

**Modelado de la capacidad portante en cimentaciones del cable línea Plaza Guarín –
Morrerico**

Andrés Felipe Rodríguez Álvarez

Paulo Sergio Ramírez Jiménez

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director del Proyecto

Jorge Alejandro Mendoza Rizo

PhD en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

Nuestros mayores agradecimientos al profesor Jorge Alejandro Mendoza Rizo por la dedicación, compromiso y paciencia en este proceso, el aporte de su conocimiento fue de gran ayuda para la elaboración del presente proyecto. Además, queremos agradecer al ingeniero Alexis Vega y a todo su grupo de trabajo por la información brindada sobre las estaciones del proyecto, las cuales facilitaron el proceso de realización del mismo.

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Justificación	17
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. Marco de Referencia.	20
3.1 Cimentaciones superficiales.....	20
3.2 Cimentaciones profundas.....	21
3.3 Capacidad portante.....	22
3.4 Capacidad portante en cimentaciones superficiales (zapatas aisladas).....	22
3.4.1 Método de Terzaghi (1955).	22
3.4.2 Fórmula de Meyerhof (1963).....	23
3.4.3 Fórmula de Hansen (1970).....	25
3.4.4 Fórmula de Vesic (1975).	26
3.5 Capacidad portante de cimentaciones superficiales en ladera.	26
3.6 Capacidad portante en cimentaciones profundas (Pilotes)	28

3.6.1 Capacidad portante en pilotes por punta.....	28
3.6.2 Capacidad portante en pilotes por fricción.	30
3.7 PLAXIS 2D como herramienta para el modelo de cimentaciones.	32
4. Metodología.	33
4.1 Localización del proyecto.	33
4.2 Recopilación, análisis y procesamiento de la información.	35
4.3 Calculo de cimientos por medio de ecuaciones teórico-prácticas mediante la herramienta EXCEL.....	36
4.3.1 Calculo de cimientos estación Morrorrico.	36
4.3.2 Procedimiento para el cálculo de cimientos estación Plaza Guarín.....	39
4.4 Modelado de cimientos en PLAXIS 2D	41
4.4.1 Modelado Estación Morrorrico.....	42
4.4.1 Modelado Estación Plaza Guarín.....	45
5. Análisis de Resultados	47
5.1 Estación Morrorrico.	47
5.1.1 Ecuaciones teórico-prácticas.....	47
5.1.2 Resultados mediante PLAXIS 2D	50
5.2 Estación Plaza Guarín.	52
5.2.1 Ecuaciones teórico-prácticas.....	52
5.2.2 Calculos mediante PLAXIS 2D.	53

6. Conclusiones	54
Referencias Bibliográficas	56
Apéndices.....	58

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Clasificación de zapatas.....	21
<i>Figura 2.</i> Tipos de pilotes.....	22
<i>Figura 3.</i> Interacción general suelo-zapata para el lado izquierdo; teoría según Terzaghi (1943) y Hansen (1970) y lado derecho Meyerhof (1951).	22
<i>Figura 4.</i> Zapata en ladera (a) o adyacente a una ladera (b).....	27
<i>Figura 5.</i> Variación de los valores maximos de N_q , con el angulo de fricción (según Meyerhof. 1976)	29
<i>Figura 6.</i> Coeficiente λ , valor cambiante con respecto a la profundidad de penetración del pilote	31
<i>Figura 7.</i> α , Factor empirico de adhesión.....	31
<i>Figura 8.</i> Proceso de discretización.....	32
<i>Figura 9.</i> Perfil de elevación Cable Linea, Plaza Guarín – Morrorrico.	33
<i>Figura 10.</i> Ubicación estación Plaza Guarín . Nota. Tomado de: Google Eart Pro.	34
<i>Figura 11.</i> Ubicación estación Morrorrico. Nota. Tomado de:: Google Eart Pro.	34
<i>Figura 12.</i> Datos requeridos Para el cálculo de Q_u por ecuaciones de Hansen y Vesic.	37
<i>Figura 13.</i> Procedimiento para cálculo de Q_u mediante ecuaciones de Hansen.	37
<i>Figura 14.</i> Ecuación de iteración para el cálculo de D_{f2} , a partir de un D_{f1} y base de la cimentación constante.	38

<i>Figura 15.</i> Parámetros para el procedimiento mediante Análisis de Bowles.	39
<i>Figura 16.</i> Datos tabulados para cálculos de capacidad portante por punta (Meyerhof).	39
<i>Figura 17.</i> Datos tabulados para cálculos de capacidad portante por punta (Janbu).	40
<i>Figura 18.</i> Ejemplo de parámetros usados para el cálculo de Q_u por fricción (método α).	40
<i>Figura 19.</i> Ejemplo de parámetros para cálculo de capacidad portante por fricción (método λ).	41
<i>Figura 20.</i> Caracterización general de suelos.	42
<i>Figura 21.</i> Caracterización de parámetros de suelos.	42
<i>Figura 22.</i> Modelo geométrico y ubicación de Zapatas.	43
<i>Figura 23.</i> Detalle del tipo de mallado.	43
<i>Figura 24.</i> Tipo de cálculo: Plástico.	44
<i>Figura 25.</i> Tipo de cálculo: Seguridad (0.5,1 y 1.5).	44
<i>Figura 26.</i> Caracterización general de suelos.	45
<i>Figura 27.</i> Caracterización de parámetros de suelos.	46
<i>Figura 28.</i> Modelo geométrico y ubicación de Pilote.	46
<i>Figura 29.</i> Detalle del tipo de mallado.	47
<i>Figura 30.</i> Q_u por Hasen $\beta = 0$	48
<i>Figura 31.</i> Q_u por Hasen $\beta = 22$	48
<i>Figura 32.</i> Q_u Vesic $\beta = 0$	49
<i>Figura 33.</i> Q_u por Vesic $\beta=0$	49
<i>Figura 34.</i> Fase dos, análisis de seguridad $FS = 1.5$	52
<i>Figura 35.</i> Modelo de pilote individual con su respectiva malla, nivel freático y carga aplicada.	53

Figura 36. Modelo de un perfil de grupo de pilotes con su respectiva malla, nivel freático y cargas aplicadas. 53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Factores de carga N_c, N_q, N_γ, para Meyerhof, Hansen y Vesic.</i>	24
Tabla 2. <i>Características Geomecánicas estación Plaza Guarín.</i>	35
Tabla 3. <i>Características Geomecánicas estación Morrorrico.</i>	36
Tabla 4. <i>Relación de profundidades de cimentación (D_{f1} y D_{f2}) y ancho de zapata.</i>	38
Tabla 5. <i>Parámetros constantes.</i>	48
Tabla 6. <i>Cálculo de Q_u variando (B) y según la ubicación del elemento de cimentación.</i>	50
Tabla 7. <i>Q_u; Fase uno, análisis plástico</i>	51
Tabla 8. <i>Comparación Q_u ecuaciones y PLAXIS 2D</i>	52
Tabla 9. <i>Esfuerzos efectivos para pilote de 0,5 m de diámetro.</i>	54

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Detalle de la tabla para la determinación de la capacidad de carga N'_c , N'_q para zapatas en laderas o adyacentes a una ladera.	58
Apéndice B. Detalle de tabla para determinación de factores N'_c y N'_s para pilotes por Vesic, teniendo en cuenta el Angulo de fricción para calcular <i>Irr</i>	60
Apéndice C: Detalle de tabla para factores de capacidad de carga por el método de Janbu.	61
Apéndice D: Perfiles estratigráficos provenientes de los ensayos de SPT.	62
Apéndice E: Tablas de resultados arrojadas de las programaciones propuestas en la herramienta EXCEL.....	71
Apéndice F: calculo tipo mediante herramienta EXCEL de la programación de interpolación usada para el cálculo de N'_c y N'_q	72
Apéndice G: Resultados de las ecuaciones teórico-prácticas (Meyerhof, Vesic, Janbu) para la capacidad portante última del suelo; calculada como la sumatoria de la capacidad portante por punta y la capacidad portante por fricción.	73
Apéndice H: Detalles de los resultados extraídos del software PLAXIS 2D en el cual se encuentra el esfuerzo vertical efectivo por punta y por fricción gráficamente; tanto para un solo pilote como para un grupo de pilotes, cambiando el diámetro de estos.	74
Apéndice I. Resultados obtenidos mediante PLAXIS 2D, Se obtienen todos los valores que podemos interpretar como capacidad ultima de carga según el programa.	78

Resumen

TITULO: Modelado de la capacidad portante en cimentaciones del cable línea Plaza Guarín - Morrorrico.*

AUTORES: Andrés Felipe Rodríguez Álvarez
Paulo Sergio Ramírez Jiménez**

PALABRAS CLAVES: Cable línea, capacidad portante, modelado, depuración, elementos finitos, suelos y elementos de cimentación.

DESCRIPCIÓN

En el proceso de integrar y acercar todos los barrios y comunidades de la ciudad de Bucaramanga es necesario un sistema integrado de transporte masivo para la ciudad. Por esta razón, se genera la idea de modelar y analizar la capacidad portante para el posible tramo del cable línea Plaza Guarín -Morrorrico, siendo este tramo sólo un segmento de la súper estructura de transporte aéreo a la que se quiere llegar en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). Adicionalmente, se realizó una revisión y depuración de los estudios de suelos presentes en las áreas donde se quieren construir las estaciones del cable línea. Posteriormente, con la información recopilada y la selección de las ecuaciones teórico-prácticas se llevó a cabo el análisis de la capacidad portante del suelo en las dos estaciones teniendo presente como elementos de cimentación las zapatas aisladas y pilotes según el caso. Una vez terminado el análisis teórico, se realizó el modelado mediante el programa PLAXIS 2D para las dos estaciones. Finalizando con unos análisis de resultados y diagramas comparativos de los valores teóricos frente a aquéllos obtenidos mediante el software que reflejan algunas conclusiones y recomendaciones ligadas a la geometría y capacidad portante de los elementos de cimentación.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director del Proyecto Jorge Alejandro Mendoza Rizo PhD en Ingeniería Civil

Abstract

TITLE: Modeling of the bearing capacity in foundations of the cable linea Plaza Guarín Morrorrico *.

AUTHORS: Andrés Felipe Rodríguez Álvarez
Paulo Sergio Ramírez Jiménez **

KEYWORDS: Line cable, bearing capacity of foundations, modeling, debugging, finite elements, soils and foundation elements.

DESCRIPTION

In the process of integrating and bringing together all the neighborhoods and communities of the city of Bucaramanga, an integrated mass transit system for the city is necessary. For this reason, the idea of modeling and analyzing the bearing capacity for the possible stretch of the Plaza Guarín-Morrorrico cable line is generated, this section being just a segment of the super air transport structure that is to be reached in the Metropolitan Area of Bucaramanga (AMB). Additionally, a revision and purification of the soil studies present in the areas where the stations of the cable line are to be built. Subsequently, with the collected information and the selection of the theoretical-practical equations, the analysis of the bearing capacity of the soil in the two stations was carried out in a theoretical manner, having in mind as foundations elements the isolated footings and piles according to the case. Once the theoretical analysis was finished, modeling was carried out using the PLAXIS 2D program for the two stations. Finishing with some statistical analysis and comparative diagrams of the theoretical results versus those obtained by the software that will reflect some conclusions and recommendations related to the geometry and bearing capacity of the foundation elements.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director del Proyecto Jorge Alejandro Mendoza Rizo PhD en Ingeniería Civil

Introducción

Dado el alto número de vehículos que circulan por las pocas vías del municipio de Bucaramanga, el crecimiento de la población, la contaminación ambiental y con experiencias de otras ciudades, se origina la idea de construir el teleférico denominado “Teleférico de la Fraternidad”. Es una obra que inicialmente beneficiará a 30.000 habitantes de las comunas aledañas que en su mayoría son de estratos 1 y 2. Este proyecto de investigación se enfatiza en el estudio de las estaciones principales de los segmentos comprendidos entre Plaza Guarín y Morrorrico (Vargas Mendoza, 2010).

Mediante el uso de ecuaciones teóricas planteadas por: Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic y Bowles, seleccionados debido a su alta presencia en cálculos de algunos proyectos de gran envergadura, de su versatilidad en uso y la precisión en sus resultados .

Las estaciones son abordadas individualmente a consecuencia de sus particulares variantes. En la estación Plaza Guarín se evidencia la presencia de un alto nivel freático y en la estación Morrorrico se encuentra una ladera de 22 grados de pendiente, lo que hace necesario tener en cuenta parámetros de diseño como profundidad, geometría del pilote y factores de capacidad de carga para terreno inclinado (N_c , N_q , N_γ , b/B , D/B , g_c , g_q , g_γ entre otros (Suárez Díaz, 2010).

Por otra parte, para el modelado geotécnico de los elementos de cimentación se usó PLAXIS 2D. Este programa computacional utiliza el método numérico de elementos finitos para realizar el análisis de deformaciones y estabilidad de problemas geotécnicos bidimensionales (deformación plana o con axisimetría).

Se discuten las aproximaciones y divergencias entre los diferentes modelos, concluyendo que la presencia del alto nivel freático dificulta la selección de las variables de diseño de los pilotes en la estación Plaza Guarín. El proyecto tendrá en cuenta la inclinación del terreno en la estación Morrorrico que afecta la capacidad portante del suelo presente en dicha estación.

Se busca arrojar conclusiones y recomendaciones técnicas a los diseños inicialmente presentados a la idea propuesta Cable Línea Plaza Guarín – Morrorrico.

1. Justificación

Entender el comportamiento y propiedades del suelo y/o sustrato en una obra civil es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, puesto que los cimientos de toda estructura estarán soportados por estos; dependiendo de dichas propiedades y del peso de la estructura, se presentarán asentamientos muy o poco pronunciados con el transcurrir del tiempo.

El trabajo de grado en modalidad de investigación es una oportunidad importante para indagar, profundizar y afianzar conocimientos claves para la realización de actividades propias de la ingeniería.

Por estas y otras razones hemos encontrado en esta modalidad la invaluable oportunidad de investigar, modelar y estudiar la capacidad portante de los suelos donde se construirán las estaciones del cable línea en Bucaramanga, más específicamente en los sectores Plaza Guarín y Morrorrico; lugares que han sido escogido por las entidades a cargo de la obra para realizar las respectivas estaciones.

En ambas estaciones se realizara el modelamiento de sus cimentaciones con el software “PLAXIS”, el cual brinda una gran familia de soluciones a las problemáticas presentes en los suelos donde se pretenden construir dichos cimientos teniendo en cuenta todas sus propiedades. En el lote estación Plaza Guarin se tiene un suelo con sus propiedades degradadas debido a la presencia de nivel freático lo cual obliga a introducir pilotes para que sean el soporte de la estructura. Por otro lado en el lote estación Morrorrico se plantean cimientos superficiales que se pueden simular de manera apropiada en este software. Este programa trabaja con elementos finitos y nos proporcionara análisis y presentaciones detalladas con resultados que servirán para realizar las respectivas comparaciones con los resultados obtenidos de los métodos analíticos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Modelar y analizar la capacidad portante de las cimentaciones en las estaciones principales entre el segmento Plaza Guarín – Morrorrico, teniendo como eje principal los resultados obtenidos mediante el uso de las ecuaciones teórico-prácticas seleccionadas y de la herramienta computacional PLAXIS 2D.

2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar, revisar y depurar la Bibliografía e información suministrada sobre los estudios de suelos y caracterización de la geología en las zonas de estudio.
- Analizar los resultados obtenidos por las ecuaciones teórico-prácticas seleccionadas para el estudio.
- Modelar y simular algunos tipos de cimentación para la obra Cable Línea Plaza Guarín – Morrorrico de sus estaciones principales mediante el uso de PLAXIS 2D.
- Establecer una comparación cualitativa y cuantitativa de los resultados obtenidos por medio del modelado y análisis de la capacidad portante en las cimentaciones.

3. Marco de Referencia.

3.1 Cimentaciones superficiales

Un elemento de cimentación superficial es la infraestructura en la que recae la responsabilidad de transmitir la carga de una edificación o estructura al suelo, esta se considera superficial dependiendo de la relación entre el ancho y la profundidad de desplante del cimientto (Bowles, 1997).

Entre los diferentes tipos de cimentación superficial se encuentran las zapatas, estas se pueden clasificar en aisladas, combinadas y corridas.

Las zapatas aisladas se construyen para columnas aisladas en terrenos resistentes, cuando la excentricidad de la carga de la columna es moderada, las zapatas continuas se emplean cuando se debe sostener un muro de carga, en terrenos de resistencia baja o media y las zapatas combinadas se usan en los casos donde la columna se apoye excéntricamente en la zapata o cuando se trata de una columna de borde o perimetral con grandes exigencias en su momento flector, debido a que la presión del terreno es baja para reaccionar ante el vuelco de la cimentación por lo que se une o combina la zapata de esta con la columna más cercana. En la figura 1 se observan los tipos de zapatas nombrados anteriormente (Das, 2006).

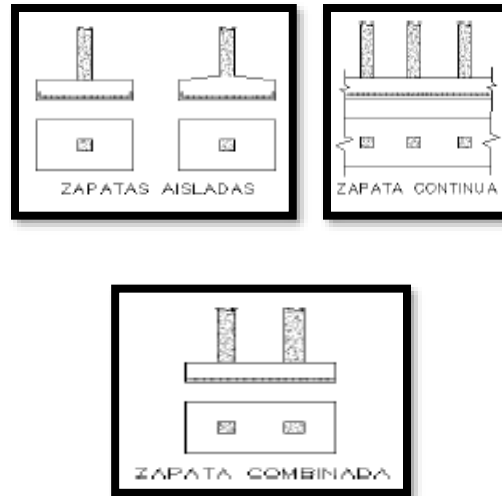


Figura 1. Clasificación de zapatas. Nota. Adaptado de (Cuta & Rengifo Arroyave, 2012)

3.2 Cimentaciones profundas.

Las cimentaciones profundas son un tipo de cimentaciones que solucionan la transmisión de cargas generadas por edificaciones o estructuras a estratos aptos y suelos resistentes capaces de soportar dichas cargas. En muchos casos se opta por realizar cimentaciones profundas; esto se puede dar por que los esfuerzos y cargas sobrepasan la capacidad portante del suelo y no pueden ser distribuidos eficientemente; también cuando el terreno tiende a sufrir grandes variaciones estacionales debido a hinchamientos o retracciones las cuales pueden producir asentamientos imprevistos; o bien sea porque los estratos próximos al cimiento no son los más favorables para soportar la estructura a construir.

