

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMPRESA GEOTECNOLOGÍA S.A.S.  
COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO  
DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE  
BUCARAMANGA**

**DAYSON ALEXIS MENDOZA MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMPRESA GEOTECNOLOGÍA S.A.S.  
COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO  
DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE  
BUCARAMANGA**

**DAYSON ALEXIS MENDOZA MORENO**

**Trabajo de grado para optar por el título:  
Ingeniero Civil**

**Director:  
WILFREDO DEL TORO RODRÍGUEZ  
INGENIERO CIVIL, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá y a mi papá por el apoyo, la motivación y el ejemplo para trabajar por cumplir mis metas.

A mi hermana por el acompañamiento en los primeros semestres de estudio.

A mi hermano por la colaboración brindada.

A el ingeniero Jaime Suárez por la colaboración y acompañamiento técnico y por compartir un poco de su experiencia en el estudio geotécnico.

A Geotecnología S.A.S. y su equipo de trabajo por el espacio y la oportunidad brindada para desarrollar la práctica empresarial.

A mis compañeros y amigos de la Universidad.

A Música y Danzas UIS, parte complementaría durante mi paso por la Universidad.

## TABLA DE CONTENIDO

	ESTUDIO GEOTÉCNICO .....	14
1	GENERALIDADES .....	14
1.1	Características del proyecto .....	14
1.2	Objetivos del estudio geotécnico .....	14
1.3	Actividades realizadas .....	15
2	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA .....	16
2.1	Geología local .....	16
2.2	Geomorfología local .....	17
3	GEOTECNIA DEL LOTE ESTUDIADO .....	17
3.1	Resultado de los sondeos geotécnicos .....	17
3.2	Resultado de los análisis de laboratorio .....	19
3.3	Conclusiones geotécnicas .....	20
4	ENSAYOS “IN SITU” .....	20
4.1	Presiómetro de Ménard (PMT) .....	20
4.2	Ensayos Down Hole. (Estudio de onda sísmica “in situ”) .....	23
4.3	Multichannel Analysis of Surface Wave (ensayo MASW) .....	27
4.4	Tomografías Geoeléctricas .....	29
5	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO .....	31
5.1	Criterio general .....	31
5.2	Perfil geotécnico .....	32
5.3	Peso unitario .....	33
5.4	Módulo de elasticidad “E” .....	34
5.5	Ángulo de fricción interna .....	34
5.6	Cohesión .....	35
5.7	Coeficientes de presión de tierra $K_0$ , $K_a$ y $K_p$ .....	35
6	CAPACIDAD DE SOPORTE .....	36
7	Análisis de asentamientos utilizando elementos finitos .....	37
8	MÓDULO DE BALASTO .....	39
9	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS, EXCAVACIONES Y TALUDES 40	
10	CONCLUSIONES GEOTÉCNICAS DEL LOTE .....	41
11	LIMITACIONES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO .....	42

12	CONCLUSIÓN DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	43
	BILBIOGRAFÍA .....	44
	ANEXOS .....	45

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Corte transversal esquemático Guayacanes Torres del Parque.....	13
<b>Figura 2.</b> Plano geológico local. ....	16
<b>Figura 3.</b> Perfil geológico local A-A' . ....	17
<b>Figura 4.</b> Diagrama general del ensayo PMT.....	21
<b>Figura 5.</b> Curva típica del ensayo PMT. ....	21
<b>Figura 6.</b> Diagrama general del ensayo Downhole. ....	24
<b>Figura 7.</b> Velocidad de onda “S” (Vs) ensayo Downhole sondeo 1. ....	25
<b>Figura 8.</b> Características de las ondas superficiales (R) en relación a la profundidad. ....	27
<b>Figura 9.</b> Perfil pseudo-2D del ensayo MASW-1.....	28
<b>Figura 10.</b> Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1. ....	31
<b>Figura 11.</b> Ejemplo modelo de zapata aislada 3,0m x 3,0m.....	36
<b>Figura 12.</b> Cargas distribuidas de la placa de cimentación Torre 1.....	37
<b>Figura 13.</b> Modelo tridimensional de la placa de cimentación Torre 1. ....	38
<b>Figura 14.</b> Distribución de asentamientos en planta, placa de cimentación Torre 1. .....	38
<b>Figura 15.</b> Asentamiento vs. Carga, placa de cimentación Torre 1.....	39
<b>Figura 16.</b> Análisis de estabilidad estático costado norte. Sin obras H=19m. ....	40
<b>Figura 17.</b> Análisis estabilidad estático costado norte. Corte con obras H=19 m...	41

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de las estructuras del proyecto. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Profundidades a las cuales apareció el nivel freático. ....	18
<b>Tabla 3.</b> Resumen de ensayos de laboratorio. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Valores de $am$ . [4] .....	22
<b>Tabla 5.</b> Resumen de los resultados obtenidos de los PMT.....	22
<b>Tabla 6.</b> Módulos de elasticidad obtenidos de los ensayos PMT .....	23
<b>Tabla 7.</b> Factor de reducción R para la determinación del módulo cortante estático (Massarsch 1984) .....	26
<b>Tabla 8.</b> Perfil característico del suelo.....	32
<b>Tabla 9.</b> Pesos unitarios por estratos .....	34
<b>Tabla 10.</b> Módulos de elasticidad “E” por estratos.....	34
<b>Tabla 11.</b> Ángulo de fricción interna. ....	34
<b>Tabla 12.</b> Cohesión del suelo por estratos. ....	35
<b>Tabla 13.</b> Coeficiente de presión de tierra por estratos. ....	35
<b>Tabla 14.</b> Resumen de parámetros recomendados para el suelo por estratos. ....	35
<b>Tabla 15.</b> Resultados capacidades de soporte del análisis para ejemplo de cimiento aislado. ....	36
<b>Tabla 16.</b> Resultados de los modelos de elementos finitos.....	39
<b>Tabla 17.</b> Presiones promedio recomendadas para el diseño.....	40
<b>Tabla 18.</b> Factores de seguridad mínimos. ....	40

## RESUMEN

**TÍTULO** PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMPRESA GEOTECNOLOGÍA S.A.S. COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA\*

**AUTOR** Dayson Alexis Mendoza Moreno\*\*

**PALABRAS CLAVE** Estudio geotécnico, perfil geotécnico del suelo, cimentaciones, nivel freático, tomografía, SPT.

### DESCRIPCIÓN:

En el presente artículo se exponen los procesos y las actividades desarrolladas por el autor en la empresa Geotecnología S.A.S. durante el periodo de práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la ejecución del estudio geotécnico de un terreno proyectado para la construcción de tres torres de uso residencial y comercial en el municipio de Floridablanca-Santander.

Se describen los ensayos de campo: Presiómetro de Ménard, ensayo Down Hole, MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave), Tomografía Geoeléctrica y SPT; y los procesos ejecutados en oficina como la interpretación de los ensayos de campo, la correlación de las muestras de los sondeos, la modelación en el software Load Cap para determinar la capacidad de carga de los suelos, el análisis de asentamientos utilizando elementos finitos (Plaxis 3D), el análisis de estabilidad de taludes por medio de modelos en el programa Slope, entre otros procesos que permiten caracterizar el suelo requerido para la construcción y dar las recomendaciones de ingeniería necesarias para el diseño de la cimentación y las actividades de excavación y construcción.

El buen desarrollo en conjunto de las actividades en campo y oficina además de los datos y la experiencia adquirida en otros estudios geotécnicos cercanos al lote en estudio permite presentar resultados y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción la obra garantizando un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo.

---

\* Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

\*\* Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Wilfredo del Toro Rodríguez

## ABSTRACT

**TITLE** BUSINESS PRACTICE IN GEOTECNOLOGÍA S.A.S.  
AS ENGINEERING ASSISTANT IN ACTIVITIES FOR  
DEVELOPMENT OF GEOTECHNICAL STUDIES IN  
THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA.

**AUTHOR** Dayson Alexis Mendoza Moreno.

**KEYWORDS** Geotechnical study, geotechnical soil profile,  
foundations, groundwater, tomography, SPT.

### DESCRIPTION:

In this article describes the processes and activities carried out by the author in the company Geotecnología S.A.S. during the period of business practice as engineering assistant in the execution of the geotechnical study of land planned for the construction of three residential and commercial towers in the municipality of Floridablanca-Santander.

There are described the geophysical and geotechnical tests made in field and the office processes that allow characterize the soil required for construction giving the necessary recommendations to design the foundation and the activities of excavation and construction.

Field tests are described: Ménard pressuremeter, Down Hole test, MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave), Geoelectric Tomography and SPT; and the processes executed in office as the interpretation of field tests, the correlation of samples soundings, modeling in Load Cap software to determine the load capacity of soils, settlement analysis using finite element (Plaxis 3D) analysis of talud stability using models in the Slope program, among other processes that allow characterize the soil required for construction and provide engineering recommendations necessary for the design of the foundation and excavation activities and construction .

The good development in all activities in the field and office in addition to the data and experience gained in other geotechnical studies near the site under study allows to present results and recommendations necessary engineering for the design and construction work ensuring proper behavior building, protecting primarily the integrity of persons before any external phenomenon.

---

\* Degree work

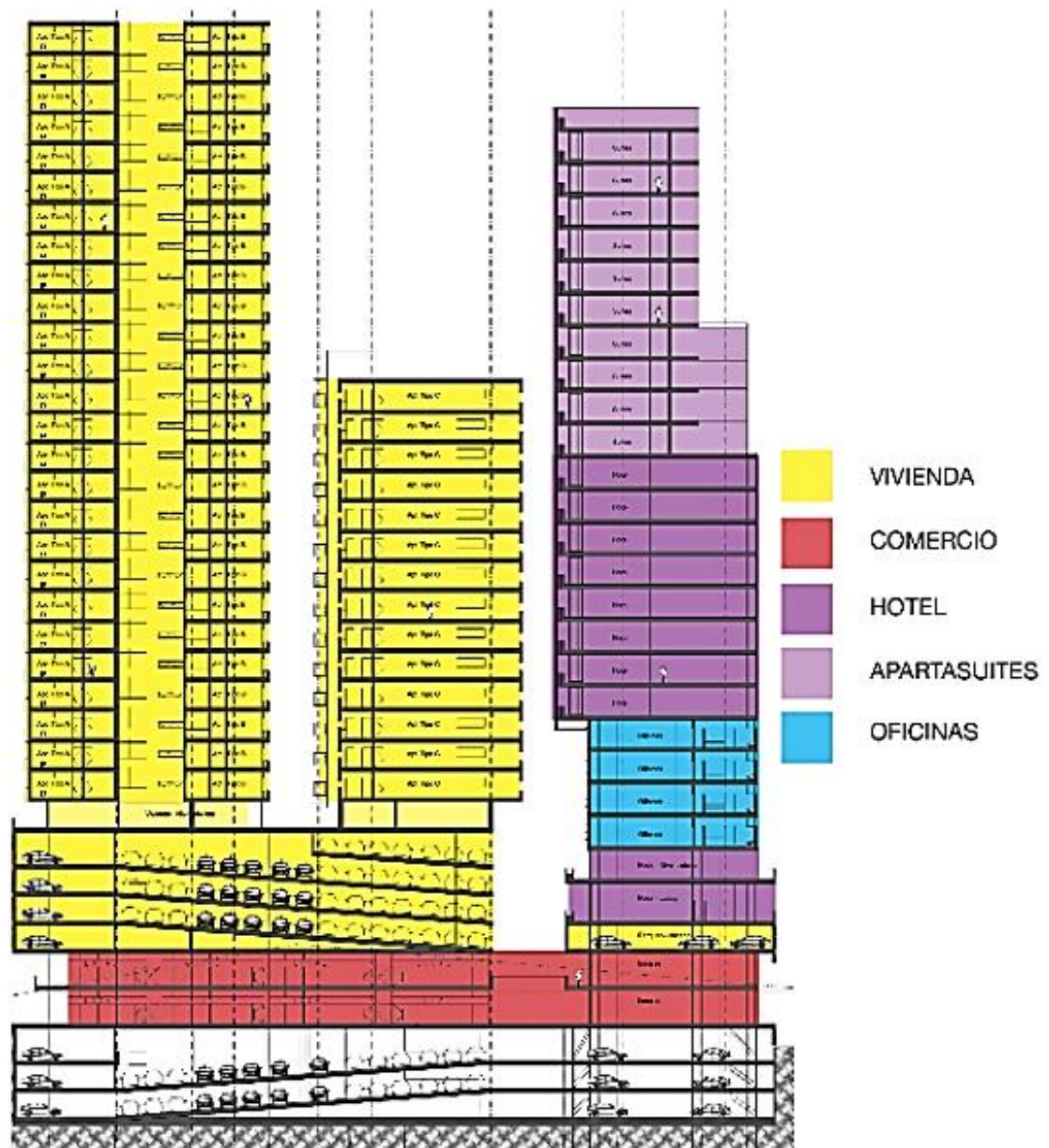
\*\* Faculty of Physical-Mechanics Engineering. School of Civil Engineering. Director:  
Wilfredo del Toro Rodríguez

## INTRODUCCIÓN

Durante la práctica empresarial en Geotecnología S.A.S. se desarrollaron actividades como auxiliar de ingeniería en el campo de la Geotecnia dando aportes en la elaboración de estudios geotécnicos. Se tuvo la supervisión del ingeniero civil Jaime Suarez como tutor por parte de Geotecnología S.A.S. y la asesoría y acompañamiento de otros ingenieros especialistas en diversas disciplinas enfocadas a la ejecución de los proyectos.

El proyecto en el que se tuvo mayor participación como practicante fue: Guayacanes Torres del Parque, un proyecto desarrollado para la empresa Urbanas S.A. cuyo lote a estudiar se ubica en Floridablanca – Santander en la intersección de la transversal 154 con la calle 158. En este caso el proyecto requería un estudio de suelos para el terreno en donde se construirán tres torres de 34, 25 y 30 niveles incluyendo los sótanos. (Ver figura 1)

Como actividades principales para el desarrollo de estos proyectos se encuentran: la determinación y elaboración de los ensayos de campo necesarios de acuerdo a la información previa recopilada, el análisis de los resultados de laboratorio, la caracterización geológica y geomorfológica del sitio, el análisis geotécnico de estabilidad de taludes, la elaboración de modelos computacionales de los métodos de contención propuestos para la estabilización de excavaciones, el dibujo de planos y la elaboración de memorias de cálculo e informes definitivos.



**Figura 1.** Corte transversal esquemático Guayacanes Torres del Parque.  
**Fuente:** Urbanas S.A.

## **ESTUDIO GEOTÉCNICO**

El estudio geotécnico es un conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de obras de contacto con el suelo, de tal forma que garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.[1]

### **1 GENERALIDADES**

Este estudio geotécnico debe cumplir con la totalidad de los requerimientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

#### **1.1 Características del proyecto**

- Forma del lote: irregular.
- Área útil del lote: 5439,8 m<sup>2</sup>.
- Número de unidades de construcción separadas por juntas (NSR-10): 3 unidades
- Tipo de Estructura: Edificios.
- Altura en niveles incluyendo sótanos:
  - Torre 1: 34 niveles
  - Torre 2: 25 niveles
  - Torre 3: 31 niveles
- Clasificación según el reglamento NSR-10: Categoría especial.  
Profundidad propuesta de excavación para cimentación: 20 metros en el costado norte y 11 metros en el costado sur.

#### **1.2 Objetivos del estudio geotécnico**

- Definir la viabilidad técnica del lote para la construcción del proyecto planteado.
- Identificar los problemas de cimentación inherentes a la formación geológica, los materiales del suelo, la topografía del lote y la hidrología subterránea.
- Determinar mediante sondeos y ensayos el perfil de suelo para el diseño de cimentaciones.

- Recomendar la profundidad y el sistema de cimentación más apropiado de acuerdo con las características de la estructura, de la geología y de la geotecnia del sitio.
- Calcular la capacidad de soporte del terreno al nivel de la cimentación.
- Obtener los parámetros que se requieren para el diseño de cimentaciones, estructuras enterradas, muros de contención y otras obras de infraestructura.

### **1.3 Actividades realizadas**

Para la ejecución del estudio se realizaron entre otras las siguientes actividades:

- Recopilación de información disponible en lo que hace referencia a estudios geotécnicos anteriores en sitios cercanos.
- Visita al sitio de la obra, en donde se identificaron todos los aspectos que inciden directa e indirectamente en el proyecto, se identificaron los predios de construcciones vecinas y se analizaron características tales como: altura sobre el nivel del mar, pendientes, humedad del suelo superficial, presencia de rocas en la superficie, evidencias de erosión y/o formación de cárcavas, drenaje, vegetación, entre otras.
- Análisis de la caracterización geológica y geomorfológica del sitio.
- Ejecución de sondeos a rotación con recuperación de muestras de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente NSR-10.
- Instalación de piezómetros para la medición con precisión del nivel freático.
- Ejecución de ensayos de Down Hole y MASW para caracterizar el perfil de suelo.
- Ejecución de tomografías geoelectricas para detectar la presencia de acumulaciones de humedad y nivel freático en el perfil de suelo.
- Ejecución de ensayos presiométricos (PMT) para la medición de módulos de elasticidad en campo.
- Realización de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos para definir las propiedades de los materiales.
- Análisis geotécnico de estabilidad de la cimentación y los taludes, asentamientos y otros análisis exigidos por el reglamento NSR-10.
- Elaboración de un informe que incluye las recomendaciones para el diseño y la construcción del proyecto las memorias de análisis, y las conclusiones del estudio.

## 2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo al estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga [3] realizado por Ingeominas, el lote en estudio está localizado geológicamente sobre materiales del segmento Órganos de Hubach (Qbo) de la formación Bucaramanga. [Ver Anexo A]

### 2.1 Geología local

En la zona de influencia del lote en estudio afloran suelos aluviales del Segmento Órganos de Hubach de la Formación Bucaramanga compuestos por arenas limosas densas, arcillas arenosas duras, arenas arcillosas densas, niveles intercalados de suelos areno arcillosos y fragmentos de areniscas muy resistentes en matriz areno arcillosa muy densa, localmente se presentan materiales de relleno de poco espesor (Qlla). (Ver figura 2).

Le infrayacen suelos residuales y rocas fracturadas de la Formación Girón (Jg).

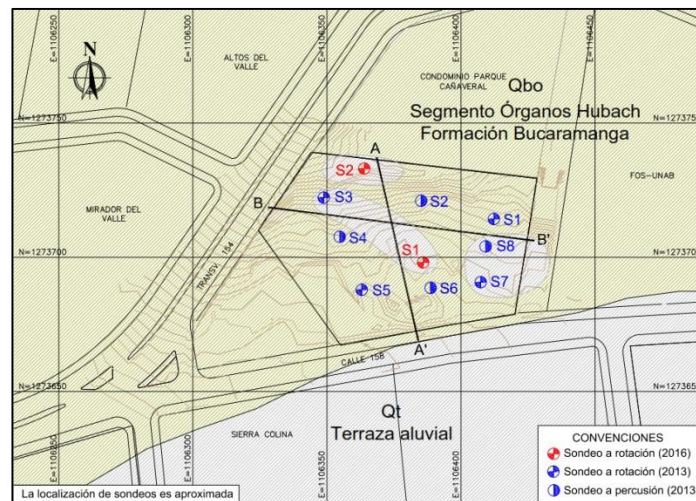
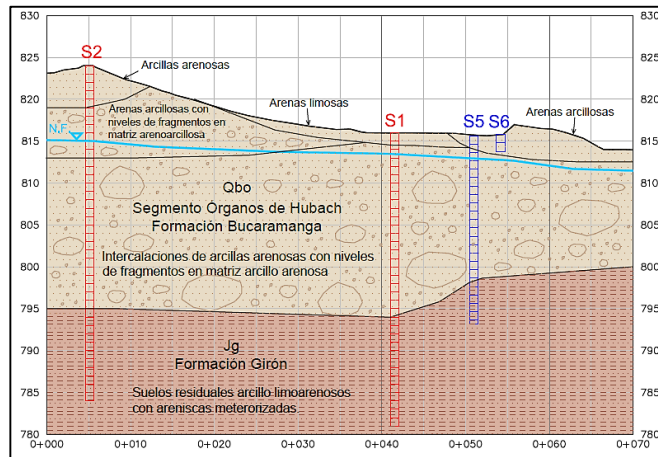


Figura 2. Plano geológico local.

Se encontraron suelos aluviales compuestos por arenas limosas, con presencia de gravas, de consistencia densa, hasta 2 metros de profundidad. Luego aparecen intercalaciones de suelos aluviales compuestos por fragmentos de arenisca y guijarros, dentro de matriz arcillo arenosa con presencia de gravas, de consistencia dura, hasta una profundidad de 25 metros.

Debajo aparecen suelos residuales compuestos por fragmentos y guijarros de arenisca, dentro de una matriz arcillo arenosa, con presencia de gravas, de consistencia dura, hasta una profundidad mayor a 25,0 metros. (Ver figura 3)



**Figura 3.** Perfil geológico local A-A'.

## 2.2 Geomorfología local

La zona de estudio se localiza en una superficie de ladera leve a medianamente inclinada sobre suelos aluviales del Segmento Órganos de Hubach de la Formación Bucaramanga en límites con una planicie y terraza aluvial asociada al río Frío y a la Quebrada Zapamanga. [Ver Anexo A]

## 3 GEOTECNIA DEL LOTE ESTUDIADO

Los estudios de suelos realizados anteriormente en este sector del municipio de Floridablanca muestran en general materiales de cimentación muy resistentes, pero en ocasiones con presencia de mantos de suelos sueltos o poco competentes.

### 3.1 Resultado de los sondeos geotécnicos

Se caracterizaron las estructuras del proyecto planteado para conocer sus requerimientos para las perforaciones.

**Tabla 1.** Características de las estructuras del proyecto.

Estructura	Altura en niveles incluyendo sótanos	Categoría (NSR-10)	Profundidad propuesta de excavación para cimentación (metros)
Torre 1	35	Especial	20,0 (costado norte)
Torre 2	23	Especial	20,0 (costado norte)
Torre 3	29	Especial	20,0 (costado norte)

De acuerdo con el reglamento NSR-10 se requiere la siguiente cantidad de sondeos:

Primera unidad: 5 sondeos.

Segunda unidad: 3 sondeos.

Tercera unidad: 3 sondeos.

En el año 2013 Geotecnología S.A.S. realizó 8 sondeos; 4 a rotación con profundidades mayores a 20 metros y 4 sondeos a percusión con profundidades entre los 2 y 3 metros.

En el lote se realizaron dos sondeos a rotación en el año 2016 con profundidades de 35 y 40 metros de profundidad. [Ver Anexo B]

En cumplimiento del Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente se realizaron los siguientes ensayos de campo:

- Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Norma ASTM D 1586, I.N.V.E. 111.
- Extracción de muestras de suelo.
- Descripción de muestras a partir de los siguientes criterios: litología, textura, tamaño de los granos, minerales presentes, estructura, color, presencia de materiales orgánicos y raíces, porosidad, consistencia o resistencia y demás características que permitan una descripción completa de la muestra de suelo.

Monitoreo del nivel freático utilizando sondas eléctricas en cada uno de los sondeos durante el tiempo de realización del estudio.

El perfil de suelo se considera relativamente bien drenado, se encuentra generalmente en estado húmedo.

El nivel freático apareció en los piezómetros instalados en algunos de los sondeos a las siguientes profundidades:

**Tabla 2.** Profundidades a las cuales apareció el nivel freático.

Sondeo	Profundidad a la cual apareció nivel freático (m)
3 (2013)	6,5 (Dic. 2013) – 11,2 (Feb. 2016)
1 (2016)	6,0 (Feb. 2016)
2 (2016)	14,5 (Feb. 2016)

El nivel freático apareció a 14,5 metros en el sector norte y 6,0 en el sector sur.

### 3.2 Resultado de los análisis de laboratorio

**Tabla 3.** Resumen de ensayos de laboratorio.

Ensayos de clasificación							
Sondeo	Prof. (mts)	W%	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I.P.	Clasificación S.U.C.S.
1	5,0	25,57	58,44	55,8	23,7	32,1	CH
1	9,5	19,55	46,44				SC
1	22,0	7,43	48,95	22,6	11,3	11,2	SC
1	29,1	21,62	51,09	31,6	17,5	14,1	CL
1	32,0	18,56	51,15				CL
1	35,0	25,28	52,65	32,1	21,3	10,8	CL
2	2,5	12,54	51,95	33,5	16,8	16,7	CL
2	14,5	16,55	54,47	28,3	15,0	13,3	CL
2	30,5	16,93	58,57	31,9	17,5	14,4	CL
2	34,0	22,05	51,25				CL
2	34,6	17,77	54,27				CL
2	37,5	21,09	50,71	33,5	19,8	13,7	CL
Ensayo de corte directo							
Sondeo	Profundidad	Angulo de	Cohesión (kN/m <sup>2</sup> )				
1	17,8	31,50	8,70				
2	30,5	30,90	28,30				
Ensayos de compresión inconfiada (Simple)							
Sondeo	Profundidad	qu (kN/m <sup>2</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )				
1	13,0	85,20	42,60				
2	34,6	79,95	39,98				
Ensayos de peso específico							
Sondeo	Profundidad (m)	Peso unitario seco					
1	22,0	1,99					
2	34,6	1,69					

W= humedad; % Finos= pasantes del tamiz ASTM 200; L.L.= Límite Líquido; L.P. = Límite Plástico; I.P. = Índice Plástico; S.U.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Las muestras obtenidas fueron transportadas al laboratorio de suelos de Geotecnología S.A.S., en la ciudad de Bucaramanga.

