



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-IG-05-19

# Revisión de los estudios de suelo del proyecto de la intersección de las Garantías Sociales – Ruta Nacional N° 39

INFORME FINAL

Preparado por:  
Ing. Ana Lorena Monge S, M.Sc.  
Coordinadora  
Programa de Ingeniería Geotécnica



San José, Costa Rica  
Mayo, 2019



<b>1. Informe</b> <b>LM-IG-05-19</b>		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> Revisión de los estudios de suelo del proyecto de la intersección de las Garantías Sociales – Ruta Nacional 39		<b>4. Fecha del Informe</b> 14 mayo 2019
<b>5. Organización y dirección</b> 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		
<b>6. Notas complementarias</b> Ninguna		
<b>7. Resumen</b> <i>A solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica del PITRA a continuación, se presenta la revisión de los estudios de suelos para la intersección en el sitio de la rotonda de las Garantías Sociales, de la Ruta Nacional N° 39 – Circunvalación.</i>		
<b>8. Palabras clave</b> Estudios de suelo, intersección, modelo geológico-geotécnico, muros de retención, pantalla de pilotes	<b>9. Nivel de seguridad:</b> -	<b>10. Núm. de páginas</b> 11
<b>11. Preparado y aprobado por:</b>  Ing. Ana Lorena Monge Sandí Coordinadora Programa de Ingeniería Geotécnica		



## CONTENIDO

I.	Introducción .....	4
II.	Revisión de la sección 2.2.2 “Geología y geotecnia” de “Memorias” .....	4
III.	Revisión del Anexo 2 “Estudio de geología y geotecnia” .....	5
III.1	Modelo geológico – geotécnico del sitio y parámetros de los materiales .....	5
III.2	Niveles freáticos .....	6
III.3	Evaluación del potencial de licuación de suelos por sismo .....	6
III.3.1	Análisis adicional de licuación en los suelos del Proyecto .....	8
III.4	Geotecnia de las obras de tierra .....	9
III.4.1	Cortes .....	9
III.4.2	Compactabilidad y uso en rellenos de los suelos detectados .....	10
III.5	Geotecnia de las estructuras .....	10
III.5.1	Capacidad de soporte y asentamientos .....	10
III.5.2	Obras de retención .....	11
III.5.3	Pavimentos existentes .....	11
IV.	Comentarios finales .....	11
V.	Referencias .....	11



## REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS DE SUELO DEL PROYECTO DE LA INTERSECCIÓN DE LAS GARANTÍAS SOCIALES – RUTA NACIONAL N° 39

### I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra el resultado de la revisión de la Memoria y Anexo 2 “Geología y Geotecnia” del Proyecto de la intersección de las Garantías Sociales – Ruta Nacional N° 39 elaborado por el Euroestudios.

En las “Memorias” se aterriza el modelo geológico – geotécnico del sitio, resultante de los estudios de suelos realizados por la empresa Castro y de la Torre. El anexo 2 muestra el resumen elaborado por Euroestudios a partir del informe entregado por Castro y de la Torre acerca del trabajo realizado para determinar la geología y la geotecnia del sitio. En este anexo también se muestra el informe entregado por Castro y de la Torre, el cual también se somete a revisión.

### II. Revisión de la sección 2.2.2 “Geología y geotecnia” de “Memorias”

En este apartado Euroestudios indica que el estudio de suelos para el sitio de la intersección de las Garantías Sociales y el diseño de las recomendaciones los realizó la empresa Castro y de la Torre.

Se indica que se realizó una campaña de ensayos de campo que consistió en:

- 11 perforaciones de SPT y rotación con extracción de muestras de manera intercalada
- 1 perfil de refracción sísmica

Con los resultados obtenidos de estos ensayos y con información adicional obtenida de ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas, se obtiene la estratigrafía mostrada en la Tabla 1, la cual es una compilación de la descripción dada por Castro y de la Torre en sus informes.