Entre las cimentaciones profundas podemos destacar los pilotes, que son cimientos profundos de tipo puntal que se hincan o funden en sitio buscando siempre el estrato resistente capaz de soportar las cargas a las cuales se someterá la estructura.

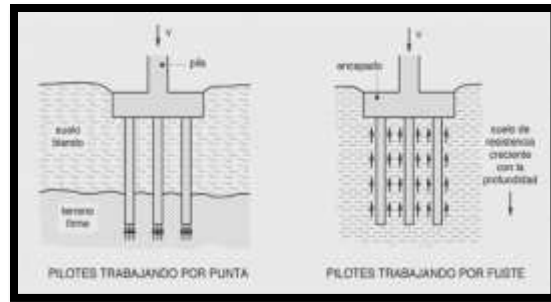


Figura 2. Tipos de pilotes. Nota Tomado de (Apuntes ingeniería civil, 2013)

3.3 Capacidad portante.

Es el valor máximo de carga en el cual ningún punto del subsuelo alcanza la condición de rotura (Método de Frolich) o de igual forma se refiere al valor de carga último mayor al que se presente el fenómeno de rotura extendida sobre un amplio volumen de suelo (Método de Prandtl y sucesores).

3.4 Capacidad portante en cimentaciones superficiales (zapatas aisladas).

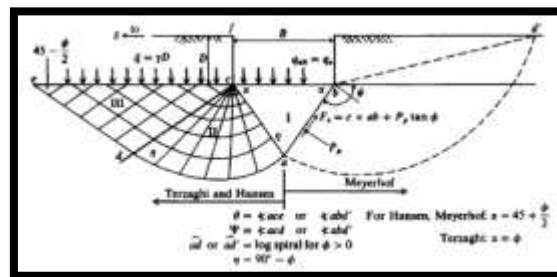


Figura 3. Interacción general suelo-zapata para el lado izquierdo; teoría según Terzaghi (1943) y Hansen (1970) y lado derecho Meyerhof (1951).

3.4.1 Método de Terzaghi (1955). De acuerdo con su teoría, una cimentación es superficial si su profundidad de desplante, es menor o igual a su ancho. Este método tiene en cuenta las

características efectivas del suelo y del elemento de cimentación, se puede pasar del problema plano al espacial introduciendo factores de forma (Das, 2006).

$$Q_u = C_u N_c S_c + \gamma D_f N_q S_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (1)$$

C_u , cohesión del suelo

γ , peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$, D_f o D , profundidad de desplante

B , longitud de la base de la cimentación.

L , longitud de la profundidad de la cimentación.

N_c , N_q , N_γ = factores de capacidad de carga que son adimensionales y están en función del ángulo de fricción (φ).

3.4.2 Fórmula de Meyerhof (1963). Meyerhof propuso una ecuación similar a la de Terzaghi, la diferencia consiste en la implementación de los factores de carga Tabla 1. Además de los factores de forma, introdujo un coeficiente S_q que multiplica el factor N_q , factores de profundidad (d_i) y de inclinación (I_i), para el caso en que la carga transmitida a la cimentación sea inclinada en la vertical.

Carga vertical.

$$Q_u = C_u N_c S_c d_c + \gamma D_f N_q S_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \quad (2)$$

Tabla 1.

Factores de carga N_c , N_q , N_γ , para Meyerhof, Hansen y Vesic.

φ	N_c	N_q	$N_\gamma(M)$	$N_\gamma(H)$	$N_\gamma(v)$
0,0	5,1	1,0	0,0	0,0	0,0
5,0	6,5	1,6	0,1	0,1	0,4
10,0	8,3	2,5	0,4	0,4	1,2
15,0	11,0	3,9	1,1	1,2	2,6
20,0	14,8	6,4	2,9	2,9	5,4
25,0	20,7	10,7	6,8	6,8	10,9
26,0	22,3	11,9	8,0	7,9	12,5
28,0	25,8	14,7	11,2	10,9	16,7

Factores de capacidad de carga:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45 + \frac{\varphi}{2})$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\varphi)$$

Factores de forma:

$$S_c = 1 + 0.2k_p \frac{B}{L}$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1k_p \frac{B}{L}$$

$$k_p = \tan^2(45 + \frac{\varphi}{2})$$

Factores de profundidad:

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \frac{D}{B}$$

3.4.3 Fórmula de Hansen (1970). Es una extensión de Meyerhof, se incluye la inclinación de la cimentación (b_i) y para la inclinación de la base del terreno (g_i), la fórmula de Hansen vale para cualquier D/B ya sea para cimentaciones profundas o superficiales; sin embargo, el mismo autor introdujo algunos coeficientes para poder interpretar mejor el comportamiento real de la cimentación; sin éstos, de hecho, se tendría un aumento demasiado alto de la capacidad portante con la profundidad.

$$Q_u = C_u N_c S_c d_{cg} + \bar{q} N_q S_q d_{qg} + 0,5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_{\gamma g} \quad (3)$$

Factores de forma:

$$S_{c(H)} = 1 + \frac{N_q B'}{N_c L'}$$

$$S_{q(H)} = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \varphi$$

$$S_{\gamma(H)} = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'} \geq 0,6$$

Factores de profundidad:

$$d_c = 1 + 0,4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi) k$$

$$d_\gamma = 1, \text{ para cualquier } \varphi$$

$$k = \frac{D}{B}, \text{ si } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \tan^{-1} \frac{D}{B}, \text{ si } \frac{D}{B} > 1$$

Factores de inclinación del terreno (cimentación sobre talud):

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

β , angulo de inclinacion de la ladera

3.4.4 Fórmula de Vesic (1975). Es una analogía de Hansen, los coeficientes de profundidad y forma divergen en; Hansen B, D y L son valores efectivos y para Vesic son los reales; para factores de carga N_c y N_q se calculan de igual a Meyerhof, solo varia el cálculo de N_γ :

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan(\varphi)$$

Factores de forma:

$$S_{c(v)} = 1 + \frac{N_q B}{N_c L}$$

$$S_{q(v)} = 1 + \frac{B}{L} \tan \varphi$$

$$S_{\gamma(v)} = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$$

Para Vesic los factores de forma y profundidad (s y d) son iguales que Hansen; pero se dan algunos cambios en los factores de inclinación de la carga, terreno y de la base del elemento de cimentación.

3.5 Capacidad portante de cimentaciones superficiales en ladera.

Hansen y Vesic presentan sus ecuaciones, anteriormente nombradas con sus respectivos coeficientes para cuando se tiene una zapata superficial en o adyacente a una ladera, pero además Bowles presenta su propia interpretación para este caso. Un problema especial que puede encontrarse en el cálculo de la capacidad portante es el que tiene que ver con la ubicación en ladera o adyacente a esta de una zapata. De la figura 4 se puede observar que la falta de suelo en la

pendiente sin duda alguna reduce la estabilidad y la capacidad portante del elemento de cimentación (Cuta & Rengifo Arroyave, 2012) y (Amézquita-Jiménez, 2008).

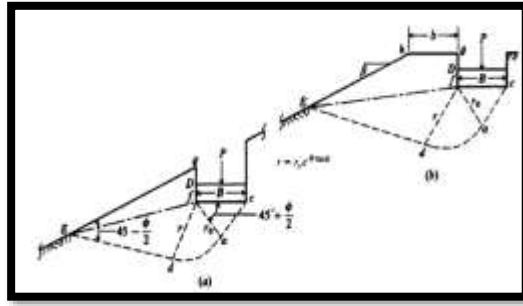


Figura 4. Zapata en ladera (a) o adyacente a una ladera (b). Nota. Tomado de. Foundation analysis and design; Bowles; Pag 228

Bowles modifica la ecuación tradicional de Hansen para el cálculo de capacidad última de carga, en la cual varía algunos factores según su teoría quedando la siguiente ecuación (Bowles, 1997):

$$Q_u = C_u N'_c S_c + \gamma D_f N'_q S_q + 0,5 \gamma B N'_\gamma S_\gamma \quad (4)$$

Los valores de N'_c y N'_q se pueden obtener de la tabla presente en el Anexo A (Tabla 4-7; Foundation analysis and design; Bowles; pag 260). para N'_γ se deben ajustar a N'_γ :

$$N'_\gamma = \frac{N_\gamma}{2} + \frac{N_\gamma}{2} \left[R + \frac{b}{2B} (1 - R) \right]$$

$$R = \frac{K_{min}}{K_{Max}}$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin^2(\alpha) \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

α , ángulo con respecto a la pared de desplante

3.6 Capacidad portante en cimentaciones profundas (Pilotes)

Para calcular la capacidad de carga última de un pilote, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$Q_u = Q_p + Q_f \quad (5)$$

Donde: Q_u = capacidad de carga última del pilote; Q_p = capacidad de carga portante por punta del pilote; Q_f = capacidad de carga portante debida a la resistencia por fricción entre el pilote y el suelo.

3.6.1 Capacidad portante en pilotes por punta

3.6.1.1 Metodo de Meyerhof (1976). La capacidad de carga de punta de un pilote en arena aumenta con la profundidad de empotramiento en el estrato de carga y alcanza un valor máximo a una relación de hincamiento de L/D . La variación de N_q con el ángulo de fricción del suelo se encuentra en la figura 5.

$$Q_p = A_p * q_p = A_p * q' * N_q$$

Donde: A_p = área de la punta del pilote

En Arcillas la capacidad de carga portante por punta se calcula de la siguiente manera:

$$Q_p = A_p(9 * C_u)$$

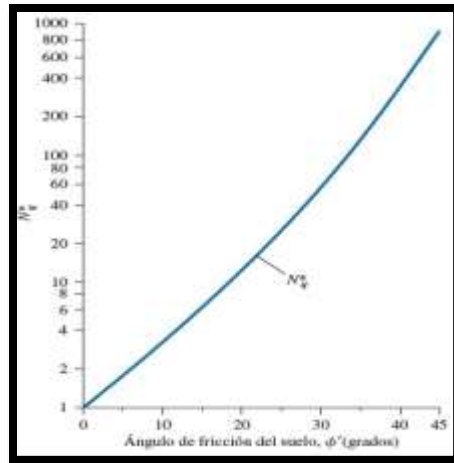


Figura 5. Variación de los valores máximos de N_q , con el ángulo de fricción (según Meyerhof. 1976) Nota. Tomado de. Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones ; Braja Das; pag. 557

3.6.1.2 Metodo de Vesic. Para calcular la capacidad de carga ultima por punta, Vesic se baso en la teoria de expansión de cavidades y propuso la siguiente ecuación (Crespo Villalaz, 2004):

$$Q_u = A_p * C_u * N_c \quad (6)$$

Donde:

$$N_c = \frac{4}{3} * \ln(I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

$$I_{rr} = I_r$$

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)q' \tan \phi}$$

I_r , indice de rigidez

Los factores de capacidad de carga N_c y N_q en función del ángulo de fricción se encuentran en la tabla mostrada en el Anexo B (Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones ; Braja Das; pag. 560)

3.6.1.3 Metodo de Janbu (1976). Janbu propuso calcular la capacidad portante de carga por punta para pilotes de la siguiente forma:

$$Q_p = A_p(cN'_c + q'N_q)$$

Los factores de capacidad portante son calculados asumiendo una superficie de falla en el suelo. Se pueden encontrar estos factores en la tabla presente en el Anexo C.

$$N_q = (\tan\phi + \sqrt{1 + \tan^2\phi}) (e^{2\pi\tan\phi})$$

$$N'_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

3.6.2 Capacidad portante en pilotes por fricción. La estimación de la resistencia por fricción (superficial) de pilotes en arcilla es casi tan difícil como la tarea de estimarla en arenas; esto se debe a la presencia de diversas variables que no se pueden cuantificar con facilidad.

3.6.2.1 Método λ (largo plazo). Este método propuesto por Vijayvergiya y Focht (1972), se basa en la suposición de que el desplazamiento del suelo ocasionado por el hincado del pilote da por resultado una presión lateral pasiva a cualquier profundidad y que la resistencia superficial unitaria promedio esta dada por:

$$f_{prom} = \lambda(\sigma'_o + 2C)$$

Donde: C = resistencia cortante no drenada media; σ'_o = esfuerzo vertical efectivo medio para toda la longitud de empotramiento.

$$Q_f = P * L * f_{prom}$$

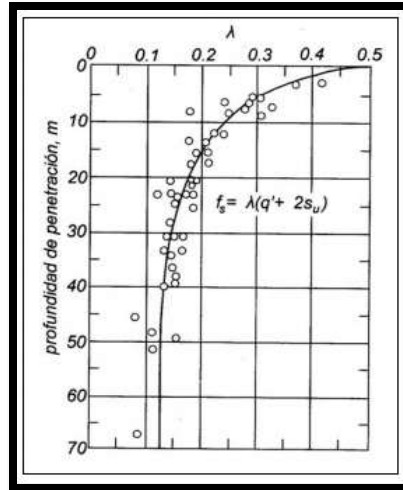


Figura 6. Coeficiente λ , valor cambiante con respecto a la profundidad de penetración del pilote

3.6.2.2 Método α (corto plazo). De acuerdo con el método α , la resistencia unitaria por fricción en suelos arcillosos se puede representar mediante la siguiente ecuación.

$$Q_s = \sum f P \Delta L = \sum \alpha c_u P \Delta L$$

Donde: P = perímetro del pilote; L = longitud del pilote; $f = \alpha * c_u$

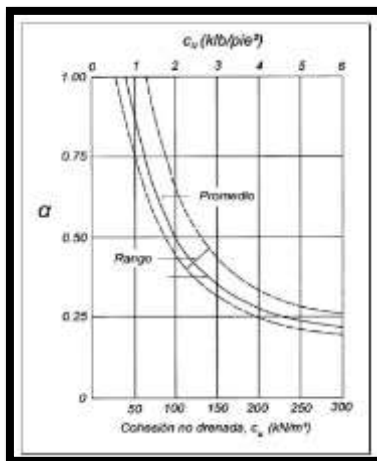


Figura 7. α , Factor empírico de adhesión Nota. Tomado de. Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones; Braja Das; pag 577.

3.7 PLAXIS 2D como herramienta para el modelo de cimentaciones.

PLAXIS 2D es un programa computacional basado en el análisis bidimensional de deformación y estabilidad de problemas geotécnicos mediante elementos finitos. Las situaciones que se pueden analizar en este software son de deformación plana o con axisimetría. El programa utiliza una interfaz amigable, fácil de manejar para el usuario, permitiendo generar un modelo geométrico de forma rápida y una malla de elementos finitos basada en una sección vertical transversal representativa del problema que se quiera solucionar (Díaz & Alvarado, 2008). PLAXIS 2D se fundamenta en el método de los elementos finitos, el cual consiste en generar una subdivisión de la estructura a diseñar en un número de elementos geométricos como se muestra en la figura 8 que mantienen las propiedades de la estructura principal, prediciendo el comportamiento de la estructura como un todo.

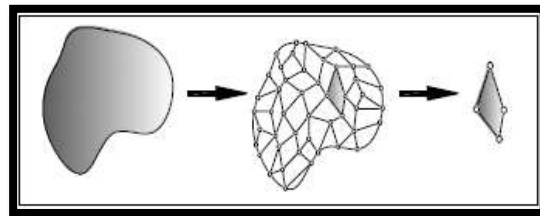


Figura 8. Proceso de discretización. Fuente : curso de Mecánica computacional de Geotecnia, introducción al método de los elementos finitos.

Cuando se genera un modelo de un problema estructural se busca encontrar respuesta a algunas incógnitas como: desplazamiento, deformación y tensión. Debido a la complejidad y heterogeneidad de la geotécnica del suelo se hace imposible encontrar ecuaciones que entreguen soluciones analíticas, por lo cual es necesario efectuar una aproximación discreta donde se

considera resolver el problema en forma correcta, es decir, se calcula la solución en desplazamientos, deformación y tensiones en algunos puntos, y se interpolan estos valores a cualquier otro punto.

4. Metodología.

El proyecto de investigación se inició con la recopilación de la información existente, información que fue suministrada por el profesor Alexis Vega y realizada por Geotecnología S.A.S. A partir de esta, se inicia con la selección de parámetros necesarios para la realización del proyecto.

4.1 Localización del proyecto.



Figura 9. Perfil de elevación Cable Linea, Plaza Guarín – Morrorrico. Nota. Tomado de: Google Eart Pro.

El lote donde se proyecta la construcción de la estación plaza Guarín, se encuentra ubicado en la parte central de la plaza de mercado Guarín donde actualmente funciona el parqueadero de la plaza; ubicada entre las carreras 33 y 33ª y se extiende desde la calle 34 hasta la calle 32 del municipio de Bucaramanga.



Figura 10. Ubicación estación Plaza Guarín . Nota. Tomado de: Google Eart Pro.

Para el caso de la estacion Morrorrico, se encuentra ubicado en la parte alta y al sur del cerro de Morrorrico dentro del parque de la CDMB (Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga), en el sector oriental del area urbana de Bucaramanga (Suárez Diaz, 2010).



Figura 11. Ubicación estación Morrorrico. Nota. Tomado de:: Google Eart Pro.

4.2 Recopilación, análisis y procesamiento de la información.

Se selecciona la información más relevante, necesaria para los posteriores cálculos manuales y modelados en el programa PLAXIS 2D. Se tienen en cuenta aspectos propios de las estaciones tales como nivel freático (NF) , ángulo de fricción (ϕ) , Cohesión (C_u) , peso específico (γ) , Modulo de Elasticidad (E) , inclinación de ladera (β) , entre otros; estos datos se obtienen por medio de estudios de SPT¹ análisis granulométrico, ensayo de corte directo y otros. A continuación, en las tablas 2 y 3 se muestran las características necesarias para el análisis de cada estación (Suárez Díaz, 2010).

Tabla 2.

Características Geomecánicas estación Plaza Guarín.