Después de descritas las muestras obtenidas en los sondeos, se identificaron las muestras típicas y se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico por tamizado (12 ensayos): ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123.
- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado (12 ensayos): ASTM D 2216 I.N.V.E. 122.

- Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (8 ensayos): ASTM D 4318 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E. 126.
- Clasificación de suelos (12 ensayos): ASTM D 2487.
- Resistencia al corte directo consolidado drenado (2 ensayos): ASTM D 3080 – AASHTO T 236 I.N.V.E. 154.
- Compresión inconfiada (2 ensayos): ASTM D2166 NLT 202 – AASHTO T208 – I.N.V.E. 152.
- Peso unitario (2 ensayos): ASTM D2937-71.

### 3.3 Conclusiones geotécnicas

#### **Características geotécnicas del sector:**

De la información geotécnica secundaria se observó que en los estudios realizados en los lotes cercanos al proyecto aparecen suelos aluviales de consistencia densa a profundidades menores a 30 metros.

A profundidades mayores de 30 metros se encuentran suelos residuales duros y bloques de roca de la Formación Girón.

**Clasificación de los suelos:** Los suelos se clasifican en su gran parte como arcillas arenosas (CL) y arenas arcillosas (SC).

**Ángulo de fricción:** Los ángulos de fricción obtenidos en los ensayos de corte directo fueron de 30,90° y 31,49°.

**Cohesión:** Los valores de cohesión obtenidos en los ensayos de corte directo son de 8,70 kN/m<sup>2</sup> y 28,30 kN/m<sup>2</sup>, y los obtenidos en los ensayos de compresión inconfiada son de 42,60 kN/m<sup>2</sup> y 39,98 kN/m<sup>2</sup>.

## 4 ENSAYOS “IN SITU”.

### 4.1 Presiómetro de Ménard (PMT)

El presiómetro de Menard es un equipo desarrollado por Louis Ménard en 1955.

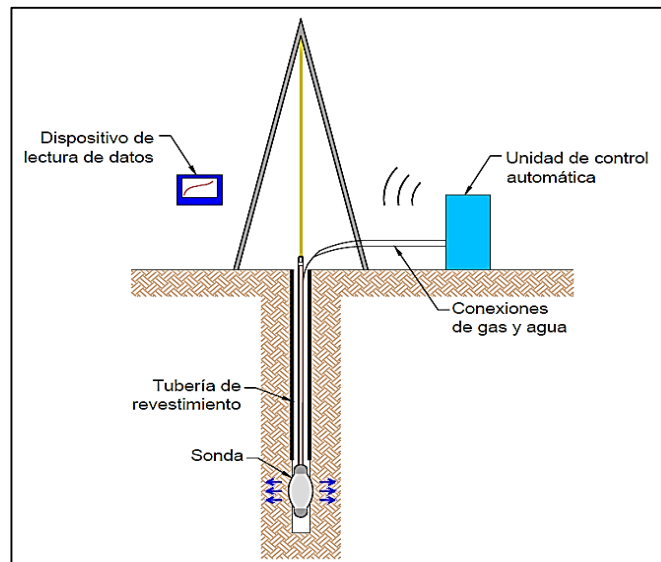
El ensayo PMT consiste en ubicar una sonda cilíndrica inflable en una perforación pre-excavada y expandirla con el fin de medir la deformación en el suelo. (Ver figura 4)

Una vez ubicada en su lugar, la sonda se infla con agua y gas nitrógeno bajo incrementos iguales de presión, mientras deforma el suelo en dirección radial. [6]

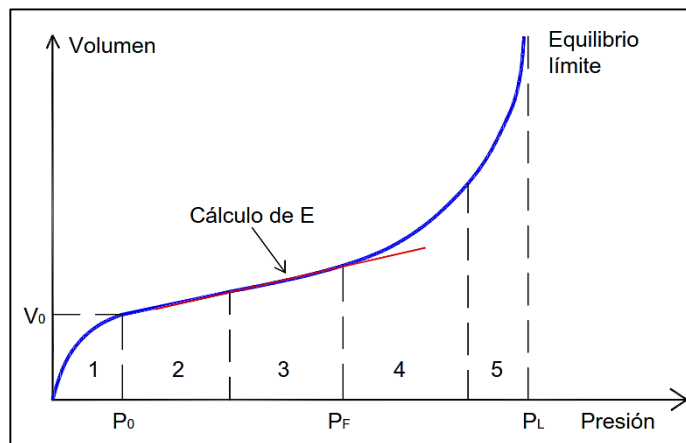
En el software se corrige la curva de acuerdo a las calibraciones por pérdidas de presión y volumen de la sonda, las cuales se realizan antes del ensayo.

De la curva corregida se calcula el módulo de elasticidad de Menard  $E_m$ , el cual representa la pendiente en el rango de deformaciones elásticas. (Ver figura 5)

Durante el ensayo el equipo registra los cambios de volumen en la sonda para cada incremento presión, con lo cual se traza la curva Volumen vs. Presión. [6]



**Figura 4.** Diagrama general del ensayo PMT.



**Figura 5.** Curva típica del ensayo PMT.

El procesamiento de los datos obtenidos en el ensayo se realiza en el software GeoVision 4.

El procedimiento del ensayo y el procesamiento de datos se realizan cumpliendo los estándares establecidos en la norma ASTM D 4719 y EN ISO 22476-4. [Ver Anexo B]

Para la ejecución de los ensayos PMT se utiliza el presiómetro de Menard automático GeoPAC de la empresa APAGEO, con capacidad de 5MPa y la unidad central de geotecnia GeoBOX para la lectura de datos. Al presiómetro se conecta una sonda con recubrimiento en lona mediante una manguera emparejada para agua y nitrógeno. [Ver Anexo B]

#### Cálculo de módulo de elasticidad:

El módulo de elasticidad E se calcula correlacionando el módulo de elasticidad de Menard  $E_m$  mediante la siguiente fórmula.

$$E_m = \alpha_m E_{oed}$$

$$E = E_{oed} \frac{(1+\nu')(1-2\nu')}{(1-\nu')} \quad [4]$$

Usando un valor de coeficiente de Poisson  $\nu'$  de 0.3.

$$E = E_{oed} 0.74 \quad E = 0.74 \frac{E_m}{\alpha_m} \quad [4]$$

**Tabla 4.** Valores de  $\alpha_m$ . [4]

Litología	Comportamiento Geotécnico	$\alpha_m$
Margas	Roca natural	1/2
Margas arenosas	Arena normalmente consolidada	1/3

Se toma un valor de  $\alpha_m$  de 1/3 correspondiente a arenas normalmente consolidadas y se obtiene la siguiente relación:

$$E = 2.22 E_m$$

**Tabla 5.** Resumen de los resultados obtenidos de los PMT.

Ensayo	Sondeo	Profundad. (m)	Presión de fluencia Pf (MPa)	Presión límite PI (MPa)	Módulo de elasticidad de Menard $E_m$ (MPa)	Módulo de elasticidad E (MPa)
PMT-1	1	15,3	1,11	1,11	101,8	226,00
PMT-2	1	27,5	4,05	4,05	118,1	262,18
PMT-3	2	20,1	2,96	4,79	78,05	173,27
PMT-4	2	31,3	3,98	3,98	68,8	152.82

A continuación se muestran los valores promedio de módulo de elasticidad para los diferentes estratos de suelo bajo el nivel de cimentación.

**Tabla 6.** Módulos de elasticidad obtenidos de los ensayos PMT

Profundidad (m)	Tipo de suelo	Módulo de elasticidad E (MPa)
10,0 a 25,0	Suelo aluvial	199.63
25,0 a 40,0	Suelo residual	207.50

#### **Conclusiones de los ensayos PMT:**

Los valores de módulo de elasticidad obtenidos de los ensayos PMT son variables debido a que en el perfil de suelo se encuentran niveles de fragmentos de roca a diferentes profundidades; sin embargo, todos los valores de módulos de elasticidad son altos y corresponden a suelos muy resistentes y competentes para la cimentación.

#### **4.2 Ensayos Down Hole. (Estudio de onda sísmica “in situ”)**

Se realizaron 2 ensayos de Onda sísmica tipo Down Hole para determinar los valores de velocidad de onda de cortante  $V_s$  y velocidad de onda de compresión  $V_p$ . Se realizó una medición cada 1.0 metro a lo largo del perfil de los sondeos pre-perforados y encamisados con una tubería PVC de 2 pulgadas.

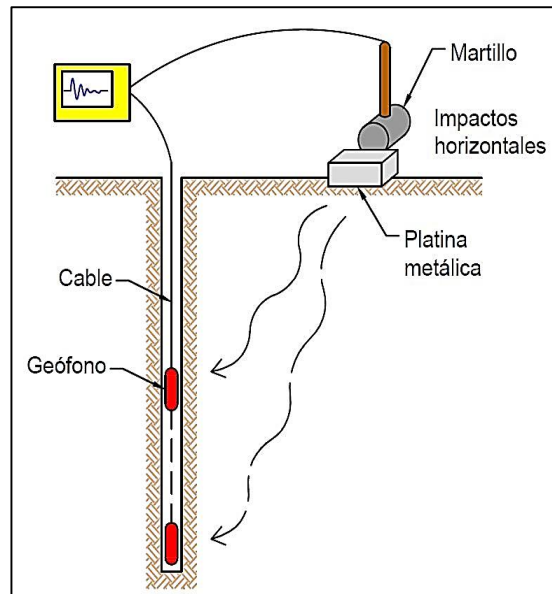
El ensayo consiste en generar una onda desde la superficie, produciendo un impacto mecánico con un martillo de 16Lb sobre una platina metálica, ubicada a una distancia aproximada de un metro del sitio del sondeo. Estas ondas viajan a través del suelo, siendo detectadas por un geófono triaxial que se introduce en el sondeo, midiendo el tiempo que tarda la onda en el trayecto desde la superficie hasta la profundidad donde se encuentre localizado el geófono. [Ver Anexo B]

El geófono dentro del sondeo envía los tiempos de la trayectoria a un computador que se encuentra en la superficie obteniendo un registro de los tiempos de llegada de la señal, a partir de los cuales se pueden determinar las velocidades de las ondas  $V_s$  y  $V_p$  de los diferentes estratos de suelo. (Ver figura 6)

Utilizando el software SEISIMAGER se realizó la interpretación de los resultados para obtener los valores de velocidad de onda de cortante  $V_s$ .

El ensayo Downhole tiene las siguientes aplicaciones:

- Determinar los tiempos de arribo y velocidades de propagación de la onda de corte ( $V_s$ ).
- Reconocimiento de los contactos entre unidades litológicas reconocidas hasta la profundidad de investigación.
- Determinar con base en las velocidades anteriores el perfil de suelo correspondiente a cada estrato y definir el perfil geotécnico de acuerdo a los requisitos de la NSR-10.
- Evaluación de características geotécnicas de cada unidad geológica e identificación de posibles zonas de falla, de fracturamiento/alteración de rocas, etc.



**Figura 6.** Diagrama general del ensayo Downhole.

Para la ejecución de los ensayos Downhole se utilizó un equipo GEODE de 24 canales de GEOMETRICS INC y el Borehole Geophone Controller de GEOSTUFF. [Ver Anexo B]

#### **Procedimiento del ensayo:**

El procedimiento general del ensayo se resume en los siguientes pasos:

- Revestimiento de la perforación.
- Revisión del estado de la perforación.
- Localización de las platinas a una distancia aproximada a 0.2 metro del sitio de la perforación.

- Instalación del equipo para medición.
- Colocación de la sonda dentro de la perforación en la profundidad inicial (0 metros).
- Generación de 5 impactos en cada platina utilizando el martillo de 16Lb.
- Desplazamiento de la sonda según el intervalo de medición deseado y generación de cinco golpes en la platina hasta alcanzar el máximo nivel de profundidad del pozo.

### Resultados ensayo Downhole en el sondeo 1

El ensayo Downhole No. 1 se realizó en el sitio del sondeo 1, hasta alcanzar los 33 metros de profundidad.

Los tiempos de llegada de las ondas a diferentes profundidades fueron registrados por el geófono triaxial, con esta información se puede realizar el picado de las llegadas de las ondas compresionales y de cizalla. [Ver Anexo B] A partir de estos tiempos de llegada, el software PsLog (Downhole Sismic) procesa los datos obtenidos en campo, para analizar la velocidad de onda en cada uno de los estratos de suelo que puedan ser encontrados en el sitio de estudio. (Ver figura 7)

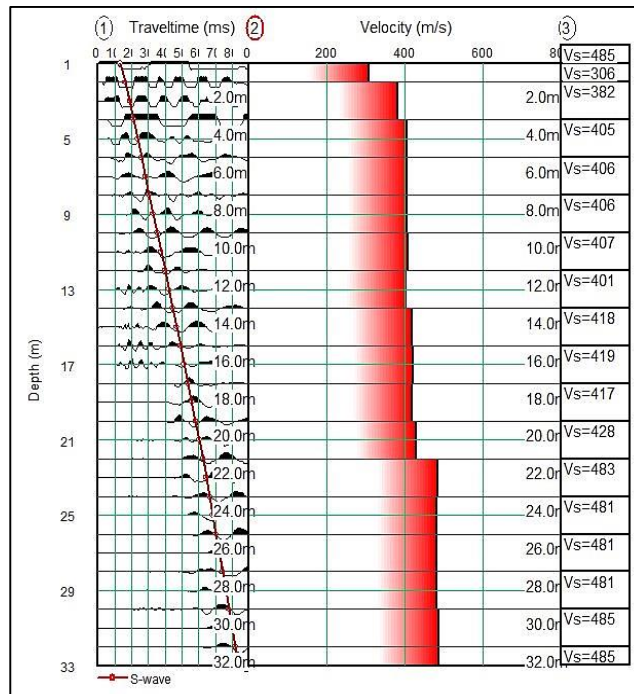


Figura 7. Velocidad de onda "S" (Vs) ensayo Downhole sondeo 1.

### Cálculos de parámetros dinámicos utilizando velocidad de onda

Con el valor de velocidad de onda cortante  $V_s$  es posible aproximar el módulo cortante  $G$  y el módulo de elasticidad  $E$  del suelo mediante fórmulas empíricas.

Módulo cortante:

$$G_{\max} = \rho V_s^2$$

Módulo cortante para grandes deformaciones:

$$G_{\text{stat}} = R G_{\max}$$

**Tabla 7.** Factor de reducción  $R$  para la determinación del módulo cortante estático (Massarsch 1984)

Tipo de Suelo	Factor de Reducción, $R$
Grava	0,20
Grava Arenosa	0,19
Arena Suelta	0,18
Arena media densa	0,15
Arena densa	0,12

Módulo de elasticidad:

$$E_{\text{stat}} = 2(1+\nu)G_{\text{stat}}$$

Para una relación de Poisson = 0.3:

$$E_{\text{stat}} = 2,6G_{\text{stat}}$$

En el anexo B se muestra el cálculo de módulo de elasticidad con las velocidades de onda obtenidas de los ensayos Downhole realizados en los sondeos 1 y 2.

### Conclusiones de los ensayos de onda sísmica:

Las velocidades promedio de onda "S" a profundidades mayores de 4 metros son de más de 430 m/s, y se esperan velocidades mayores a profundidades mayores de 30 metros.

La velocidad se encuentra entre  $360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$  por lo cual se concluye que en el perfil de suelo para el sitio donde se realizó la medición, según la NSR-10, es perfil C.

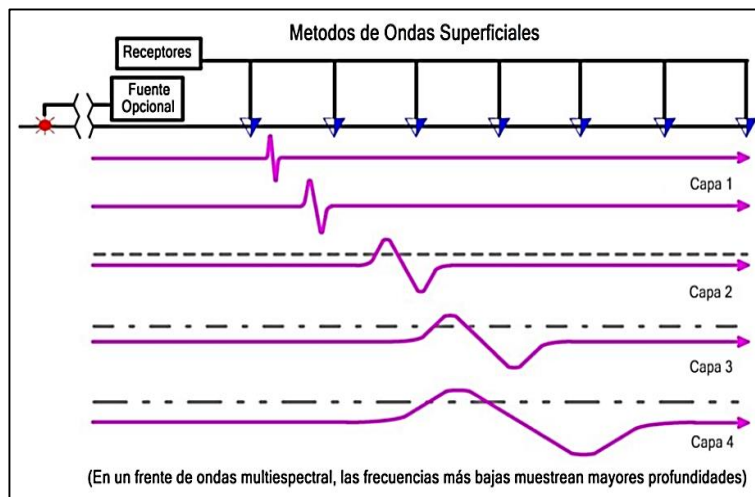
### 4.3 Multichannel Analysis of Surface Wave (ensayo MASW)

Se realizaron dos ensayos de onda sísmica tipo MASW 2D para determinar la velocidad de onda de cortante.

Para realizar el ensayo MASW se utilizó el equipo GEODE de 24 canales – GEOMETRICS INC. Con 24 geófonos de 4,5 MHz, de propiedad de Geotecnología S.A.S.

Una vez tomados los datos se utilizó el software Pickwin versión 4.4.1.0 y Wave Eq versión 2.5.1.5 para su procesamiento y posterior interpretación. [Ver Anexo B] El ensayo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consiste en generar una onda mecánica (R) a partir del impacto de una porra de 16 Lb sobre una platina metálica. El concepto técnico que se utiliza para la interpretación del ensayo se relaciona con el hecho que las ondas superficiales disminuyen exponencialmente en amplitud con la profundidad y son dispersivas, es decir, que las componentes de diferentes frecuencias viajan a diferentes velocidades.

Al profundizarse la amplitud es menor, la longitud de onda mayor y la Velocidad aumenta. (Ver figura 8)



**Figura 8.** Características de las ondas superficiales (R) en relación a la profundidad.

Las ondas Rayleigh tienen una velocidad muy cercana a las de la onda "S". Su velocidad es aproximadamente 9/10 de la velocidad de la onda de corte. [7]

La dispersión de las ondas (R) permite obtener el perfil sísmico del suelo teniendo en cuenta que las ondas con mayor longitud de onda penetran más profundamente en el suelo y poseen velocidades mayores.

Las velocidades o frecuencias específicas se les denominan velocidades de fase.

Las velocidades y longitudes de onda se obtienen midiendo los tiempos de recorrido a determinadas frecuencias utilizando el sismógrafo. Se obtienen de esta forma las curvas  $V_s$  – Frecuencia o curvas de dispersión. [7]

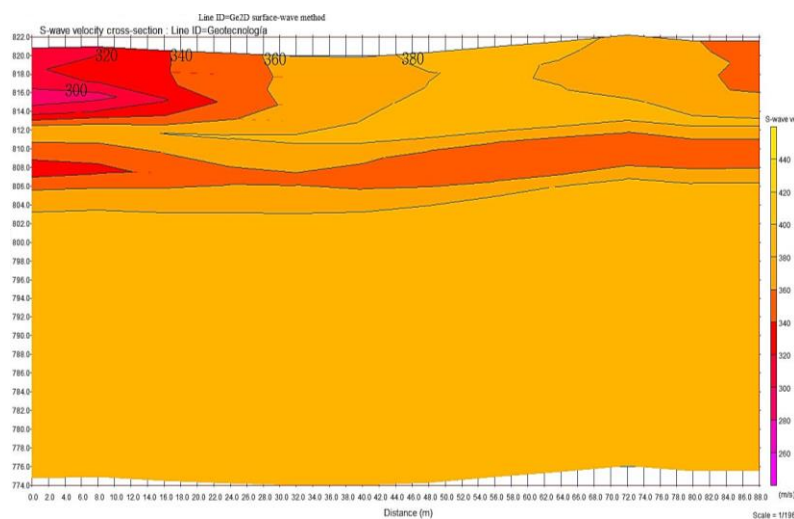
A cada velocidad se les asigna una profundidad realizando una inversión completa utilizando el Software SEISIMAGER.

**Descripción del arreglo utilizado:** Se realizaron dos ensayos MASW 2D con longitudes de 69 y 92 metros. Cada uno utilizando un arreglo lineal de separaciones uniformes de 3 y 4 metros entre geófonos respectivamente y generando ondas mecánicas en diferentes posiciones a lo largo del trazado de la línea sísmica, con el objeto de determinar los perfiles 2-D de onda en el suelo.

**El ensayo MASW realizado tiene los siguientes objetivos:**

- Determinar los perfiles de suelo por correlación con los valores de la velocidad de ondas superficiales.
- Detectar la presencia de mantos de suelos duros o blandos en el perfil estratigráfico.
- Definir los parámetros del suelo para los análisis de cimientos de equipos vibratorios.

**Cambios en la velocidad de fase respecto a la frecuencia:** Utilizando el software SEISIMAGER 2D se obtiene el modelo de velocidad de onda de cortante para el ensayo 2D (Ver figura 9). Con el perfil de onda de corte  $V_s$  se determina el perfil de suelo para diseño sismo resistente.



**Figura 9.** Perfil pseudo-2D del ensayo MASW-1.

### **Análisis de los resultados del ensayo MASW:**

- Casi en la totalidad de los valores obtenidos de velocidad de onda de cortante  $V_s$  en los ensayos MASW son superiores a 360 m/seg, lo cual equivale a que la totalidad de los perfiles de suelo ensayados, corresponden a materiales medio firmes a duros.
- En términos generales, la tendencia es al aumento de los valores de velocidad de onda de cortante con la profundidad.
- No se observan bolsas de materiales blandos.

### **4.4 Tomografías Geoeléctricas**

La tomografía es una técnica empleada para obtener una sección de un sólido. El término se deriva de la palabra griega “τομος” que significa “sección” o “rebanada”. El uso de la palabra tomografía en la literatura geofísica es relativamente reciente. [8]

En cada ensayo se midió la resistividad eléctrica  $R$  de los materiales del suelo. El propósito de la tomografía geo-eléctrica es determinar los cambios litológicos laterales y en profundidad, aprovechando el contraste de la resistividad entre los diferentes materiales de la misma formación o las diferentes formaciones; la resistividad del terreno depende principalmente de la composición mineralógica, el contenido de agua, el porcentaje de saturación, la porosidad y las características de los líquidos y gases que rellenan los poros. [8]

En campo se determina la distribución de la resistividad eléctrica de la superficie del terreno haciendo mediciones de la resistividad aparente y en esa forma retrocalcular la resistividad real.

Para la realización del ensayo se sitúan al mismo tiempo 81 electrodos en el terreno siguiendo una alineación, Se conectan a un multicable, el cual a su vez está unido a un resistivímetro y un selector de electrodo.

Según la posición de los electrodos, la corriente penetra más o menos en el terreno.

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo Terrameter LS de ABEM con pantalla LCD de 8,4”, 2 puertos KPT de 32 pines para 2D, GPS incorporado y 81 electrodos, de propiedad de Geotecnología S.A.S. [Ver Anexo B]

Para el procesamiento de los datos y visualización de los resultados se utilizó el Software RES2DINV

**Fundamento teórico:**

Uno de los métodos novedosos más utilizados en los últimos años es la tomografía geoelectrica 2D ya que se puede conocer la geología moderadamente compleja de la zona de estudio.

El concepto técnico que se utiliza para la interpretación del ensayo se relaciona con el hecho que cada material de suelo o roca posee una resistividad característica dependiendo de los minerales que lo forman, los líquidos y gases que llenan los poros, la humedad, la porosidad, la textura y la distribución de los poros.

Las rocas ígneas y metamórficas típicamente tienen altos valores de resistividad. La capacidad de estas rocas para impedir el paso de la corriente eléctrica depende mucho del grado de fracturación que posee y del porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno.

Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad.

Los suelos mojados y el agua fresca del terreno tienen valores aún más bajos.

En los suelos arcillosos, las resistividades son normalmente menores que las correspondientes al suelo arenoso.

La resistividad del agua del terreno varía desde 10 a 100 ohm,m; dependiendo de la concentración de sales disueltas. El bajo valor (alrededor de los 0,2 ohm.m) en el agua de mar se debe al alto contenido de sal, esto hace que los métodos de resistividad sean técnicas ideales para la planimetría de la interfase de estructuras con contenido de agua fresca y salina.

