

**EVALUACION GEOTECNICA Y MITIGACION DEL RIESGO POR  
DESLIZAMIENTO UTILIZANDO PILAS, EN LA MARGEN DERECHA DE LA  
QUEBRADA LA CALDERERA, AGUAS ABAJO DE PUENTE CUERVO,  
MUNICIPIO DE GRAMALOTE (NORTE DE SANTANDER)**

**JOSE RICARDO PINEDA RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
MAESTRIA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**EVALUACION GEOTECNICA Y MITIGACION DEL RIESGO POR  
DESLIZAMIENTO UTILIZANDO PILAS, EN LA MARGEN DERECHA DE LA  
QUEBRADA LA CALDERERA, AGUAS ABAJO DE PUENTE CUERVO,  
MUNICIPIO DE GRAMALOTE (NORTE DE SANTANDER)**

**JOSE RICARDO PINEDA RODRIGUEZ**

**Trabajo de Aplicación presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Geotecnia**

**Director**

**WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ (I.C., M.Sc.)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
MAESTRIA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA  
2014**

Dedico este logro a mi esposa e hija por su comprensión durante los continuos viajes y el tiempo dedicado para culminar la maestría, a la UFPS quien apoyó el desarrollo de la comisión de estudio y a todos los docentes y estudiantes de la Maestría en Geotecnia de la UIS, que con su colaboración y consejos me ayudaron a alcanzar esta meta en mi formación académica y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por todos los bienes recibidos.

A la Universidad Francisco por el apoyo dado para lograr llevar a feliz término esta comisión de estudios.

A la Universidad Industrial de Santander por permitirme cursar el programa de maestría en geotecnia.

A todos los docentes y compañeros de la Maestría en Geotecnia de la UIS, con quienes compartimos un espacio valioso para la formación académica y profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCION .....	17
1. GENERALIDADES .....	18
1.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	18
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.2.1 Objetivo general.....	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 METODOLOGIA .....	20
1.4 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA ACTUAL .....	22
1.5 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS PARA SONDEOS .....	26
1.5.1 SONDEOS GEOELECTRICOS .....	26
1.5.2 EXPLORACION SISMICA REFRACCION.....	27
1.5.3 PERFORACION.....	28
2. GEOLOGIA.....	30
2.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	30
2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	32
2.3 GEOMORFOLOGIA.....	33
2.4 GEOLOGIA DE FORMACIONES SUPERFICIALES .....	33
3. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICO-GEOTÉCNICA DEL SITIO.....	36
3.1 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO .....	36
3.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO .....	39

3.3 TOMOGRAFÍAS GEOELECTRICAS .....	42
3.4 SONDEO ELECTRICO VERTICAL .....	47
3.5 ENSAYOS REFRACCION SISMICA .....	50
3.6 PERFORACIONES.....	53
3.7 ANALISIS RESULTADOS CAMPO Y LABORATORIO .....	57
4. MODELO GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO.....	64
4.1 ESTRATIGRAFIA .....	64
4.3 CLASIFICACION DEL DESLIZAMIENTO.....	66
4.4 PARAMETROS RESISTENCIA AL CORTE .....	68
5. ANALIS ESTABILIDAD USANDO PILAS .....	77
5.1 JUSTIFICACION USO DE PILAS.....	77
5.2 FUERZA RESISTENTE DE PILOTES O PILAS .....	77
5.3 RESISTENCIA AL CORTE DE PILAS DE CONCRETO.....	79
5.4 SELECCIÓN PRELIMINAR DIAMETRO Y SEPARACION DE PILAS.....	80
5.5 FUERZA CORTANTE SOBRE LAS PILAS.....	82
5.6 METODO DE EQUILIBRIO LIMITE CONSIDERANDO PILAS .....	84
5.7 SUPERFICIE DE FALLA PARA ANALISIS CON PILAS.....	85
5.8 ANALISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS .....	87
5.9 ANALISIS DE ESTABILIDAD CON FUERZAS SISMICAS .....	101
5.10 RESUMEN DE RESULTADOS ANALISIS DE ESTABILIDAD.....	104
6. RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS .....	105
6.1 LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO DE LAS PILAS .....	105
6.2 ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL .....	105
6.3 OBRAS COMPLEMENTARIAS CONTROL DE AGUAS FREATICAS .....	108

6.4 RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION.....	110
7. CONCLUSIONES .....	112
8. RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFIA.....	117
ANEXOS.....	120