CARACTERÍSTICAS GEOMECAÑICAS_PLAZA GUARÍN		
ITEM	MAGNITUD	UNIDAD
ϕ	30	grados
C_u	34	kPa
γ	18	kN/m ³
NF	(-)6,48	m
E	12500	kN/m ²
β	0	grados
A (lote)	2000	m ²
Suelo característico	ML-SM ²	-
Número total de sondeos	5	-
Profundidad de suelo competente	7,6 - 8,4	m
SPT_ <i>prom</i>	35	golpes/ft

¹ (Ensayo de Penetración Estándar o Standard Penetration Test),

² Limosa de baja plasticidad (ML), Arena Limosa (SM) y arcilla de baja plasticidad (CL).

Tabla 3.

Características Geomecánicas estación Morrorrico.

CARACTERÍSTICAS GEOMECAÑICAS_MORRORRICO		
ITEM	MAGNITUD	UNIDAD
ϕ	26	grados
Cu	9	kPa
γ	17	kN/m ³
NF	NP	m
E	22500	kN/m ²
β	22	grados
A (lote)	2500	m ²
Suelo característico	SM-ML-CL	-
Número total de sondeos	4	-
Profundidad de suelo competente	1,2 - 7	m
SPT_prom	30	golpes/ft

4.3 Calculo de cimientos por medio de ecuaciones teórico-prácticas mediante la herramienta EXCEL.

Dando continuidad con las actividades del proyecto, se realizan los cálculos de las cimentaciones de ambas estaciones por medio de ecuaciones teórico-prácticas, las cuales se realizaron de forma manual (EXCEL) teniendo en cuenta toda la información extraída anteriormente. Para los cálculos, las ecuaciones usadas se encuentran en los libros (Bowles, 1997) y (Das, 2006).

4.3.1 Calculo de cimientos estación Morrorrico. Se crea una hoja de EXCEL para el cálculo mediante las ecuaciones de Hansen, Vesic y la variante presentada por Bowles. En estas hojas se

programan todas las ecuaciones necesarias para hallar la capacidad de carga (Q_u [kN/m^2]) de las cimentaciones.

En el anexo D se encuentran los perfiles estratigráficos de los suelos presentes en las estaciones Plaza Guarín y Morrorrico los cuales se obtuvieron de los ensayos de SPT realizados en estas estaciones.

Se realiza un cálculo tipo para mostrar las programaciones generadas para hallar la capacidad de carga última. En el Anexo E se encuentran los otros cálculos realizados.

DF	2
B [m]	1
L (m)	1
γ_m [kN/m^3]	17
γ_{sat} [kN/m^3]	NP
C_u [kN/m^2]	9
ϕ°	26
β°	22
FS	3

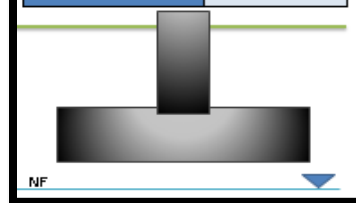


Figura 12. Datos requeridos Para el cálculo de Q_u por ecuaciones de Hansen y Vesic.

NO se tiene en cuenta la inclinacion de la LADERA			
q trazo	34		
γ'	17		
Q_u	1264.478	[kN/m^2]	
Q_{adm}	421.49	[kN/m^2]	

SI se tiene en cuenta la inclinacion de la LADERA			
q trazo	34		
γ'	17		
Q_u	332.03	[kN/m^2]	
Q_{adm}	110.68	[kN/m^2]	

Figura 13. Procedimiento para cálculo de Q_u mediante ecuaciones de Hansen.

Posterior a los resultados obtenidos mediante las ecuaciones de Hansen y Vesic se realiza el análisis mediante las ecuaciones de Bowles. Se debe tener en cuenta las disposiciones y recomendaciones en los estudios de suelos. Los desplantes de las zapatas no pueden ser inferior a 2 m de profundidad debido a que a partir de allí es donde se encuentra el suelo resistente.

Tabla 4.

Relación de profundidades de cimentación ($Df1$ y $Df2$) y ancho de zapata.

β°	B [m]	Df1[m]	Df2[m]
22	0,8	2,4	2,08
22	1	2,4	2
22	1	2,5	2,1
22	1,5	2,7	2,09
22	1,8	2,8	2,07
22	2	2,9	2,09

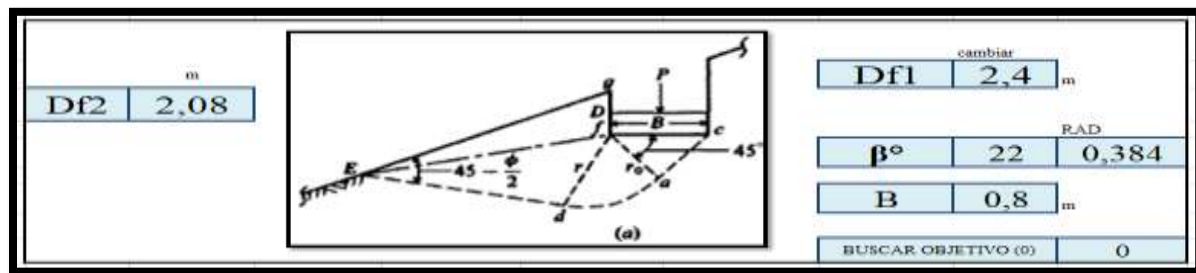


Figura 14. Ecuación de iteración para el cálculo de $Df2$, a partir de un $Df1$ y base de la cimentación constante.

R	0.047	Nc'' (según tabla 4-7 bowles)	interpolación	Kpmin	□	0.6	(alfa)α	90
1-R	0.953	C(KN/m^2)	9		Kp	1.6	φ'Diseño	26
NY (según tabla 4-4 bowles)	7.9	Ym (KN/m^3)	17	KpMA X	□	0.0	βMAX	22
Nq'' (según tabla 4-7 bowles)	interpolación	B(m)	1.8		Kp	34.4	βmin	-22

Figura 15. Parámetros para el procedimiento mediante Análisis de Bowles.

En el Anexo F se encuentra un cálculo tipo del procedimiento de interpolación mediante el cual se calcula N'_c y N'_q

4.3.2 Procedimiento para el cálculo de cimientos estación Plaza Guarín. Para el cálculo de capacidad portante en la estación plaza guarín se tomó en cuenta la construcción de pilotes armados in situ, en los cuales se calcula la resistencia por punta y por fricción con el suelo, para luego realizar la sumatoria de estos resultados y determinar la carga última del suelo mediante las ecuaciones nombradas anteriormente. A continuación, se muestran los factores que se tuvieron en cuenta en cada una de ellas:

Meyerhof					
tabla 11.12		φ	30	Grados	
nq	58	qllmite	-18575,46		
q	2	Op	58		
area punta	0,5				

		arcillas			
cu	34				
Nc	9	Op	153		
area punta	0,5				

Figura 16. Datos tabulados para cálculos de capacidad portante por punta (Meyerhof).

Se encuentran factores de forma como N'_q , área de punta del pilote y ángulo de fricción parámetros para calcular la capacidad de carga por punta.

JANBU						
m'	1,30899694		z	34	areapunta	0,5
m	28		n	1	CP	50,266438
og*	13,6	tabla 11.5	nc*	20,82		
	0,33143483			3,06626085		

Figura 17. Datos tabulados para cálculos de capacidad portante por punta (Janbu).

Por el método de Janbu los factores influyentes en el cálculo de la capacidad portante son: ángulo de fricción, cohesión, factores de forma N_c y N_q .

Luego de realizar los cálculos para la capacidad portante por punta, se procede a la capacidad portante por fricción del pilote con el suelo.

Método α (corte plano)						
ϕ	2,31	m				
			Estrato	ΔL	α	Co
L	12	m	1	7	0,92	32
			2	5	0,9	34
m	0,9	FIGURA 76	3	0		Qf
						901,2908
Cu	34	kN/m ²				Qf= $\sum f_s \cdot p \cdot \Delta L$

Figura 18. Ejemplo de parámetros usados para el cálculo de Q_u por fricción (método α).

Por el método “ α ” se utilizan factores como el perímetro del pilote, la cohesión del suelo, la profundidad de cada estrato del suelo y el factor empírico de adhesión en cada estrato.

Metodo λ (largo plazo)					
P	3,77	m			
q^*	18	kN/m ²		f_{av}	19,78
λ	0,23	Figura 77			
C_u	34	kN/m ²		Q_f	894,8472
				$Q_f =$	$P * L * f_{av}$
L	12	m			

Figura 19. Ejemplo de parámetros para cálculo de capacidad portante por fricción (método λ).

También por el método “ λ ” se realiza el cálculo respectivo para hallar la capacidad de carga por fricción tal como se muestra en la figura 16.

4.4 Modelado de cimientos en PLAXIS 2D

Para realizar las cimentaciones de las respectivas estaciones, se dirige el modelo en el programa hacia la deformación plana, el cual permite suponer que los estados de tensiones y cargas son uniformes a lo largo de una determinada longitud. Luego de realizar la estratificación, se utiliza el modelo de Mohr-Coulomb para generar una aproximación del comportamiento del suelo en general, en el cual introduce los parámetros requeridos. Además, se selecciona el tipo de comportamiento del material; para el caso es drenado el cual es usado en situaciones donde el suelo granular saturado se somete a carga lenta, o bien, un suelo arcilloso saturado es sometido a cargas de largo plazo. Posteriormente, el ingreso de datos de propiedades tales como el peso específico del material, cohesión, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y ángulo de fricción; estos parámetros correlacionan la rigidez y resistencia del material. Finalizados estos pasos, quedan registrados las propiedades de los materiales sobre los cuales se hará el respectivo cimiento y la aplicación de cargas (PLAXIS, 2017).

4.4.1 Modelado Estación Morrorrico. A continuación, se da una breve descripción de cómo se generó el modelo.

Se inicia el modelo creando las capas de suelo a usar, donde se agrega propiedades Geomecánicas de cada uno de los suelos; algunas características se dejan las usadas por defecto del programa:

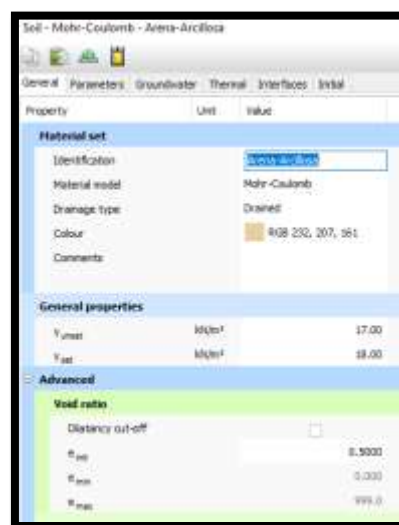


Figura 20. Caracterización general de suelos. Fuente: PLAXIS 2D



Figura 21. Caracterización de parámetros de suelos. Fuente: PLAXIS 2D

Se procede a crear el modelo geométrico y las condiciones de contorno, que para este modelo se consideró la inclinación de la ladera. Además, ubicamos las tres placas a las cuales se le observan y analizan sus comportamientos según el tipo de cálculo (plástico o de seguridad), ubicación con respecto a la ladera y geometría de estas.

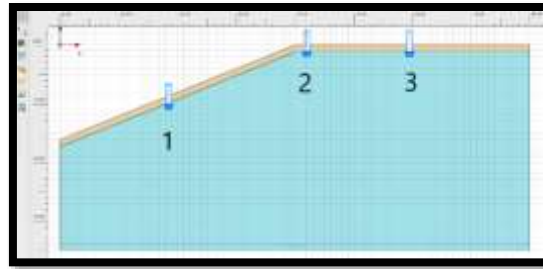


Figura 22. Modelo geométrico y ubicación de Zapatas. Fuente: PLAXIS 2D

Por cuestiones prácticas del software se generó una malla de elementos finitos con definición fina para todo el modelo y en los puntos cercanos al elemento de cimentación (zapata) se generó una malla muy fina para mejorar la calidad de los resultados obtenidos.

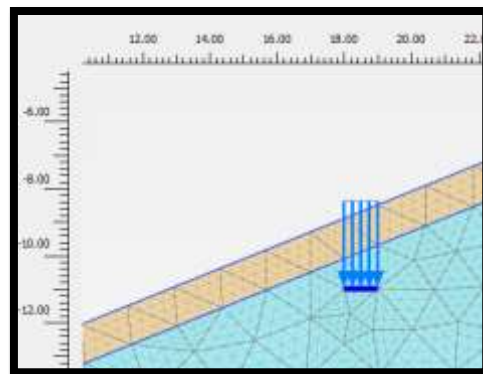


Figura 23. Detalle del tipo de mallado. Fuente: PLAXIS 2D.

Debido a que no se encontró presencia de agua en los sondeos descritos en los estudios, se asumió una profundidad de NF que no afectara los cálculos.

La primera fase de cálculo que se generó fue el método plástico, en el cual se le aplicó una carga distribuida sobre el elemento de cimentación de $100[\text{kN/m}^2]$

Name	Value
General	
ID	Phase_1
Start from phase	Initial phase ▼
Calculation type	Plastic ▼
Loading type	Staged construction ▼
ΣM_{stage}	1.000
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic ▼
Thermal calculation type	Ignore temperature ▼
Time interval	0.000 day
First step	1
Last step	3
Design approach	(None) ▼

Figura 24. Tipo de cálculo: Plástico. Fuente: PLAXIS 2D.

En la fase dos por el método de seguridad se varió el FS para encontrar en qué valor se percibía los primeros puntos de falla.

Name	Value
General	
ID	Phase_2
Start from phase	Initial phase ▼
Calculation type	Safety ▼
Loading type	Target SumMsf ▼
ΣM_{sf}	1.000
Pore pressure calculation type	Use pressures from p ▼
Thermal calculation type	Ignore temperature ▼
First step	4
Last step	103
Design approach	(None) ▼

Figura 25. Tipo de cálculo: Seguridad (0.5,1 y 1.5). Fuente: PLAXIS 2D.

4.4.1 Modelado Estación Plaza Guarín. A continuación, se da una breve descripción de cómo se generó el modelo de pilotes en la estación Plaza Guarín.

Al igual que con el modelo de la estación Morrorrico, se inicia creando las capas de suelo a usar; en ellas se agregaron las propiedades Geomecánicas de cada uno de los suelos. Algunas características se dejaron por defecto.

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Arena-limosa(SM)
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
General properties		
V _{unsat}	kN/m³	18.00
V _{sat}	kN/m³	20.00
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		☐
e _{init}		0.5000
e _{min}		0.000
e _{max}		999.0

Figura 26. Caracterización general de suelos. Fuente: PLAXIS 2D

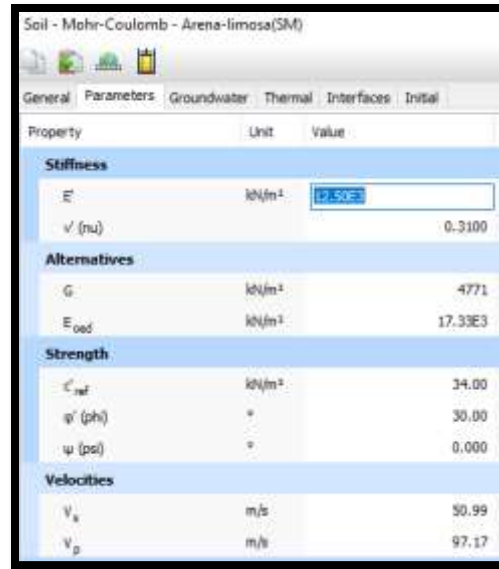


Figura 27. Caracterización de parámetros de suelos. Fuente: PLAXIS 2D

Se procede a crear el modelo geométrico del pilote y las condiciones de contorno del suelo. Además, se ubica el nivel freático a 6.48 metros, tal como se ha mencionado anteriormente y se aplica una carga de 500[kN/m²].

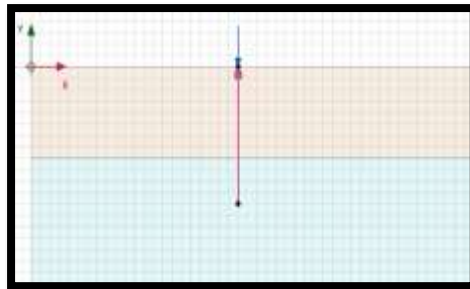


Figura 28. Modelo geométrico y ubicación de Pilote. Fuente: PLAXIS 2D

El software generó una malla de elementos finitos con definición fina para todo el modelo y en los puntos cercanos al elemento de cimentación se generó una malla muy fina para mejorar la calidad de los resultados obtenidos.

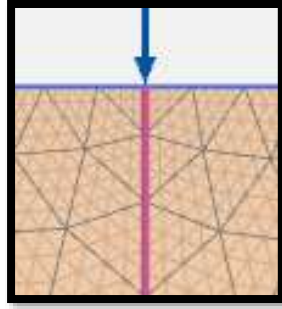


Figura 29. Detalle del tipo de mallado. Fuente: PLAXIS 2D

5. Análisis de Resultados

A continuación, se presenta una comparación de los resultados obtenidos mediante las ecuaciones teóricos- prácticos y el modelo en PLAXIS 2D.

5.1 Estación Morrorrico.

5.1.1 Ecuaciones teórico-prácticas. Los resultados obtenidos mediante la herramienta EXCEL se presentan en las gráficas a continuación, se tiene en cuenta que los datos de la tabla 5. son constantes y se deja como variables: el ángulo de inclinación de la ladera (β), la base (B) y longitud (L) de la cimentación.

Tabla 5.

Parámetros constantes.