Algunos de los compuestos de hidrocarburos, tal como el Xileno, tienen resistividades muy altas. [Ver Anexo B]

**Tomografía geoelectrica No.1**

Se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 80 metros, conformado por 81 electrodos espaciados uniformemente cada metro.

El resultado de la tomografía geoelectrica 1 realizada ha de interpretarse desde un punto de vista hidro-mecánico basándose en las características geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y geotécnicas observadas en campo y en la información disponible de las perforaciones y ensayos de campo realizados en sitios cercanos al lote de estudio.

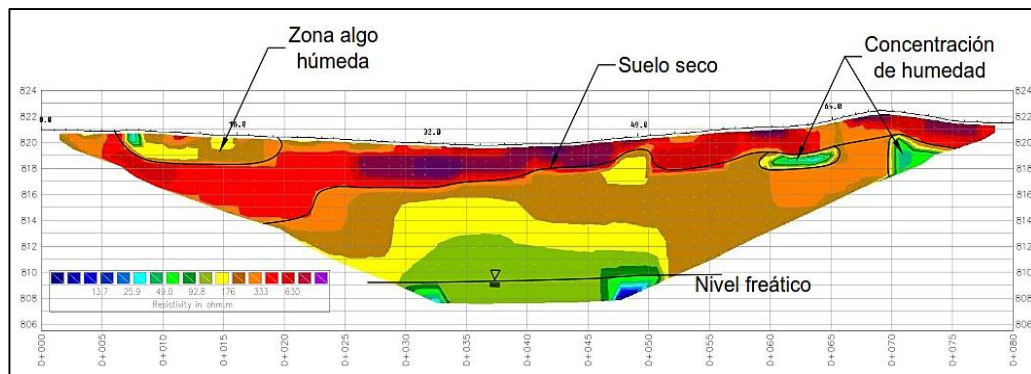
El modelo de resistividad real se encuentra ajustado a las características topográficas de la zona donde se realizó la tomografía geoelectrica No 1. En la imagen obtenida se puede observar la distribución geométrica de los materiales

de depósito de Flujo de escombros (Qfe), Terraza aluvial (Qal) y Formación Girón (Jg) en diferente grado de meteorización, humedad y consolidación. (Ver figura 10)

De forma general se encuentran valores de resistividad variables, lo cual indica una diferencia composicional de la sección estudiada.

En la tomografía se observan los siguientes elementos geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos:

- El nivel freático aparece a 10 metros de profundidad en la parte superior del lote.
- Se observan algunas concentraciones de humedad en los mantos subsuperficiales, pero no se esperan problemas específicos relacionados con estas humedades.
- La principal limitante para la construcción del proyecto es la presencia del nivel freático aproximadamente a 10 metros por debajo del nivel superior del lote.



**Figura 10.** Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1.

## 5 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO GEOTÉCNICO

### 5.1 Criterio general

De acuerdo con el criterio de Geotecnología S.A.S., el ensayo de penetración estándar es el que permite caracterizar de mejor manera los suelos del municipio de Floridablanca.

El ensayo de penetración estándar (SPT) es el ensayo más utilizado en el mundo [2] para la caracterización geotécnica de perfiles de suelo en el sitio y es el ensayo que más se ha empleado para el diseño de cimentaciones.

El ensayo SPT se encuentra estandarizado con la norma ASTM D1586-99.

La Norma D1586-99 sugiere que en el mismo suelo el valor de N de SPT utilizando el mismo tipo de equipo, puede reproducirse con un coeficiente de variación de aproximadamente el 10%, el cual se considera muy bajo; esto conduce a concluir que si en un suelo como el del área metropolitana de Bucaramanga se está utilizando el valor de N como parámetro para el diseño de cimentaciones en forma continua durante muchos años, la obtención de nuevos valores de N permite compararse sin errores importantes con los valores de N históricos de la experiencia obtenida.

La totalidad de las cimentaciones diseñadas adecuadamente utilizando el SPT como correlación han tenido un comportamiento satisfactorio.

El ensayo de penetración estándar (SPT), genera una información muy valiosa para investigar suelos con un perfil irregular [5]; esto permite detectar la dureza relativa de los diversos mantos.

El ensayo SPT correlaciona muy bien tanto para suelos granulares o cohesivos cuando el N es alto; en estos casos se trata de suelos granulares relativamente gruesos o suelos cohesivo-granulares cementados.

## 5.2 Perfil geotécnico.

A continuación se presenta el perfil geotécnico desde el centro del lote a una cota aproximada de 819 m.s.n.m.

**Tabla 8.** Perfil característico del suelo.

Profundidad (m)	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
0.5	Suelos aluviales compuestos por arenas limosas, con presencia de gravas de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia densa, húmedos, algo permeables, sin olor específico, de color gris marrón claro y marrón amarillento claro. (Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	SM
1		
1.5		
2		
2.5	Suelos aluviales compuestos por fragmentos de arenisca de color amarillo marrón, dentro de una matriz compuesta por arcillas arenosas, con presencia de gravas de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo marrón. (Qbo) Segmento	CL
3		
4		
5		
6		
7		

8	Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	
9		
10		
10.5	Suelos aluviales compuestos por guijarros de color marrón rojizo, amarillo marrón, y gris marrón claro, dentro de una matriz arcillo arenosa, con presencia de gravas de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón rojizo y amarillo marrón. (Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	CL
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
19.5	Suelos aluviales compuestos por fragmentos y guijarros de arenisca gris y marrón claro, dentro de una matriz arcillo arenosa, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón oscuro y marrón amarillento con pintas blancas. (Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	CL
20		
21		
22		
23		
24		
25		
25.5	Suelos residuales compuestos por fragmentos y guijarros de arenisca, de color marrón pálido y marrón rojizo claro, dentro de una matriz arcillo arenosa, con presencia de gravas de granos semiangulosos a redondeadas, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón rojizo claro, amarillo rojizo y gris claro. (Jg) Formación Girón.	CL
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		

### 5.3 Peso unitario

El peso unitario de los suelos se determinó utilizando los ensayos de laboratorio y tomando como referencia estudios realizados en la zona y valores típicos para este tipo de suelo.

Se recomendaron los siguientes valores para los diferentes estratos

**Tabla 9.** Pesos unitarios por estratos

Profundidad (m)	Peso Unitario (kN/m <sup>3</sup> )
0,0 a 10,0	18,5
10,0 a 25,0	19,0
25,0 a 40,0	19,5

#### 5.4 Módulo de elasticidad “E”

Los módulos de elasticidad se definieron de acuerdo con los resultados de los ensayos Downhole, MASW y PMT realizados en el lote.

Se recomendaron los siguientes valores para los diferentes estratos:

**Tabla 10.** Módulos de elasticidad “E” por estratos.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	E (MPa)
0,0 a 10,0	344,0	85,38
10,0 a 25,0	428,0	135,74
25,0 a 40,0	485,0	178,89

#### 5.5 Ángulo de fricción interna

Para el análisis de resistencia al cortante y presiones de tierra se determina el valor del ángulo de fricción interno, utilizando los resultados de los ensayos de corte directo y tomando como referencia estudios realizados en la zona y valores típicos para este tipo de suelo.

Se recomendaron los siguientes valores para los diferentes estratos:

**Tabla 11.** Ángulo de fricción interna.

Profundidad (m)	$\Phi$ Para diseño (°)
0,0 a 10,0	32
10,0 a 25,0	34

## 5.6 Cohesión

Para definir los valores de cohesión del suelo se utilizaron los resultados de los ensayos de corte directo y compresión confinada. Igualmente se tomaron como referencia estudios realizados en la zona y valores típicos para ese tipo de materiales.

Se recomendaron los siguientes valores de cohesión para diseño.

**Tabla 12.** Cohesión del suelo por estratos.

Profundidad (m)	Cohesión para diseño (kN/m <sup>2</sup> )
0,0 a 10,0	15
10,0 a 25,0	15
25,0 a 40,0	20

## 5.7 Coeficientes de presión de tierra K<sub>0</sub>, K<sub>a</sub> y K<sub>p</sub>

**Tabla 13.** Coeficiente de presión de tierra por estratos.

Profundidad (m)	Angulo de fricción	K <sub>0</sub>	K <sub>A</sub>	K <sub>P</sub>
0,0 a 10,0	32	0,4701	0,3073	3,2546
10,0 a 25,0	34	0,4408	0,2827	3,5371
25,0 a 40,0	35	0,4264	0,2710	3,6902

### Resumen de parámetros de diseño recomendados

De acuerdo con los resultados anteriores tomando como referencia los diferentes estudios realizados en la zona, se recomendaron los siguientes valores para los parámetros de diseño:

**Tabla 14.** Resumen de parámetros recomendados para el suelo por estratos.

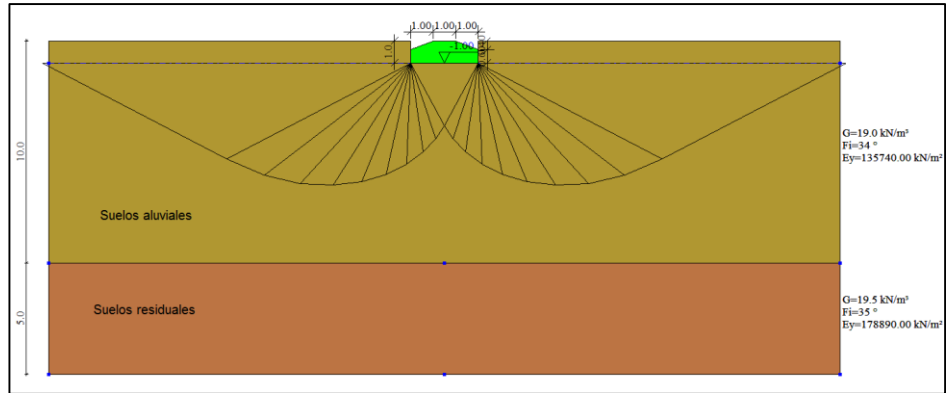
Profundidad (m)	Peso Unitario (kN/m <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción $\Phi$ (°)	Cohesión (kN/m <sup>2</sup> )
0,0 a 10,0	18,5	85,38	32	15
10,0 a 25,0	19,0	135,74	34	15
25,0 a 40,0	19,5	178,89	35	20

## 6 CAPACIDAD DE SOPORTE

### Capacidad de soporte utilizando en criterio de condición de rotura:

Se calculó de capacidad de soporte utilizando el software LOADCAP.

Se realizaron los análisis mediante la utilización del software LOADCAP, para diferentes tipos y geometrías de cimentación. [Ver Anexo B]



**Figura 11.** Ejemplo modelo de zapata aislada 3,0m x 3,0m.

En estos modelos se simula la falla del cimiento a rotura y se obtiene la capacidad última del suelo y no el asentamiento máximo.

Con los modelos anteriores se calcula la capacidad de carga  $Q_{ult}$  y  $q_a$  para falla del cimiento a rotura, los cuales se relacionan en las siguientes tablas.

**Tabla 15.** Resultados capacidades de soporte del análisis para ejemplo de cimiento aislado.

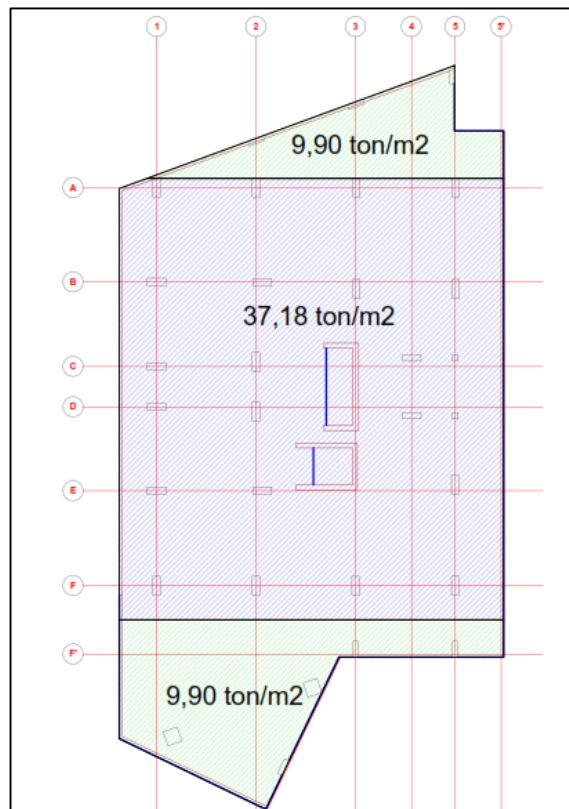
Autor	Cimiento aislado 3,0 x 3,0	
	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )
Hansen (1970)	2512.66	837.55
Terzaghi	2194.21	731.4
Meyerhof	2738.6	912.87
Vesic	2630.93	876.98
Brinch-hansen	2403.11	801.04
Promedio	2495.902	831.968

## 7 Análisis de asentamientos utilizando elementos finitos.

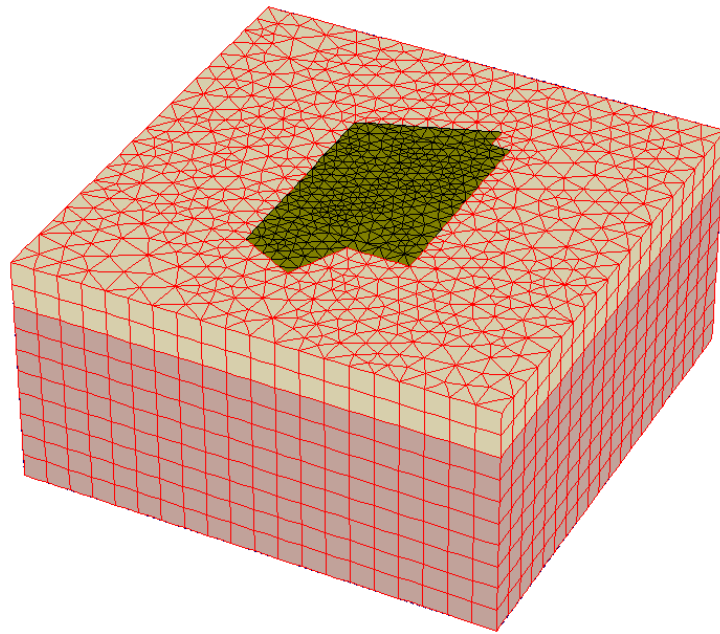
Para el análisis de asentamientos de la torre 1 se modelaron diferentes tipos de cimentaciones posibles. En la placa de cimentación se establecieron dos zonas de carga diferentes, de acuerdo con la distribución de cargas de la estructura. [Ver Anexo B] Las cargas utilizadas son las cargas promedio, calculadas con las cargas de servicio de las columnas.

La zona 1 corresponde a la zona bajo la torre 1 y se modeló con una carga promedio de 371,8 kN/m<sup>2</sup>. La zona 2 corresponde a la plataforma de parqueaderos alrededor de la torre y se modeló con una carga promedio de 99,0 kN/m<sup>2</sup>.

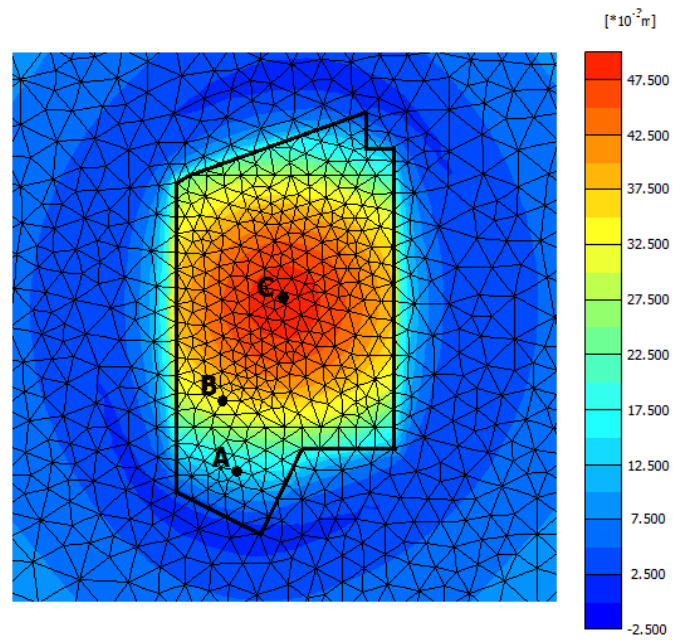
Las siguientes gráficas muestran los resultados del modelo hecho en Plaxis 3D Para la placa de cimentación de la torre 1.



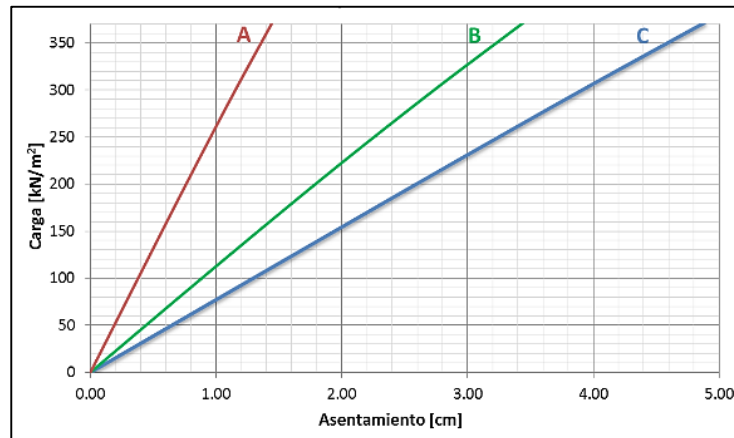
**Figura 12.** Cargas distribuidas de la placa de cimentación Torre 1.



**Figura 13.** Modelo tridimensional de la placa de cimentación Torre 1.



**Figura 14.** Distribución de asentamientos en planta, placa de cimentación Torre 1.



**Figura 15.** Asentamiento vs. Carga, placa de cimentación Torre 1.

En la siguiente tabla se indican los resultados de los modelos luego de analizar cimientos aislados y corridos en diferentes dimensiones.

**Tabla 16.** Resultados de los modelos de elementos finitos.

Tipo de cimentación	Presión promedio (kN/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)
Zapata aislada 3,0 x 3,0 m	777,78	2,50
Zapata aislada 4,0 x 4,0 m	656,25	2,50
Cimiento corrido 3,0 x 15,0 m	600,0	2,50
Placa de cimentación torre 1 (Zonas: A - B - C)	371,8	1,45
		3,45
		4,88
Placa de cimentación torre 2 (Zonas: A - B - C)	261,2	1,66
		2,73
		3,48
Placa de cimentación torre 3 (Zonas: B - C)	310,0	3,31
		4,52

## 8 MÓDULO DE BALASTO

Se recomienda utilizar las capacidades admisibles y módulo de Balasto de acuerdo con las siguientes tablas:

**Tabla 17.** Presiones promedio recomendadas para el diseño

Tipo de cimentación	$q_a$ (kN/m <sup>2</sup> )	$K_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
Zapata aisladas	400,0	26000
Cimientos corridos	400,0	24000
Placa de cimentación Zona A	600,0	15000
Placa de cimentación Zona B	600,0	10000
Placa de cimentación Zona C	600,0	7000

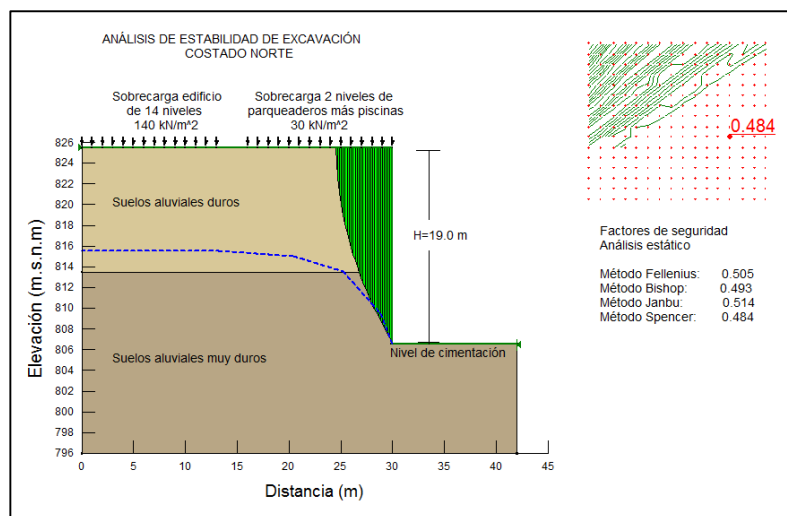
La distribución se muestra en el anexo B

## 9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS, EXCAVACIONES Y TALUDES

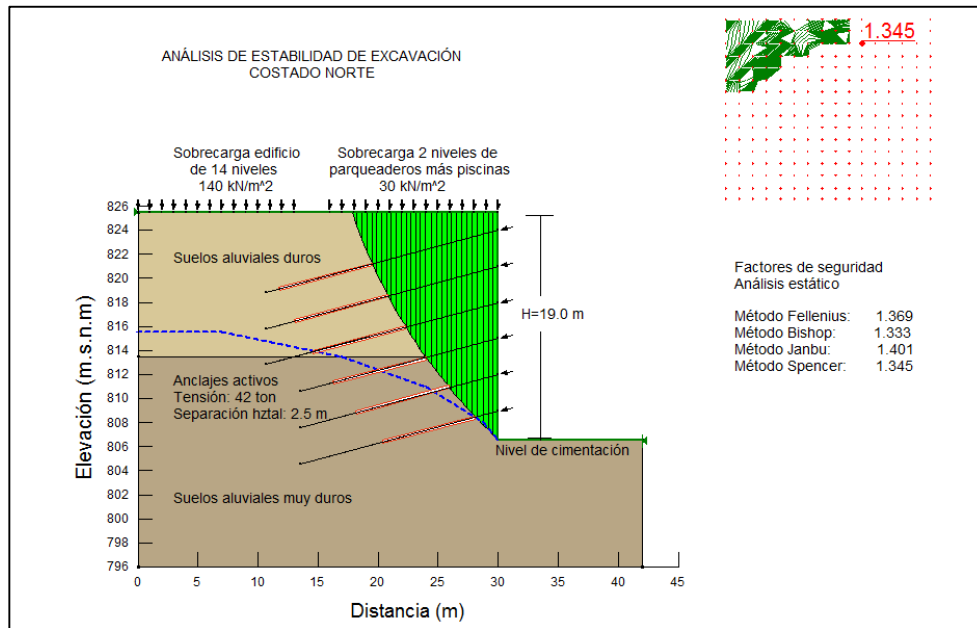
Se utilizó el sistema de parámetros totales de resistencia, de acuerdo con el sistema de Mohr-Coulomb obtenidos de la correlación de ensayos de Corte Directo Drenado y estudios en la zona.

**Tabla 18.** Factores de seguridad mínimos.

Condición	F <sub>SBM D</sub>	F <sub>SBM C</sub>
Taludes – Condición estática y agua subterránea normal	1,50	1,25
Taludes – Condición pseudo-estática y agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00



**Figura 16.** Análisis de estabilidad estático costado norte. Sin obras H=19m.



**Figura 17.** Análisis estabilidad estático costado norte. Corte con obras H=19 m.

De acuerdo con los análisis de estabilidad, las excavaciones necesarias para la construcción del proyecto no son estables, por esta razón se recomienda construir pantallas con un sistema de anclajes activos y contrafuertes con micropilotes, en tal forma que se superen los factores de seguridad mínimos directos determinados por el reglamento NSR-10.

## 10 CONCLUSIONES GEOTÉCNICAS DEL LOTE

- Geológicamente el lote se encuentra sobre suelos aluviales del segmento Órganos de Hubach (Qbo) de la formación Bucaramanga. Le infrayacen suelos residuales y rocas fracturadas de la Formación Girón (Jg).
- Las exploraciones muestran un suelo muy resistente compuesto por suelos duros con guijarros y fragmentos de roca.
- El nivel freático apareció a profundidades entre 11,2 y 14,5 metros en el sector norte del lote, y a profundidad de 6,0 metros en el sector sur.
- Todas las estructuras quedarán cimentadas sobre suelos con velocidades de onda Vs mayores a 400 m/s.

- Los valores de velocidad de onda de cortante obtenidos en el ensayo de onda sísmica (Down Hole), presentan el siguiente resultado:  
En el sondeo 1 se encontraron velocidades de onda  $V_s$  mayores a 417 m/s a partir de los 14 metros de profundidad.  
En el sondeo 2 se encontraron velocidades de onda  $V_s$  mayores a 428 m/s a partir de los 22 metros de profundidad.
- Los ensayos de deformación del suelo utilizando presiómetro de Ménard (PMT) muestran valores relativamente altos de módulo de elasticidad  $E_s$ ; los valores promedio obtenidos son los siguientes:
  - Suelos aluviales, profundidad 10,0 - 25,0 m: 199,6 MPa
  - Suelos residuales, profundidad 25,0 - 40,0 m: 207,5 MPa
  - El perfil de suelo se clasifica como tipo **C** según el reglamento NSR-10.

