución dado que por las estructuras aledañas, no se cuenta con suficiente espacio para realizar excavaciones apropiadas con los materiales encontrados, lo cuales requieren de taludes tendidos para su estabilidad.

IV. Revisión de información de la propuesta de los muros de suelo cosido

A continuación se presenta una breve descripción de la información revisada en cada una de las etapas del proyecto, a saber el establecimiento del modelo geotécnico, el diseño de los muros de suelo cosido, el establecimiento de las especificaciones técnicas para la construcción de los muros y la revisión de los planos constructivos de los mismos, con los comentarios respectivos.

Esta revisión se realiza a partir de la documentación entregada a la unidad de Auditoría Técnica del PITRA y además de una adicional solicitada por medio del oficio LM-AT-110-14 para que se presente el modelo geotécnico establecido por la empresa MECO, que según el informe de Geofortis, fue entregado para que ellos realizaran el diseño del muro cosido.

IV.1 Revisión de los estudios y modelos geotécnicos

Para el establecimiento del modelo geotécnico de la zona donde se construirán los suelos cosidos, la empresa constructora MECO se basó en la información obtenida de los estudios geotécnicos realizados por la empresa INSUMA y la empresa Geotecnia & Construcción (Informe 198-13).

El estudio de suelos de la empresa INSUMA aporta basta información para establecer el modelo geotécnico de los muros tanto para la parte norte como para la parte sur. El estudio de suelos de la empresa Geotecnia & Construcción contiene una menor cantidad de información para establecer el modelo geotécnico, sin embargo su contenido es importante para complementar y corroborar el modelo establecido en el informe de INSUMA.

Con base en la información presentada de las perforaciones realizadas por la empresa INSUMA, se establece la existencia de 4 capas importantes de materiales encontrados en la mayoría de las perforaciones.

La primer capa consiste en una combinación de materiales (arcilla, laste y materia orgánica) los cuales, como lo mencionan en el informe de estudio de suelos de INSUMA, no son materiales aptos para cimentar obras, esto pensando en la cimentación de los dos puentes que irían sobre el paso a desnivel manteniendo la funcionalidad de la rotonda. Sin embargo, esta primera capa si se debe considerar en el diseño de los muros de suelo cosido.

La segunda capa, es una arcilla gris altamente plástica, la cual se indica que es susceptible a la expansión cuando gana humedad. Según la empresa INSUMA tampoco es apta para la cimentación de obras. Y así como en la capa anterior, también se debe considerar en el diseño de los muros de suelo cosido.

Posteriormente se tiene la tercer capa que se trata de un limo arcilloso color café el cual clasifica como MH. Para efectos de cimentación de obras, INSUMA recomienda que se puede cimentar en ella, a pesar de que la capa inferior a esta cuenta con mejores propiedades y permite una mayor capacidad de soporte. Sin embargo, se considera que para llegar a cimentar en esta última capa, se requiere realizar una excavación profunda que encarecerá en mayor grado la obra, que al cimentar en esta capa.

La última capa detectada es un limo arenoso y/o una arena limosa que cuenta con propiedades bastante aptas para la cimentación. Sin embargo, si se decide cimentar en esta, no necesariamente la capacidad de soporte aumentará en un grado considerable y puede aumentar mayormente el costo de la obra.

En las perforaciones realizadas por la empresa Geotecnia & Construcción, se encontraron a grandes rasgos estos materiales, solo que en este informe no se presenta un modelo geotécnico como tal, con un esquema de espesores de capa de materiales, sino más bien se presenta un resumen de los materiales encontrados en cada perforación. Si bien es cierto en el informe Geoconstru 198-13 se indica que se realizaron ensayos triaxiales con el fin de complementar la información del modelo geotécnico, en todo este documento no se llega a establecer el perfil con el modelo geotécnico claramente establecido.

Cabe destacar que en el cartel de licitación en el apartado 3 inciso J, se indica que si se realizará un estudio geotécnico adicional al presentado realizado por la empresa INSUMA en el 2008 (anexo 8), este nuevo estudio debe presentar el perfil estratigráfico del sitio, estableciendo el modelo geotécnico. Este hace falta en el estudio geotécnico de Geotecnia & Construcción (Informe 198-13).