γ [kN/m ³]	17	ϕ	26
Cu[kN/m ²]	9	DF[m]	2

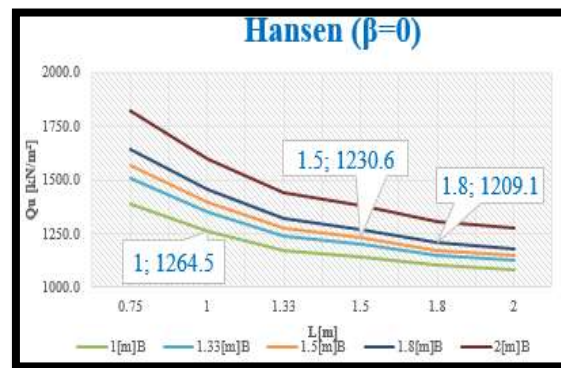


Figura 30. Qu por Hasen $\beta = 0$

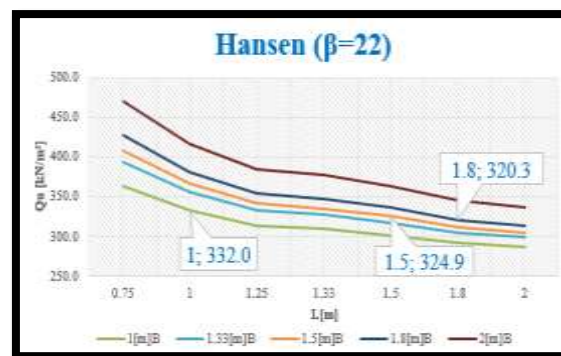


Figura 31. Qu por Hasen $\beta = 22$

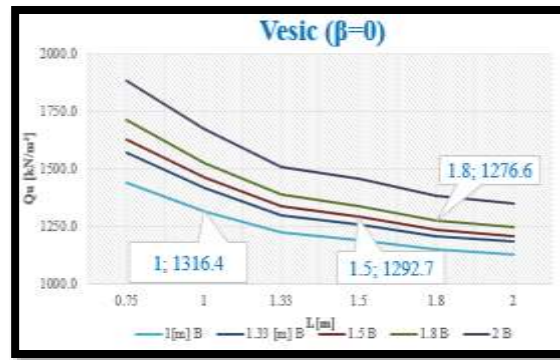


Figura 32. Q_u Vesic $\beta = 0$

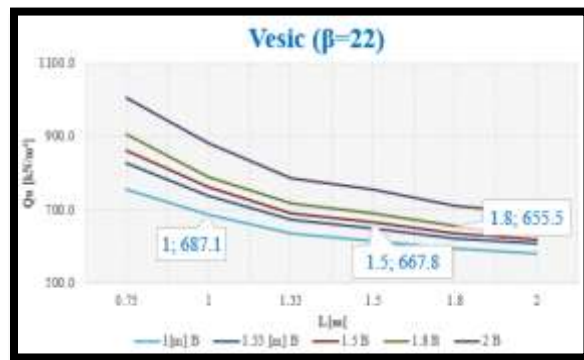


Figura 33. Q_u por Vesic $\beta=0$

Posteriormente en la tabla 6 se obtiene los resultados mediante Bowles en los cuales se asume que el elemento de cimentación se encuentra en la ladera o adyacente a esta, variando las dimensiones de la zapata (B)

Tabla 6.

Cálculo de Q_u variando (B) y según la ubicación del elemento de cimentación.

a (IN)	CASO I b/B=0	Q_u [kN/m ²]
B[m]	1	404
	1.5	519
	1.8	587
b(OUT)	CASO II b/B=0,75	
B[m]	1	464
	1.5	609
	1.8	696
b(OUT)	CASO III b/B=1,5	
B[m]	1	489
	1.5	647
	1.8	741

5.1.2 Resultados mediante PLAXIS 2D

5.1.2.1. Fase uno, análisis plástico. Por el método plástico se encontraron algunos resultados que se muestran en la tabla 7. Estos, muestran como la capacidad de carga aumenta a medida que la zapata se aleja de la ladera y que su geometría aumenta. Estos resultados disminuyen en un 25% con respecto a los recomendados por los estudios de Suelos (Suárez Díaz, 2010).

Tabla 7.

Qu; Fase uno, análisis plástico

CASO 1 Qu [kN/m²]		
B[m]	1	88.58
	1.5	131.69
	1.8	155.78
CASO 2		
B[m]	1	92.31
	1.5	101.32
	1.8	128.18
CASO 3		
B[m]	1	96.61
	1.5	143.10
	1.8	125.63

Todos los resultados se encuentran en el Anexo I

5.1.2.2. Fase dos, análisis de seguridad. en el Anexo I Se puede evidenciar como los esfuerzos efectivos verticales (σ'_{yy}) en los suelos cercanos a las zapatas en la ladera son mayores a medida que se alejan de ésta, este análisis se hace con un (FS = 1).

Por otra parte con motivos de encontrar los primeros puntos de falla del suelo el mismo modelo se recalcula con un (FS = 1.5) . En la figura 27 se evidencia que estos puntos de falla se generan en zonas próximas a la ladera.

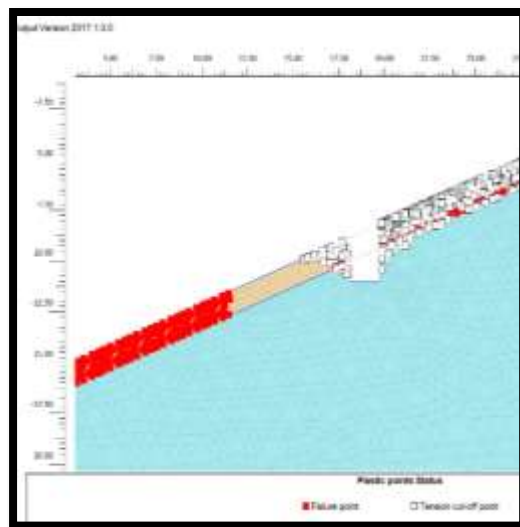


Figura 34. Fase dos, análisis de seguridad (FS = 1.5)

5.2 Estación Plaza Guarín.

Comparación de los resultados arrojados por las ecuaciones teórico-prácticas y PLAXIS 2D

Tabla 8.

Comparación Q_u ecuaciones y PLAXIS 2D

Capacidad portante para esfuerzos efectivos (largo plazo) variando diámetros		
Long. Pilotes	12	m
Diametros (m)	Teoricos (kN/m ²)	Plaxis 2D (kN/m ²)
0,5	396,17	408,608
0,8	654,87	842,22
1,2	1028,12	1263,32

5.2.1 Ecuaciones teórico-prácticas. Para observar los calculos teórico-prácticos, nos dirigimos al Anexo G.

5.2.2 Cálculos mediante PLAXIS 2D. El programa permite visualizar el modelo presentado y los resultados obtenidos mediante gráficas las cuales se encuentran en el Anexo H.

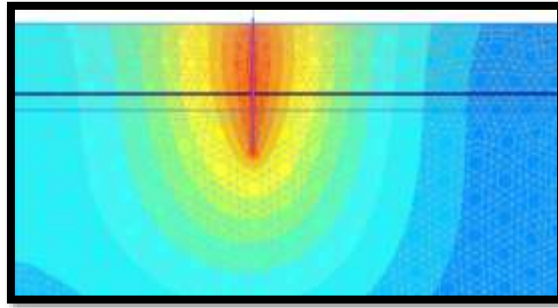


Figura 35. Modelo de pilote individual con su respectiva malla, nivel freático y carga aplicada.

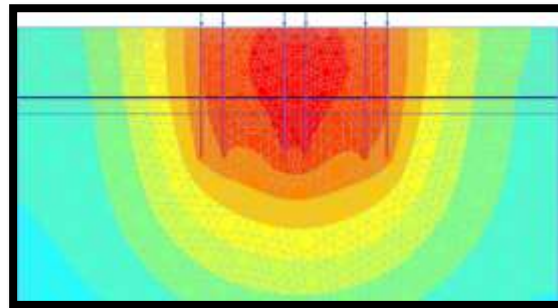


Figura 36. Modelo de un perfil de grupo de pilotes con su respectiva malla, nivel freático y cargas aplicadas.

A continuación en la tabla 8. Se puede visualizar los resultados de los esfuerzos efectivos por punta y por fricción según PLAXIS 2D.

Tabla 9.

Esfuerzos efectivos para pilote de 0,5 m de diámetro.

	Pto. Intermedio	Pto. abajo
Step	σ'_{yy} [kN/m ²]	σ'_{yy} [kN/m ²]
0	-109,200	-174,984
2	-111,547	-209,198
3	-113,788	-243,513
4	-115,615	-278,139
5	-115,855	-287,268
6	-115,968	-292,640

6. Conclusiones

A partir de una comparación en los resultados de las ecuaciones teórico-prácticas se evidencia una disminución de la capacidad de carga de las cimentaciones superficiales presentes en ladera hasta en un 60% a 80% en relación a la que se obtiene en una zona plana, no tener en cuenta esto llevaría a diseños menos seguros.

De las gráficas 1, 2, 3 y 4 podemos deducir que en cierto punto sin importar que tan profunda ($L \approx \infty$) sea la cimentación el valor de Q_u converge hacia un mismo resultado por lo cual las suposiciones hechas por PLAXIS 2D a la hora de hacer el análisis de deformación plana para tratar un problema tridimensional en dos dimensiones son confiables debido a que este supone una placa (zapata) de profundidad infinita siendo esta una sección transversal representativa del problema a tratar. Los resultados del programa se asemejan a los arrojados por las ecuaciones teórico-prácticas.

Posterior al análisis por el tipo de cálculo; seguridad, mediante PLAXIS 2D se llegó a observar que los puntos de rotura o falla del modelo se presentan en primer lugar sobre la ladera (figura 27).

Por lo cual se recomienda hacer estudios de estabilidad de taludes si es necesario la construcción de los elementos de cimentación sobre o adyacentes a la ladera.

La capacidad de carga de un suelo en el cual se está cimentando con pilotes *in situ*; aumenta o disminuye proporcionalmente a la geometría del pilote, por lo cual se recomienda construir pilotes de diámetros mayores o iguales a 1,2 metros para obtener una capacidad de carga que se ajuste a las recomendaciones dadas en los estudios de suelos (Suárez Díaz, 2010) y a los resultados del modelo según los resultados de esfuerzos encontradas en el Anexo H.

Los resultados presentes en la tabla 8, los cuales fueron obtenidos mediante las ecuaciones teórico-prácticas y los obtenidos mediante el software, varían en un porcentaje menor o igual al 20%; siendo razonables y confiables para el modelado de los cimientos con análisis deformaciones planas (Granados & Salinas, s.f.).

Referencias Bibliográficas

- Amézquita-Jiménez, R. J.-C.-Q. (2008). *Teorias de capacidad de carga y sus limitaciones en suelos compresibles*. Peru: Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Universidad Particular Alas Peruanas.
- Bowles, J. E. (1974). *Analytical and computer methods in foundation engineering*. McGraw-Hill Companies.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design*. Singapore: McGraw-Hill.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones; quinta edición*. México: Limusa.
- Cuta, V., & Rengifo Arroyave, M. F. (2012). *Análisis comparativo de capacidad portante en medios homogéneos y estratificados para cimientos superficiales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Das, B. M. (2006). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones (Quinta edición ed.)*. México: Cengage Learning Editores, SA.
- Díaz, Y. A., & Alvarado, E. F. (2008). *PLAXIS como Herramienta de Modelación para la Solución de Algunos Problemas Geotécnicos Reales en la Ciudad de Punta Arenas*. Punta Arenas, Chile: Trabajo de titulación. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Construcción. Universidad de Magallanes.
- Granados, E. E., & Salinas, M. Á. (s.f.). *Análisis comparativo de capacidad portante y asentamientos de pilotes a partir de ecuaciones semi-empíricas, modelos numéricos y ensayos CPTU*.
- PLAXIS. (2 de mayo de 2017). *PLAXIS 2D Reference Manual 2018: PLAXIS*. Obtenido de <https://www.plaxis.com/support/manuals/plaxis-modeto-manual/>

Suárez Díaz, j. (2010). *Estudios geotécnicos lote estación Morrorrico – Plaza Guarín*. Bucaramanga: Geotecnología S.A.S.

Vargas Mendoza, F. (2010). *Por medio del cual se faculta al señor alcalde de bucaramanga para que declare*. Bucaramanga.

Apéndices

Apéndice A. Detalle de la tabla para la determinación de la capacidad de carga N'_c , N'_q para zapatas en laderas o adyacentes a una ladera.

La capacidad última de carga puede ser calculada mediante diferentes ecuaciones; una de estas es la ecuación que presenta Bowles en la cual realiza unas adecuaciones a las fórmulas de Hansen y Vesic y sugiere extraer los factores de forma dependiendo del ángulo de fricción y el ángulo de inclinación de la ladera a partir de las siguientes tablas:

$\beta \downarrow$		$D/B = 0 \quad b/B = 0$					$D/B = 0.75 \quad b/B = 0$					$D/B = 1.50 \quad b/B = 0$				
		$\phi = 0$	10	20	30	40	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
0°	$N'_c =$	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.25	14.83	30.14	75.31
	$N'_q =$	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20
10°		4.89	7.80	13.37	26.80	64.42	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
		1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.92	1.95	4.43	11.16	33.94	1.03	2.47	5.85	14.13	40.81
20°		4.63	7.28	12.39	23.78	55.01	5.14	8.35	14.83	30.14	66.81	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
		1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.94	1.90	4.11	9.84	28.21	1.03	2.47	5.65	12.93	35.14
25°		4.51	7.02	11.82	22.38	50.80	5.14	8.35	14.83	28.76	62.18	5.14	8.35	14.83	30.14	73.57
		1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.92	1.82	3.85	9.00	25.09	1.03	2.47	5.39	12.04	31.80
30°		4.38	6.77	11.28	21.05	46.88	5.14	8.35	14.83	27.14	57.76	5.14	8.35	14.83	30.14	68.64
		1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.88	1.71	3.54	8.08	21.91	1.03	2.47	5.04	10.99	28.33
60°		3.62	5.33	8.33	14.34	28.56	4.70	6.83	10.55	17.85	34.84	5.14	8.34	12.76	21.37	41.12
		1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.37	0.63	1.17	2.36	5.52	0.62	1.04	1.83	3.52	7.80

$\beta \downarrow$	$D/B = 0 \quad b/B = 0.75$					$D/B = 0.75 \quad b/B = 0.75$					$D/B = 1.50 \quad b/B = 0.75$				
	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
10°	5.14	8.33	14.34	28.02	66.60	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.34	5.34	13.47	40.83	1.03	2.47	6.40	15.79	45.45
20°	5.14	8.31	13.90	26.19	59.31	5.14	8.35	14.83	30.14	71.11	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.04	14.39	40.88	1.03	2.47	6.40	16.31	43.96
25°	5.14	8.29	13.69	25.36	56.11	5.14	8.35	14.83	30.14	67.49	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.27	14.56	40.06	1.03	2.47	6.40	16.20	42.35
30°	5.14	8.27	13.49	24.57	53.16	5.14	8.35	14.83	30.14	64.04	5.14	8.35	14.83	30.14	74.92
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	14.52	38.72	1.03	2.47	6.40	15.85	40.23
60°	5.14	7.94	12.17	20.43	39.44	5.14	8.35	14.38	23.94	45.72	5.14	8.35	14.83	27.46	52.00
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	5.14	10.05	22.56	1.03	2.47	4.97	9.41	20.33

$\beta \downarrow$	$D/B = 0 \quad b/B = 1.50$					$D/B = 0.75 \quad b/B = 1.50$					$D/B = 1.50 \quad b/B = 1.50$				
	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
10°	5.14	8.35	14.83	29.24	68.78	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.01	15.39	47.09	1.03	2.47	6.40	17.26	49.77
20°	5.14	8.35	14.83	28.59	63.60	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	53.21	1.03	2.47	6.40	18.40	52.58
25°	5.14	8.35	14.83	28.33	61.41	5.14	8.35	14.83	30.14	72.80	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	55.20	1.03	2.47	6.40	18.40	52.97
30°	5.14	8.35	14.83	28.09	59.44	5.14	8.35	14.83	30.14	70.32	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	56.41	1.03	2.47	6.40	18.40	52.63
60°	5.14	8.35	14.83	26.52	50.32	5.14	8.35	14.83	30.03	56.60	5.14	8.35	14.83	30.14	62.88
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	46.18	1.03	2.47	6.40	16.72	36.17

Apéndice B. Detalle de tabla para determinación de factores N'_c y N'_s para pilotes por Vesic, teniendo en cuenta el Angulo de fricción para calcular I_{rr}

Vesic (1977) propuso un método para estimar la capacidad de carga por punta de un pilote con base en la teoría de expansión de cavidades. De acuerdo con esta teoría y teniendo en cuenta los parámetros y factores de esfuerzo efectivo, se propuso la siguiente tabla:

ϕ'	I_{rr}									
	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
25	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.70	46.61	52.24	57.06
26	13.18	17.47	23.15	27.30	30.69	33.60	44.53	52.51	59.02	64.62
27	14.33	19.12	25.52	30.21	34.06	37.37	49.88	59.06	66.56	73.04
28	15.57	20.91	28.10	33.40	37.75	41.51	55.77	66.29	74.93	82.40
29	16.90	22.85	30.90	36.87	41.79	46.05	62.27	74.30	84.21	92.80
30	18.24	24.95	33.95	40.66	46.21	51.02	69.43	83.14	94.48	104.33
31	19.88	27.22	37.27	44.79	51.03	56.46	77.31	92.90	105.84	117.11
32	21.55	29.68	40.88	49.30	56.30	62.41	85.96	103.66	118.39	131.34
33	23.34	32.34	44.80	54.20	62.06	68.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	25.28	35.21	49.05	59.54	68.33	76.02	105.90	128.55	147.51	164.12
35	27.36	38.32	53.67	65.36	75.17	83.78	117.33	142.89	164.33	183.16
36	29.60	41.68	58.68	71.69	82.62	92.24	129.87	158.65	182.85	204.14
37	32.02	45.31	64.13	78.57	90.75	101.48	143.61	175.96	203.23	227.26
38	34.63	49.24	70.03	86.05	99.60	111.56	158.65	194.94	225.62	252.71
39	37.44	53.30	76.45	94.20	109.24	122.54	175.11	215.78	250.23	280.71
40	40.47	58.10	83.40	103.05	119.74	134.52	195.13	238.62	277.26	311.50
41	43.74	63.07	90.96	112.68	131.18	147.59	212.84	263.67	306.94	345.34
42	47.27	68.46	99.16	123.16	143.64	161.83	234.40	291.13	339.52	382.53
43	51.08	74.30	108.08	134.56	157.21	177.36	257.99	321.22	375.28	423.39
44	55.20	80.62	117.76	146.97	172.00	194.31	283.80	354.20	414.51	468.28
45	59.66	87.48	128.28	160.48	188.12	212.79	312.03	390.35	457.57	517.58

Apéndice C: Detalle de tabla para factores de capacidad de carga por el método de Janbu.