Se deben esperar asentamientos máximos de la cimentación de hasta 7 centímetros. El valor específico de estos asentamientos depende del proceso constructivo de las torres y de la localización de cada elemento de la torre. En términos generales el suelo del sitio posee una mejor susceptibilidad a los asentamientos que los suelos típicos del abanico aluvial de Bucaramanga.

## **11 LIMITACIONES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.**

- La principal limitante del proyecto es la presencia del nivel freático entre 2,5 metros de profundidad en la parte inferior del lote a 10,0 metros en la parte superior. Las estructuras de contención deben tener en cuenta la presencia de este nivel freático.
- Se recomienda diseñar un sistema de excavación para minimizar los efectos sobre las construcciones vecinas.
- En el perfil de suelo aparecen lentes de suelos arcillo arenosos con resistencia relativamente baja, generándose un perfil no homogéneo a lo largo del proyecto; por esta razón se requiere que las cimentaciones sean rígidas para minimizar los efectos de asentamientos diferenciales.
- Se debe tener especial cuidado para no alterar el suelo previamente a la colocación del concreto pobre para el armado de los cimientos.
- Se debe diseñar un sistema adecuado de desagüe de la excavación durante el proceso constructivo.

## **12 CONCLUSIÓN DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL**

Realizar el trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial le permite al estudiante que la ejecuta la posibilidad de desarrollar las capacidades ingenieriles y fortalecer su formación académica con experiencia en trabajos y problemas reales que encontrará a lo largo de la profesión.

## BILBIOGRAFÍA

- [1] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., Colombia. Enero de 2010.
- [2] D.P. Zekkos, J.D. Bray & A. Der Kiureghian. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley, USA. Reliability of shallow foundation design using the standard penetration test. 2004
- [3] INGEOMINAS-CDMB. Microzonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, Bucaramanga, 2002.
- [4] SBGIMR / BVGIRM. DEBAUCHE & BRASIRE. Pressuremeter test. Study case: Rhone Valley – Power Plant. Febrero de 2011.
- [5] SPAGNOLI, Giovanni. “An Empirical Correlation Between Different Dynamic Penetrometers”. Breme, Alemania, 2006.
- [6] SUAREZ DÍAZ, Jaime. Ensayo presiométrico.pdf.  
<http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/76-ensayo-presiometrico-pmt.html>
- [7] SUAREZ DÍAZ, Jaime. Prospección sísmica.  
<http://www.erosion.com.co/geofisica/110-prospeccion-sismica.html>
- [8] SUAREZ DÍAZ, Jaime. Tomografía Geoeléctrica.  
<http://www.erosion.com.co/geofisica/109-tomografia-geoelctrica.html>

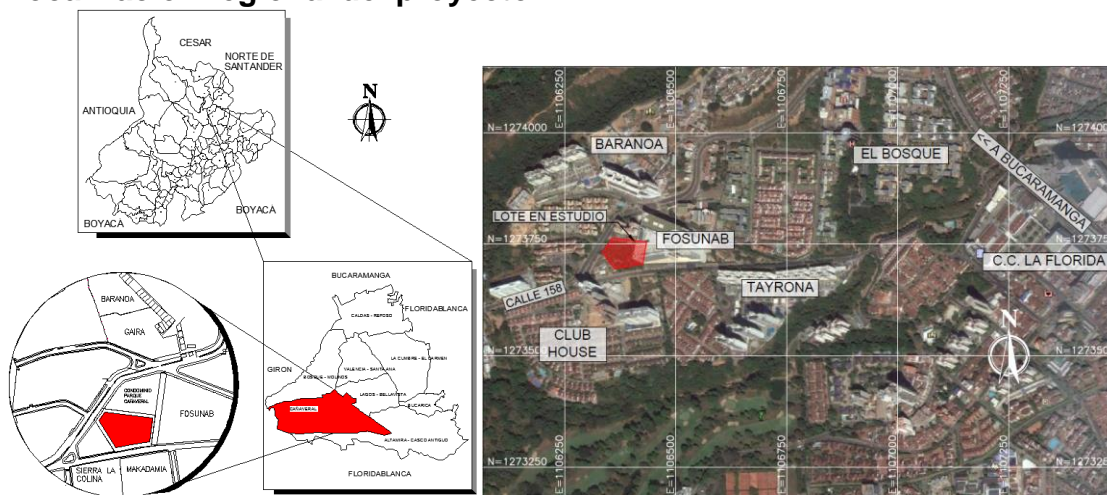
## **ANEXOS**

## ANEXO A. GENERALIDADES

### 1. LOCALIZACIÓN

El proyecto se localiza en la transversal 154 con calle 158, en el municipio de Floridablanca, departamento de Santander.

#### Localización regional del proyecto



Fuente: Google Earth.

#### Predios vecinos

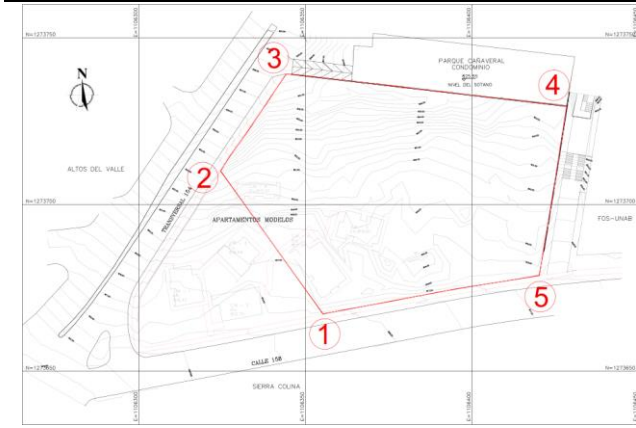
Las principales construcciones y áreas vecinas del sitio donde se plantea construir el proyecto se indican a continuación:

Construcciones vecinas del proyecto:

Costado	Descripción	
Norte	Condominio Parque Cañaveral	Dos torres de 16 niveles incluyendo 2 sótanos.
Sur	Calle 158 y Conjunto Residencial Sierra Colina	Vía de una calzada en dos direcciones de aproximadamente 7 metros de ancho. Tres torres de 18 pisos al otro costado de la vía
Oriente	Clínica FOSUNAB	Tres torres de 14 niveles incluyendo 4 sótanos.
Occidente	Transversal 154	Vía de dos calzadas de aproximadamente 16 metros de ancho.

Fuente: Geotecnología S.A.S.

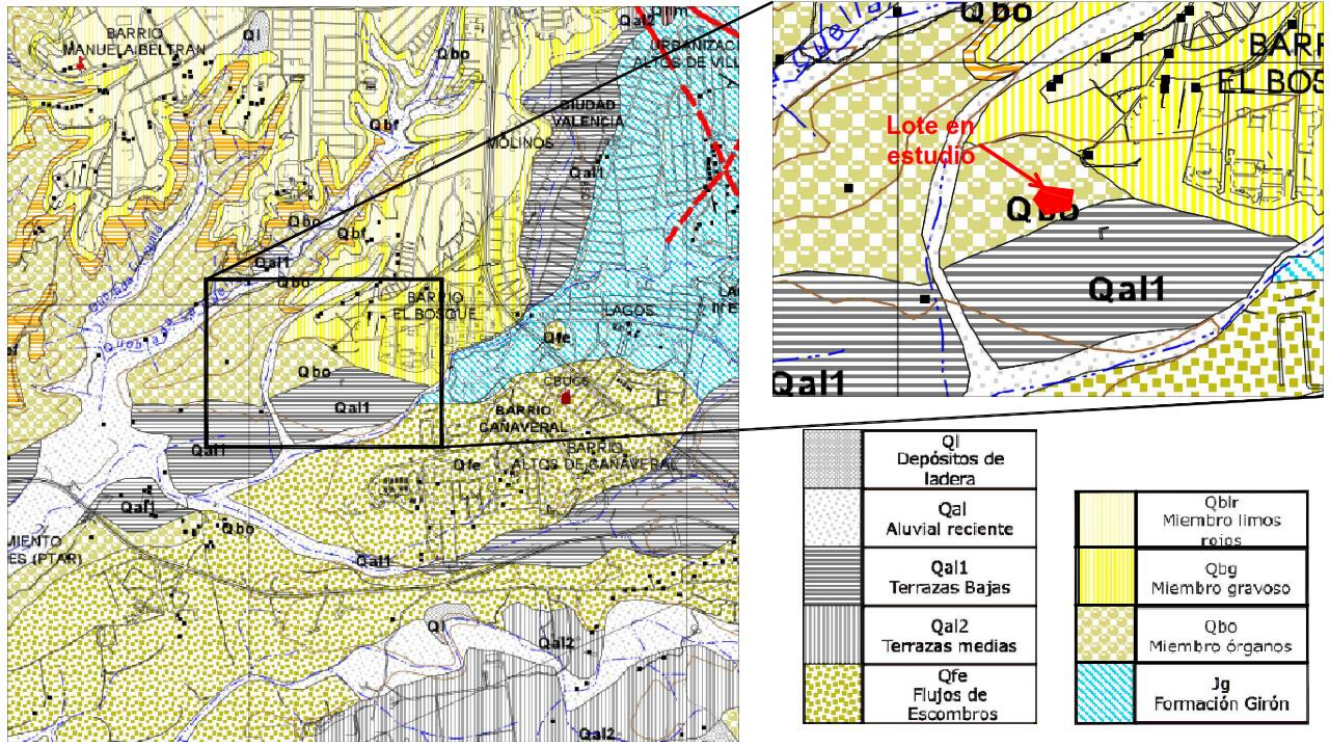
### Coordenadas del lote



Puntos	Este	Norte
1	1'106.355,2	1'273.667,1
2	1'106.324,5	1'273.710,0
3	1'106.344,1	1'273.739,1
4	1'106.428,4	1'273.729,3
5	1'106.420,2	1'273.678,6

Fuente: Geotecnología S.A.S.

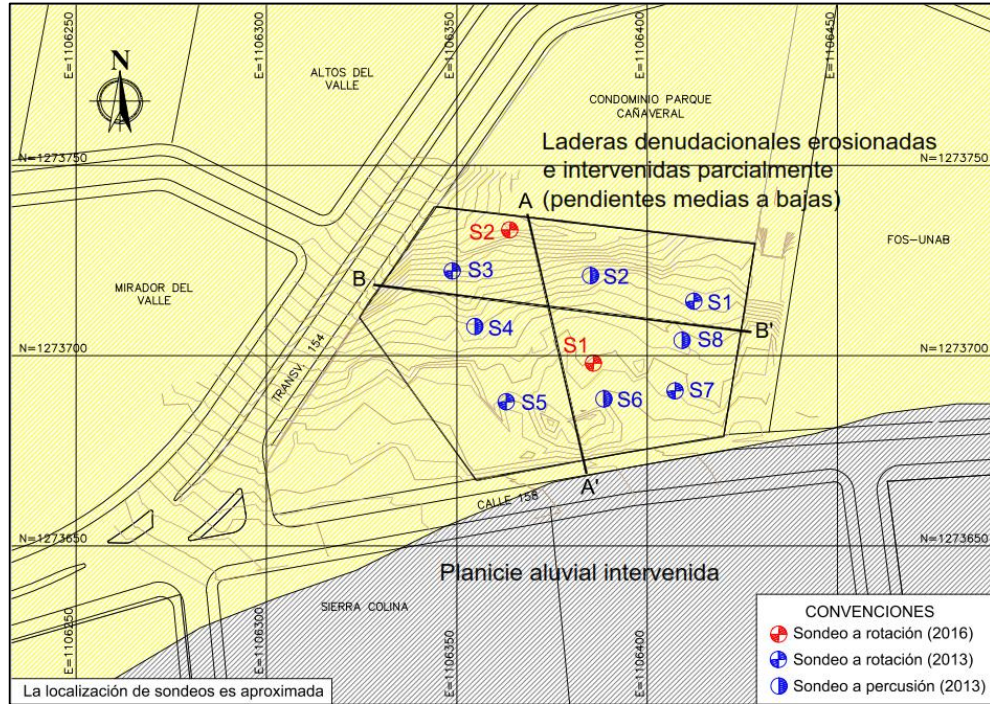
### Mapa Geológico Regional



	Ql Depósitos de ladera		Qblr Miembro limos roños
	Qal Aluvial reciente		Qbg Miembro gravoso
	Qal1 Terrazas Bajas		Qbo Miembro órganos
	Qal2 Terrazas medias		Jg Formación Girón
	Qfe Flujos de Escombros		

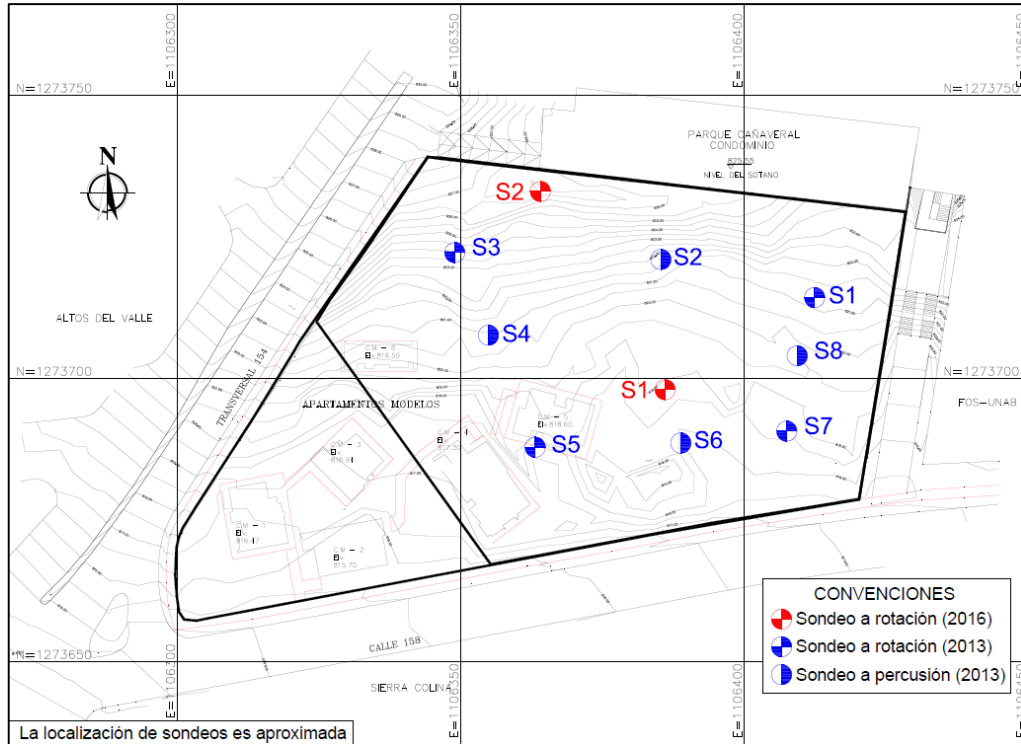
Fuente: Geotecnología S.A.S. Editado del Mapa Geológico Escala 1:25000 del Estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga.

## Geomorfología local de la zona en estudio



Fuente: Geotecnología S.A.S.

## Localización de los sondeos realizados



Fuente: Geotecnología S.A.S.



Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Resultados de los ensayos SPT en los sondeos realizados

Profundidad (metros)	Sondeo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2
	Año 2013								Año 2016	
	SPT - N Golpes/Pie									
0,0 a 0,5	34	9	60	16	91	16	15	15	RT	16
0,5 a 1,0	28	34	55	51	73	149	17	13	RT	RT
1,0 a 1,5	41	40	RT	160	37	63	25	31	34	RT
1,5 a 2,0	RT	R	RT	R	50	66	47	43	RT	24
2,0 a 2,5	RT		RT		130	R	54	28	RT	53
2,5 a 3,0	RT		101		RT		RT	R	RT	44
3,0 a 3,5	73		RT		31		RT		RT	38
3,5 a 4,0	60		RT		57		RT		RT	RT
4,0 a 4,5	RT		RT		43		63		RT	RT
4,5 a 5,0	RT		RT		47		93		RT	RT
5,0 a 5,5	RT		RT		RT		RT		RT	RT
5,5 a 6,0	29		98		RT		RT		RT	RT
6,0 a 6,5	42		RT		RT		37		RT	RT
6,5 a 7,0	RT		RT		RT		73		RT	RT
7,0 a 7,5	RT		RT		RT		58		RT	RT
7,5 a 8,0	RT		RT		RT		77		RT	RT
8,0 a 8,5	RT		RT		40		77		RT	RT
8,5 a 9,0	RT		RT		RT		67		RT	RT
9,0 a 9,5	RT		28		RT		RT		RT	RT
9,5 a 10,0	RT		71		RT		RT		RT	RT
10,0 a 10,5	21		RT		RT		RT		RT	RT
10,5 a 11,0	RT		RT		RT		68		RT	RT
11,0 a 11,5	RT		RT		RT		RT		RT	38
11,5 a 12,0	RT		65		RT		RT		RT	RT
12,0 a 12,5	RT		RT		RT		RT		34	RT

Profundidad (metros)	Sondeo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2
	Año 2013								Año 2016	
	SPT - N Golpes/Pie									
12,5 a 13,0	RT		RT		82		RT		RT	RT
13,0 a 13,5	RT		RT		RT		RT		RT	RT
13,5 a 14,0	RT		RT		RT		RT		RT	45
14,0 a 14,5	RT		RT		RT		103		RT	45
14,5 a 15,0	RT		RT		113		87		90	RT
15,0 a 15,5	RT		114		RT		RT		RT	RT
15,5 a 16,0	RT		RT		RT		RT		RT	RT
16,0 a 16,5	67		RT		RT		RT		RT	RT
16,5 a 17,0	RT		RT		RT		RT		RT	45
17,0 a 17,5	RT		85		91		RT		50	RT
17,5 a 18,0	52		100		RT		RT		RT	RT
18,0 a 18,5	67		RT		RT		RT		RT	RT
18,5 a 19,0	RT		RT		RT		RT		RT	RT
19,0 a 19,5	RT		105		105		RT		RT	RT
19,5 a 20,0	RT		RT		RT		73		RT	RT
20,0 a 20,5	108		RT		RT		67		RT	RT
20,5 a 21,0	RT				RT		RT		RT	RT
21,0 a 21,5	RT				106		85		71	47
21,5 a 22,0	RT				RT		RT		RT	99
22,0 a 22,5	103				RT				RT	RT
22,5 a 23,0	RT								RT	RT
23,0 a 23,5	RT								RT	RT
23,5 a 24,0	RT								RT	RT
24,0 a 24,5									RT	RT
24,5 a 25,0									RT	RT
25,0 a 25,5									RT	RT
25,5 a 26,0									RT	RT
26,0 a 26,5									RT	RT
26,5 a 27,0									RT	RT
27,0 a 27,5									RT	RT
27,5 a 28,0									RT	RT
28,0 a 28,5									RT	RT
28,5 a 29,0									68	RT
29,0 a 29,5									RT	RT
29,5 a 30,0									RT	RT
30,0 a 30,5									RT	42
30,5 a 31,0									RT	RT
31,0 a 31,5									RT	RT
31,5 a 32,0									RT	RT
32,0 a 32,5									87	RT
32,5 a 33,0									RT	RT
33,0 a 33,5									RT	RT
33,5 a 34,0									RT	RT

Profundidad (metros)	Sondeo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2
	Año 2013								Año 2016	
	SPT - N Golpes/Pie									
34,0 a 34,5									RT	54
34,5 a 35,0									RT	RT
35,0 a 35,5										RT
35,5 a 36,0										RT
36,0 a 36,5										RT
36,5 a 37,0										RT
37,0 a 37,5										49
37,5 a 38,0										RT
38,0 a 38,5										RT
38,5 a 39,0										RT
39,0 a 39,5										RT
39,5 a 40,0										RT

Fuente: Geotecnología S.A.S.

**Convenciones:** R = Rechazo, RT = Rotación

## ANEXO B. ENSAYOS, EQUIPOS Y RESULTADOS

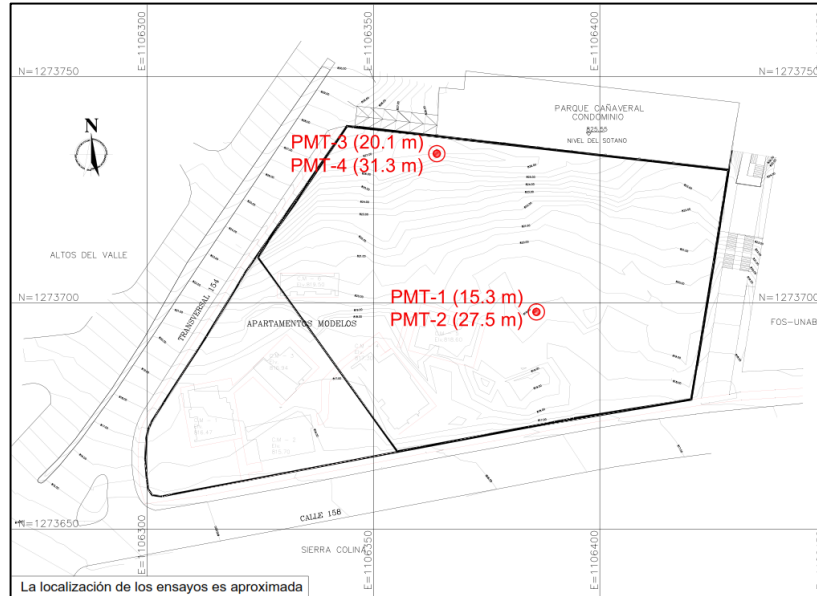
### Procedimiento del ensayo PMT

El procedimiento general del ensayo se resume en los siguientes pasos:

- Calibración de la sonda por pérdidas de volumen y presión.
- Revisión del estado de la perforación.
- Instalación y preparación del equipo para el ensayo.
- Colocación de la sonda dentro de la perforación a la profundidad de estudio.
- Inflado de la sonda con incrementos automáticos de presión.
- Recepción de datos en tiempo real en el dispositivo inalámbrico.
- Finalización automática del ensayo y deinflado de la sonda.
- Extracción de la sonda.



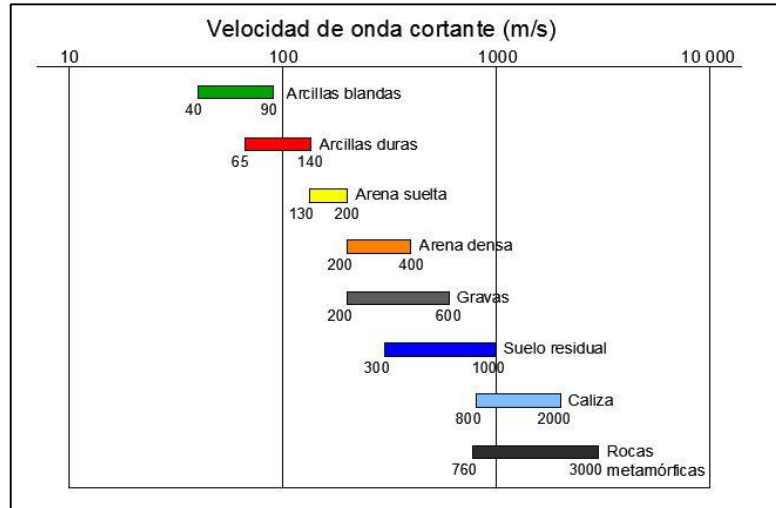
## Localización de los ensayos PMT



Fuente: Geotecnología S.A.S.

## DOWNHOLE

### Valores típicos de velocidad de onda de cortante Vs



Fuente: Adaptado de SCDOT (2008) "SCDOT Geotechnical Design Manual y otras fuentes".

Para la ejecución de los ensayos Downhole se utilizó un equipo GEODE de 24 canales de GEOMETRICS INC y el Borehole Geophone Controller de GEOSTUFF.