Sin embargo, la empresa Geofostis en su informe indica que la empresa MECO presenta unos modelos geotécnicos que incluyen la información de los estudios de suelos de INSUMA y Geotecnia & Construcción. Estos modelos aportados por la empresa MECO no se llegaron a obtener, no al menos tal y como se presentan en el informe de Geofostis.

Por lo tanto, lo primero que se debe comentar a partir de esta revisión es que el establecimiento del modelo geotécnico base para el diseño de los muros de suelo cosido, no está claro. Además existen diferencias entre el modelo presentado por la empresa INSUMA (complementado con el estudio de Geotecnia & Construcción) y el que presenta Geortis indicando que fue suministrado por MECO.

Cabe destacar que, dependiendo de la profundidad de excavación que se deberá realizar en la zona para alcanzar el nivel de desplante de la rasante de la carretera en el paso a desnivel, se encontrarán dos o tres de los materiales descritos anteriormente, que se deben tomar en cuenta en el diseño y análisis de estabilidad de los muros de suelo cosido.

Por lo tanto, el establecimiento del modelo geotécnico es el pilar del diseño de los muros de suelo cosido, además de determinar las propiedades de los parámetros geotécnicos de los materiales que constituyen el modelo. En esta documentación entregada, el establecimiento de este modelo no se tiene clara.

A pesar de ello, se continua con la revisión de los muros de suelo cosido, utilizando como base el modelo geotécnico aportado en el informe de Geofostis y cuya autoría hasta el momento es desconocida, pues no se cuenta con esta información en la documentación entregada por el personal de auditoría técnica y por lo aportado posteriormente en solicitud del oficio.

La empresa Geofortis indica que MECO ha establecido el modelo geotécnico tomando en cuenta los cuatro materiales mencionados anteriormente. En su modelo geotécnico los materiales son denominados relleno, arcilla, limo arcilloso y limo arenoso. A continuación se presenta un cuadro comparativo respecto a los materiales utilizados en el diseño del muro por parte de Geofortis con respecto a los materiales reportados en el informe de INSUMA¹.

Tabla 1. Homologación de materiales

Capa	Denominación según INSUMA ²	Denominación según informe de Geofortis
1	Lastre + arcilla + capa vegetal	Relleno
2	Arcilla plástica gris	Arcilla
3	Limo arcilloso café rojizo	Limo arcilloso
4	Limo arenoso o Arena limosa	Limo arenoso

¹ La empresa Geotecnia & Construcción no presenta un esquema de modelo geotécnico, por ello solamente se hará referencia al informe de INSUMA

² Descripción tomada del informe de INSUMA presentado como Anexo 8.

En cuanto a las propiedades de los materiales, el informe de Geofortis presenta unas propiedades que son tomadas con base en el modelo geotécnico aportado por MECO, que difieren un poco de las propiedades establecidas en el informe de INSUMA. A continuación se presenta una tabla presentando tales propiedades:

Tabla 2. Propiedades de los materiales

Capa	Propiedades según INSUMA	Propiedades según informe Geofortis
1	No dadas	$C=0 \text{ kN/m}^2$, $\phi=15^\circ$, $\gamma=15,5 \text{ kN/m}^3$
2	$C=0 \text{ kN/m}^2$, $\phi=15^\circ$, $\gamma=15,7 \text{ kN/m}^3$	$C=0 \text{ kN/m}^2$, $\phi=17^\circ$, $\gamma=16,0 \text{ kN/m}^3$
3	$C=0 \text{ kN/m}^2$, $\phi=18^\circ$, $\gamma=17,2 \text{ kN/m}^3$	$C=5 \text{ kN/m}^2$, $\phi=22^\circ$, $\gamma=17,5 \text{ kN/m}^3$
4	$C=0 \text{ kN/m}^2$, $\phi=30^\circ$, $\gamma=18,6 \text{ kN/m}^3$	$C=35 \text{ kN/m}^2$, $\phi=30^\circ$, $\gamma=19,0 \text{ kN/m}^3$

Como puede observarse, estos valores difieren un poco unos de otros, sin mencionar que las propiedades de la capa 1 no estaban dadas en ninguno de los dos informes geotécnicos. Cabe destacar que estas propiedades utilizadas por Geofortis, al compararlas con las dadas en el informe de Geotecnia & Construcción, tampoco corresponden unas con otras.