Janbu (1976) también propone calcular la capacidad portante última del suelo dependiendo de unos factores de forma que a su vez dependen del ángulo de fricción y que tan suelto o comprensible este el suelo; asumiendo una superficie de falla. Estos factores los podemos encontrar en la siguiente tabla:

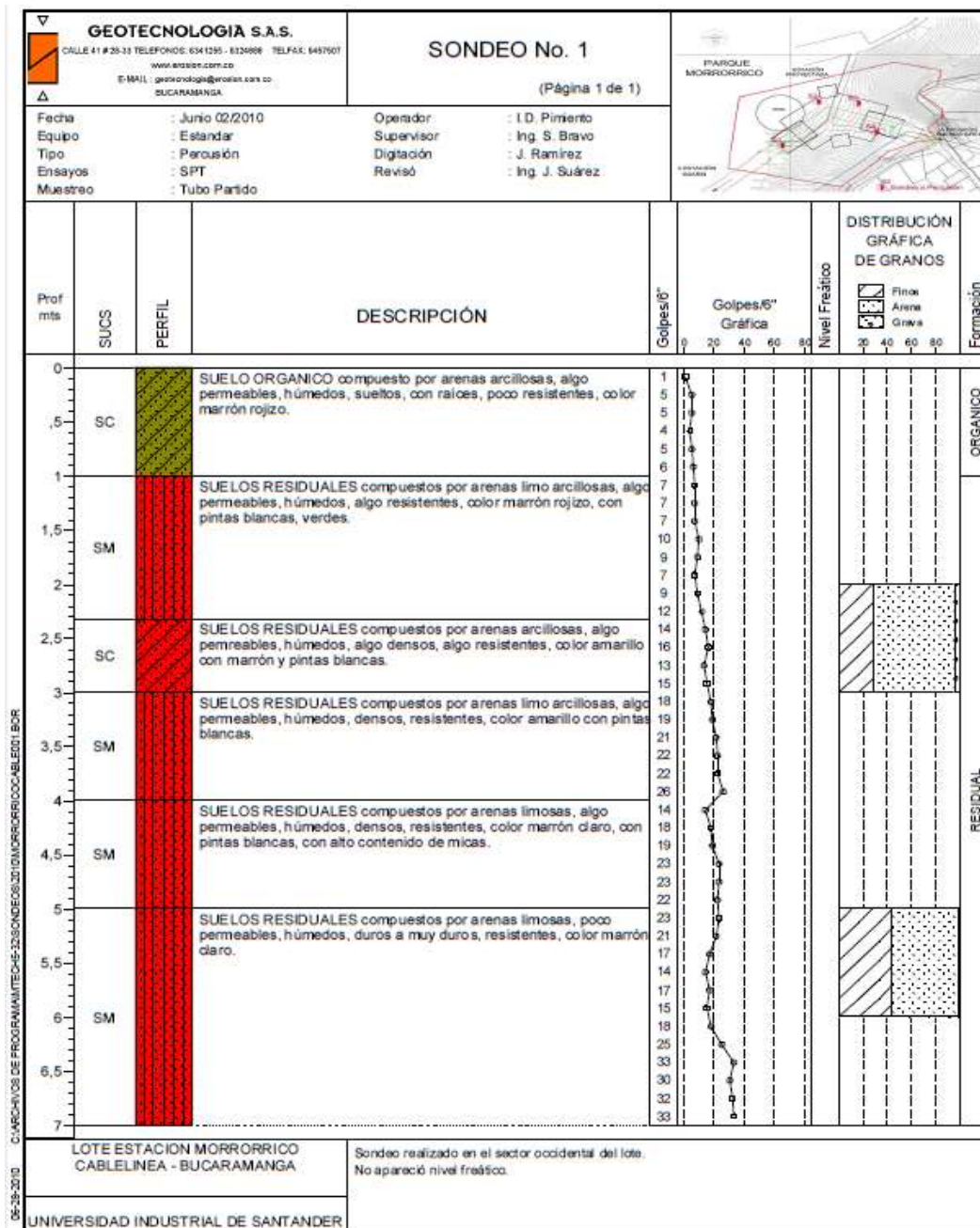
Tabla 11.5 Factores de capacidad de carga de Janbu

ϕ°	$\eta' = 60^\circ$		$\eta' = 75^\circ$		$\eta' = 90^\circ$	
	N_c^*	N_q^*	N_c^*	N_q^*	N_c^*	N_q^*
0	5.74	1.0	5.74	1.0	5.74	1.0
10	5.95	2.05	7.11	2.25	8.34	2.47
20	9.26	4.37	11.78	5.29	14.83	6.40
30	19.43	10.05	21.82	13.60	30.14	18.40
40	30.58	26.66	48.11	41.37	75.31	64.20
45	46.32	47.32	78.90	79.90	133.87	134.87

Apéndice D: Perfiles estratigráficos provenientes de los ensayos de SPT.

Estación Morrorrico.

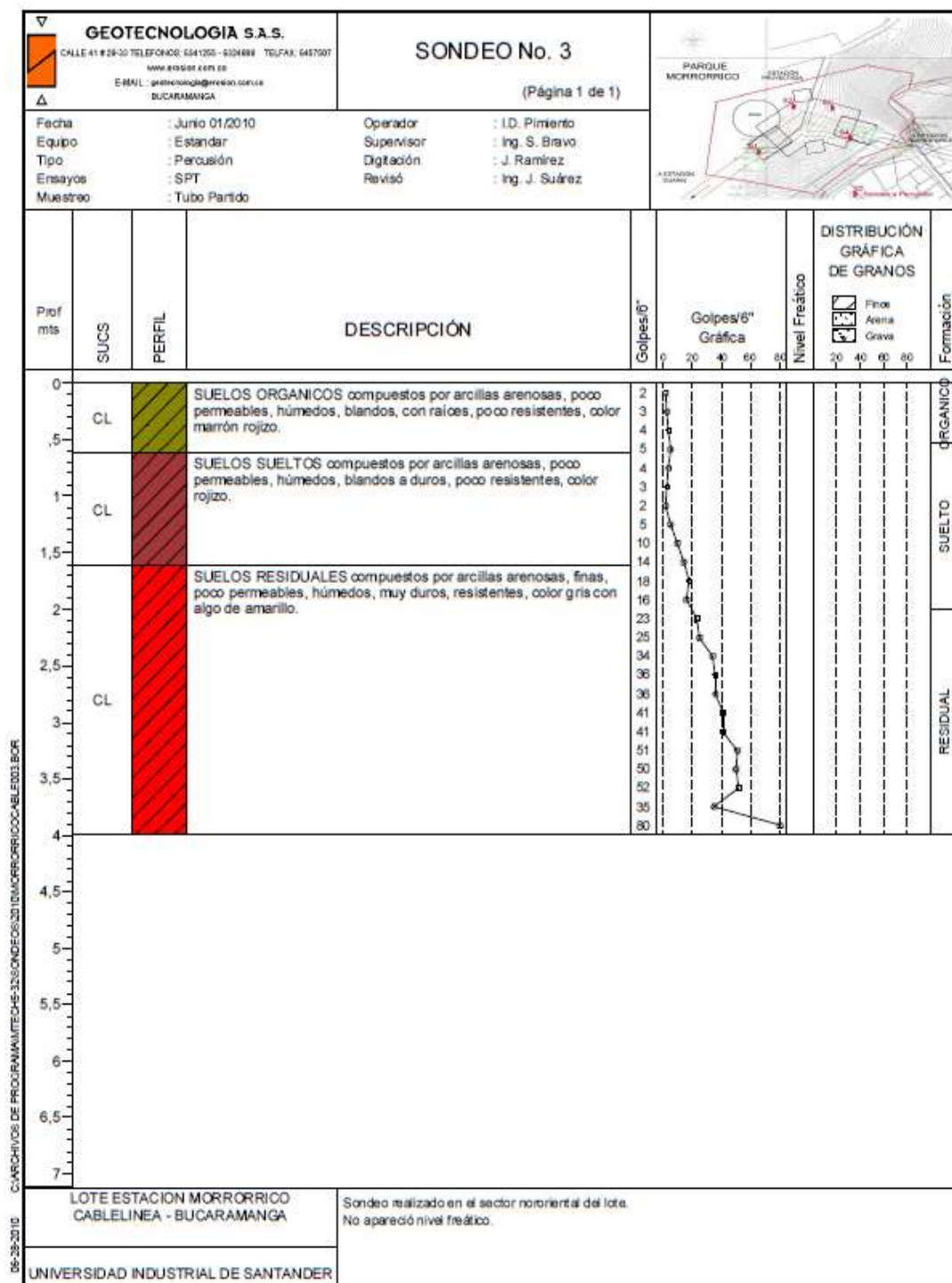
Sondeo 1



Sondeo 2

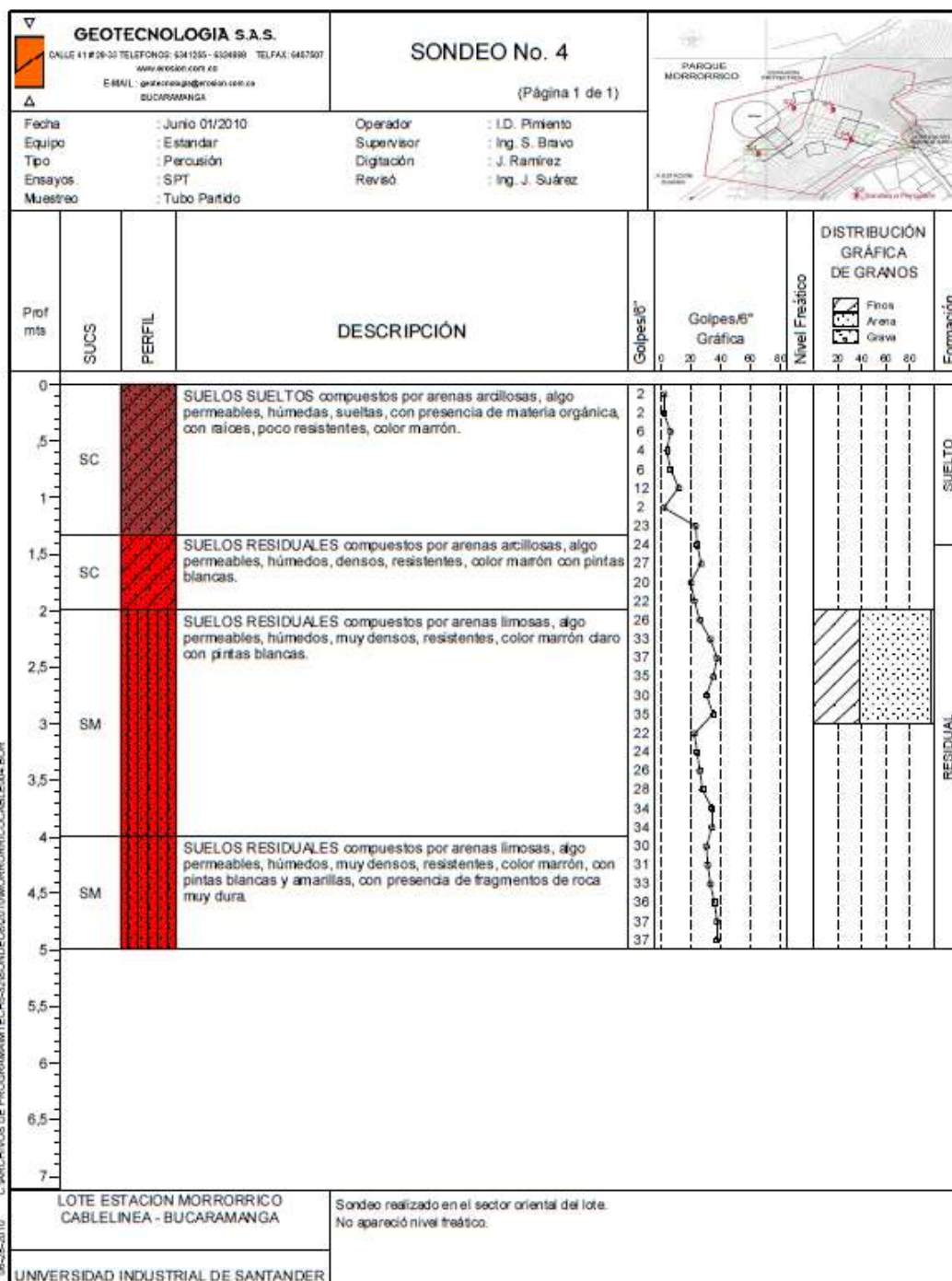
 GEOTECNOLOGIA S.A.S. CALLE 41 # 20-11 TELÉFONOS: 6341255 - 6324898 TELFAX: 6457601 www.geotecnologia.com.co E-MAIL: geotecnologia@geotecnologia.com.co BUCARAMANGA		SONDEO No. 2 (Página 1 de 1)				
Fecha : Junio 02/2010 Equipo : Estandar Tipo : Percusión Ensayos : SPT Muestreo : Tubo Partido		Operador : I.D. Pimiento Supervisor : Ing. S. Bravo Digitación : J. Ramirez Revisó : Ing. J. Suárez				
Prof mts	SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Golpes/6" Gráfica	DISTRIBUCIÓN GRÁFICA DE GRANOS 	Formación
0			SUELOS SUELTOS compuestos por arcillas arenosas, poco permeables, húmedos, con materia orgánica y raíces, blandos, poco resistentes, color rojo.	2		SUELTO
0,5	CL			2		
1				3		
1,5				5		
2	CL		SUELOS RESIDUALES compuestos por arcillas arenosas, algo permeables, húmedos, densos, resistentes, color amarillo rojizo.	7		RESIDUAL
2,5				12		
3				16		
3,5	SM		SUELOS RESIDUALES compuestos por arenas limosas, algo permeables, húmedos, densos, resistentes, color marrón con pintas blancas y grises.	21		
4				24		
4,5	SM		SUELOS RESIDUALES compuestos por arenas limosas, algo permeables, húmedos, densos, algo resistentes, color marrón claro.	26		
5				28		
5,5				29		
6	ML		SUELOS RESIDUALES compuestos por limos arenosos, poco permeables, húmedos, muy duros, resistentes, color gris con verde y blanco.	30		
6,5				32		
7				34		
LOTE ESTACION MORRORRICO CABLELINEA - BUCARAMANGA			Sondeo realizado en el sector noroccidental del lote. No apareció nivel freático.			
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER						

Sondeo 3



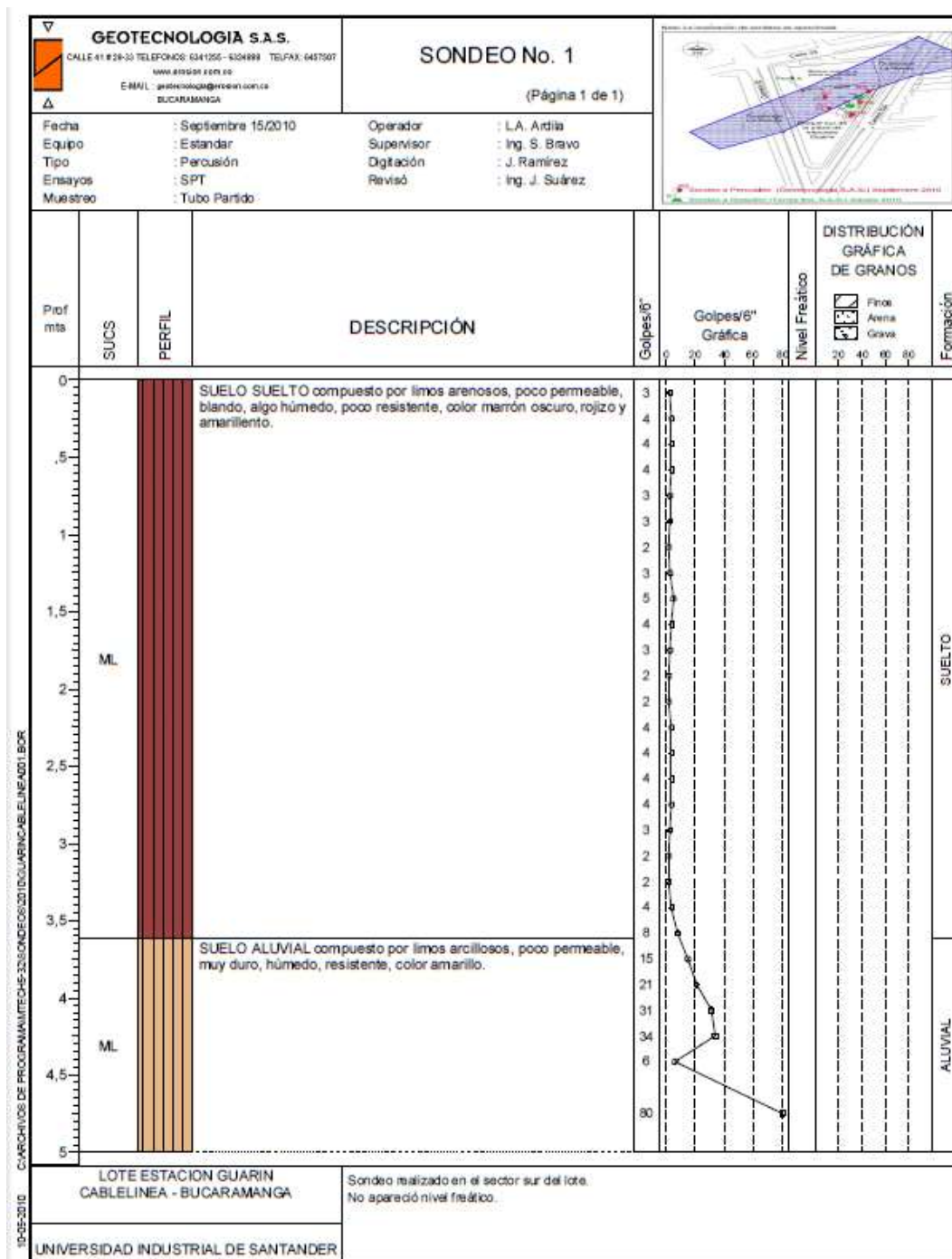
06-28-2010 C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\UTECHE-3\3\SONDEOS\2010\MORRORRICO\CABLE003.BOR