Tabla 1. Estratigrafía del sitio de la intersección de las Garantías Sociales

Material	Descripción
Rellenos antrópicos	Suelos heterogéneos compuestos por limos plásticos con alto contenido de arena y suelos arenoso. Color café oscuro con olor orgánico. Consistencia moderadamente firme y los espesores varían entre 1.0 a 6.3 m.
Suelo aluvial	Arcilla plástica de color gris con potencial de expansión. Consistencia firme a muy firme y espesores varían entre 0.5 a 5.1 m.
Formación Lavina ultrafina	Limo plástico con arena y bloques. Color café y café amarillento a marrón. Consistencia firme a muy firme. La relación matriz-bloques entre 93%-7% a 98%-2%. El espesor varía entre 2.50 a 8.45 m.
Formación Lavina fina	A. Limo plástico con arena. Color café a café grisáceo. Consistencia firme. La relación matriz-bloques entre 75%-25% y 91%-9%. El espesor varía entre 4.5 a 5.0 m.
	B. Limo plástico con algo de arena. Color café a café grisáceo. Consistencia de muy firme a duro. Misma relación matriz-bloques que la unidad anterior. El espesor varía entre los 2.0 y 10.0 m
Formación Lavina gruesa	Bloques con algo de arena y arcilla. Consistencia de densa a muy densa. Bloques con tamaños de hasta 400 a 850 mm. Espesores superiores a los 9.0 m.



Las características geomecánicas de estos materiales descritos se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Caracterización geomecánica de los materiales encontrados en el sitio de la intersección de las Garantías Sociales

Material	SUCS	Propiedades							
		Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Finos (%)	LL	IP	Cohesión (kPa)	$\phi$ (°)	C. balastro (T/m <sup>3</sup> )
Rellenos antrópicos	ML-SM MH-SM	1550	22-53 (38)	58-75 (65)	40-52 (47)	13-23 (18)	0.0	28.0	1600
Suelo aluvial	CH	1650	36-55 (44)	79-93 (86)	60-75 (66)	29-44 (35)	10.8	28.6	3200
Formación Lavina ultrafina	MH	1750	32-56 (46)	71-95 (86)	57-73 (65)	17-29 (25)	27.5	25.0	5200
Formación Lavina fina	MH	1650	47-56 (52)	65-69 (67)	52-54 (53)	21-23 (22)	14.7	25.0	2400
	MH	1750	20-51 (41)	52-69 (62)	44-54 (50)	12-23 (19)	29.4	26.0	6000
Formación Lavina gruesa	-	2000	14-42 (28)	< 25	-	-	9.8	38.0	10000 a 15000

Euroestudios indica que después de realizar los análisis pertinentes de capacidad de soporte tomando en cuenta utilizar cimentaciones superficiales, se considera que a pesar de que el suelo es capaz de transmitir adecuadamente las cargas, se producen asentamientos mayores a los permitidos por el Código de Cimentaciones de Costa Rica, por lo que se decide proponer una pantalla de pilotes como solución a la retención de la masa de suelos.

Esta pantalla de pilotes se propone realizarla con diámetros de 0.6 m, 0.8 m, 1.0 m y 2.5 m. Los pilotes se proponen empotrarlos 3 m en la capa que se considera más competente que es el Lahar en la fase gruesa (formación lavina gruesa).

La solución se considera adecuada, dadas las características del proyecto y a la experiencia con que se cuenta de los proyectos que anteriormente se han construido con dicha técnica (p.e. Rotonda de la Guacamaya).

### III. Revisión del Anexo 2 “Estudio de geología y geotecnia”

En el informe del anexo 2 se encuentra el resumen elaborado por Euroestudios acerca de los resultados de los estudios de suelos realizados por la empresa Castro y de la Torre. También se cuenta con el informe de Castro de la Torre que es el documento que se procede a revisar con mayor profundidad, dado que el resumen presentado al inicio del Anexo 2 es prácticamente el mismo que Euroestudios presenta en el documento “Memorias”.

A continuación, se muestran los comentarios que se tienen acerca de los apartados revisados del documento de Castro y de la Torre.

#### III.1 Modelo geológico – geotécnico del sitio y parámetros de los materiales

Castro y de la Torre comenta que el modelo geológico – geotécnico presentado en la Figura 1 se determinó utilizando la información de los distintos materiales encontrados en las perforaciones, correlacionándolos con el perfil establecido por el ensayo de refracción sísmica, y los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas.