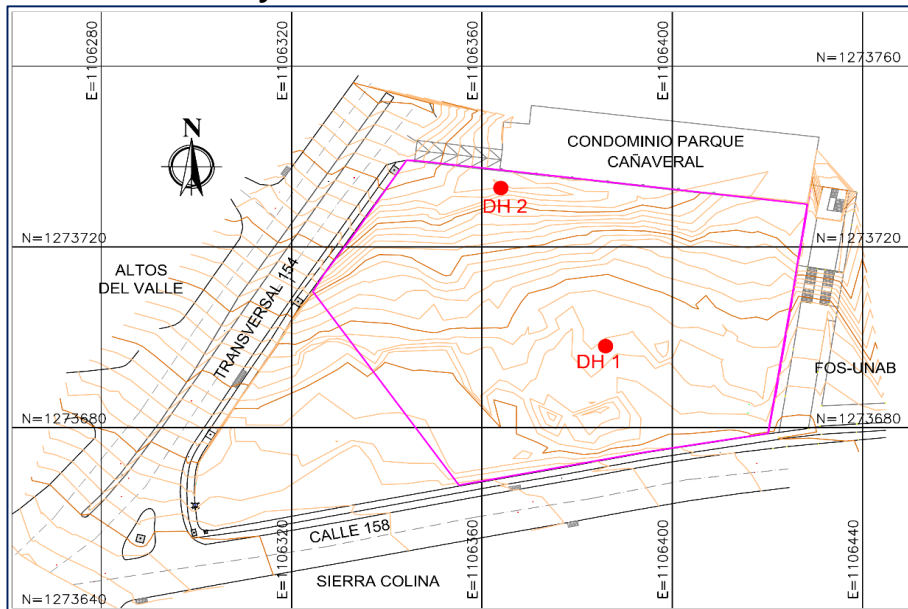
Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Procedimiento del ensayo

El procedimiento general del ensayo se resume en los siguientes pasos:

- Revestimiento de la perforación.
- Revisión del estado de la perforación.
- Localización de las platinas a una distancia aproximada a 0.2 metro del sitio de la perforación.
- Instalación del equipo para medición.
- Colocación de la sonda dentro de la perforación en la profundidad inicial (0 metros).
- Generación de 5 impactos en cada platina utilizando el martillo de 16Lb.
- Desplazamiento de la sonda según el intervalo de medición deseado y generación de cinco golpes en cada platina hasta alcanzar el máximo nivel de profundidad del pozo.

### Localización de los ensayos DownHole



Fuente: Geotecnología S.A.S



Fuente: Geotecnología S.A.S.



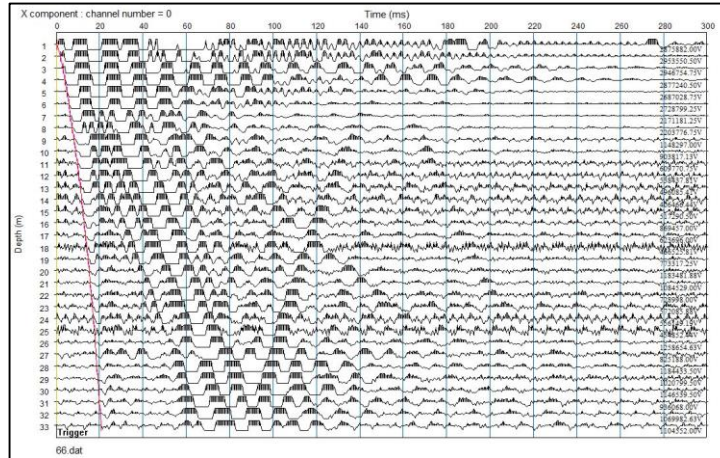
Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Resultados del ensayo Downhole en el sondeo 1

El ensayo Downhole No. 1 se realizó en el sitio del sondeo 1, hasta alcanzar los 33 metros de profundidad.

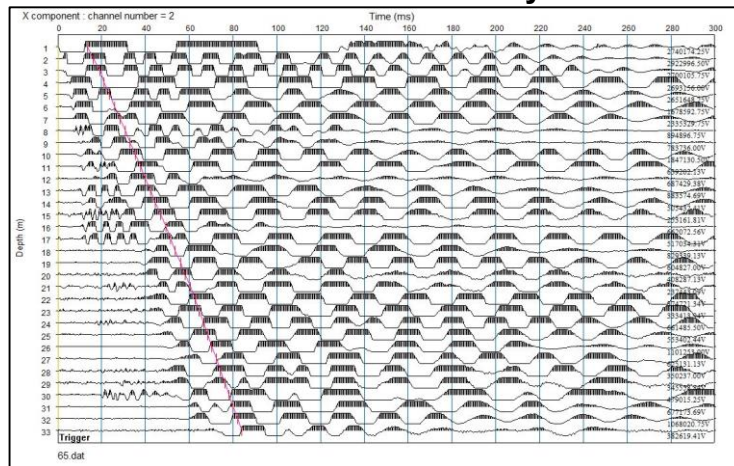
Los tiempos de llegada de las ondas a diferentes profundidades fueron registrados por el geófono triaxial, con esta información se puede realizar el picado de las llegadas de las ondas compresionales y de cizalla. En la siguiente figura se muestran los arribos de las ondas "P" y "S", obtenidos en el programa Pickwin (Pick first break or dispersion curves).

## Picado de los arribos de las ondas “P” ensayo Downhole sondeo 1



Fuente: Software Pickwin, GEOMETRICS INC.

## Picado de los arribos de las ondas “S” ensayo Downhole sondeo 1

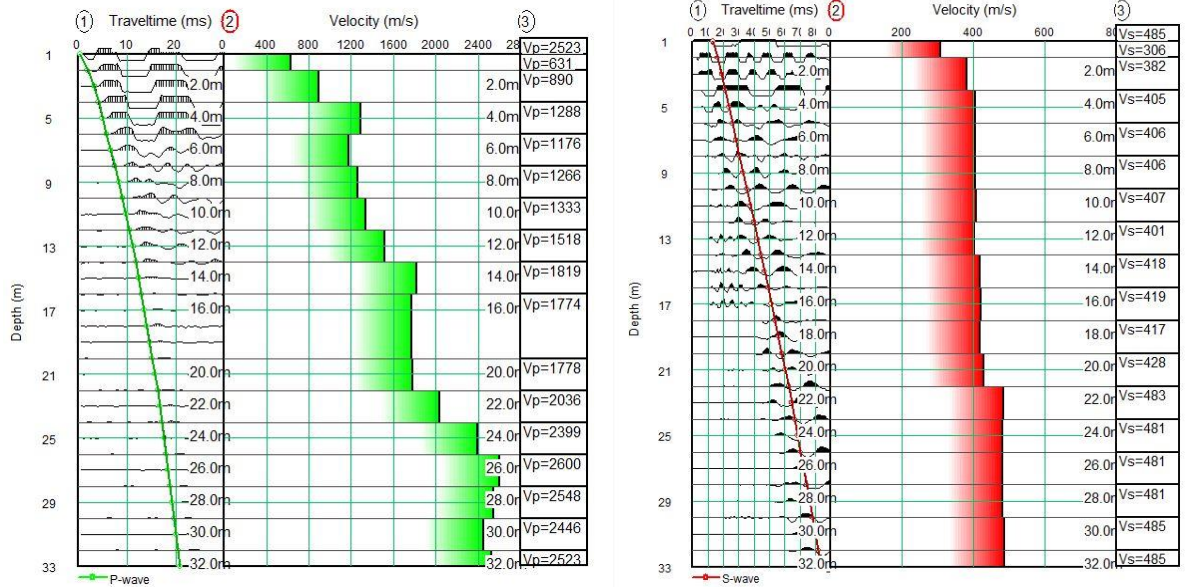


Fuente: Software Pickwin, GEOMETRICS INC.

A partir de estos tiempos de llegada, el software PsLog (Downhole Sismic) procesa los datos obtenidos en campo, para analizar la velocidad de onda en cada uno de los estratos de suelo que puedan ser encontrados en el sitio de estudio, como se muestra en las siguientes figuras.

Velocidad de la onda “P” ( $V_p$ ) ensayo downhole sondeo 1

Velocidad de la onda “S” ( $V_s$ ) ensayo downhole sondeo 1



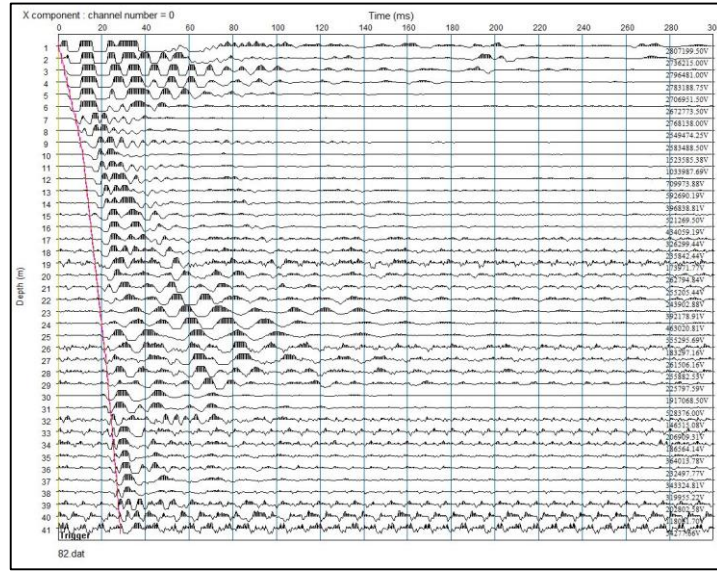
Fuente: Software PsLog, GEOMETRICS INC.

### Resultados del ensayo Downhole en el sondeo 2

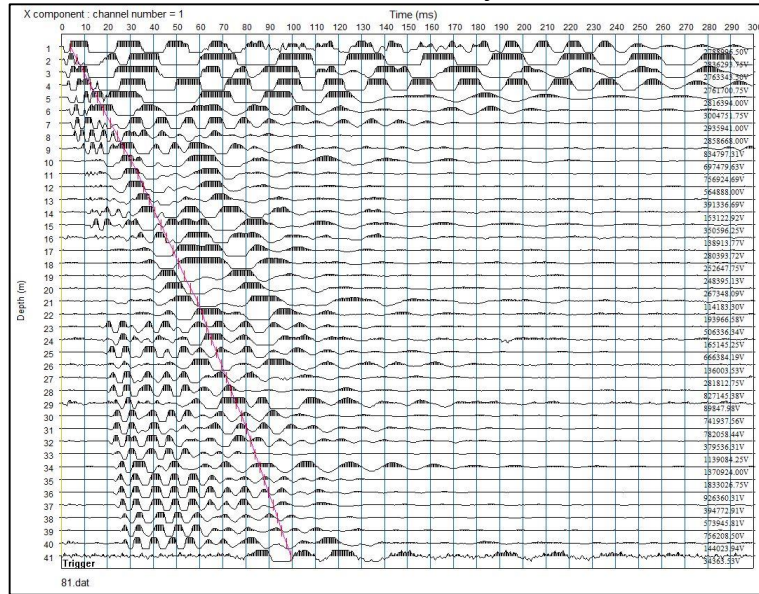
El ensayo Downhole No. 2 se realizó en el sitio del sondeo 2, hasta alcanzar los 40 metros de profundidad.

Los tiempos de llegada de las ondas a diferentes profundidades fueron registrados por el geófono triaxial, con esta información se puede realizar el picado de las llegadas de las ondas compresionales y de cizalla. En la siguiente figura se muestran los arribos de las ondas "P" y "S", obtenidos en el programa Pickwin (Pick first break or dispersion curves).

Picado de los arribos de las ondas "P" ensayo downhole sondeo 2



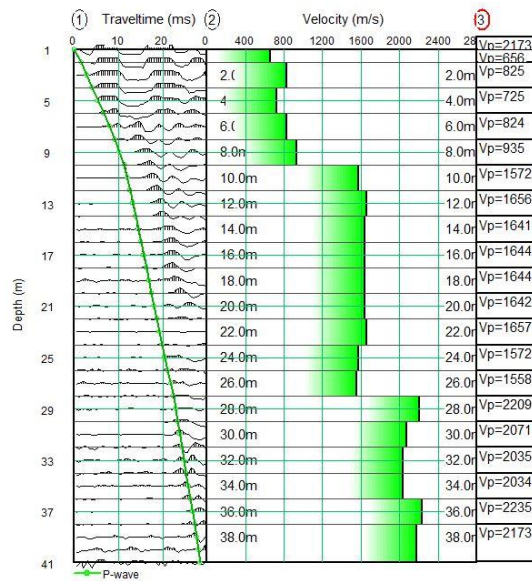
Picado de los arribos de las ondas "S" ensayo downhole sondeo 2



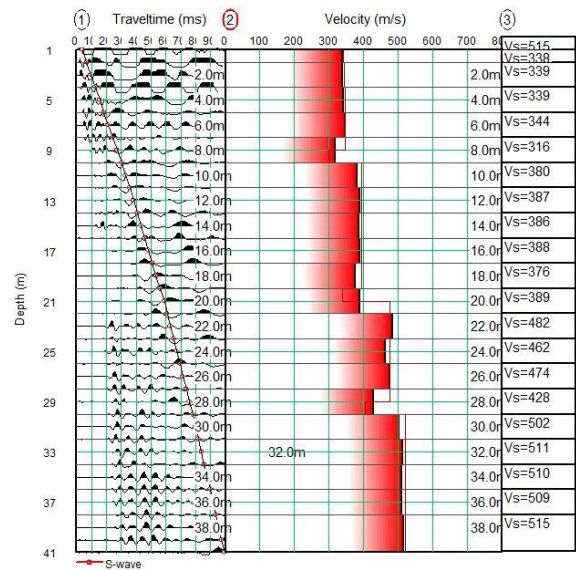
Fuente: Software Pickwin, GEOMETRICS INC.

A partir de estos tiempos de llegada, el software PsLog (Downhole Seismic) procesa los datos obtenidos en campo, para analizar la velocidad de onda en cada uno de los estratos de suelo que puedan ser encontrados en el sitio de estudio, como se muestra en las siguientes figuras.

Velocidad de la onda "P" (Vp) ensayo downhole sondeo 2



Velocidad de la onda "S" (Vs) ensayo downhole sondeo 2



Fuente: Software PsLog, GEOMETRICS INC

Módulos de elasticidad obtenidos del ensayo Downhole 1 (S1)

Prof (m)	Vs (m/s)	Densidad (kN/m3)	Gmax (Mpa)	Gstat (Mpa)	E (Mpa)
2	306	18.50	173.227	25.984	67.558
4	382	18.50	269.959	40.494	105.284
6	405	18.50	303.446	45.517	118.344
8	406	18.50	304.947	45.742	118.929
10	406	18.50	304.947	45.742	118.929
12	407	19.00	314.733	47.210	122.746
14	401	19.00	305.522	45.828	119.154
16	418	19.00	331.976	49.796	129.470
18	419	19.00	333.566	50.035	130.091
20	417	19.00	330.389	49.558	128.852
22	428	19.00	348.050	52.207	135.739
24	483	19.00	443.249	66.487	172.867
26	481	19.00	439.586	65.938	171.439

28	481	19.50	451.154	67.673	175.950
30	481	19.50	451.154	67.673	175.950
32	485	19.50	458.689	68.803	178.889
33	485	19.50	458.689	68.803	178.889

Fuente: Geotecnología S.A.S.

Módulos de elasticidad obtenidos del ensayo Downhole 2 (S2)

Prof (m)	Vs (m/s)	Densidad (kN/m <sup>3</sup> )	Gmax (Mpa)	Gstat (Mpa)	E (Mpa)
2	338	18.50	211.351	31.703	82.427
4	339	18.50	212.604	31.891	82.916
6	339	18.50	212.604	31.891	82.916
8	344	18.50	218.922	32.838	85.379
10	316	18.50	184.734	27.710	72.046
12	380	19.00	274.360	41.154	107.000
14	387	19.00	284.561	42.684	110.979
16	386	19.00	283.092	42.464	110.406
18	388	19.00	286.034	42.905	111.553
20	376	19.00	268.614	40.292	104.760
22	389	19.00	287.510	43.126	112.129
24	482	19.00	441.416	66.212	172.152
26	462	19.00	405.544	60.832	158.162
28	474	19.50	438.118	65.718	170.866
30	428	19.50	357.209	53.581	139.311
32	502	19.50	491.408	73.711	191.649
34	511	19.50	509.186	76.378	198.583
36	510	19.50	507.195	76.079	197.806
38	509	19.50	505.208	75.781	197.031
40	515	19.50	517.189	77.578	201.704
41	515	19.50	517.189	77.578	201.704

Fuente: Geotecnología S.A.S.

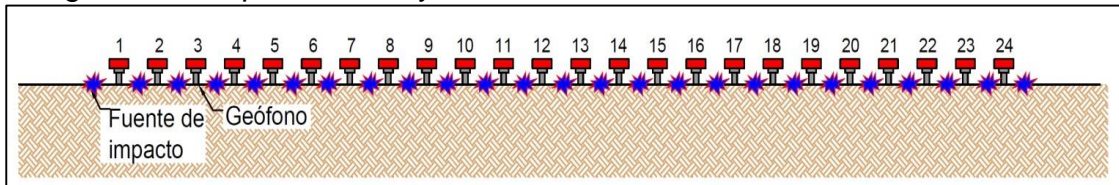
## MASW

Equipo Geode 24 canales



Fuente: Geotecnología S.A.S.

Arreglo utilizado para el ensayo MASW 2D

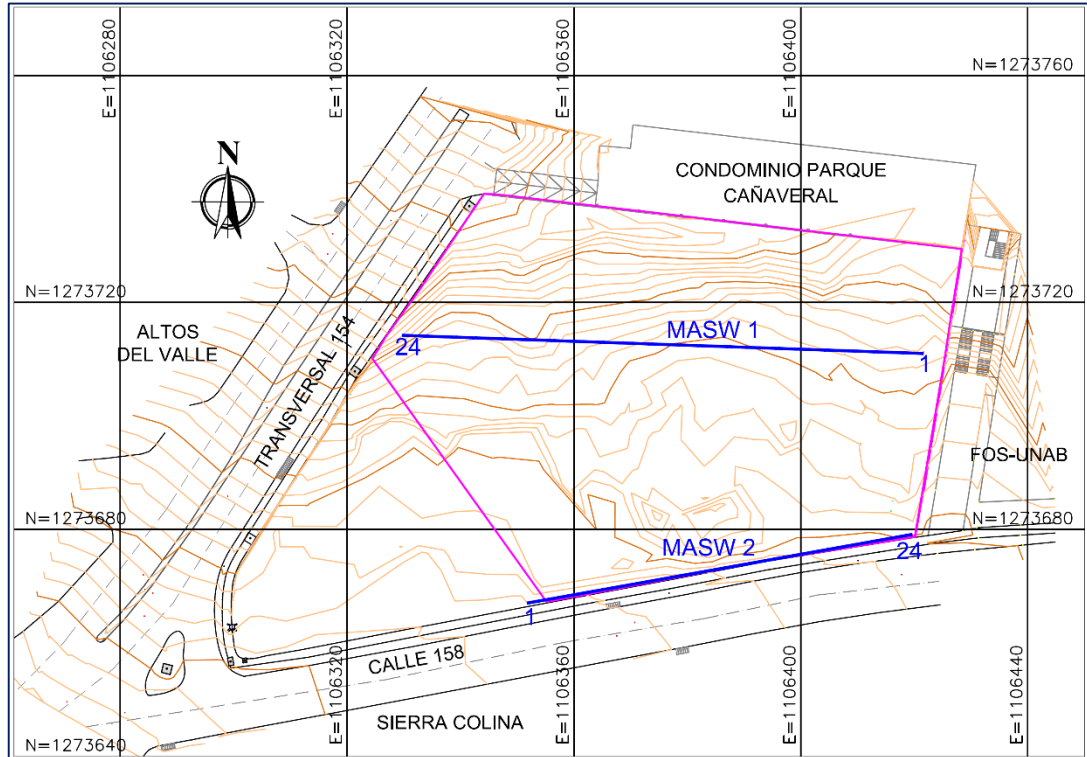


Fuente: Adaptado por Geotecnología S.A.S

El ensayo MASW realizado tiene los siguientes objetivos:

- Determinar los perfiles de suelo por correlación con los valores de la velocidad de ondas superficiales.
- Detectar la presencia de mantos de suelos duros o blandos en el perfil estratigráfico.
- Definir los parámetros del suelo para los análisis de cimientos de equipos vibratorios.

## Localización de las líneas –ensayo MASW



Fuente: Geotecnología S.A.S



Alistamiento equipo ensayo MASW  
2D - 1



Impacto mecánico en línea 1

Fuente: Geotecnología S.A.S.



Alistamiento equipo ensayo MASW  
2D - 2



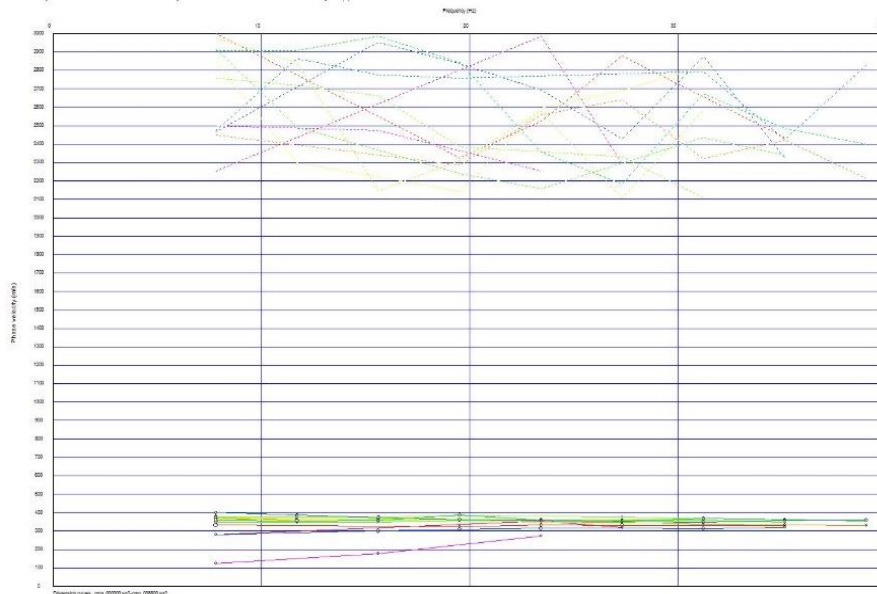
Impacto mecánico en línea 2

Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Cambios en la velocidad de fase respecto a la frecuencia

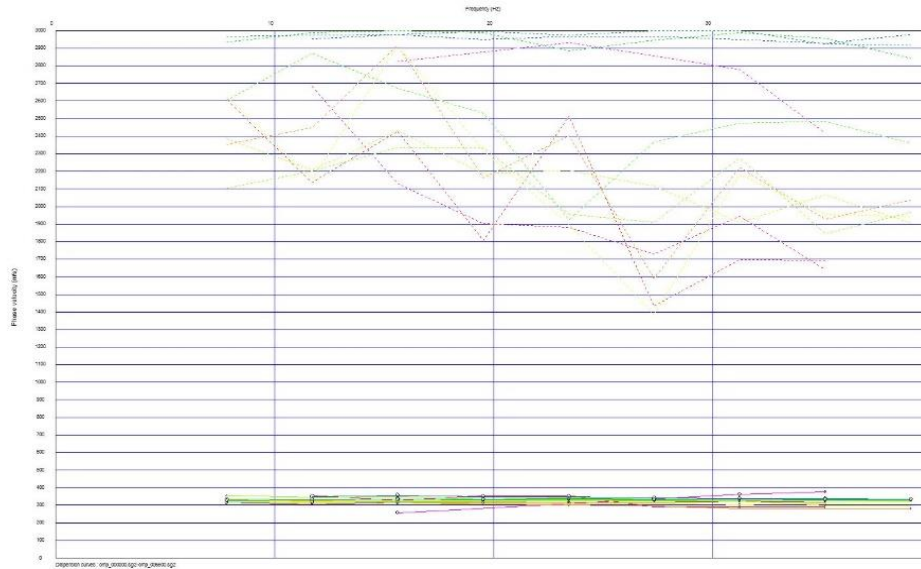
Una vez realizados los ensayos se genera un espectro de frecuencia contra tardanza (Inverso de la velocidad) el cual se llama espectro p-f. En este espectro, utilizando el software WaveEq (Surface Wave Analysis) se detecta el primer modo de vibración de las ondas Rayleigh. Una vez se detecta el espectro p-f se elabora la gráfica de periodos contra velocidad de fase de onda Rayleigh y Finalmente mediante un modelo de optimización se calcula la curva de dispersión del perfil del suelo.

### Curvas de dispersión ensayo MASW 2D - 1



Fuente: Geotecnología S.A.S.

## Curvas de dispersión ensayo MASW 2D - 2



Fuente: Geotecnología S.A.S.