Sondeo 4



Estación Plaza Guarín

Sondeo 1



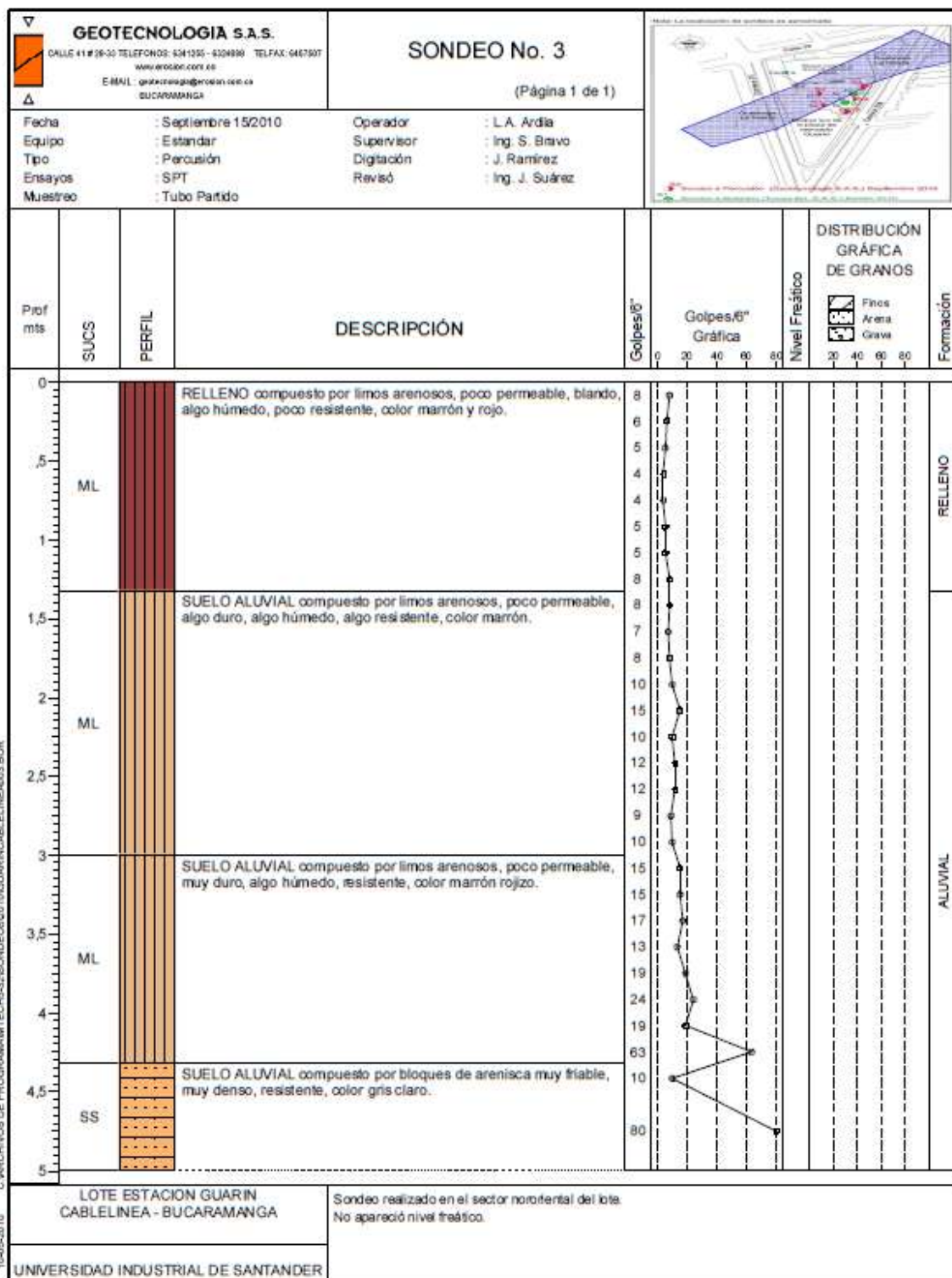
Sondeo 2

GEOTECNOLOGIA S.A.S. CALLE 41 # 26-23 TELÉFONOS: 6241255 - 6248890 TELFAX: 6451507 www.geotecno.com.co E-MAIL: geotecno@geotecno.com.co BUCARAMANGA		SONDEO No. 2 (Página 1 de 2)			
Fecha : Septiembre 15/2010 Equipo : Estandar Tipo : Percusión Ensayos : SPT Muestreo : Tubo Partido		Operador : L.A. Andía Supervisor : Ing. S. Bravo Digitación : J. Ramírez Revisó : Ing. J. Suárez			
Prof mts	SUS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Golpes/8" Gráfica	Nivel Freático
				DISTRIBUCIÓN GRÁFICA DE GRANOS 	
0			RELLENO compuesto por limos arenosos, poco permeable, blando, algo húmedo, poco resistente, color marrón rojizo.	6	
.5				5	
1			SUELO DE CAÑADA compuesto por limos arenosos, poco permeable, algo duro, algo húmedo, algo resistente, color marrón oscuro.	4	
1.5				3	
2				2	
2.5				2	
3				2	
3.5				2	
4				2	
4.5				2	
5				2	
5.5				2	
6			2		
6.5			2		
7			2		
7.5			2		
8			2		
8.5			2		
9			2		
9.5			2		
10			2		
10.5			2		
11			2		
11.5			2		
12			2		
12.5			2		
13			2		
13.5			2		
14			2		
14.5			2		
15			2		
15.5			2		
16			2		
16.5			2		
17			2		
17.5			2		
18			2		
18.5			2		
19			2		
19.5			2		
20			2		
20.5			2		
21			2		
21.5			2		
22			2		
22.5			2		
23			2		
23.5			2		
24			2		
24.5			2		
25			2		
25.5			2		
26			2		
26.5			2		
27			2		
27.5			2		
28			2		
28.5			2		
29			2		
29.5			2		
30			2		
30.5			2		
31			2		
31.5			2		
32			2		
32.5			2		
33					

 GEOTECNOLOGIA S.A.S. CALLE 41 # 28-32 TELÉFONOS: 6241055 - 6241999 TEL/FAX: 6457507 www.geotecno.com.co EMAIL: geotecno@geotecno.com.co BUCARAMANGA		SONDEO No. 2 (Página 2 de 2)				
Fecha : Septiembre 15, 2010 Equipo : Estandar Tipo : Percusión Ensayos : SPT Muestreo : Tubo Partido		Operador : L.A. Ardila Supervisor : Ing. S. Bravo Digitación : J. Ramirez Revisó : Ing. J. Suárez				
Prof mts	SUCS	PERFIL	DESCRIPCIÓN	Golpes/6" Gráfica	DISTRIBUCIÓN GRÁFICA DE GRANOS  Nivel Freatico	Formación
5				5		
5,5				5		
6	ML			5		
6,5				5		
7				5		
7,5	ML		SUELO DE CAÑADA compuesto por limos arenosos, poco permeable, algo duro, saturado, algo resistente, color marrón.	5		
8				5		
8,5				5		
9	SM		SUELO DE CAÑADA compuesto por arenas limosas, algo permeable, denso, saturado, resistente, color marrón, amarillo y gris.	5		
9,5				5		
10				5		
LOTE ESTACION GUARIN CABLELINEA - BUCARAMANGA			Sondeo realizado en el sector norte del lote. No apareció nivel freático.			
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER						

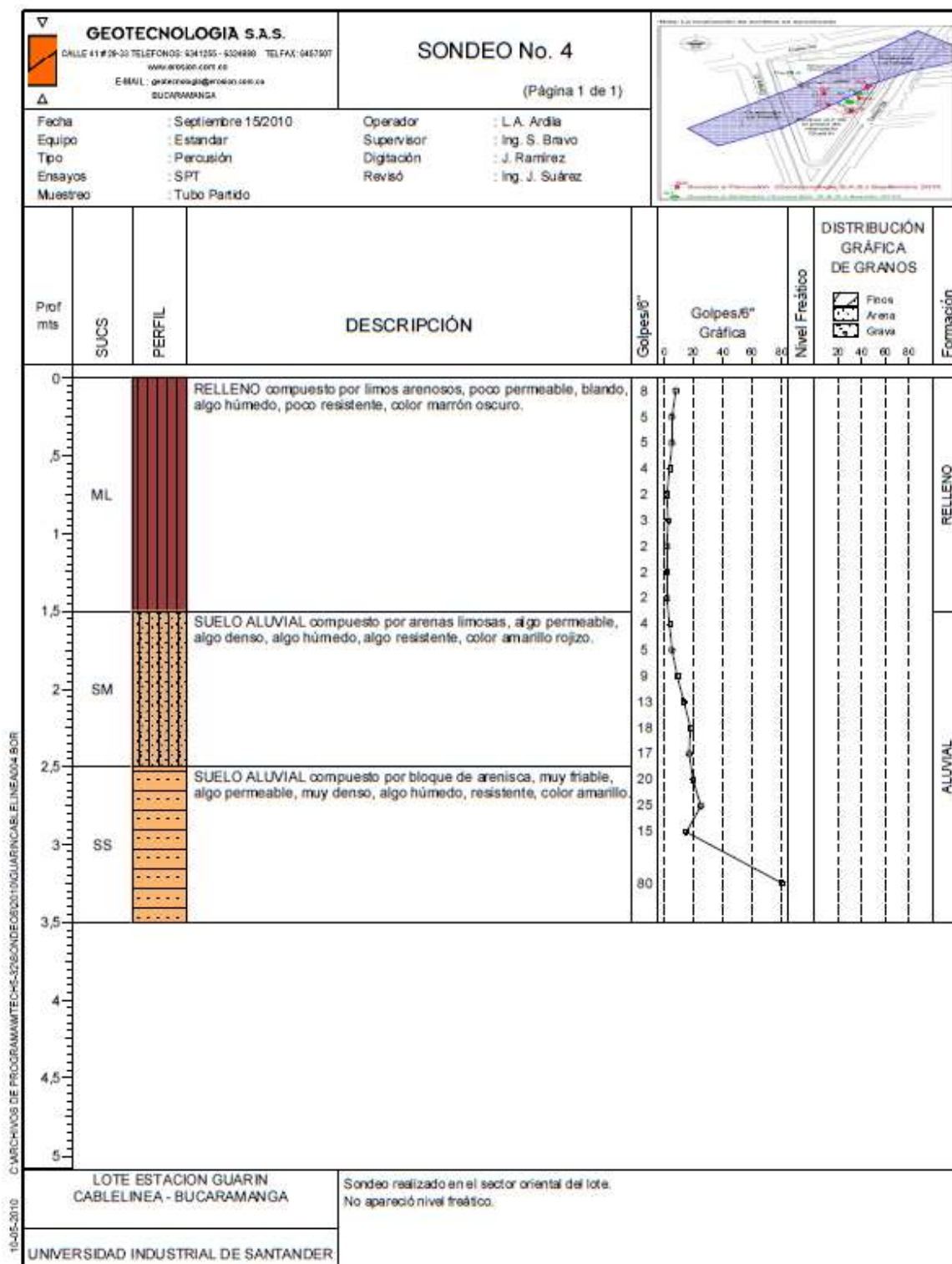
10-05-2010 C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\TECHS-32\SONDEOS\3201\GUARIN\CABLELINEA\2.BOR

Sondeo 3



C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\TECHES\SONDEOS\01\GUARIN\CABLE LINEA\03 BOR

Sondeo 4



Apéndice E: Tablas de resultados arrojadas de las programaciones propuestas en la herramienta EXCEL.

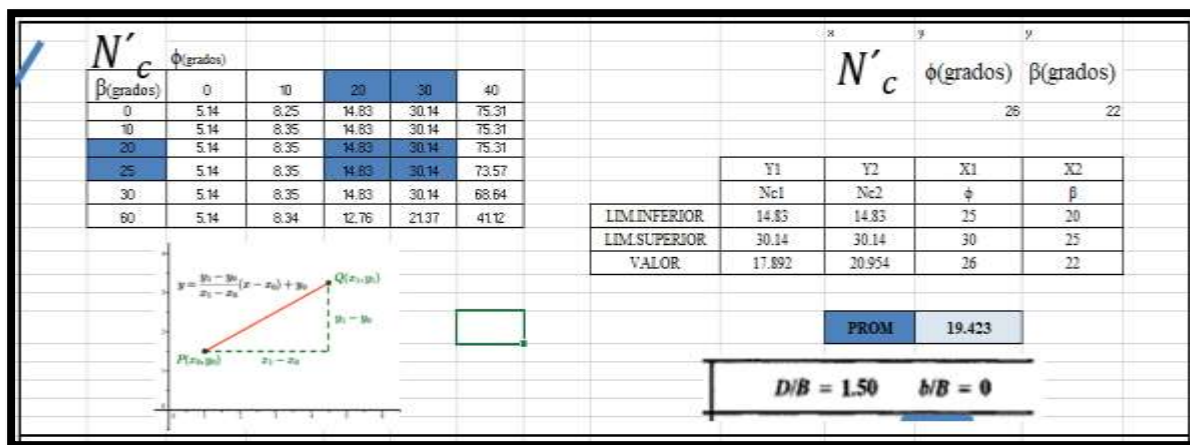
Figura. Resultados obtenidos mediante ecuaciones de Vesic, cimentación no próxima a una ladera.

NO se tiene en cuenta la inclinación de la LADERA									
q trazo	34			Nc	22.25	Factores de Forma		Factores de Profundidad	
Y	17			Nq	11.90	Sc	1.53	ds	1.44
quit		1316.350	[kN/m ²]	qadm		438.78	[kN/m ²]	sq	1.34
						Nr	12.58	dr	1.00
						Factores de Base		gc	0.85
								gq	0.355
								gr	0.355

Figura. Resultados obtenidos mediante ecuaciones de Vesic, cimentación en ladera.

SI se tiene en cuenta la inclinación de la LADERA									
q trazo	34					D/B		2.00	
Y	17					K		1.11	
Qu		332.03	[kN/m ²]	Qadm		110.68	[kN/m ²]		

Apéndice F: calculo tipo mediante herramienta EXCEL de la programación de interpolación usada para el cálculo de N'_c y N'_q



Appéndice G: Resultados de las ecuaciones teórico-prácticas (Meyerhof, Vesic, Janbu) para la capacidad portante última del suelo; calculada como la sumatoria de la capacidad portante por punta y la capacidad portante por fricción.

RESISTENCIA POR PUNTA PARA PILOTES ARMADOS											
Qp [kN-m²] variando diámetros				Qp [kN-m²] variando diámetros				Qp [kN-m²] variando diámetros			
Resistencia por punta pilotes armados (Meyerhof)				Resistencia por punta pilotes armados (Vesic)				Resistencia por punta pilotes armados (Janbu)			
φ (grados)	30	Cu(kN/m)	34	φ (grados)	30	Cu(kN/m)	34	φ (grados)	30	Cu(kN/m)	34
Dimensiones pilote		Long (m)	12	Dimensiones pilote		Long (m)	12	Dimensiones pilote		Long (m)	12
Diametro (m)	Area de punta (m²)			Diametro (m)	Area de punta (m²)			Diametro (m)	Area de punta (m²)		
0,5	0,20		23,12	0,5	0,20		23,76	0,5	0,20		23,71
0,8	0,50		58,65	0,8	0,50		59,41	0,8	0,50		59,26
1,2	1,13		131,63	1,2	1,13		134,27	1,2	1,13		133,94

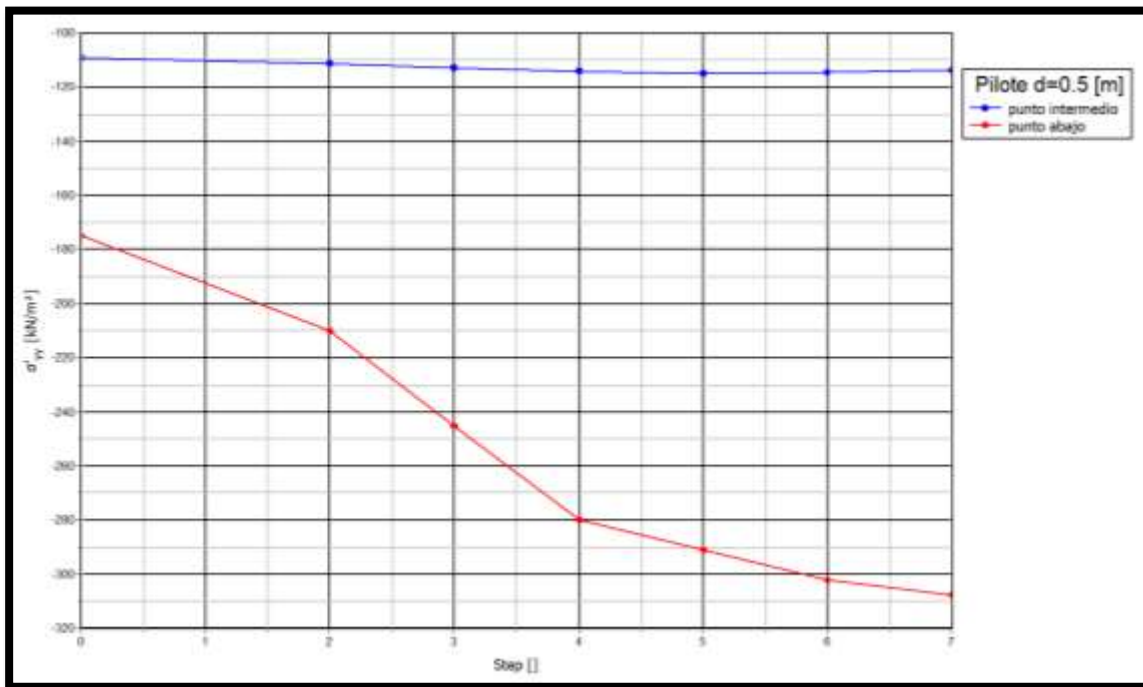
RESISTENCIA POR FRICCION PARA PILOTES AISLADOS											
Qf [kN-m²] variando diámetros				Qf [kN-m²] variando diámetros				Qf [kN-m²] variando diámetros			
Resistencia por fricción pilotes aislados (metodo α)				Resistencia por fricción pilotes aislados (metodo λ)				Resistencia por fricción pilotes aislados (metodo λ)			
φ (grados)	30	Cu(kN/m)	34	φ (grados)	30	Cu(kN/m)	34	φ (grados)	30	Cu(kN/m)	34
Dimensiones pilote		Long (m)	12	Dimensiones pilote		Long (m)	12	Dimensiones pilote		Long (m)	12
Diametro (m)	Perimetro (m)			Diametro (m)	Perimetro (m)			Diametro (m)	Perimetro (m)		
0,5	1,57		563,75	0,5	1,57		372,65	0,5	1,57		372,65
0,8	2,51		901,29	0,8	2,51		595,77	0,8	2,51		595,77
1,2	3,77		1353,73	1,2	3,77		894,84	1,2	3,77		894,84