Entonces, en principio, no es posible determinar ciertamente que el modelo geotécnico utilizado esté establecido de una manera contundente pues existen discrepancias entre todos los valores obtenidos.

A la falta de verificación del modelo, se va a proceder a hacer la revisión del muro cosido, bajo el supuesto de que el modelo geotécnico utilizado fue establecido claramente por la empresa MECO dado los resultados de los informes de INSUMA y Geotecnia & Construcción.

IV.2 Revisión de diseño de los muros de suelo cosido

Dados el modelo geotécnico y los valores de las propiedades de los materiales que lo conforman, por parte de la empresa MECO, la empresa Geofortis se encargó de realizar el diseño de los muros de suelo cosido.

Estos muros consisten en colocar una serie de pernos en ambas direcciones (horizontal y vertical), que actúan de manera pasiva, en las paredes de la excavación. La solución propuesta prevé la conformación de taludes verticales, dado el poco espacio con el que se cuenta para tender los taludes a una pendiente que represente la estabilidad del terreno.

La solución parece acertada dadas las condiciones del entorno a la obra y al existir un antecedente a este proyecto con una conformación similar a la propuesta (Paso a desnivel de San Sebastián). Además según el modelo geotécnico presentado por parte de la

empresa MECO, los materiales que conforman el sitio, no parecen ser materiales que podrían presentar estabilidad con taludes de altas pendientes, los cuales serían útiles dadas las condiciones de espacio de la zona. Para asegurar lo anterior, habría que hacer un análisis de estabilidad de taludes, pero no es el propósito del presente informe.

El principio de los pernos pasivos es el de trabajar una vez que se producen movimientos en el terreno. Dado a que se trata de un talud vertical de gran extensión (aproximadamente 300 m en cada sector), es importante que estos trabajen de una forma unida y sistemática, y es por ello que se recomienda colocar amarres verticales y horizontales (que en este caso Geofortis recomienda una doble malla) cubiertos por concreto lanzado para formar un conjunto.

Para realizar el diseño de estos muros de suelo cosido, la empresa Geofirtis establece tres tipos de perfiles a analizar, indicando que lo hacen según lo solicitado por la empresa MECO. Estos perfiles difieren en la profundidad de la excavación, que se traduce en la altura de los taludes verticales. Los tres perfiles analizados son de 4, 6 y 8 metros.

Cabe destacar que los espesores de capa de cada material en cada uno de los perfiles analizados por Geofortis, cambian según el perfil topográfico y el modelo geotécnico proporcionados por la empresa MECO.

Es importante tomar en cuenta que para realizar la revisión de los perfiles tomados en cuenta como típicos para el análisis y diseño del suelo cosido, que estos sean ubicados en el espacio, indicando en el modelo los cortes típicos de donde se obtuvo la información de los espesores de capa y de niveles topográficos. Esta información no se encuentra en el informe de Geofortis.

Adicionalmente, y también a solicitud de MECO, en cada uno de estos taludes se debe tomar en cuenta un espesor de 1.1 m correspondiente a la estructura de pavimento existente, por lo que no se debe olvidar considerar las sobrecargas a las que se verá sometido el talud, cuando se presente el tránsito en los carriles que se encontrarán sobre los muros de suelo cosido en ambos sectores. La sobrecarga se tomó como valor típico de 10 kN/m².

Para esta condición la empresa Geofortis asignó valores de peso volumétrico y ángulo de fricción como propiedades de la capa ($\gamma = 22,0 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 35^\circ$), sin indicar la base para tomar estos valores. Si son valores típicos, debería indicarse la fuente de los mismos.

En cuanto al análisis de estabilidad global de los taludes, la metodología utilizada para el análisis y diseño de los muros de suelo cosido que se basa en el método de equilibrio límite de Morgenstern y Price, se considera apropiada para este tipo de obras, así como los factores de seguridad supuestos, tomados del Código de Cimentaciones de Costa Rica.

Para el diseño y análisis de los taludes de los muros de suelo cosido, Geofirtis recomienda utilizar pernos de varilla #8 grado 60, con una inclinación de 15° respecto a la horizontal. Adicionalmente, se recomienda unir los pernos para que trabajen en conjunto con una capa de concreto lanzado de 0,20 m de espesor, tomando en cuenta que se debe colocar una doble malla que consiste en varillas #3 cada 0,20 m, uniendo las cabezas de los pernos con dos varillas #3 grado 60, en sentido vertical y horizontal. Esta solución parece apropiada, ya que los pernos pasivos deben trabajar de manera conjunta cuando el suelo presente algún tipo de deformación.