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Datos estructurales de discontinuidades para la roca aflorante.....	39
Tabla 2. Resistividades Aparentes-Sondeo Eléctrico Vertical SEV .....	48
Tabla 3. Perfil del terreno a partir de resultados del SEV .....	49
Tabla 4. Perforación S1: Valores estimados del ángulo de fricción .....	59
Tabla 5. Perforación S2: Valores estimados del ángulo de fricción .....	60
Tabla 6. Perforación S3: Valores estimados del ángulo de fricción .....	61
Tabla 7. Factores de seguridad para diferentes valores de $c'$ y $\phi'$ .....	73
Tabla 8. Valores de $c'$ y $\phi'$ para FS=1 .....	74
Tabla 9. Factores de seguridad para diferentes combinaciones de $c'$ y $\phi'$ .....	74
Tabla 10. Resistencia al corte de las pilas.....	80
Tabla 11. Número de pilas en función de la separación y FS.....	81
Tabla 12. Variación Factor de seguridad y Fuerza sobre las pilas.....	89
Tabla 13. Resultados con dos filas de pilas y Factor de seguridad .....	91
Tabla 14. Volúmenes de concreto para alternativas de separación fila 2 .....	93
Tabla 15. Diámetro, separación y posición de las pilas seleccionadas.....	93
Tabla 16. Resumen resultados análisis estabilidad ladera .....	104
Tabla 17. Longitud de pilas y longitud de empotramiento en roca .....	105

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización general del sitio en estudio.....	18
Figura 2. Localización particular del sitio en estudio.....	19
Figura 3. Sitio de estudio. ....	19
Figura 4. Diagrama de flujo metodología obras estabilización en laderas. ....	21
Figura 5. Vía de acceso a Gramalote antes y después del deslizamiento. ....	22
Figura 6. Zona de deslizamiento 3 Febrero 2002. Antes del deslizamiento.....	23
Figura 7. Vía de acceso 27 diciembre 2010. Después del deslizamiento. ....	23
Figura 8. Esquema de la propuesta de CORPONOR, control lavas torrenciales. .	25
Figura 9 . Equipo de resistividad SuperSting R8 IP y electrodo.....	27
Figura 10. Elementos del equipo sísmico de refracción.....	28
Figura 11. Equipo de perforación utilizado.....	29
Figura 12. Detalle mapa geológico en el sitio de estudio.....	31
Figura 13. Modelo estructural preliminar Gramalote .....	32
Figura 14. Detalle mapa geomorfológico de la zona en estudio .....	34
Figura 15. Detalle mapa de unidades geológicas superficiales en la zona.....	34
Figura 16. Zona superior del deslizamiento. ....	37
Figura 17. Detritos en el cuerpo y la parte inferior del deslizamiento.....	37
Figura 18. Árboles inclinados, Restos del pavimento. ....	38
Figura 19. Cresta y dirección del deslizamiento.....	38
Figura 20. Columna estratigráfica en la zona del deslizamiento.....	40
Figura 21. Levantamiento topográfico sitio en estudio.....	41
Figura 22. Perfil análisis- sector más crítico deslizamiento.....	42
Figura 23. Sitio de ensayo Tomografía geoelectrica TGEO-1 .....	43
Figura 24. Tomografía geoelectrica TGEO1. ....	44
Figura 25. Tomografía geoelectrica TGEO2.....	45