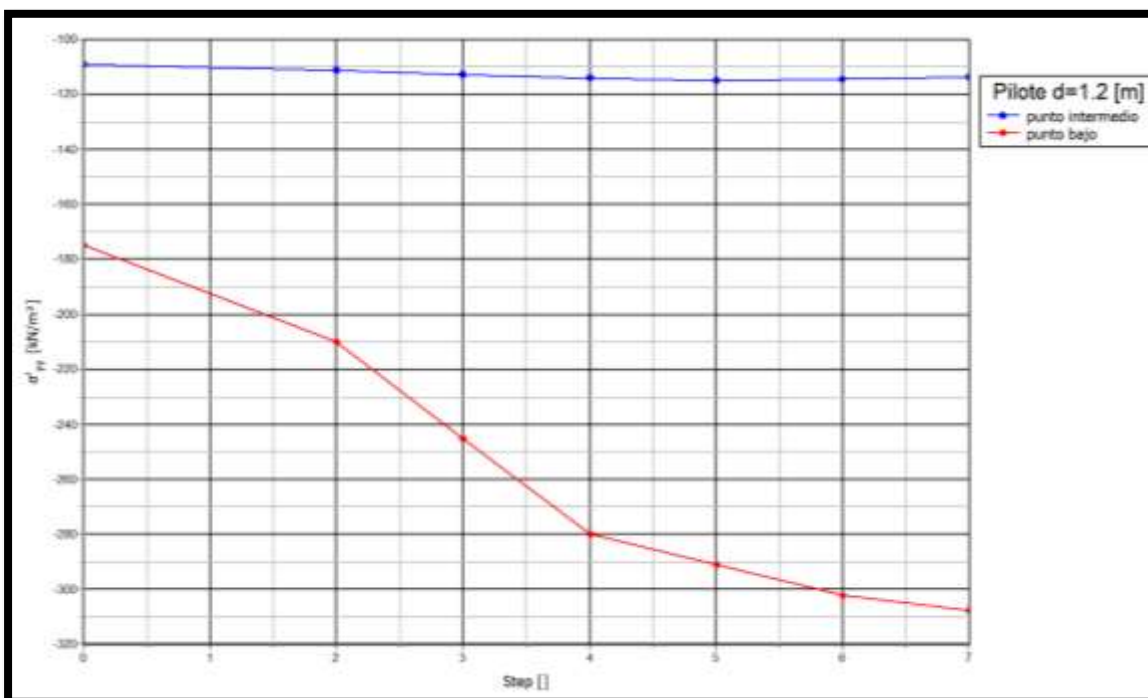
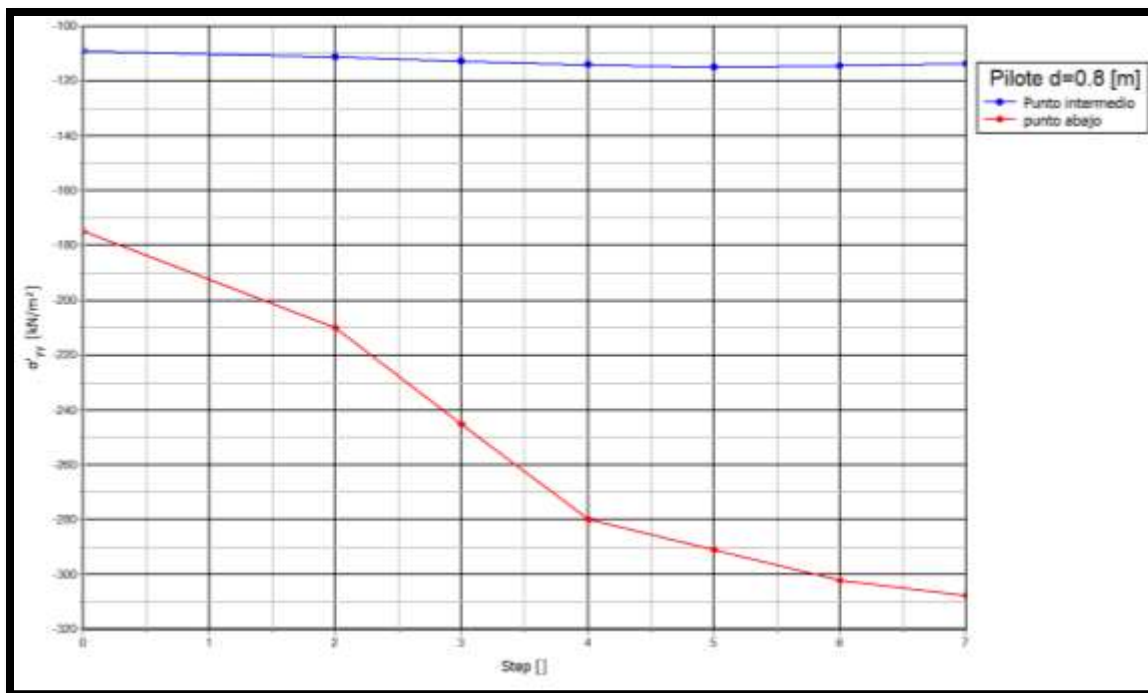
CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA (Qu= Qp+Qf)											
MEYERHOF Y α (corto plazo)				VESIC Y α (corto plazo)				JANBU Y α (corto plazo)			
Diametro (m)	Area de punta (m²)	Perimetro (m)	Qu= Qp+Qf	Diametro (m)	Area de punta (m²)	Perimetro (m)	Qu= Qp+Qf	Diametro (m)	Area de punta (m²)	Perimetro (m)	Qu= Qp+Qf
0,5	0,2	1,57	586,87	0,5	0,2	1,57	587,51	0,5	0,2	1,57	587,48
0,8	0,5	2,51	959,94	0,8	0,5	2,51	960,7	0,8	0,5	2,51	960,55
1,2	1,13	3,77	1485,36	1,2	1,13	3,77	1488	1,2	1,13	3,77	1487,67

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA (Qu= Qp+Qf)											
MEYERHOF Y λ (largo plazo)				VESIC Y λ (largo plazo)				JANBU Y λ (largo plazo)			
Diametro (m)	Area de punta (m²)	Perimetro (m)	Qu= Qp+Qf	Diametro (m)	Area de punta (m²)	Perimetro (m)	Qu= Qp+Qf	Diametro (m)	Area de punta (m²)	Perimetro (m)	Qu= Qp+Qf
0,5	0,2	1,57	395,77	0,5	0,2	1,57	396,41	0,5	0,2	1,57	396,36
0,8	0,5	2,51	654,43	0,8	0,5	2,51	655,18	0,8	0,5	2,51	655,03
1,2	1,13	3,77	1026,47	1,2	1,13	3,77	1029,11	1,2	1,13	3,77	1028,78

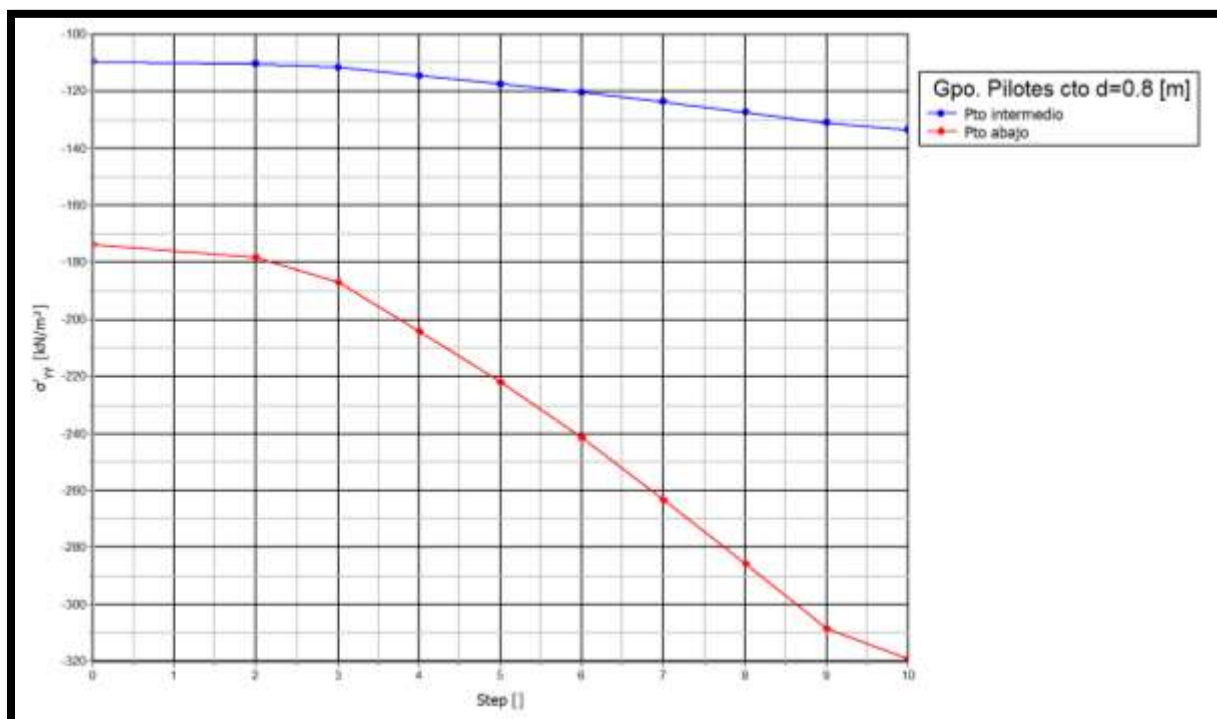
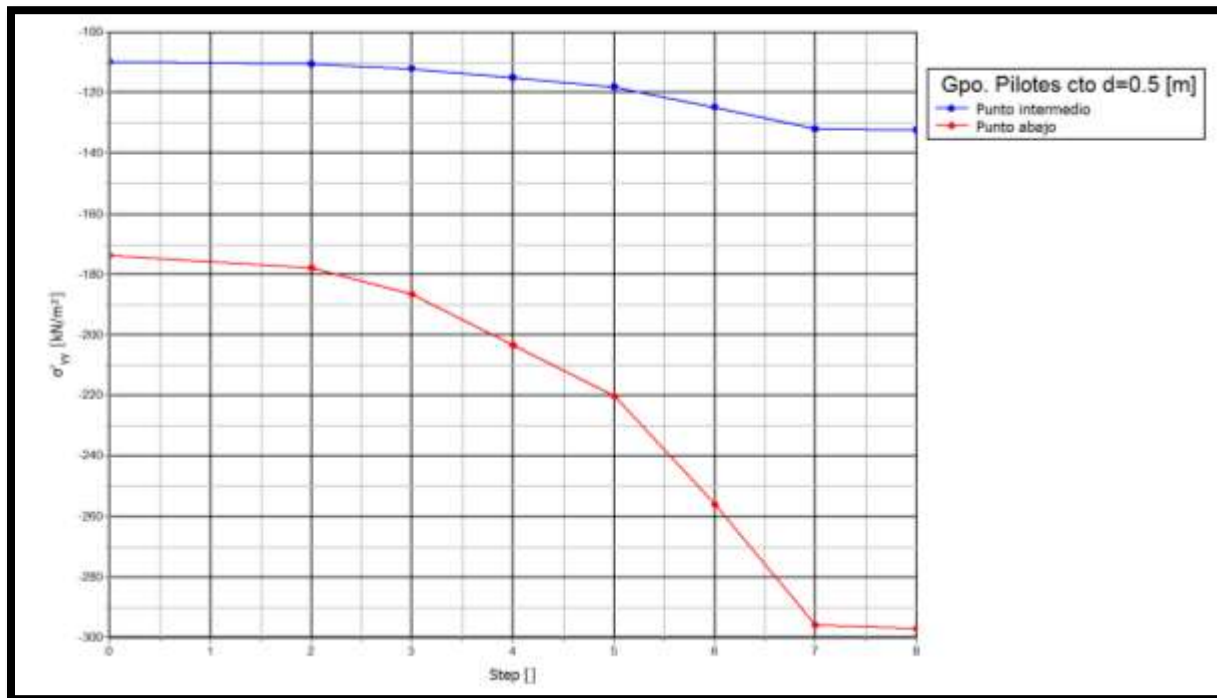
Apéndice H: Detalles de los resultados extraídos del software PLAXIS 2D en el cual se encuentra el esfuerzo vertical efectivo por punta y por fricción gráficamente; tanto para un solo pilote como para un grupo de pilotes, cambiando el diámetro de estos.

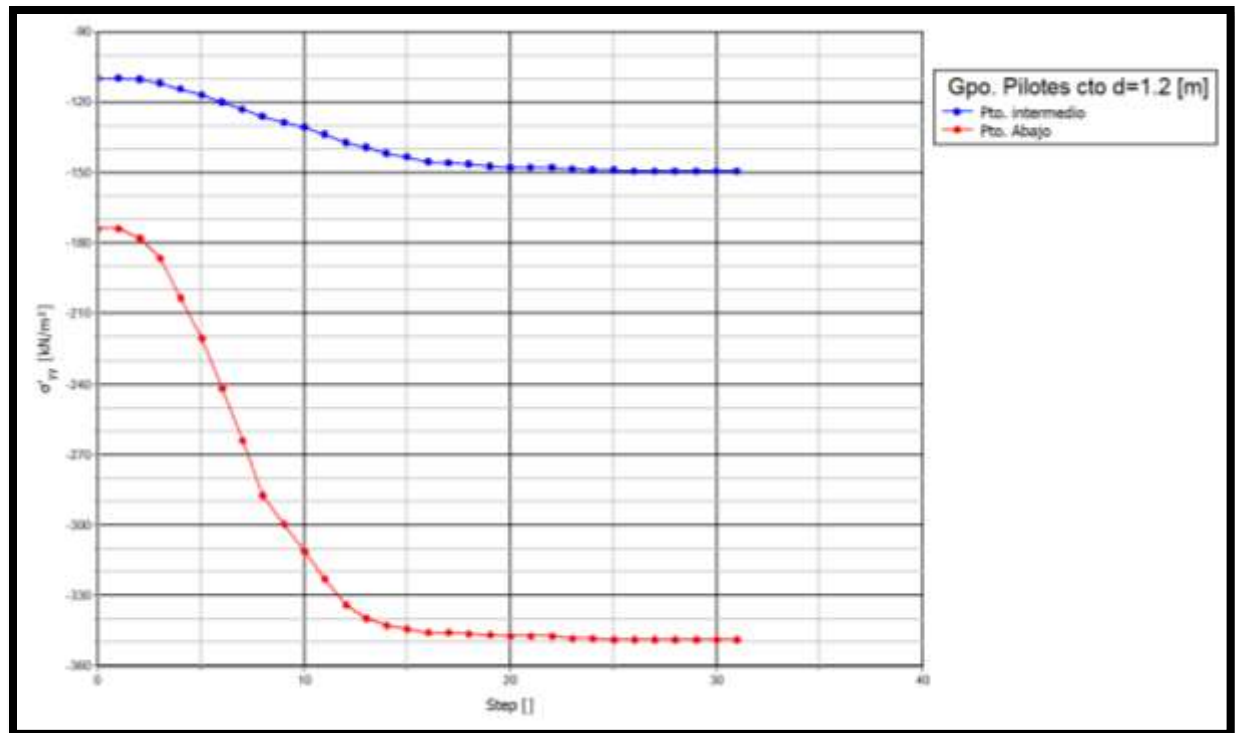
Pilote Individual:





Grupo de Pilotes:





Apéndice I. Resultados obtenidos mediante PLAXIS 2D, Se obtienen todos los valores que podemos interpretar como capacidad ultima de carga según el programa.

Fase 1 Tipo de cálculo: Plástico.

Zapatas ubicadas sobre la ladera.