El espaciamiento, la longitud y las filas de los pernos, dependen evidentemente del modelo del corte analizado, el cual como ya se había mencionado, dependen de la profundidad de excavación.

Para los taludes de 4 metros de profundidad, el muro de suelo cosido está conformado por cuatro filas de pernos con la inclinación dada anteriormente, con la excepción de la primera fila, la cual la recomiendan horizontal, para facilitar el anclaje a la capa de pavimento supuesta en cada modelo. La primera y última fila tienen una longitud de 6 metros mientras que las dos centrales son de 9 metros. Parece acertado recomendar estas dos filas centrales más largas, dado a que facilita el anclaje a la capa 3 que posee mejores propiedades. La separación recomendada para estos taludes, es de $1,25H - 1,0V$. En el sentido vertical se puede revisar fácilmente en los modelos supuestos en el informe, ya que los resultados del análisis arrojan factores de seguridad para el caso estático y pseudoestático estables. En el anexo del informe se presenta el análisis de la separación horizontal de los pernos. La revisión se hace difícil porque la información no está claramente presentada. Sin embargo, los resultados muestran que esta configuración también es apropiada.

Para los cortes de 6 metros de profundidad, el muro está constituido por 6 filas de pernos separadas cada metro y con la inclinación dada inicialmente, con excepción de la primera fila que para facilitar el anclaje a la capa de pavimento existente su orientación es horizontal. Al igual que en el talud de 4 metros de profundidad, los pernos centrales son de 9 metros y, el inicial y final son de 6 metros. Al igual que el talud anteriormente analizado, se considera apropiada la solución. El análisis de esta conformación de pernos en el sentido vertical, da como resultados taludes estables en para el caso estático y pseudoestático. Al igual que el talud de 4 metros, se presenta el análisis para el sentido horizontal, demostrando que la separación de 1,25 m es apropiada.

Por último para los cortes de 8 metros, se consideran 6 filas de pernos, todos inclinados los 15° con respecto a la horizontal y separados cada 1,20 metros. Del informe de Geofortis, no se conoce cuál es la razón técnica para que el primer perno de este talud no sea horizontal como los de los anteriores taludes. En este caso, las cuatro primeras filas Geofortis las recomienda de 12 metros y las últimas dos de 9 metros. El análisis del diseño propuesto, arroja resultados estables en los casos estático y pseudoestático, por lo que parece ser una solución apropiada. Al igual que los otros dos taludes, para el caso

de la separación horizontal, que en este caso es de 1,2 metros es adecuado según lo que se presenta en el análisis del anexo del informe.

La recomendación generalizada de colocar drenajes en la configuración indicada en todos los muros en la parte inferior es importante que se acate, pues es importante aliviar presiones adicionales que pueda causar la presencia de agua en estos materiales.

Finalmente, en el anexo también se presenta el análisis de la efectividad del sistema. Se analiza la resistencia del bulbo con respecto a la tracción del perno. Para todas las longitudes y con el calibre sugerido del perno, tomando en cuenta el tamaño de la perforación y la fricción del terreno, el análisis realizado por Geofortis sugiere que la resistencia del bulbo será apropiada. Adicionalmente, analizan la resistencia a la flexión del muro, tomando en cuenta la pantalla de concreto con la malla doble de varillas #3, la cual es adecuada. Este análisis solo lo realizan para la condición del talud de mayor profundidad, suponiendo que es la más crítica, lo cual parece apropiado ya que el sistema demuestra que puede trabajar apropiadamente ante tales condiciones.

En resumen, la revisión general del diseño y análisis de los muros de suelo cosido, considerando los modelos geotécnicos para cada talud así como las propiedades que la empresa Geofortis considera para este diseño, muestra que es una obra segura y acorde con las necesidades del proyecto.

Posterior a la presentación del informe del diseño de los muros de suelo cosido, la empresa Geofortis presenta un informe con un análisis tomando en cuenta la condición de eliminar la capa de pavimento en la parte superior de los taludes de 4 y 6 metros de profundidad. Esto se realiza a solicitud de MECO que indica que es importante tomar en cuenta esta situación pues puede ser que se presente cuando se realicen reparaciones del pavimento.