## TOMOGRAFÍAS GEOELÉCTRICAS

### Equipo utilizado en el ensayo de tomografía geoelectrica

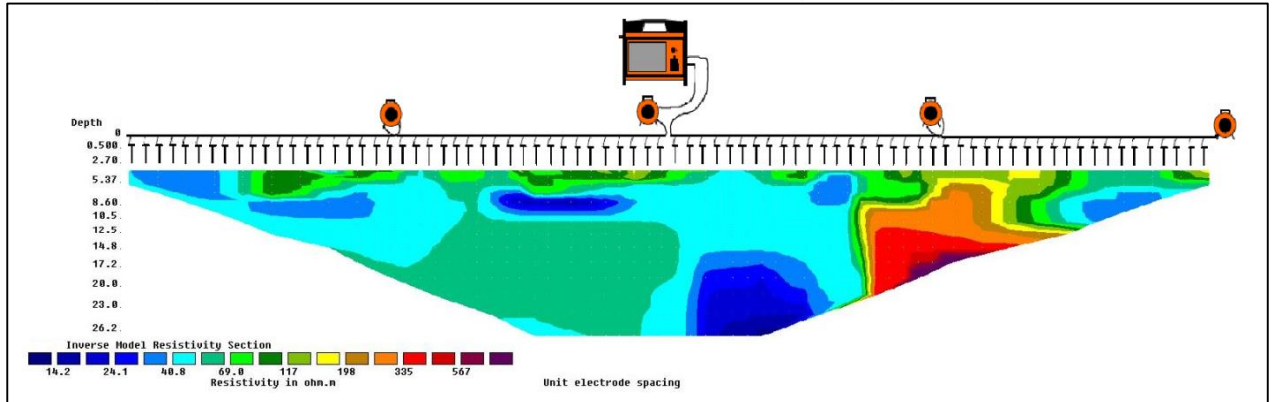
Para realizar los ensayos se utilizó un equipo Terrameter LS de ABEM con pantalla LCD de 8,4", 2 puertos KPT de 32 pines para 2D, GPS incorporado y 81 electrodos, de propiedad de Geotecnología S.A.S.

Para el procesamiento de los datos y visualización de los resultados se utilizó el Software RES2DINV,



Fuente: Geotecnología S.A.S.

## Esquema general de la realización del ensayo de Tomografía geoelectrica



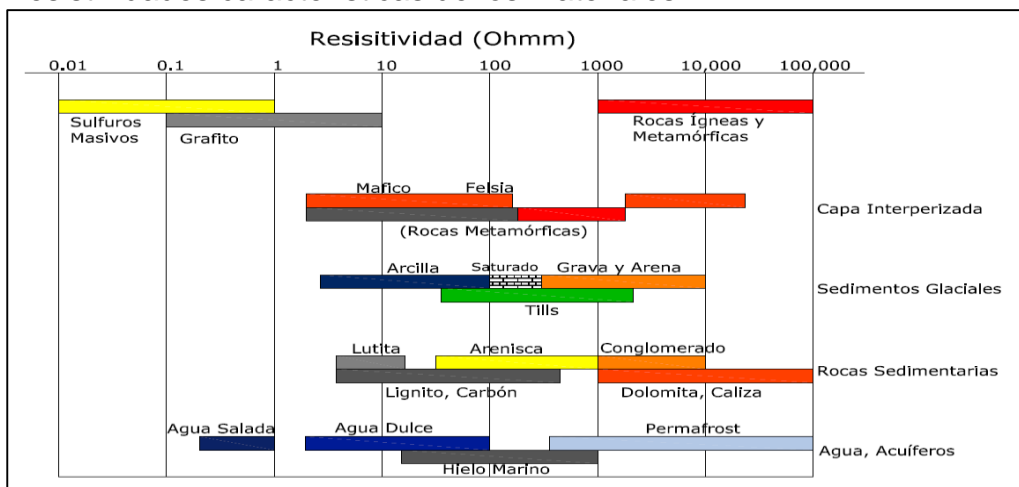
Fuente: Manual de instrucciones Terrameter LS, Ajustado Geotecnología S.A.S.

### Fundamento teórico

Uno de los métodos novedosos más utilizados en los últimos años es la tomografía geoelectrica 2D ya que se puede conocer la geología moderadamente compleja de la zona de estudio.

El concepto técnico que se utiliza para la interpretación del ensayo se relaciona con el hecho que cada material de suelo o roca posee una resistividad característica dependiendo de los minerales que lo forman, los líquidos y gases que llenan los poros, la humedad, la porosidad, la textura y la distribución de los poros.

### Resistividades características de los materiales



Fuente: Resistivity basic - LS, ABEM

Como se puede observar en la figura anterior las rocas ígneas y metamórficas típicamente tienen altos valores de resistividad, La capacidad de estas rocas para impedir el paso de la corriente eléctrica depende mucho del grado de fracturación que posee y del porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno.

Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad.

Los suelos mojados y el agua fresca del terreno tienen valores aún más bajos.

En los suelos arcillosos, las resistividades son normalmente menores que las correspondientes al suelo arenoso.

La resistividad del agua del terreno varía desde 10 a 100 ohm,m; dependiendo de la concentración de sales disueltas, Nótese que el bajo valor (alrededor de los 0,2 ohm,m) en el agua de mar se debe al alto contenido de sal, esto hace que los métodos de resistividad sean técnicas ideales para la planimetría de la interfase de estructuras con contenido de agua fresca y salina.

Algunos de los compuestos de hidrocarburos, tal como el Xileno, tienen resistividades muy altas.

### **Tomografía geoelectrica No.1**

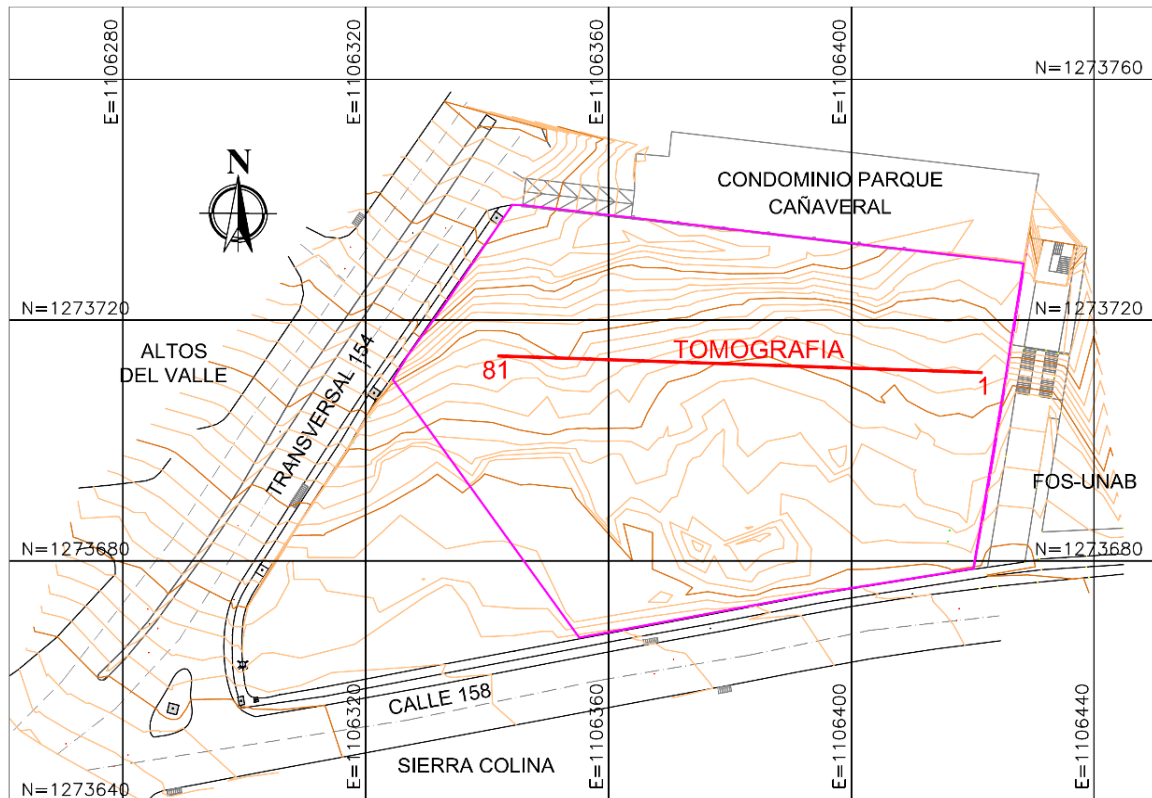
Descripción del arreglo

Se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 80 metros, conformado por 81 electrodos espaciados uniformemente cada metro.



Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Localización general de la tomografía geoelectrica No. 1



Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Gráficas de resistividad línea de tomografía geoelectrica No. 1

A continuación se muestra el resultado de la tomografía geoelectrica No 1:

Como resultado del procesamiento se obtienen 3 pseudosecciones de la tomografía geoelectrica:

La primera muestra los datos de resistividad aparente medida en el terreno, la segunda la resistividad calculada y ajustada a los datos de campo y la tercera la resistividad del terreno obtenida a partir de las dos secciones anteriores calculada con el algoritmo del modelo inverso por mínimos cuadrados.

Figura 36. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 1

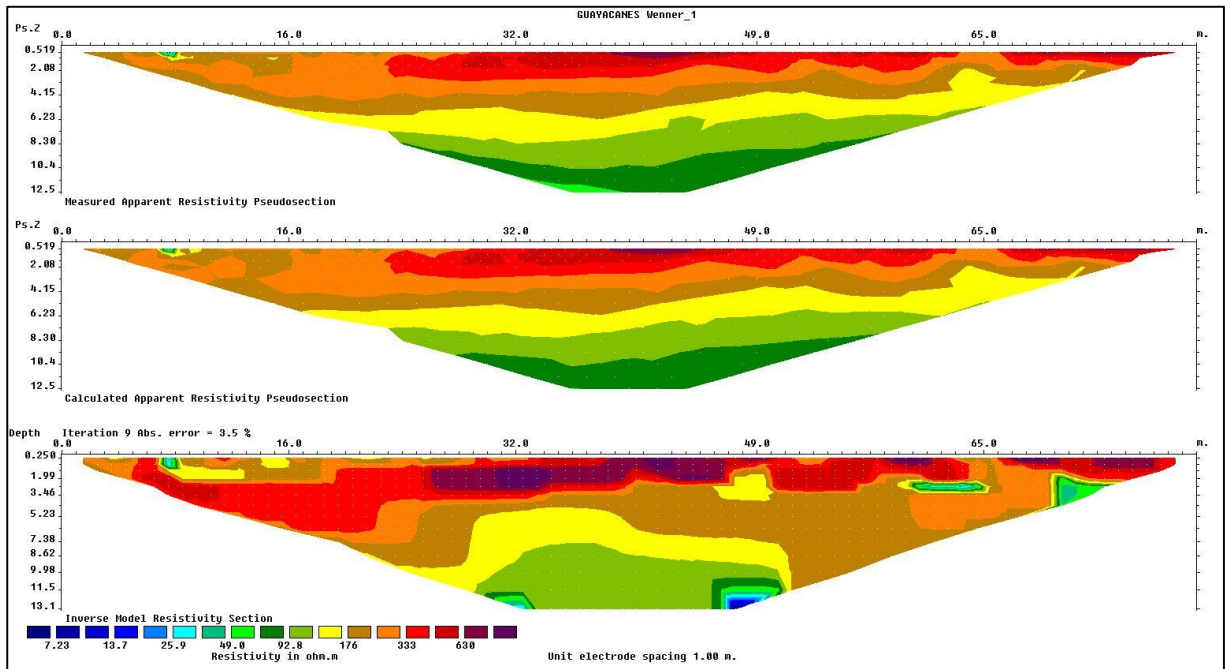
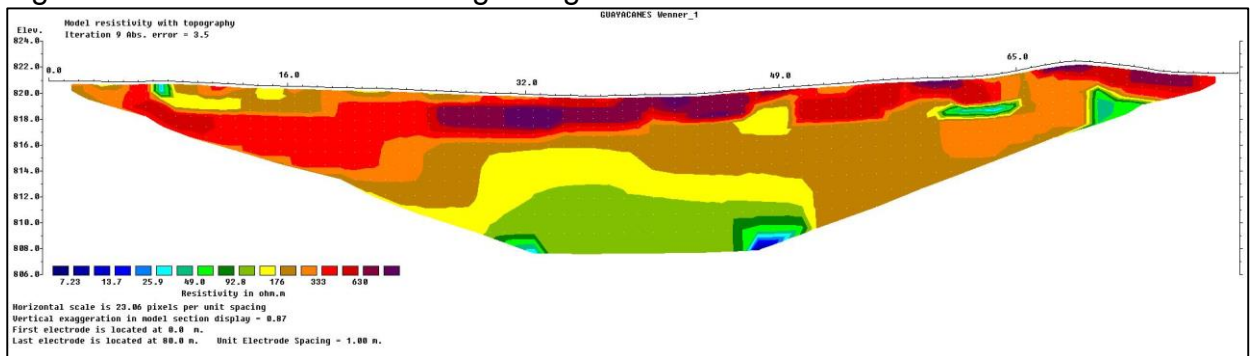


Figura 37. Resistividad real tomografía geoelectrica No. 1



Fuente: Geotecnología S.A.S.

### Perfil geotécnico representativo del lote

Profundidad (m)	N Diseño	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
0.5	RT	Suelos aluviales compuestos por arenas limosas, con presencia de gravas de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia densa, húmedos, algo permeables, sin olor específico, de color gris marrón claro y marrón amarillento claro. (Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	SM
1	RT		
1.5	34		
2	RT	Suelos aluviales compuestos por fragmentos de arenisca de color amarillo	CL
2.5	RT		
3	RT		

Profundidad (m)	N Diseño	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
3.5	RT	marrón, dentro de una matriz compuesta por arcillas arenosas, con presencia de gravas de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, húmedos, poco permeables, sin olor específico, de color amarillo marrón. (Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	
4	RT		
4.5	RT		
5	RT		
5.5	RT		
6	RT		
6.5	RT		
7	RT		
7.5	RT		
8	RT		
8.5	RT		
9	RT		
9.5	RT		
10	RT		
10.5	RT		
11	RT		
11.5	RT		
12	RT		
12.5	34	Suelos aluviales compuestos por guijarros de color marrón rojizo, amarillo marrón, y gris marrón claro, dentro de una matriz arcillo arenosa, con presencia de gravas de granos semiangulosos, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón rojizo y amarillo marrón . (Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	CL
13	RT		
13.5	RT		
14	RT		
14.5	RT		
15	90		
15.5	RT		
16	RT		
16.5	RT		
17	RT		
17.5	50		
18	RT		
18.5	RT		
19	RT		
19.5	RT	Suelos aluviales compuestos por fragmentos y guijarros de arenisca gris y	CL
20	RT		

Profundidad (m)	N Diseño	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
20.5	RT	marrón claro, dentro de una matriz arcillo arenosa, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón oscuro y marrón amarillento con pintas blancas.(Qbo) Segmento Órganos de Hubach de la formación Bucaramanga.	
21	RT		
21.5	71		
22	RT		
22.5	RT		
23	RT		
23.5	RT		
24	RT		
24.5	RT		
25	RT		
25.5	RT		
26	RT		
26.5	RT		
27	RT		
27.5	RT		
28	RT		
28.5	RT	Suelos residuales compuestos por fragmentos y guijarros de arenisca, de color marrón pálido y marrón rojizo claro, dentro de una matriz arcillo arenosa, con presencia de gravas de granos semiangulosos a redondeadas, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón rojizo claro, amarillo rojizo y gris claro. (Jg) Formación Girón.	CL
29	68		
29.5	RT		
30	RT		
30.5	RT		
31	RT		
31.5	RT		
32	RT		
32.5	87		
33	RT		
33.5	RT		
34	RT		
34.5	RT		
35	RT		

Fuente: Geotecnología S.A.S.

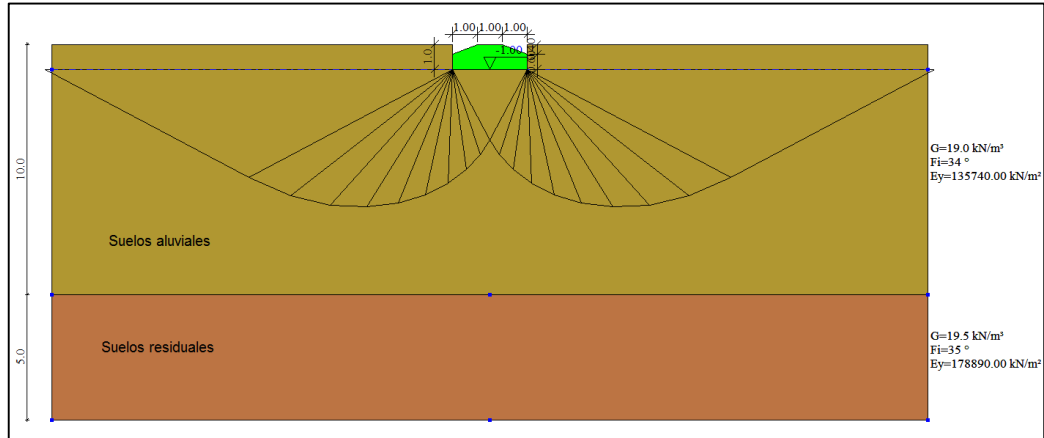
**Convencion:** RT=Rotación

**Nota:** Los valores de N superiores a 60 están necesariamente relacionados con bloques de roca y fragmentos de roca.

### Cálculo de capacidad de soporte utilizando el software LOADCAP

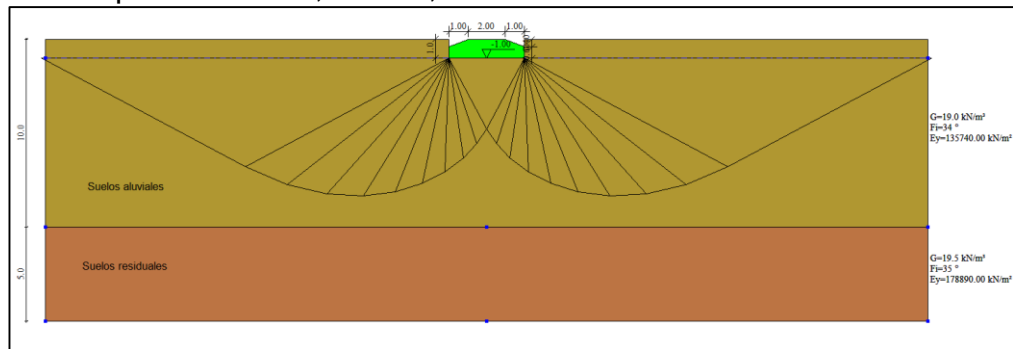
Se realizaron los análisis mediante la utilización del software LOADCAP, para los siguientes modelos:

Modelo de zapata aislada 3,0 m x 3,0 m



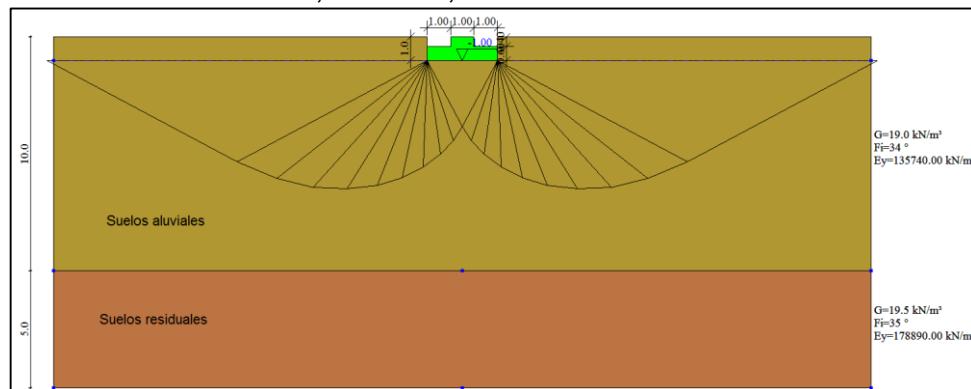
Fuente: software LOADCAP

Modelo de zapata aislada 4,0 m x 4,0 m

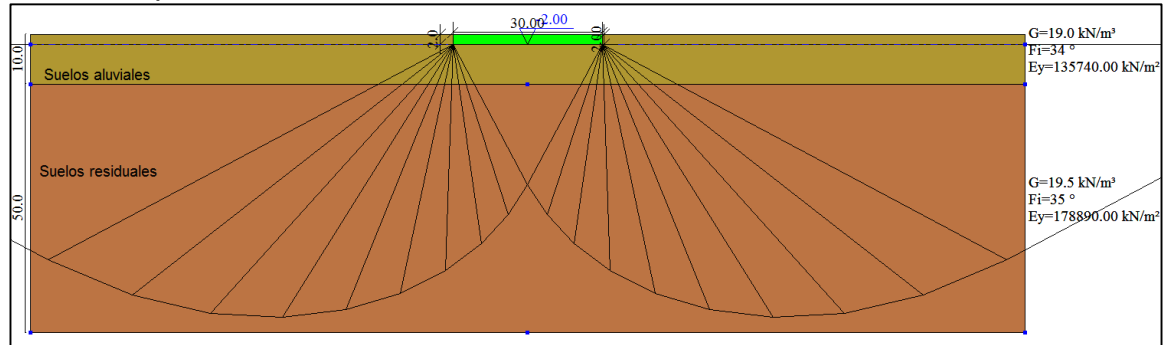


Fuente: software LOADCAP

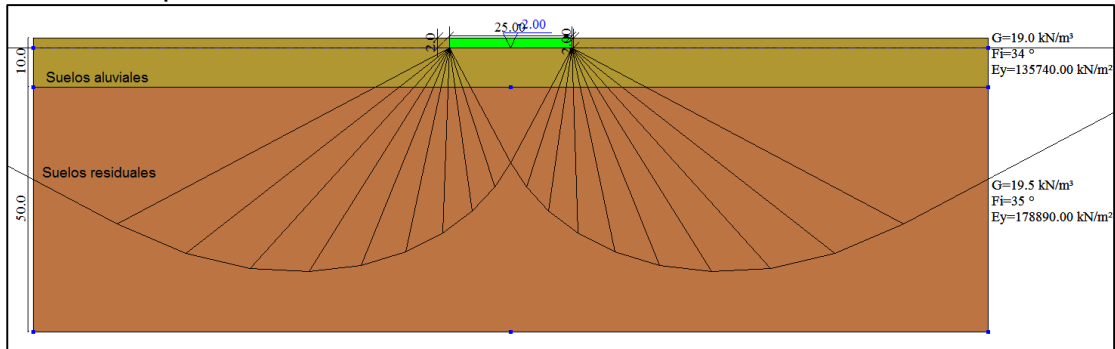
Modelo de cimiento corrido 3,0 m x 15,0 m



### Modelo de placa de cimentación 30 m x 40 m

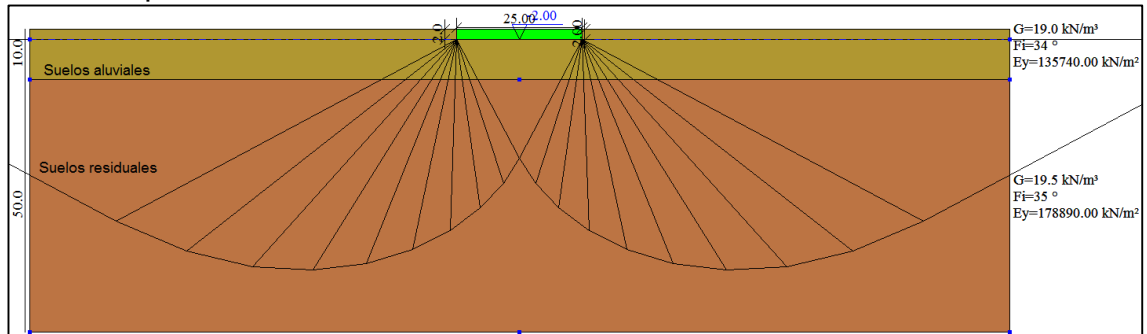


### Modelo de placa de cimentación 25 m x 30 m



Fuente: software LOADCAP

### Modelo de placa de cimentación 25 m x 50 m



Fuente: software LOADCAP

En estos modelos se simula la falla del cimiento a rotura y se obtiene la capacidad última del suelo y no el asentamiento máximo.

### Resultados de los cálculos de capacidad de soporte utilizando el software LOADCAP

Con los modelos anteriores se calcula la capacidad de carga  $Q_{ult}$  y  $q_a$  para falla del cimiento a rotura, los cuales se relacionan en las siguientes tablas.