Figura 26. Tomografía 3D sitio en estudio. ....	47
Figura 27. Sondeo electrico vertical – SEV.....	48
Figura 28. Curva Sondeo Electrico Vertical - SEV .....	49
Figura 29. Línea de refracción sísmica – SIS1 .....	50
Figura 30. Modelo tricapa - Línea refracción sísmica .....	51
Figura 31. Modelo tomografía – Línea refracción sísmica .....	51
Figura 32. Resultados Ensayo Medición ondas superficiales -MASW .....	52
Figura 33. Perforación S1 .....	54
Figura 34. Perforación S2 .....	55
Figura 35. Perforación S3.....	56
Figura 36. Perforación S1: variación N y ángulo de fricción. ....	62
Figura 37. Perforación S2: variación N y ángulo de fricción. ....	62
Figura 38. Perforación S3: variación N y ángulo de fricción. ....	63
Figura 39. Estratigrafía y sondeos geofísicos .....	64
Figura 40. Estratigrafía y Perforaciones.....	64
Figura 41. Variación del nivel freático considerada en el análisis de estabilidad. ..	66
Figura 42. Mapa de elevaciones casco urbano evacuado de Gramalote .....	67
Figura 43. Valores de $c'$ y $\phi'$ para FS=1 en un talud. ....	69
Figura 44. Variación del FS y parámetros de resistencia al corte, retro-análisis. ..	70
Figura 45. Perfil ladera sin la superficie de falla, modelo SLOPE/W.....	72
Figura 46. Perfil con superficies de falla, modelo SLOPE/W. ....	72
Figura 47. Valores de FS para combinaciones de $c'$ y $\phi'$ .....	74
Figura 48. Valores de $c'$ y $\phi'$ para FS=1 .....	75
Figura 49. Factor de seguridad para $c'=22.5\text{KN/m}^2$ y $\phi'=20^\circ$ .....	76
Figura 50. Factor de seguridad para $c'=20\text{ KN/m}^2$ y $\phi'=20^\circ$ .....	76
Figura 51. Modelo ladera Nivel freático superficial, SLOPE/W .....	77
Figura 52. Factor seguridad sin obras, NF superficial. SLOPE/W .....	78
Figura 53. Variación del Factor de seguridad con la Fuerza Horizontal.....	79
Figura 54. Factor de seguridad para Fuerza Horizontal de 1220 KN/m.....	79
Figura 55. Variables que afectan la fuerza sobre una pila en una ladera. ....	83

Figura 56. Mecanismo de transferencia de carga suelo-pila.....	84
Figura 57. Ecuaciones para cálculo de fuerzas entre dovelas, método Liang. ....	85
Figura 58. Datos de Pilas ingresadas al programa SLOPE/W.....	86
Figura 59. Superficie de falla con pilas. ....	87
Figura 60. Entrada datos programa UA Slope 2.1. ....	88
Figura 61. Variación FS y Fuerza sobre las pilas con la distancia.....	89
Figura 62. Análisis de equilibrio límite para dos filas de pilas. ....	90
Figura 63. Carga sobre pilas y factor de seguridad $S/D_{\text{FILA 1}}=3$ $S/D_{\text{FILA 2}}=2$ .....	91
Figura 64. Carga pilas y factor de seguridad $S/D_{\text{FILA 1}}=3$ $S/D_{\text{FILA 2}}=2.5$ .....	92
Figura 65. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las pilas, NF superficial. ....	94
Figura 66. Datos de las pilas seleccionadas, SLOPE/W.....	95
Figura 67. Factor seguridad Pilas seleccionadas, SLOPE/W.....	95
Figura 68. FS para Falla local arriba de la fila de pilas, SLOPE/W.....	96
Figura 69. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las pilas, NF intermedio.....	97
Figura 70. Factor seguridad Pilas seleccionadas, NF intermedio. SLOPE/W.....	98
Figura 71. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las pilas, NF “in situ”.....	99
Figura 72. Factor seguridad Pilas seleccionadas, NF “in situ”, SLOPE/W.....	100
Figura 73. Factor seguridad sin Pilas, NF “in situ”, SLOPE/W.....	100
Figura 74. Ecuaciones de equilibrio límite con sismo, método Liang.....	102
Figura 75. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las dovelas, NF “in situ” y sismo...	103
Figura 76. . Factor seguridad con pilas, NF “in situ”-sismo, SLOPE/W.....	104
Figura 77. Análisis de esfuerzos sobre la pila 1, resultados ALLPILE. ....	106
Figura 78. Análisis de esfuerzos sobre la pila 2, resultados ALLPILE. ....	107
Figura 79. Refuerzo interno pila.....	107
Figura 80. Fuerzas que actúan sobre la pared del caisson. ....	108
Figura 81. Refuerzo pared del Caisson. ....	109
Figura 82. Esquema y Localización obras de estabilización.....	111

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
ANEXO A. Registro de perforaciones .....	121
ANEXO B. Resultados de laboratorio .....	141
ANEXO C. Resistencia al corte de pilas .....	156
ANEXO D. Programa UA SLOPE 2.1 y Hoja de Cálculo Excel .....	159
ANEXO E. Resultados hoja de calculo Excel 2 pilas .....	176
ANEXO F. Resultados ALLPILE 7 .....	187
ANEXO G. Resultados diseño estructural RAM ELEMENTS .....	194

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACION GEOTECNICA Y MITIGACION DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO UTILIZANDO PILAS, EN LA MARGEN DERECHA DE LA QUEBRADA LA CALDERERA, AGUAS ABAJO DE PUENTE CUERVO, MUNICIPIO DE GRAMALOTE (NORTE DE SANTANDER).\*

**AUTOR:** JOSE RICARDO PINEDA RODRIGUEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** taludes, deslizamiento, estabilidad, mitigación, pilote, pila.