Para este análisis para cada talud, la empresa Geofortis elimina la capa de pavimento y el perno horizontal superior, por tanto el talud de 4 metros tendrá 3 filas de pernos, las dos centrales de 9 metros de longitud y la última fila de 6 metros de longitud; y el talud de 6 metros tendrá 5 filas de pernos, las cuatro centrales de 9 metros de longitud y la última fila de 6 metros de longitud.

En todos los casos el análisis de estabilidad global, arroja resultados estables a las condiciones estática y pseudoestática. Por lo tanto, la solución de los muros de suelo cosido aún es acertada en condiciones donde no exista capa de pavimento, en el caso en que se tenga que realizar alguna reparación.

Por último, Geofortis presenta un informe donde explica las fuerzas externas que intervienen en el método de análisis utilizado. Esto no afecta el diseño propuesto final. Además, presenta una explicación de cómo debe ser el proceso constructivo de los

muros, esto para reducir lo más posible los efectos que se puedan presentar en el medio cuando este se descomprime durante el proceso de excavación.

Adicionalmente, se presenta una breve aclaración acerca de las deformaciones que se pueden presentar en los muros de suelo cosido, dependiendo de los materiales encontrados y las características propias del proyecto. En este caso, las deformaciones máximas esperadas son de 20, 30 y 40 mm en los muros de 4, 6 y 8 metros, tanto en el sentido horizontal como vertical. Estas deformaciones, no representarán mayor problema para los muros de suelo cosido diseñados.

Es importante que durante la construcción de los muros de suelo cosido se acaten las recomendaciones presentadas en este último informe en la etapa constructiva. Por tanto, se recomienda a la unidad de Auditoría Técnica, tomen en cuenta este informe para los momentos en que realicen visitas al sitio.

IV.3 Revisión de las especificaciones y planos constructivos de los muros de suelo cosido

En cuanto a la revisión de las especificaciones técnicas encontradas en la lámina 2 de los planos constructivos, en general estas presentan información apropiada que debe tomarse en cuenta al momento de la construcción de los muros de suelo cosido. Esta información es complementaria a cualquier información que se encuentre en planos. De estos se comentará más adelante.

En estas especificaciones, en el apartado “Capacidad Soportante del Suelo” se muestra en un cuadro, los materiales encontrados en el modelo geotécnico con sus propiedades respectivas. Se indica que este cuadro es tomado del estudio de suelos realizado por la empresa Geotecnia & Construcción, en los informes “Geoconstru 028-13” y “Geoconstru 198-13”. El informe 028-13 no está en la información proporcionada para realizar esta revisión y el informe 198-13, no muestra ningún modelo geotécnico del sitio, solo resume los materiales encontrados en las distintas perforaciones.

El apartado de “Notas sobre pernos”, indica que la lechada de inyección debe tener una relación agua – cemento entre 0,4 y 0,6. Sin embargo, no se muestra en la información suministrada, una memoria de cálculo apropiada para establecer que el diseño de la lechada con esta relación agua – cemento cumple con la resistencia indicada en el informe del diseño y análisis de los muros de suelo cosido de la empresa Geofortis de 18 MPa.

En el apartado “Sistemas y materiales de protección contra la corrosión” se indica que se llevará el control del proceso de perforación, sin embargo no se indica que debe ser por parte de un profesional responsable. Es preferible, que este profesional sea un Ingeniero Civil Geotecnista residente del proyecto, que generalmente no hay. Al ser esta obra de tan gran envergadura, se considera y recomienda que efectivamente exista la figura del

Ingeniero Civil Geotecnista residente llevando este y otros tipos de control. Esto mismo aplica para los controles de la información de las perforaciones a levantarse en sitio, donde en el apartado “Diámetros y profundidades de perforación” se indica algo similar.

En “Instalación de los pernos” se indica que el ducto de la primer fila de pernos, se colocará durante la colocación del pavimento y debe tener una pendiente mínima de 7° con respecto a la horizontal. Esta disposición difiere con respecto a lo indicado en el informe de la empresa Geofortis, ya que en el diseño se había indicado que esta primer fila para los taludes de 4 y 6 metros de profundidad, debían ser horizontales y estar embebidos en la estructura de pavimento.