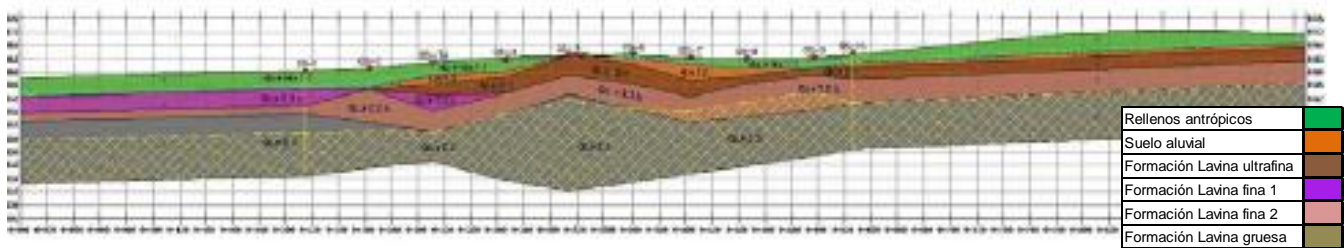


Figura 1. Modelo Geológico – Geotécnico del sitio de la intersección de las Garantías Sociales

Las propiedades de estos materiales son las mostradas en la Tabla 1.

Se verifican las propiedades con los resultados de los ensayos mostrados en el informe. Se observa que los rangos de los valores dados se obtienen utilizando en la mayor parte de los casos los valores máximos y mínimos reportados para cada ensayo, a excepción de las dos capas para la formación lavina fina.

Para la capa de formación lavina fina, pareciera que los valores de las propiedades físicas fueron tomados de rangos medios de los resultados de los ensayos en laboratorio, y las propiedades de resistencia, en lugar de ser tomadas de los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales o de corte directo, los cuales se consideran más precisos, fueron tomados de las correlaciones realizadas con el ensayo de SPT, posiblemente porque los resultados arrojaban datos de estas dos subcapas mayores que la capa de formación lavina gruesa, que se considera como el material de mayor competencia de los encontrados en sitio.

A pesar de lo anterior, se considera que las propiedades asignadas están acordes con los materiales encontrados, además de que se cuenta con suficiente información para determinar estos como los parámetros de resistencia del modelo geológico – geotécnico.

### III.2 Niveles freáticos

Con respecto a los niveles freáticos, en su informe Castro y de la Torre indica que se encontraron dos niveles: un nivel colgado en las profundidades entre 2 a 6 m, y un nivel freático regional entre las profundidades de 16 a 24 m.

Es importante hacer notar que Castro y de la Torre indica que es aconsejable tomar las previsiones para realizar la evacuación de las aguas producto de la existencia de estos niveles freáticos, al momento de realizar la perforación para evitar los caídos en las paredes.

Se debe tomar en cuenta que el agua del nivel freático “colgado” entre las capas de la ceniza y el relleno, puede afectar al concreto colocado en las perforaciones ya que, si el agua aportada por este nivel freático no es desplazada completamente por la masa de concreto colocado, es posible que se mezcle con el concreto. Esto puede dar como resultado un concreto con menor resistencia, por la presencia de un exceso de agua, mayor a la del diseño de mezcla.

### III.3 Evaluación del potencial de licuación de suelos por sismo

En el apartado 6.5.4 del informe, Castro y de la Torre indica que para este tipo de suelo no existirá potencial de licuación porque el material encontrado no cumple con los siguientes 4 criterios:



- Arenas finas con granulometría específica (menos de un 20% de finos)
- Que las arenas estén sumergidas bajo el nivel freático
- Que el  $N_{spt}$  sea inferior a 25 golpes/pie (82 golpes/m)
- Que el espesor de la capa sea superior a 1,0 metro

Sin embargo, es conocido que materiales de grano fino, con ciertas características particulares puede presentar licuación. Entonces, para analizar si el estudio simplificado realizado por Castro y de la Torre es suficiente, es necesario verificar si los 4 criterios se cumplen.

En la Tabla 2, se puede verificar el porcentaje de finos para cada material, indistintamente si se clasifica o no como arena. Como se observa, todos los materiales presentan un porcentaje de finos mayor al 20%, por lo que no se cumple la primer premisa.