**DESCRIPCIÓN:** Las laderas que conforman la margen derecha de la quebrada La Calderera, a la altura de Puente Cuervo, en el municipio de Gramalote (N. de S.), presentan fenómenos de remoción en masa, que pueden llegar a obstruir el cauce de la quebrada. Este fenómeno puede generar una eventual amenaza por avalancha de lodos y detritos ante la posible rotura del represamiento de agua en el cauce, afectando la población asentada aguas abajo del sitio. Con el objeto de analizar la situación descrita y proponer medidas que permitan reducir los niveles de riesgo, se realizó un estudio mediante la evaluación geotécnica de la ladera y se plantearon medidas para mitigar el fenómeno de remoción en masa.

El trabajo comprende recopilación de información previa de la zona y visitas de campo, para establecer los factores que inciden en la problemática. Se realizaron trabajos de campo para recopilar información topográfica, geológica y geotécnica del sitio.

Se realizó análisis de estabilidad mediante el método de equilibrio, planteando escenarios concordantes con la susceptibilidad a deslizamientos que presenta la zona en estudio. Se definieron los factores influyentes en la problemática de inestabilidad de la ladera y se seleccionó un sistema de pilas como obras de mitigación. Para obtener la carga sobre las pilas se implementó la metodología propuesta por Robert Liang de la Universidad de Akron y el Departamento de transporte de Ohio (Estados Unidos). Se verificó la estabilidad de la ladera, comprobando el aumento en el Factor de Seguridad con las obras, usando una hoja de cálculo Excel con el método de Liang y el programa SLOPE/W.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.  
Director (I.C., MSc.) Wilfredo del Toro Rodríguez.

## SUMMARY

**TITLE: GEOTECHNICAL ASSESSMENT AND RISK MITIGATION USING DRILLED SHAFTS, IN LANDSLIDE ON RIGHT MARGIN OF THE CALDERERA STREAM, PUENTE CUERVO DOWNSTREAM IN THE TOWN OF GRAMALOTE (NORTE DE SANTANDER).\***

**AUTHOR: JOSE RICARDO PINEDA RODRIGUEZ\*\***

**KEY WORDS:** Slope, landslide, stability, mitigation, pile, drilled shaft.

**DESCRIPTION:** slopes on the right margin of the Calderera stream, Puente Cuervo downstream, in the town of Gramalote (N. S.), present landslide phenomena, which can clog the channel of the creek. This phenomenon can produce a potential assessment for avalanche sludge and debris before possible damming break, affecting the population located site downstream. In order to analyze this situation and propose measures to reduce risk levels, a study was conducted by geotechnical evaluation of the slope and measures were proposed to mitigate the phenomenon of landslides.

The work includes collection of background information about the area and field visits to establish the factors involved in the problem. Fieldwork were conducted to collect topographic, geological and geotechnical site information.

Stability analysis was performed by the method of limit equilibrium, analyzing scenarios consistent with susceptibility to landslides in the study area. Influencing factors were identified in the problem of slope instability and two rows drilled shaft was selected as mitigation works. For the load on the drilled shaft the Robert Liang methodology of the University of Akron and the Ohio Department of Transportation (USA) was implemented. The slope stability was verified by checking the increase in the safety factor with the drilled shafts, using Liang method as Excel spreadsheet and SLOPE/W software.

---

\* Work degree.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering.  
Director (C.E., MSc.) Wilfredo del Toro Rodríguez.

## INTRODUCCION

El casco urbano de Gramalote (Norte de Santander) fue afectado en diciembre del año 2010 por una serie de deslizamientos que obligaron a su evacuación. Como consecuencia de esta problemática, se activaron alertas por el posible desplazamiento de la masa deslizada hacia la quebrada La Calderera, ubicada en la parte baja del casco urbano. La Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) presentó a la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, un proyecto para el control de lavas torrenciales en la Quebrada. El proyecto consistía en la construcción de una especie de falso túnel siguiendo el cauce de la quebrada, con el fin de soportar los materiales desprendidos desde la ladera, permitiendo un canal para la circulación del agua y evitar su represamiento. Ese proyecto fue aceptado y se le asignaron recursos, pero se hicieron observaciones a los diseños planteados por la falta de un soporte técnico a la solución planteada. CORPONOR contrató entonces con la firma CH&Q LTDA los diseños para el proyecto, cuya información base será utilizada en el presente trabajo para plantear una alternativa para mitigar el riesgo por deslizamiento en la quebrada La Calderera.