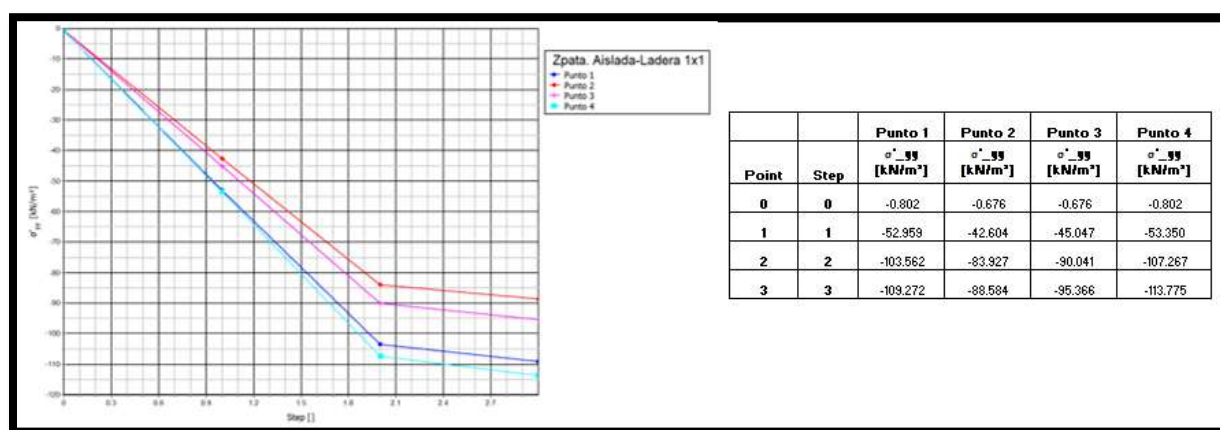


Figura. Zapata ladera 1x1

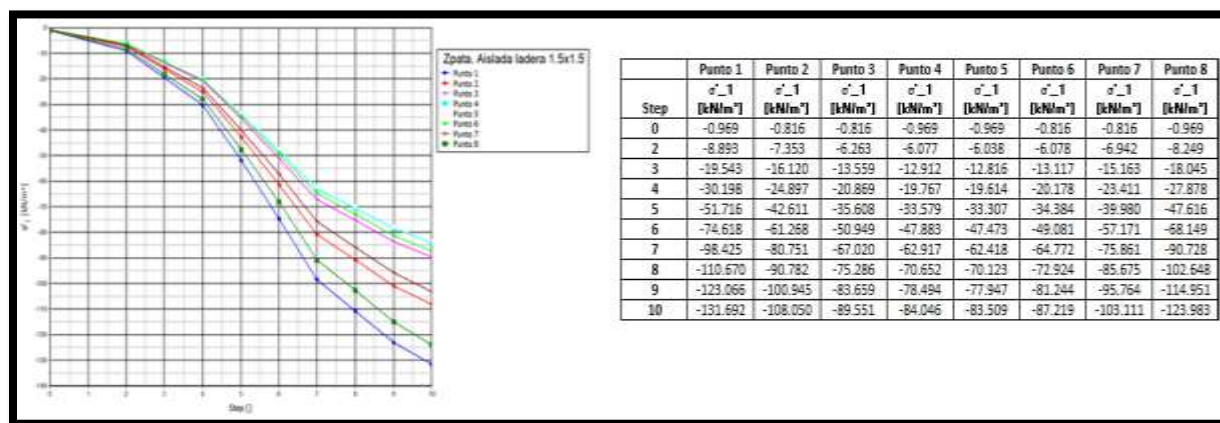


Figura. Zapata ladera 1.5x1.5

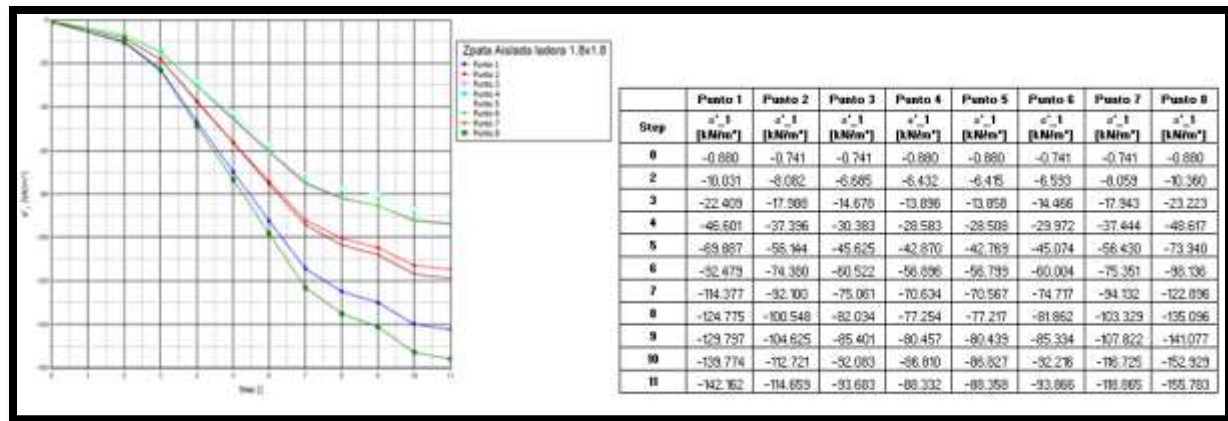


Figura. Zapata ladera 1.8x1.8

Zapata ubicada en la orilla de la ladera.

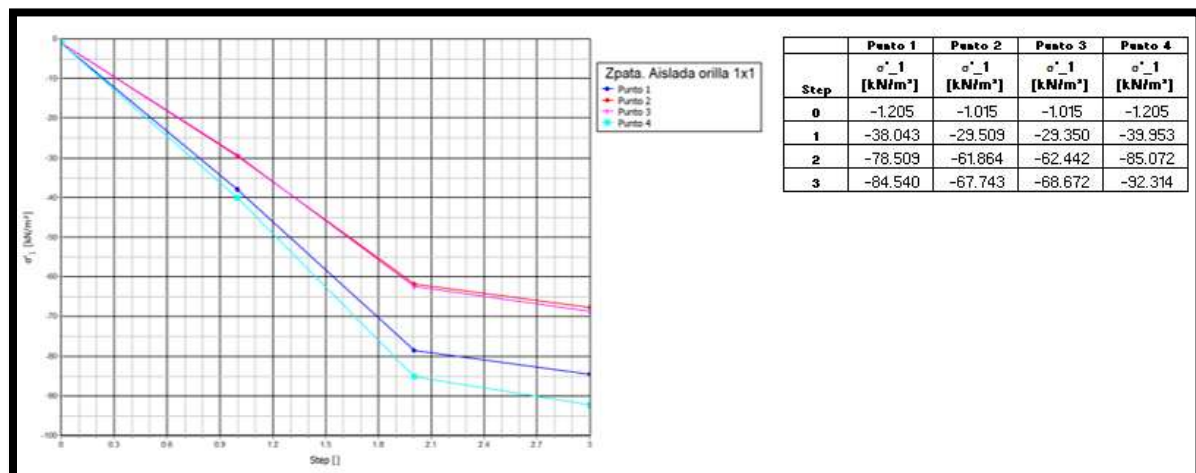


Figura. Zapata ladera 1x1

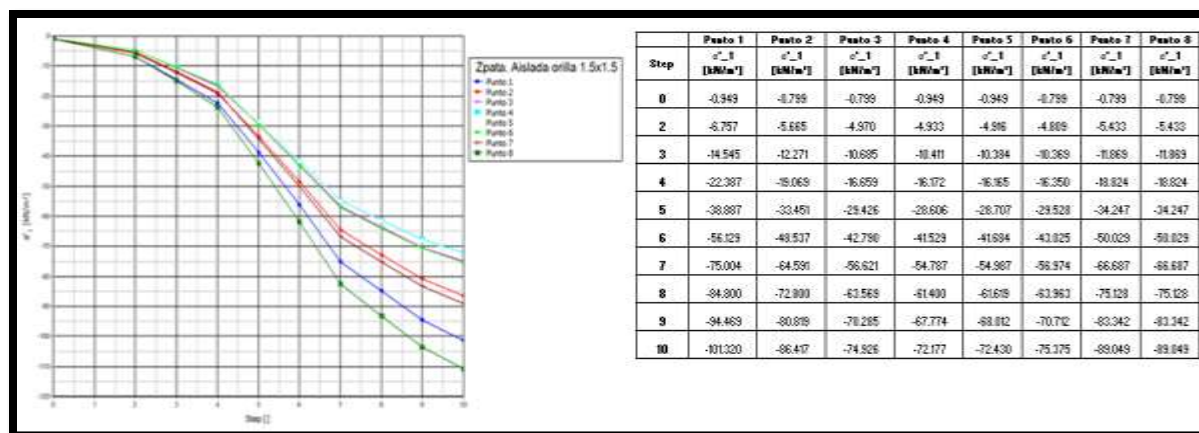


Figura. Zapata ladera 1.5x1.5

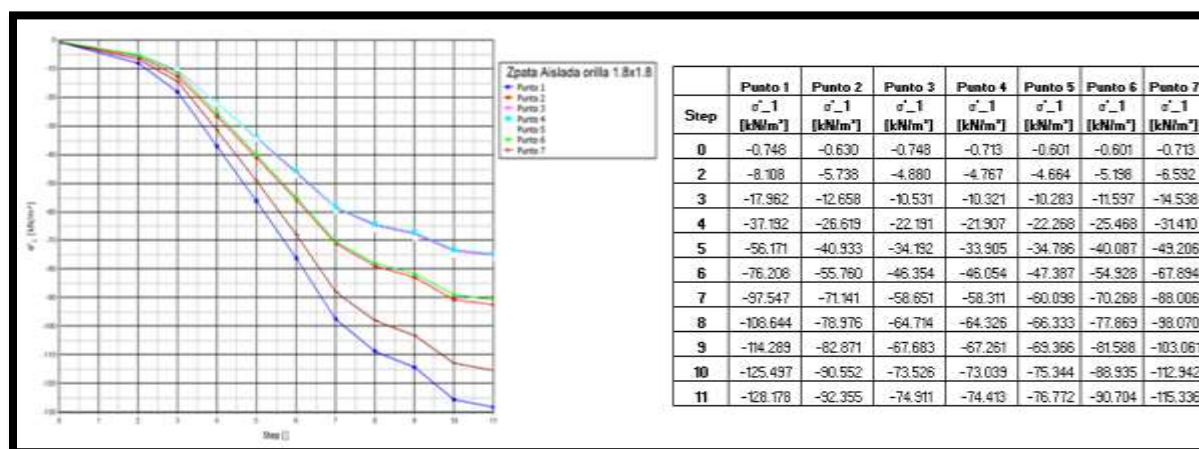


Figura. Zapata ladera 1.8x1.8

Zapata alejada de la ladera [20 m]

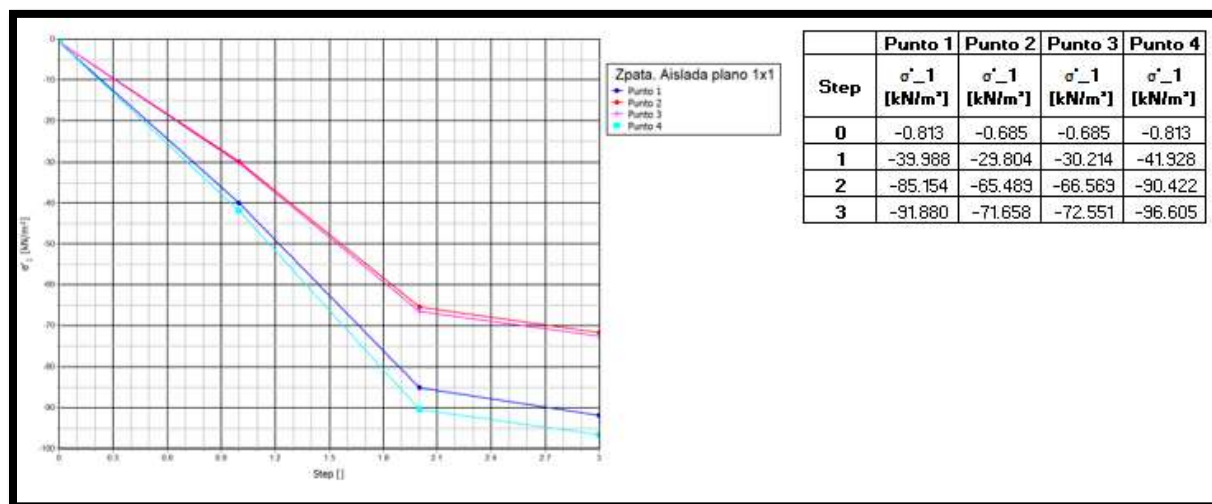


Figura. Zapata ladera 1x1

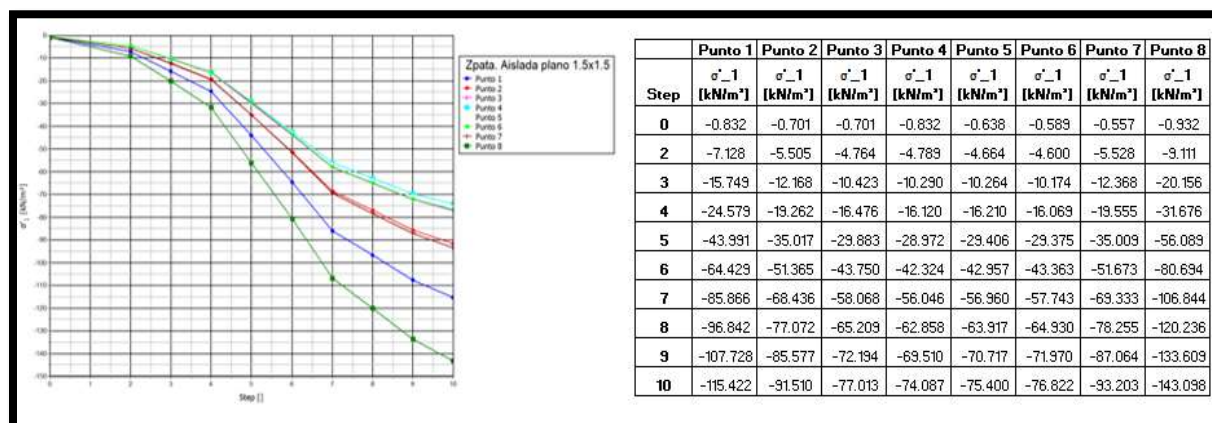


Figura. Zapata ladera 1.5x1.5

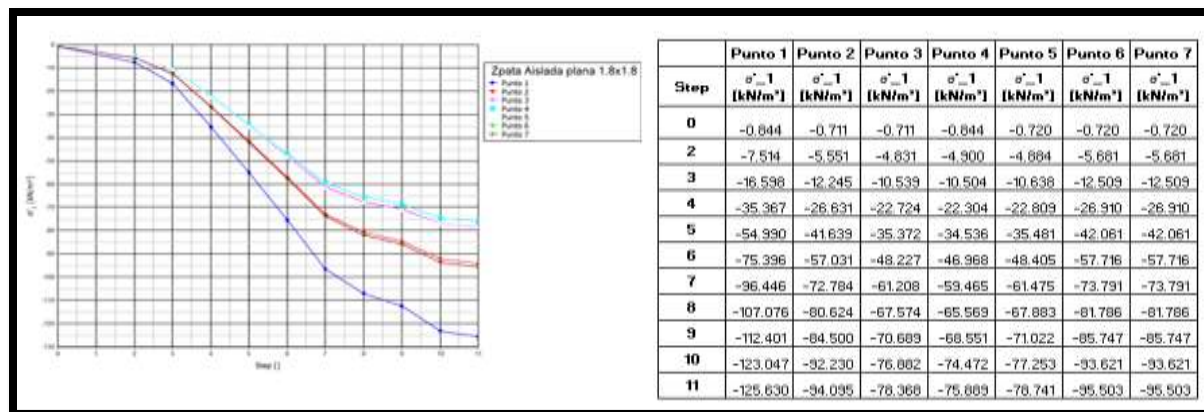


Figura. Zapata ladera 1.8x1.8

Fase 2 Tipo de cálculo: Seguridad.

Tabla. Valores de esfuerzos efectivos según la ubicación de la zapata y su geometría

FS=1	CASO 1	σ'_{yy} [kN/m²]
B[m]	1	342.50
	1.5	186.50
	1.8	155.78
	CASO 2	
B[m]	1	143.50
	1.5	104.30
	1.8	102.90
	CASO 3	
B[m]	1	182.50
	1.5	125.40
	1.8	109.70

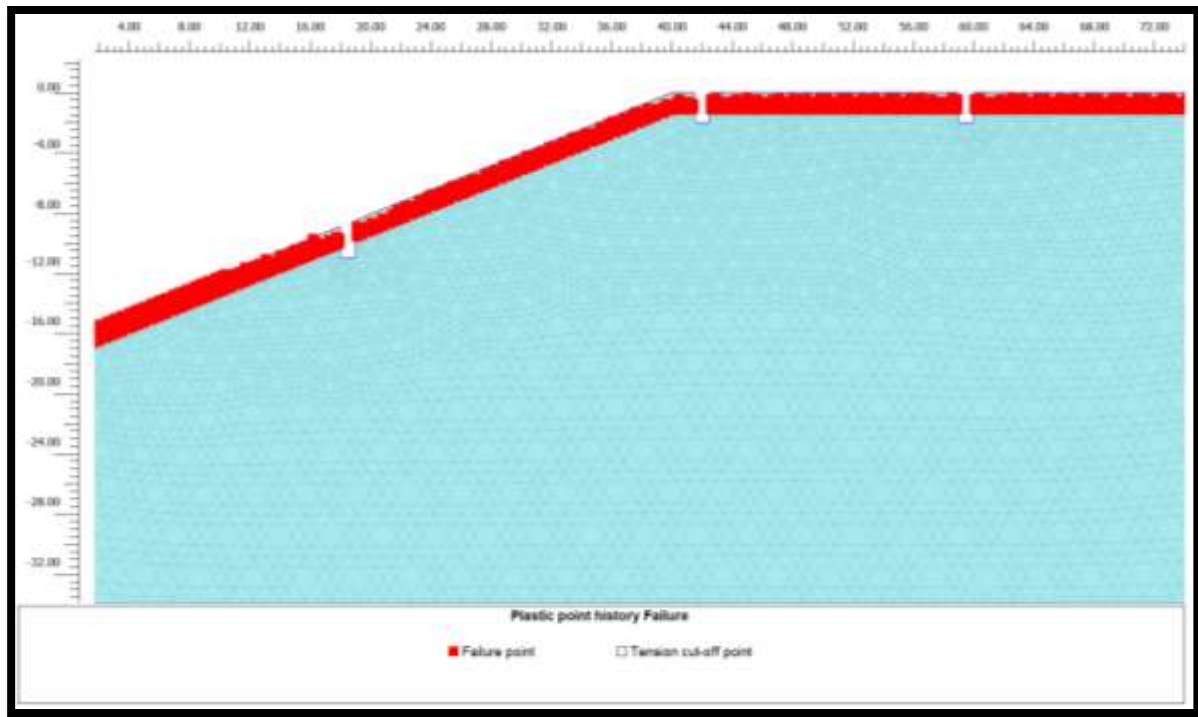


Figura. Puntos de falla con FS=1