En el apartado III.2, se indicó que Castro y de la Torre, detectó dos niveles freáticos en el sitio del proyecto, uno entre los 2 a 6 metros y otro entre los 16 a 24 m. Revisando las profundidades a las que se encontraron los distintos materiales de cada capa, se observa que solamente la capa de Formación Lavina gruesa no se ve influenciada por el nivel freático, y la capa de Formación Lavina fina se encuentra bajo una influencia parcial del primer nivel freático encontrado, por lo tanto algunos materiales si se encuentran bajo condiciones saturadas gracias a la presencia del nivel freático.

Para el análisis de las últimas dos premisas, se cuenta con la información de la Tabla 3, en la cual se observan el número de golpes y el espesor promedio de las distintas capas de los materiales que forman parte del modelo geológico – geotécnico.

Tabla 3. Estratigrafía del sitio de la intersección de las Garantías Sociales

Material	Número golpes $N_{spt}$	Espesor promedio (m)
Rellenos antrópicos	2-46 (7)	2.1
Suelo aluvial	3-32 (14)	1.35
Formación Lavina ultrafina	6-77 (28)	2.25
Formación Lavina fina	8-12 (10)	5.0
	7-84 (36)	1.4
Formación Lavina gruesa	> 30	-

En todos los casos, las últimas dos premisas se cumplen. Esto no es indicado en el informe de Castro y de la Torre, porque como se mencionó anteriormente, se concentran en estos análisis para materiales tipo arena únicamente y no toman en cuenta los suelos de grano fino.

A continuación, se muestra el análisis adicional que se realiza para determinar si algún material presente en el sitio pueda ser susceptible a licuación, utilizando la metodología de la carta de plasticidad modificada por Idriss et al.



### III.3.1 Análisis adicional de licuación en los suelos del Proyecto

La metodología que se utiliza para el análisis adicional es en primer lugar determinar el potencial de licuación de los materiales con plasticidad, colocándolos en la carta de plasticidad modificada por Idriss et al, presentada en el Seminario de la ASCE del 2003, la cual incluye una zonificación de suelos potencialmente licuables. Esta carta de plasticidad modificada es la que se muestra en la Figura 2.

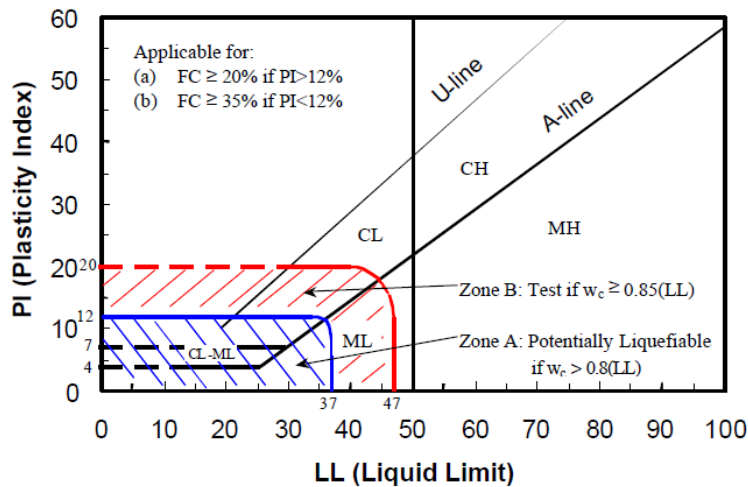


Figura 2. Carta de plasticidad modificada por Idriss et al (2003)

Cabe destacar que esta carta de plasticidad es aplicable para dos condiciones de suelos, a saber:

- Contenido de finos mayores que 20% si poseen un índice de plasticidad mayor que 12%
- Contenido de finos mayores que 35% si poseen un índice de plasticidad menor que 12%

Es importante hacer notar que, en esta carta de plasticidad modificada, la licuación se puede producir cuando al clasificar el suelo, este se encuentra en la zona A (zona azul) donde existe un potencial de licuación si el contenido de humedad natural del suelo es mayor al 80% del Límite Líquido ( $w_c > 0.8LL$ ), o se encuentra en la zona B, donde la licuación podría presentarse si el suelo posee un contenido de humedad natural es mayor o igual al 85% del Límite Líquido ( $w_c \geq 0.85LL$ ). La zona C es libre de licuación, al menos en su presentación clásica.

Analizando los valores de límite líquido e índice de plasticidad promedio, obtenidos por Castro y de la Torre a través de sus ensayos de laboratorio, en la carta de plasticidad modificada, se obtiene lo mostrado en la Figura 3.