Resultados capacidades de soporte del análisis para cimientos aislados y corridos

Autor	Cimiento aislado 3,0 x 3,0		Cimiento aislado 4,0 x 4,0		Cimiento corrido 3,0 x 15,0	
	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisibl e con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisibl e con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )
Hansen	2512.66	837.55	2548.71	849.57	1831.67	610.56
Terzaghi	2194.21	731.4	2352.28	784.09	2075.89	691.96
Meyerhof	2738.6	912.87	2918.3	972.77	2017.36	672.45
Vesic	2630.93	876.98	2706.4	902.13	2013.02	671.01
Brinch-hansen	2403.11	801.04	2458.47	819.49	1909.85	636.62
<b>Promedio</b>	<b>2495.90</b>	<b>831.968</b>	<b>2596.83</b>	<b>865.61</b>	<b>1969.55</b>	<b>656.52</b>

Fuente: software LOADCAP

Resultados capacidades de soporte del análisis para placas de cimentación

Autor	Placa 25,0 x 30,0		Placa 30,0 x 40,0		Placa 25,0 x 50,0	
	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )	Carga ultima (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m <sup>2</sup> )
Hansen (1970)	5380.67	1793.56	5934.12	1978.04	5484.77	1828.26
Terzaghi	7116.27	2372.09	8104.18	2701.39	7116.27	2372.09
Meyerhof	7976.99	2659	8825.62	2941.88	7191.26	2397.09
Vesic	6475.77	2158.59	7313.94	2437.98	6798.88	2266.29
Brinch-hansen	5526.49	1842.16	6123.69	2041.23	5572.26	1857.42
<b>Promedio</b>	<b>6495.238</b>	<b>2165.08</b>	<b>7260.31</b>	<b>2420.104</b>	<b>6432.688</b>	<b>2144.23</b>

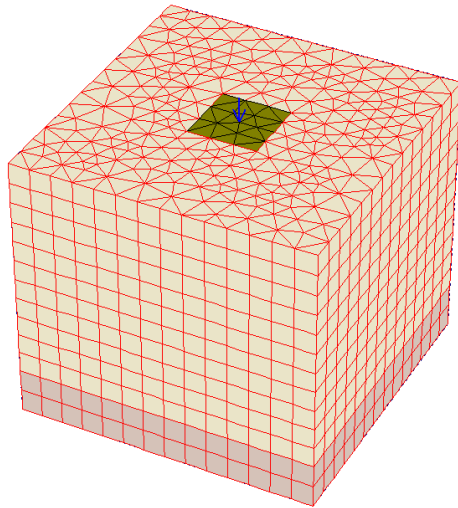
Fuente: software LOADCAP

## ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS

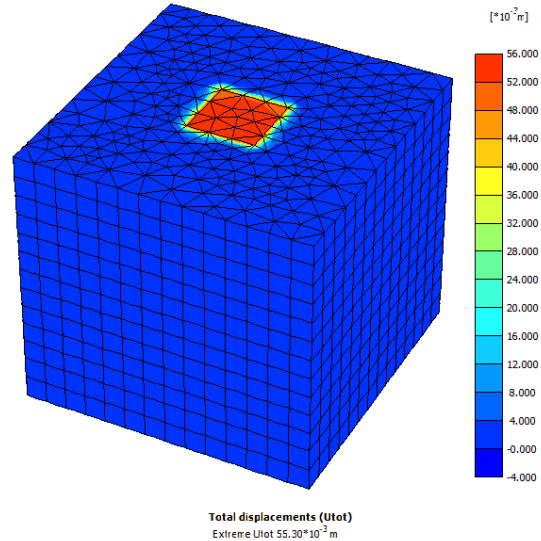
### Zapata aislada 3m x 3m

Los asentamientos se calcularon para una carga puntual sobre el cimiento de hasta 12000 kN.

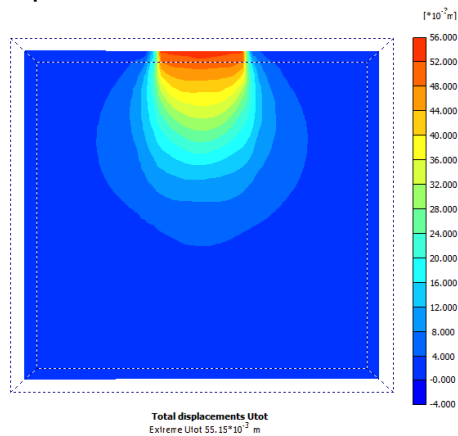
Modelo tridimensional  
zapata de 3m x 3m



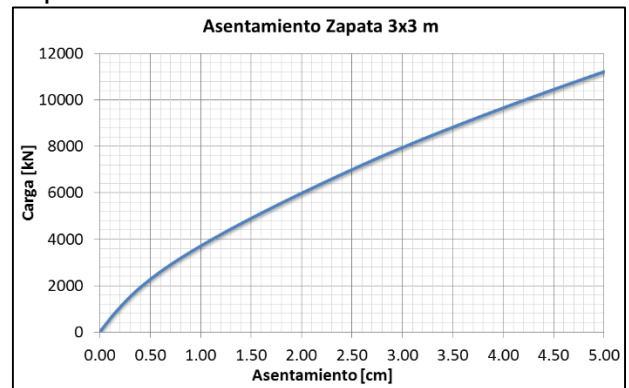
Desplazamientos totales,  
zapata de 3m x 3m



Corte normal a la  
zapata de 3m x 3m



Asentamiento vs Carga,  
zapata de 3m x 3m

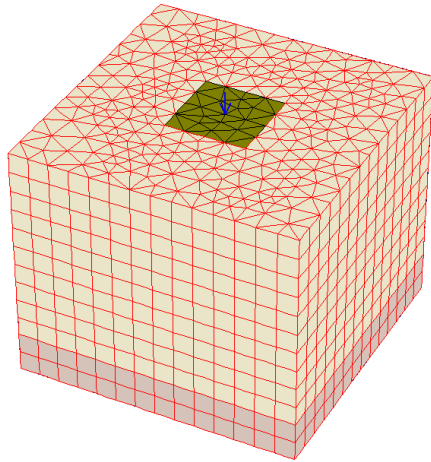


Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION.

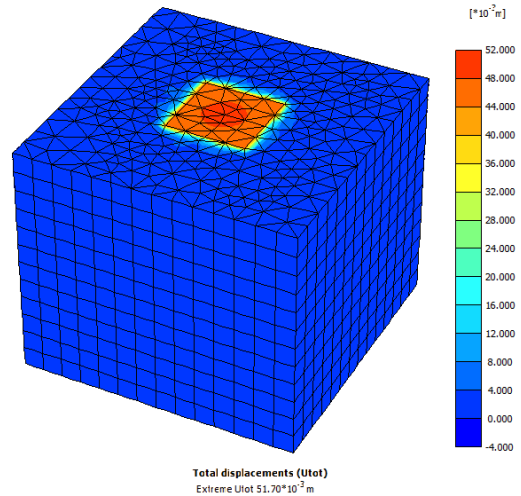
## Zapata aislada 4m x 4m

Los asentamientos se calcularon para una carga puntual sobre el cimiento de hasta 18000 kN.

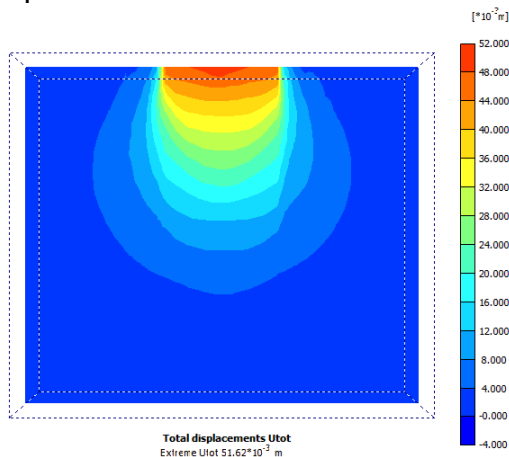
Modelo tridimensional  
zapata de 4m x 4m



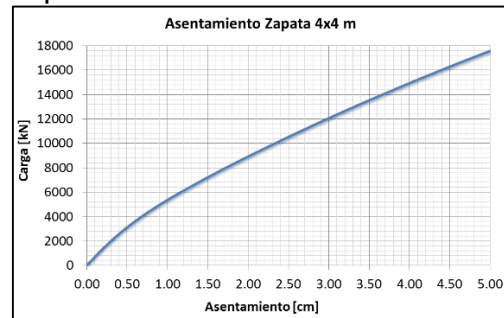
Desplazamientos totales,  
zapata de 4m x 4m



Corte normal a la  
zapata de 4m x 4m



Asentamiento vs Carga,  
zapata de 4m x 4m

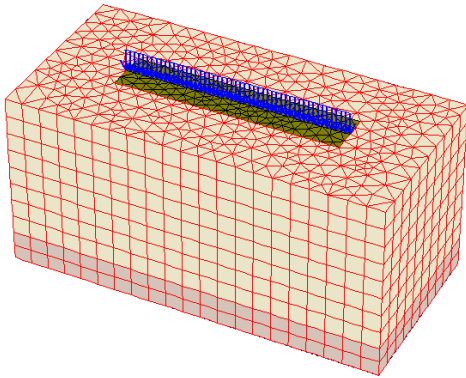


Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION.

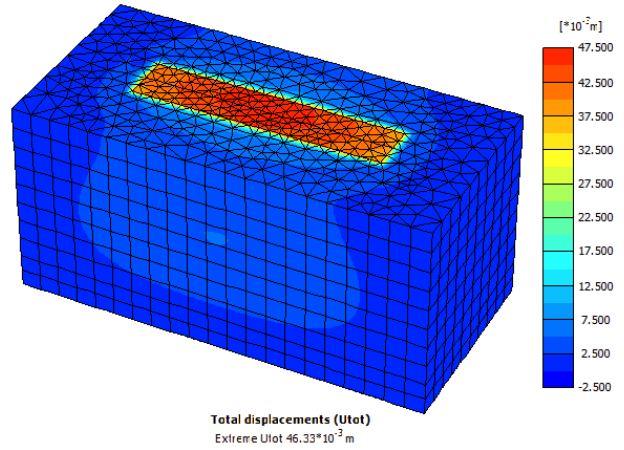
### Cimiento corrido 3m x 15m

Los asentamientos se calcularon para una carga lineal sobre el cimiento de hasta 3000 kN/m.

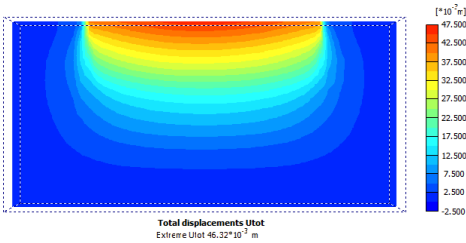
Modelo tridimensional cimiento corrido 3m x 15m



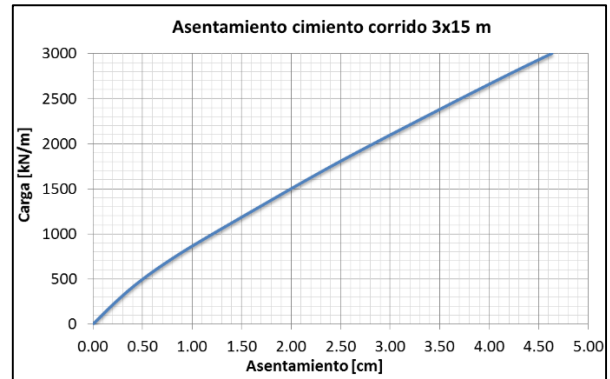
Desplazamientos totales, cimiento corrido 3m x 15m



Corte normal al cimiento corrido 3m x 15m



Asentamiento vs Carga, cimiento corrido 3m x 15m



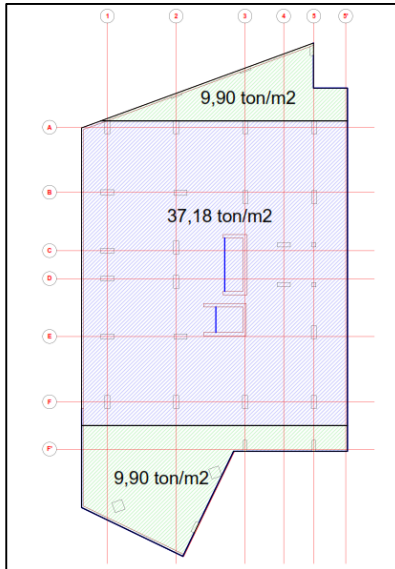
Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION

## Placa de cimentación Torre 1

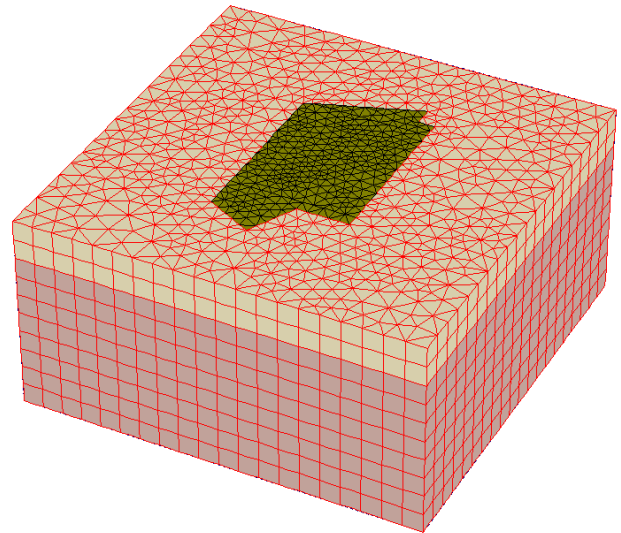
Para el análisis de asentamientos de la torre 1, se modeló la placa de cimentación con dos zonas de carga diferentes, de acuerdo con la distribución de cargas de la estructura. Las cargas utilizadas son las cargas promedio, calculadas con las cargas de servicio de las columnas.

La zona 1 corresponde a la zona bajo la torre y se modeló con una carga promedio de 371,8 kN/m<sup>2</sup>. La zona 2 corresponde a la plataforma de parqueaderos alrededor de la torre y se modeló con una carga promedio de 99,0 kN/m<sup>2</sup>.

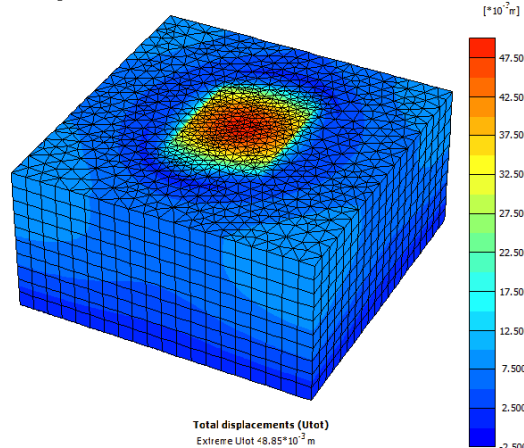
Cargas distribuidas placa de cimentación Torre 1



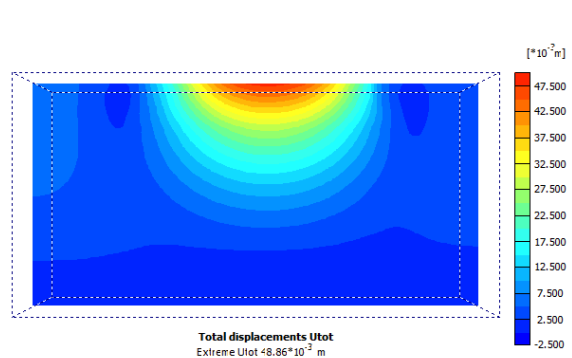
Modelo tridimensional placa de cimentación Torre 1



Desplazamientos totales, placa de cimentación Torre 1



Corte normal a la placa de cimentación Torre 1



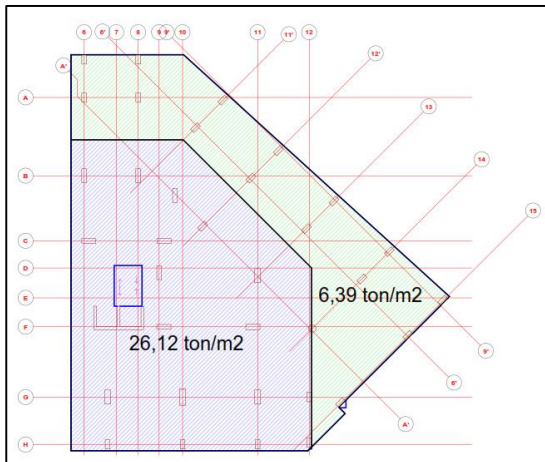
Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION

## Placa de cimentación Torre 2

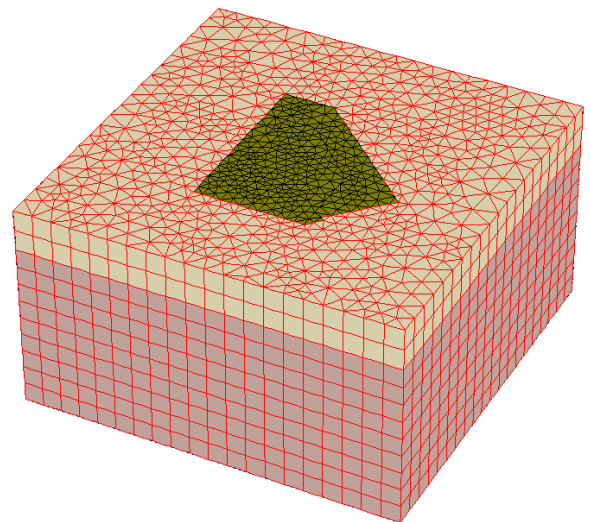
Para el análisis de asentamientos de la torre 2, se modeló la placa de cimentación con dos zonas de carga diferentes, de acuerdo con la distribución de cargas de la estructura. Las cargas utilizadas son las cargas promedio, calculadas con las cargas de servicio de las columnas.

La zona 1 corresponde a la zona bajo la torre y se modeló con una carga promedio de 261,2 kN/m<sup>2</sup>. La zona 2 corresponde a la plataforma de parqueaderos alrededor de la torre y se modeló con una carga promedio de 63,9 kN/m<sup>2</sup>.

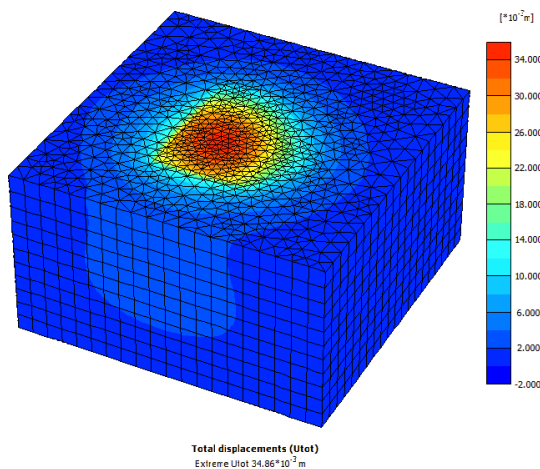
Cargas distribuidas placa de cimentación Torre 2



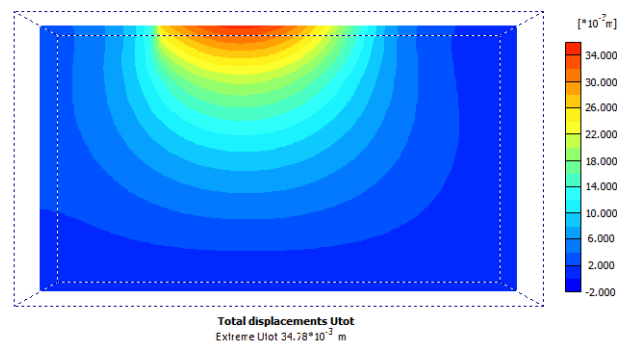
Modelo tridimensional placa de cimentación Torre 2



Desplazamientos totales, placa de cimentación Torre 2

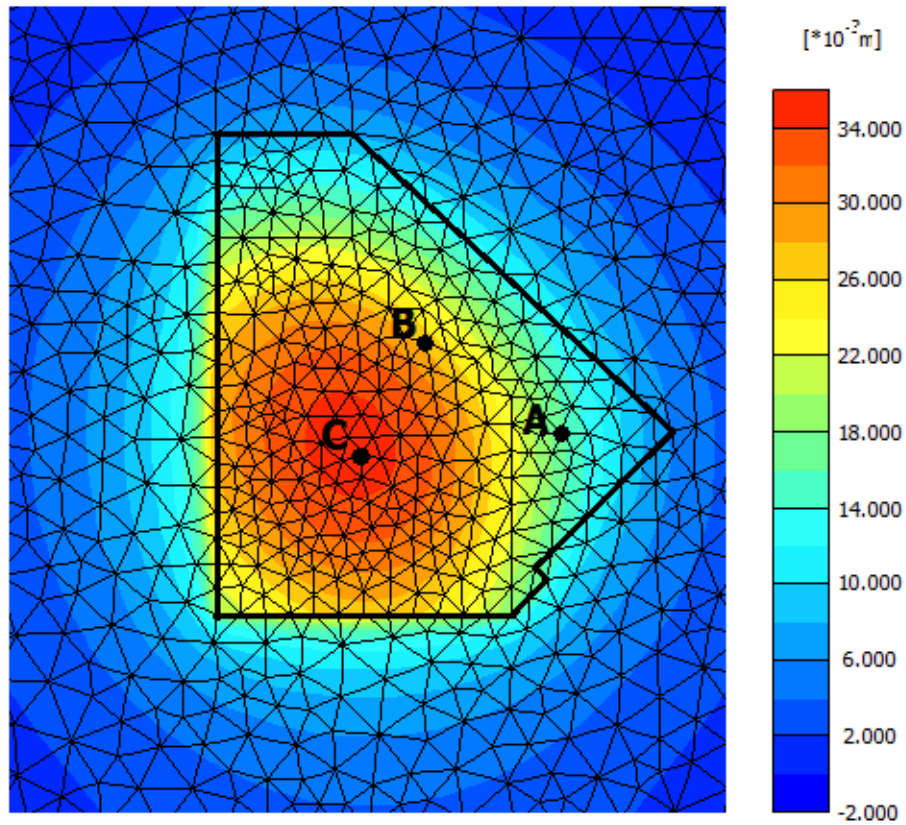


Corte normal a la placa de cimentación Torre 2

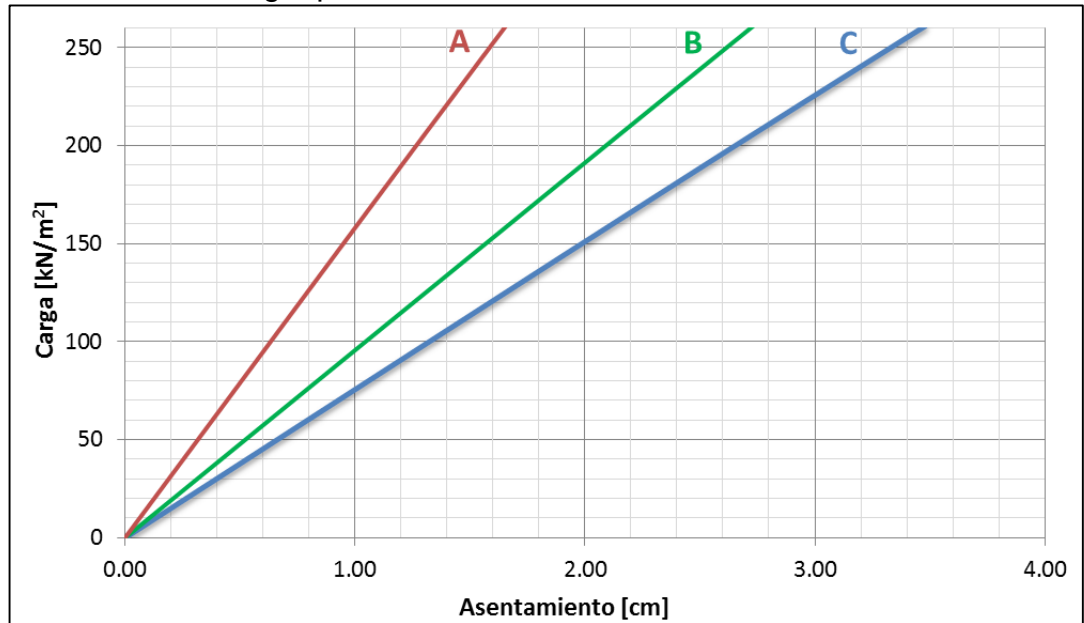


Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION

Distribución de asentamientos en planta, placa de cimentación Torre 2



Asentamiento vs. Carga, placa de cimentación Torre 2

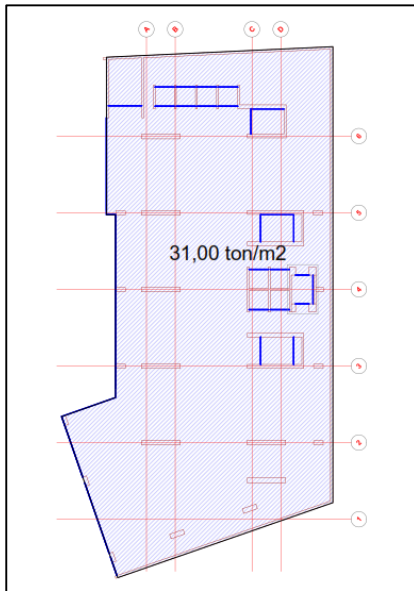


Fuente: Geotecnología S.A.S.