En las especificaciones para la “Inyección del perno” indican que se debe utilizar en la lechada además de una relación agua – cemento de 0,4 a 0,6 que ya se había comentado anteriormente, se dice que el cemento que se debe utilizar es tipo UG o similar. Sin embargo, no existe una memoria de cálculo que demuestre que este tipo de cemento es el más apropiado para utilizar en la inyección de los pernos.

Por último para las especificaciones, en el apartado “Pantalla de concreto lanzado” se indica que para la aplicación del concreto lanzado en la pantalla, esta se debe realizar por personal con experiencia comprobada en este tipo de trabajos. Sin embargo, no se indican detalles de esa experiencia como por ejemplo años laborados en este tipo de operación, cantidad de metros cuadrados trabajados en pantallas de este tipo, entre otros atestados. Se debería ser más específico en este punto.

En cuanto al resto de las láminas de los planos aportados de los muros de suelo cosido, la lámina 5 muestra el detalle de la ubicación de los pernos del muro norte. Este se subdivide en varios muros de suelo cosido, que oscilan entre 4 metros a 8 metros aproximadamente, es por ello que la empresa MECO solicitó a Geofortis diseñar los 3 muros típicos revisados en el apartado anterior del presente informe.

El muro norte C, en su extremo derecho, tiene una altura de casi 8 metros (7,80 metros para ser exacto) sin embargo se está plantando colocar una configuración de pernos similar al diseño de los muros de 6 metros. Esto no está del todo mal, ya que se trata de no cambiar abruptamente la configuración constructiva del muro, que podría generar mayores problemas a la postre. Sin embargo al momento de la construcción y posterior a ella, durante la etapa de servicio, se debe tener un monitoreo más intensivo en dicha zona para evitar problemas de inestabilidad y colapso posteriores. De igual manera sucede con el muro norte E en su extremo izquierdo el cual tiene una altura de 7,72 metros.

En la lámina 6, se encuentra el detalle de cortes típico de cada muro. En estos detalles se puede observar que los cortes de 1 a 3 y de 5 a 9, que corresponden a muros con conformaciones de pernos diseñados como los muros de 4 y 6 metros, presentan los pernos de la parte superior, con una inclinación de 7° con respecto a la horizontal. Como ya se había discutido anteriormente en este apartado, esta conformación es diferente a la

establecida en el diseño de los muros de suelo cosido indicadas en el informe de la empresa Geofirtis, donde se indica que deben ser horizontales y embebidos en la capa de pavimento.

En esta lámina aún no se presenta el detalle indicando que las cabezas de los pernos deben estar unidos por dos varillas #3 tanto vertical como horizontalmente, ni que se debe colocar una pantalla de concreto lanzado reforzado con una malla doble de varilla #3. Esto se hace en una lámina posterior, sin embargo es importante por lo menos indicar en una nota que el detalle de la pantalla se presentará en otra lámina.

En la lámina 7, se presenta el detalle de la distribución de los pernos del muro de suelo cosido sur. Este también se subdivide en muros cuya profundidad también oscila entre 4 a 8 metros. Al igual que con el muro norte, hay dos segmentos de muro en los que hay que tener especial cuidado, ya que la conformación de los pernos indicada corresponde a los muros de 6 metros diseñado por Geofortis, pero la altura de estos es un poco mayor. Estos muros son la parte derecha del muro sur D y parte izquierda del muro sur G. Para estos muros, se debe seguir la misma recomendación dada para los muros norte con la misma condición.

En la lámina 8 se muestran los detalles de los cortes de cada muro sur y al igual que en los muros norte, se encuentra la primer fila de pernos inclinada 7° con respecto a la horizontal, a excepción de los muros sur E y F que son los que tienen la conformación de los pernos del diseño del muro de 8 metros. Adicionalmente, tampoco muestra el detalle de las uniones de los pernos y la existencia de la pantalla de concreto lanzado.

Es aconsejable, solicitar la razón por la cual esta primer fila de pernos en todos los muros de suelo cosido que se estén conformando como los muros de diseño de 4 y 6 metros del diseño, tienen la inclinación de 7° con respecto a la horizontal, ya que lo indicado en el informe de Geofortis se indica que debe ser horizontal y debe estar embebido en la capa de la estructura de pavimento.