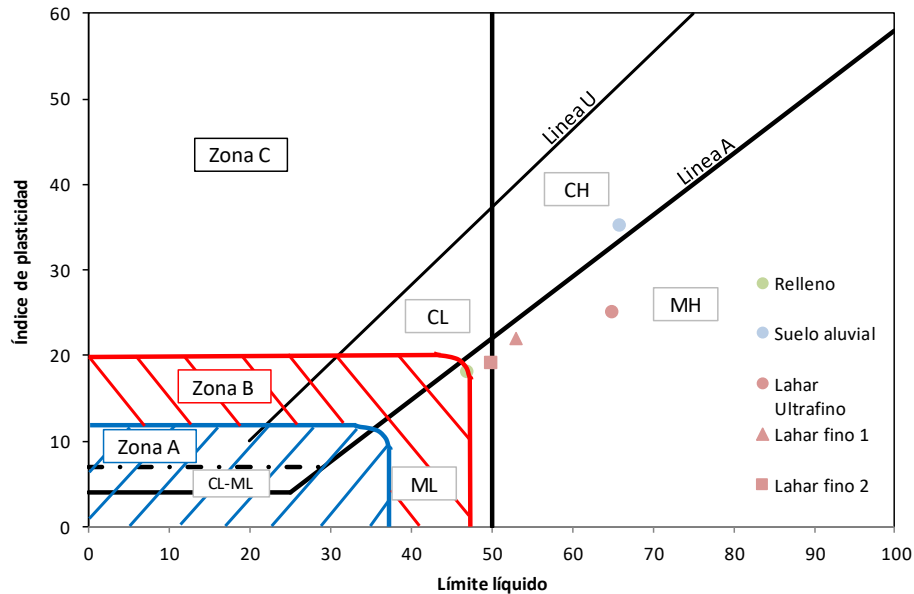


Figura 3. Carta de plasticidad modificada: sitio del proyecto de intersección de Garantías Sociales

Se observa la carta de plasticidad, se tiene que el material “Rellenos antrópicos” cae dentro de la zona B de potencial de licuación. Sin embargo, para determinar si este material presenta potencial se deben cumplir dos condiciones:

1. Como su IP (18) es mayor a 12, se debe verificar que el contenido de finos sea mayor a 20%. De la Tabla 2, se observa que el contenido de finos es de 65%, por lo que esta condición se cumple
2. Que la humedad natural (38%) sea mayor o igual al 85% del Límite Líquido, que en este caso es de 40%. En este caso, esta condición no se cumple.

Por lo tanto, no existe potencial de licuación de la capa de Rellenos antrópicos, y entonces es posible tomarla en cuenta para posibles cálculos de aporte de resistencia a la fricción de pilotes.

Lo que queda claro del informe de Castro y de la Torre, es que esta capa no se utilizará para cimentaciones superficiales.

### III.4 Geotecnia de las obras de tierra

La empresa Castro y de la Torre realiza una serie de recomendaciones al respecto de las excavaciones y de las cimentaciones de las obras. A continuación, se comenta al respecto. temporales.

#### III.4.1 Cortes

Las recomendaciones dadas para los cortes en los materiales que se deban realizar en el proyecto son las que se resumen en la Tabla 4.



Tabla 4. Recomendaciones dadas para los cortes del proyecto

Material	Pendiente del corte
Rellenos antrópicos	3H:1V
Suelo aluvial	3H:1V
Formación Lavina ultrafina	2H:1V
Formación Lavina fina	3H:2V
Formación Lavina gruesa	3H:2V

Castro y de la Torre es enfático en que se debe realizar el manejo de aguas apropiado para poder garantizar la estabilidad de estos materiales.

Estas recomendaciones no van acompañadas de análisis de estabilidad en el informe por lo que se consideran recomendaciones generales y conservadoras realizadas por Castro y de la Torre para contar con una premisa inicial. Sin embargo, esto no se considera problemático en vista que la contención de los suelos se realizará por medio de un muro de pantalla de pilotes.

#### **III.4.2 Compactabilidad y uso en rellenos de los suelos detectados**

Las recomendaciones dadas por Castro y de la Torre para realizar rellenos se consideran adecuadas.