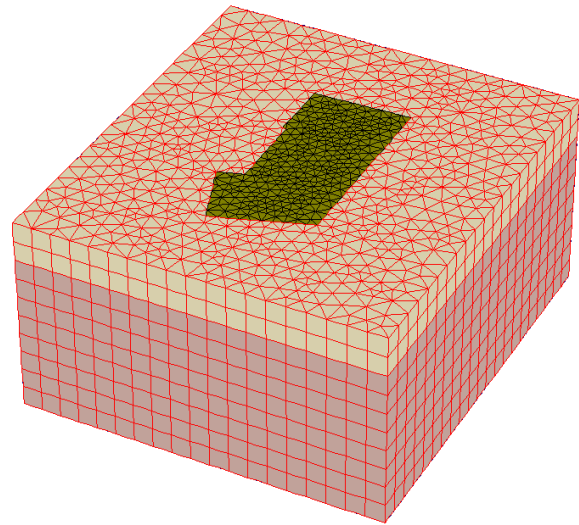
### Placa de cimentación Torre 3

Para el análisis de asentamientos de la torre 3 se modeló la placa de cimentación con una carga promedio distribuida. La carga promedio para la torre 3 es de 310 kN/m<sup>2</sup> la cual se calculó con las cargas de servicio de las columnas.

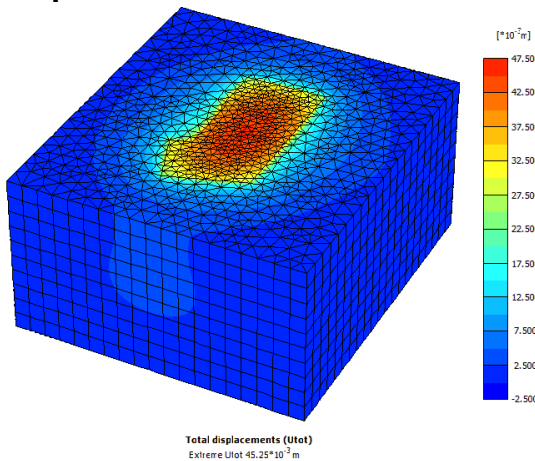
Cargas distribuidas placa de cimentación Torre 3



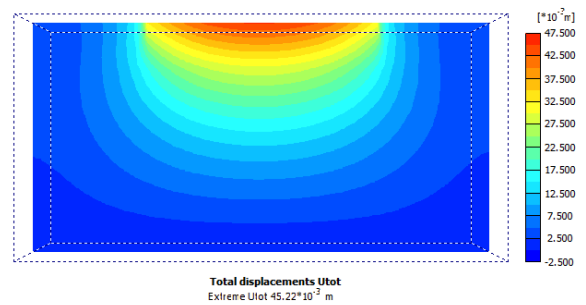
Modelo tridimensional placa de cimentación Torre 3



Desplazamientos totales, placa de cimentación Torre 3

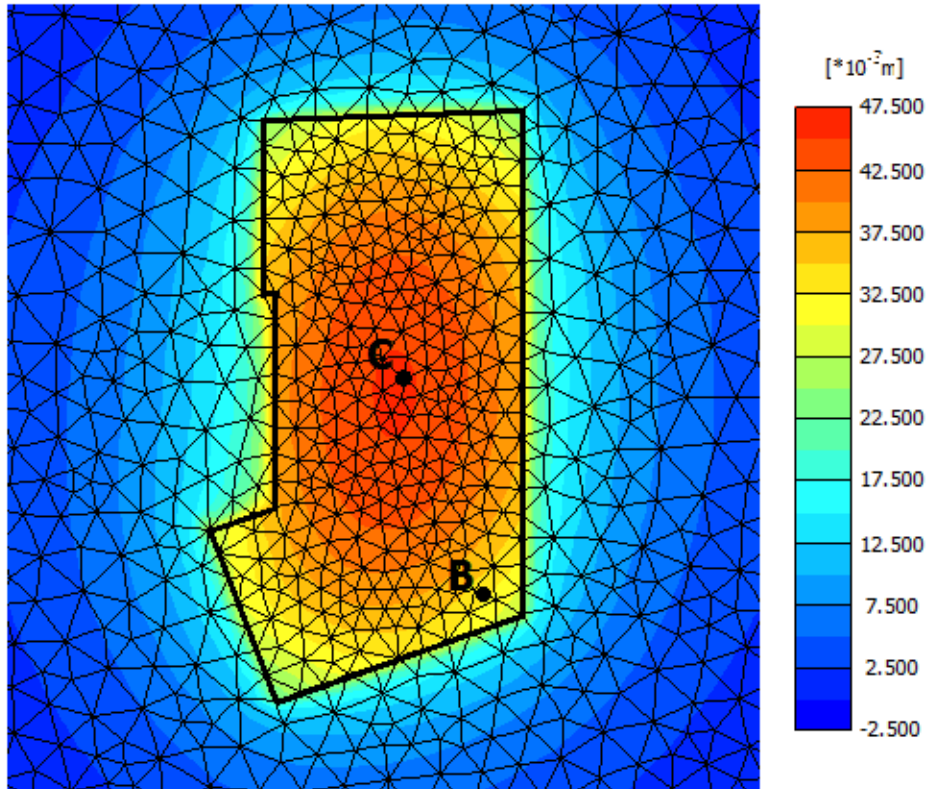


Corte normal a la placa de cimentación Torre 3

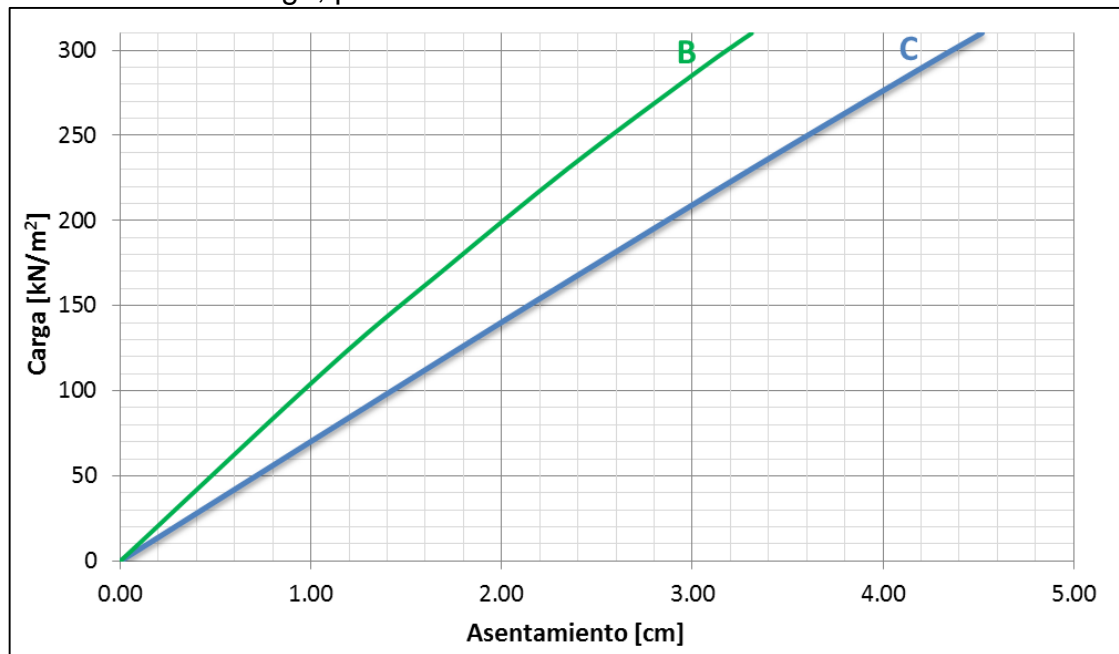


Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION

Distribución de asentamientos en planta, placa de cimentación Torre 3



Asentamiento vs. Carga, placa de cimentación Torre 3

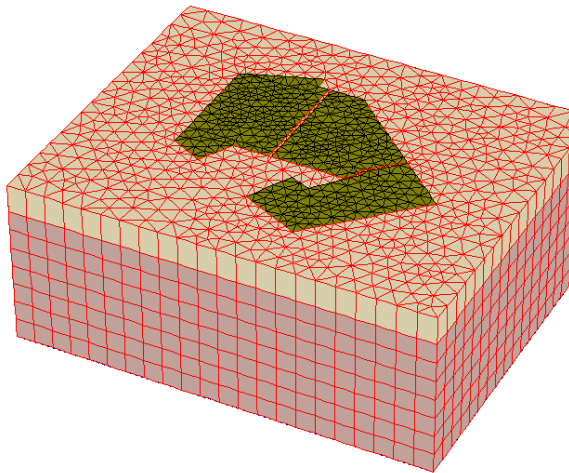


Fuente: Geotecnología S.A.S.

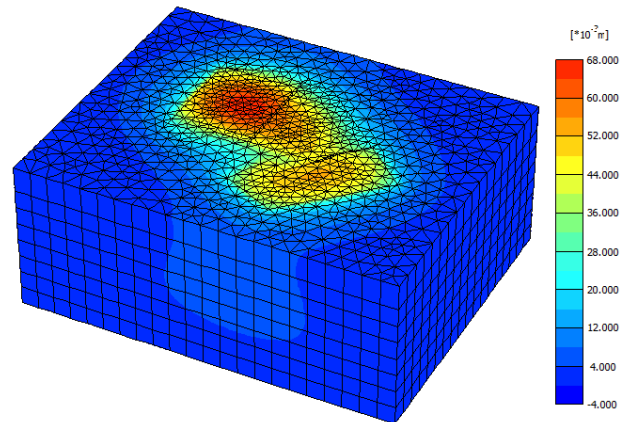
### Placa de cimentación de las tres torres

Para determinar los asentamientos de las tres torres en conjunto se modelaron las 3 placas de cimentación con las cargas utilizadas anteriormente.

Modelo tridimensional cimiento  
corrido 3m x 15m

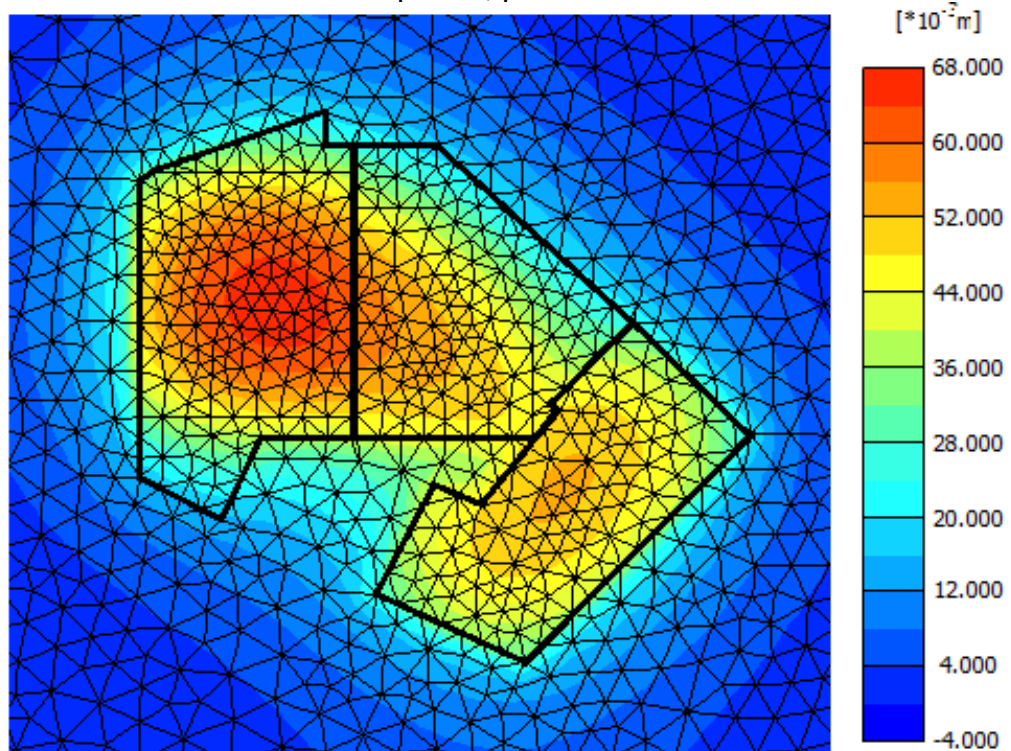


Desplazamientos totales,  
cimiento corrido 3m x 15m



Total displacements (Utot)  
Extreme Utot 66.50\*10<sup>-3</sup> m

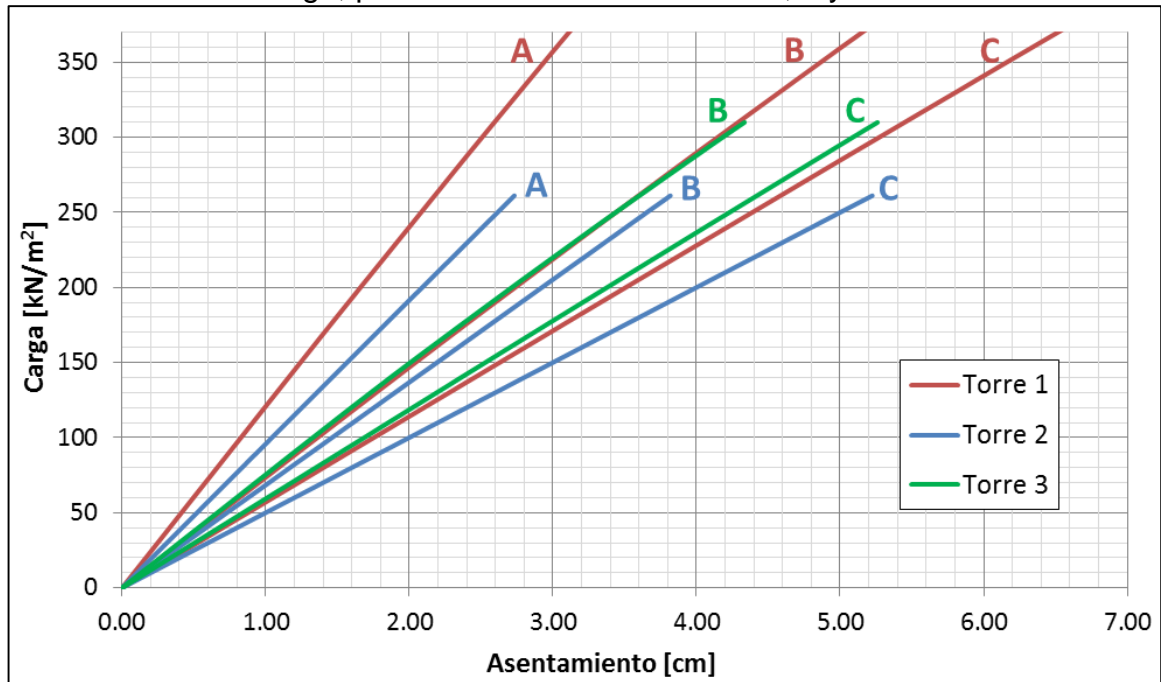
### Distribución de asentamientos en planta, placa de cimentación Torre 2



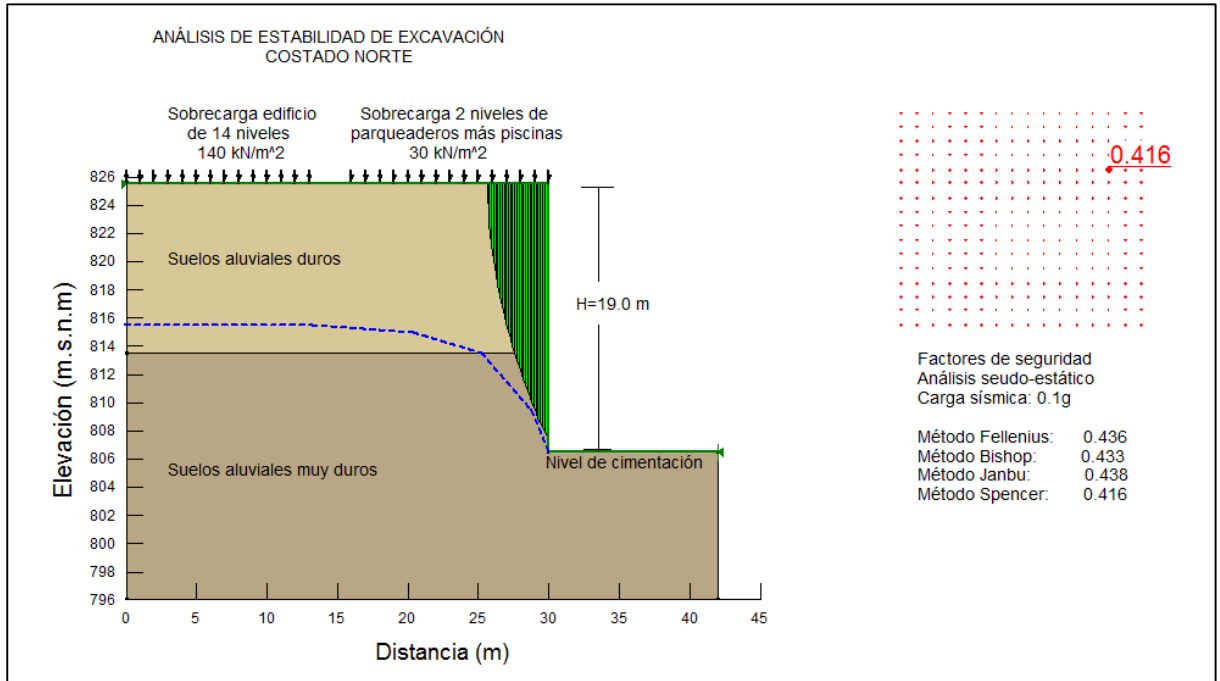
Fuente: PLAXIS 3D FOUNDATION

A continuación, se muestran los asentamientos en las mismas zonas evaluadas anteriormente sobre las placas de cimentación.

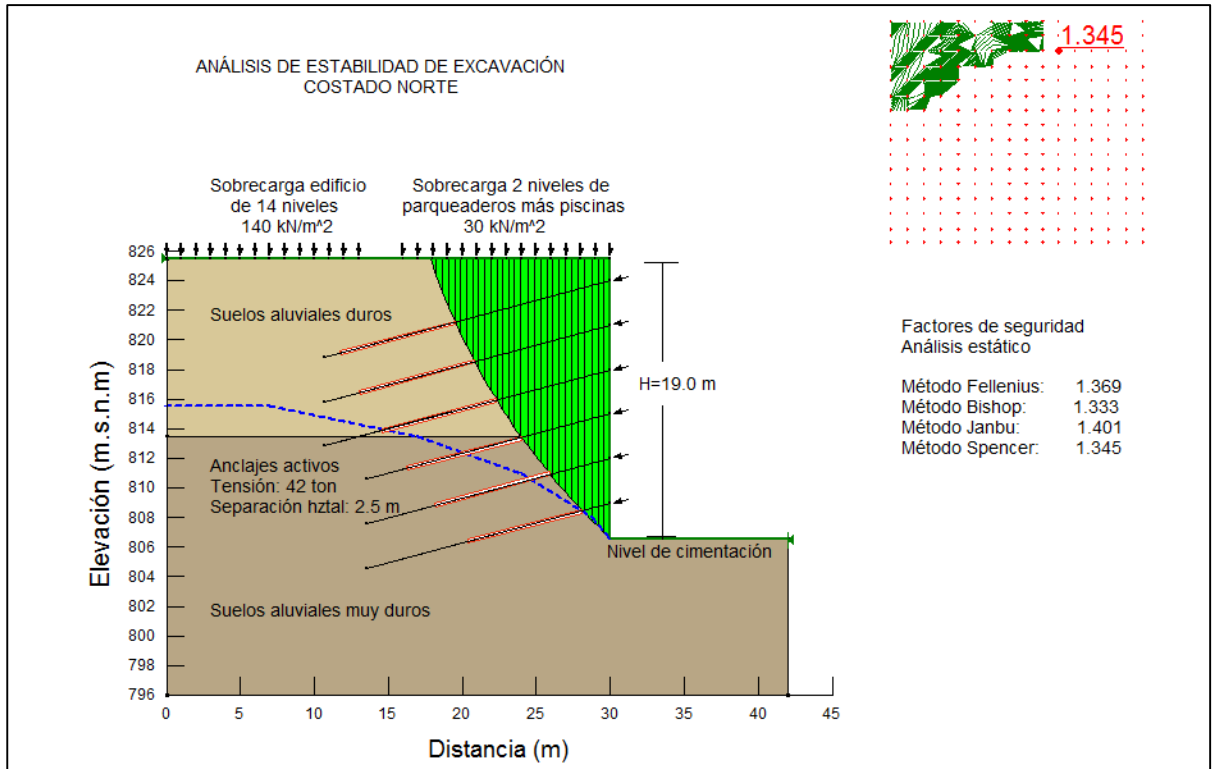
Asentamiento vs. Carga, placa de cimentación Torres 1, 2 y 3



Análisis de estabilidad seudo-estático costado norte. Corte vertical sin obras H=19 m.

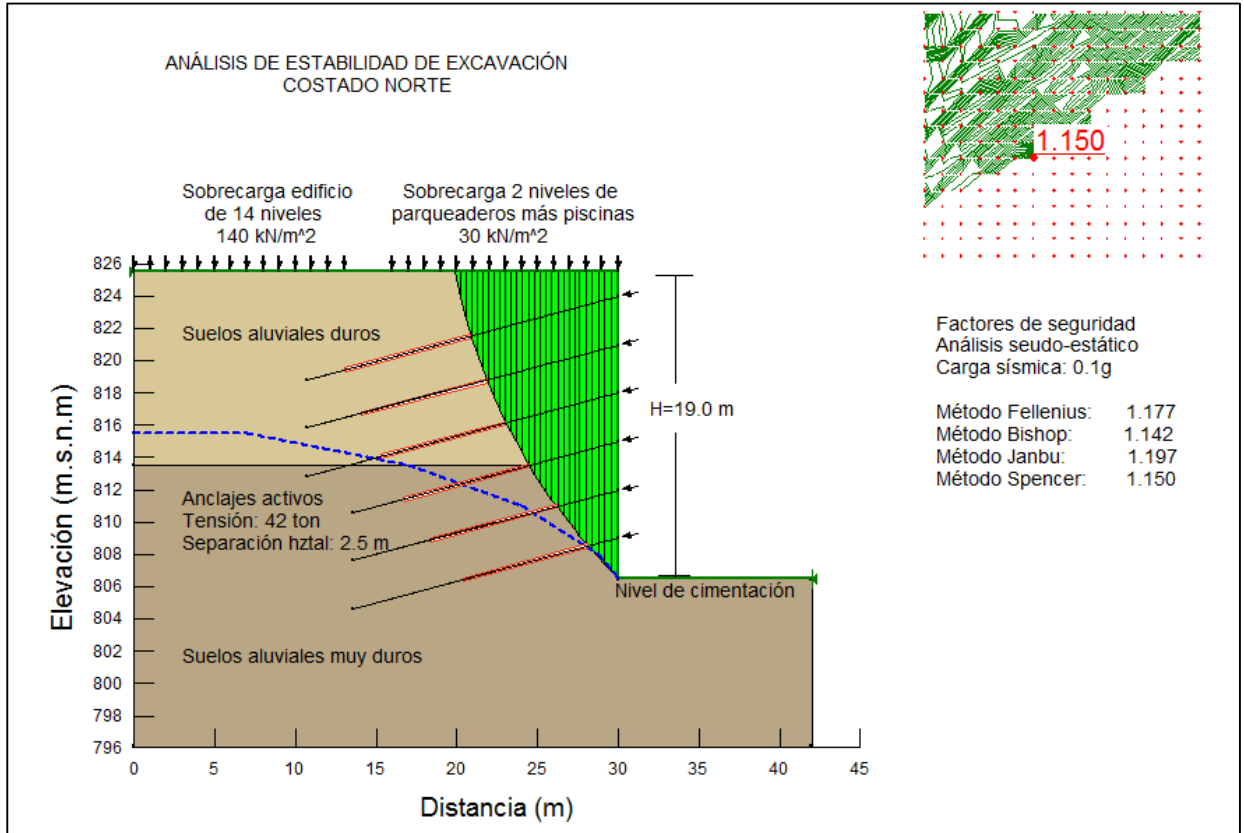


Análisis de estabilidad estático costado norte. Corte con obras H=19 m.



Fuente: Geotecnología S.A.S.

Análisis de estabilidad seudo-estático costado norte. Corte con obras H=19 m.



Fuente: Geotecnología S.A.S.