En la lámina 9, aparece el detalle de la conformación de la pantalla de concreto lanzado con su refuerzo respectivo. Se muestra la unión entre las cabezas de los pernos por medio de las dos varillas #3 en ambas direcciones, así como el detalle de la malla #3 que se debe colocar como refuerzo del concreto lanzado. Cada uno de estos detalles es importante para poder colocar los pernos en el suelo. Se deben respetar tanto las recomendaciones dadas en la lámina de especificaciones como los detalles dados en esta lámina.

Finalmente, las láminas 10 y 11 muestran detalles importantes de los drenajes que deben estar presentes en la parte inferior de los muros, según la recomendación dada por la empresa Geofortis. Sin embargo, en ninguna de las láminas se detallan estos drenajes de 6 metros de longitud espaciados horizontalmente cada 5,0 metros. Lo que se muestra en la lámina 10 es una red de drenaje continua a lo largo de ambos muros. En la lámina 11 se muestran los detalles de los drenajes, además de mostrar un drenaje adicional en la parte

trasera de los muros, solución que parece conveniente para evitar que se infiltre agua en la zona de los muros de suelo cosido, sobre todo si no se ha considerado en la construcción del muro incluir los drenajes como los recomienda Geofortis.

V. Conclusiones y recomendaciones

Una vez revisados los documentos e informes geotécnicos del diseño de los muros de suelo cosido, se plantean las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. La solución planteada de la construcción de dos muros de suelo cosido (parte norte y parte sur), parece ser la más apropiada para las condiciones que presenta este tipo de proyecto y por los materiales encontrados en la zona.
2. Para este tipo de proyectos donde se está realizando en diseño y construcción de una obra más que todo geotécnica, como lo es la solución de muros de suelo cosido, se debe tener presente que el modelo geotécnico es fundamental. Tanto para el diseño y análisis de los muros de suelo cosido, así como en la propia etapa constructiva para poder hacer el control geotécnico durante el proceso de excavación. En la información inicial dada, no se encuentra este modelo claramente identificado, se tuvo que solicitar información adicional mediante el oficio LM-AT-110-14, pues no existía ninguna lámina con este modelo y adicionalmente, se establecen unas propiedades de los materiales que según el informe de Geofortis, esta información fue proporcionada por MECO. Esto tampoco se aclara en la información suministrada.
3. Es importante que, para tener más claros los niveles topográficos y el establecimiento del modelo geotécnico propio de cada perfil de muro diseñado y analizado, es mejor colocar en el espacio del modelo geotécnico general cuáles fueron esos cortes que se tomaron en cuenta para hacer la modelación para el diseño de los muros.
4. Se recomienda tener el modelo geotécnico a mano durante el proceso constructivo de los muros, es decir durante todo el período de excavación de cada muro, para realizar el levantamientos periódicos de los materiales encontrados, por parte del profesional responsable, con el fin de que si se encontrase algún material distinto a los predicho en el modelo geotécnico, se puedan tomar las previsiones del caso. Esto se constituiría en una actualización periódica del modelo geotécnico.
5. Además, se recomienda que durante todo el período de construcción de los muros de suelo cosido, exista un Ingeniero Civil Geotecnista residente para que pueda hacer las verificaciones recomendadas en el punto anterior del presente informe, y que si surgiese algún inconveniente o se presentara algo distinto a lo supuesto en el modelo, se pueda realizar la recomendación adecuada para la obra.

6. Existen discrepancias entre lo recomendado en el informe de diseño de los muros de suelo cosido, con respecto a los planos constructivos, específicamente en la primera fila de los pernos de los muros configurados como típicos de 4 y 6 metros de profundidad. Geofortis en su informe indica que estos pernos son horizontales embebidos en la estructura del pavimento; sin embargo, en los planos constructivos se muestra una inclinación de 7° con respecto a la horizontal.
7. Se recomienda solicitar la aclaración de la diferencia de esta primer fila, ya que los análisis realizados y mostrados en el informe de Geofortis, la configuración fue distinta.
8. La configuración de los drenajes para los muros de suelo cosido recomendados por Geofortis en su informe de aclaraciones donde se indica el procedimiento constructivo de este tipo de muros, no es la misma que la mostrada en los planos.
9. Se recomienda solicitar la aclaración pertinente para determinar si la obra de drenajes propuesta en los planos constructivos propuesta, es igualmente apropiada a la recomendada por Geofortis.