#### **III.5 Geotecnia de las estructuras**

A continuación, se comenta acerca de la revisión de los resultados mostrados en el informe acerca de la capacidad de soporte del medio, así como los asentamientos asociados, acerca de los parámetros a utilizar para el diseño de muros de contención y del análisis realizado a los pavimentos existentes.

Cabe señalar que Castro y de la Torre, solamente realiza cálculos de la capacidad de los pilotes, siendo estos utilizados como cimentación, y no pareciera que realizara el diseño de la pantalla de pilotes, como una estructura de contención.

Este diseño se presume, lo realiza la empresa contratada para realizar la construcción de este, sin embargo, no se cuenta con esta información como para corroborar esta suposición.

##### **III.5.1 Capacidad de soporte y asentamientos**

Se observan los resultados de los análisis de capacidad de soporte y de asentamientos tanto para la opción de cimentar utilizando placa corrida, así como haciendo uso de cimentaciones profundas. En este caso Castro y de la Torre, muestra que se producen asentamientos mayores con placas corridas, incluso sobrepasando los valores límite recomendados por el Código de Cimentaciones de Costa Rica, por lo tanto, no recomiendan este tipo de cimentación.

Es por ello que Castro y de la Torre recomienda el uso de pilotes, indicando 3 opciones de tamaño: 0.6 m, 0.8 m y 1.0 m. Se recomienda que estos pilotes se empotren 3 m en la capa de Formación Lavina gruesa, ya que es la capa de material más competente encontrada en el sitio del proyecto. Esta incluso es considerada en los análisis como una roca blanda, debido a las propiedades del material.



Para el cálculo de asentamientos, Castro y de la Torre recomienda que se verifiquen en campo a través de la ejecución de pruebas de carga.

Estas recomendaciones se consideran adecuadas, inclusive la verificación de asentamientos mediante los ensayos in situ, ya que de esta capa no se cuenta con información de consolidaciones por la dificultad de realizar los ensayos correspondientes, dada la naturaleza del material.

### **III.5.2 Obras de retención**

Los parámetros recomendados a utilizar por Castro y de la Torre parecen adecuados, sin embargo, dependiendo del diseño de la obra de retención a diseñar (pantalla de pilotes) puede ser que sean necesarios otros datos. La solicitud de información adicional, si es que se requiere, debe ser realizada por la empresa encargada del diseño final de la propuesta del muro de pantalla de pilotes como obra de retención.

### **III.5.3 Pavimentos existentes**

En los resultados de los ensayos granulométricos presentados en el apartado 10.2.1, se observan que los materiales incumplen el porcentaje pasando de la especificación dada por el CR-2010 aunque sea uno de los tamices. No queda clara la recomendación que deba seguirse para corregirla, puesto que la conclusión de Castro y de la Torres es que como cumple con el CBR solicitado en el CR-2010, es suficiente criterio para utilizar estos materiales como base y sub-base.

A pesar de que se cumple con el requisito de capacidad, se considera importante que si algunos de estos materiales se vayan a utilizar como base y sub-base, se les realice algún tipo de corrección por granulometría para alcanzar el cumplimiento de las especificaciones del CR-2010.

## **IV. Comentarios finales**

Se observa que el estudio de suelos fue adecuado y que cuenta con la información suficiente para establecer el modelo geológico – geotécnico y los parámetros de resistencia de los materiales que intervendrán en el sistema de cimentaciones para las obras que se propongan. No obstante, como Castro y de la Torre no plantea el diseño de la pantalla de pilotes como muro de contención, se desconoce si el responsable de este diseño requerirá de algún parámetro adicional, por lo que la ampliación eventual de este estudio quedaría sujeta a estas necesidades.

El recomendable que cuando se vaya a realizar el diseño de la base y sub-base del proyecto, se verifiquen nuevamente las propiedades de los materiales para determinar si es posible llegar al adecuado cumplimiento de las granulometrías solicitadas por el CR-2010.

## **V. Referencias**

- Euroestudios. (2015). *Proyecto de la intersección garantías sociales. San José Costa Rica. Proyecto de diseño de detalle: Memoria.* San José.
- Euroestudios. (2015). *Proyecto de la intersección garantías sociales. San José Costa Rica. Proyecto de diseño de detalle: Anexo 2 Geología y Geotecnia.* San José.