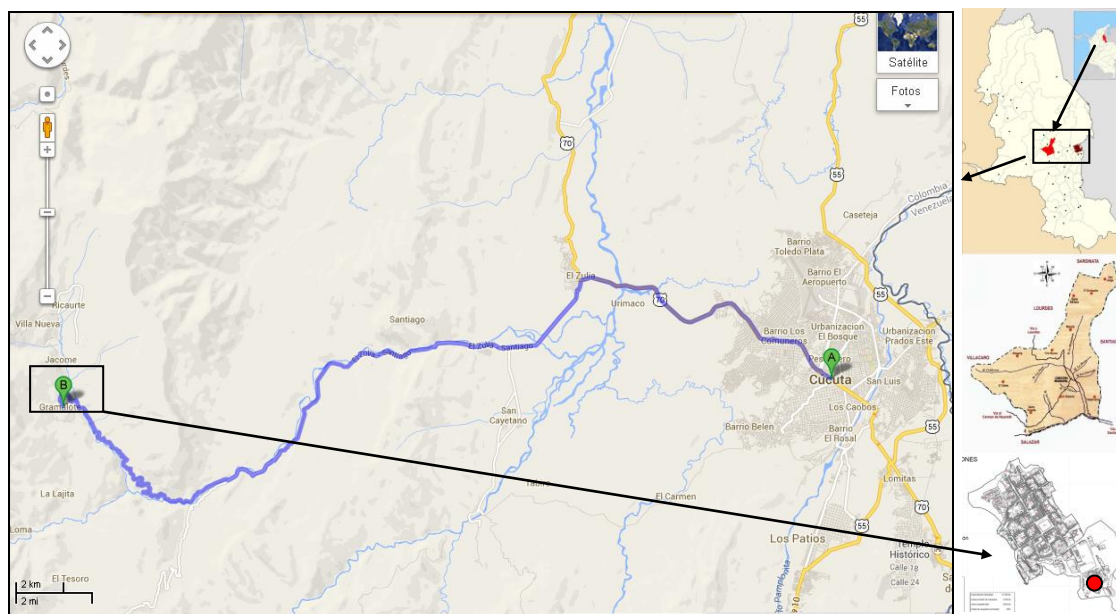
Se presenta en este documento una descripción general de la zona y la problemática presentada, los trabajos realizados para los diseños desde el punto de vista geotécnico, incluyendo topografía de la zona, reconocimiento geológico, sondeos geoelectrónicos y sísmicos, perforación de sondeos por rotación y percusión, ensayos de campo y laboratorio, análisis geotécnico de la información, modelamiento del deslizamiento y planteamiento de una solución para mitigar la amenaza por deslizamiento utilizando pilotes o pilas y siguiendo la propuesta metodológica de Robert Liang de la Universidad de Akron (Ohio, Estados Unidos), para obtener la contribución de los pilotes en la estabilización del talud.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El casco urbano de Gramalote (Norte de Santander), evacuado en diciembre del 2010, se encuentra localizado en la zona centro occidental del departamento Norte de Santander, sobre las estribaciones de la cordillera oriental, aproximadamente a 47 Km por carretera al occidente de la ciudad de Cúcuta, como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Localización general del sitio en estudio.



Fuente. <https://maps.google.com> – Autor.

La quebrada La Calderera se ubica en la parte baja de la terraza que conformaba el casco urbano en su costado oriental, el Puente Cuervo es un viaducto en arco, construido en el año 1932 que cruza sobre la quebrada La Calderera, dando acceso al casco urbano evacuado. El sitio de estudio corresponde a la ladera en la margen derecha de la quebrada y comprende el área desde Puente Cuervo hasta 150 metros aguas debajo de esta estructura. La zona de estudio se localiza en las

coordenadas 7°53'5.8"N y 72°47'39.1"W (1'363.886N,1'141.648E). En la Figura 2 y Figura 3 se muestra la localización particular de la zona de estudio.

Figura 2. Localización particular del sitio en estudio.



Fuente. Google Earth.-autor.

Figura 3. Sitio de estudio.



Fuente. Autor.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Analizar la problemática de estabilidad de laderas en la margen derecha de la quebrada La Calderera, en un sector comprendido entre Puente Cuervo y 150 metros aguas abajo de la quebrada, haciendo un modelo geotécnico del sitio y planteando medidas para mitigación del riesgo por deslizamiento.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

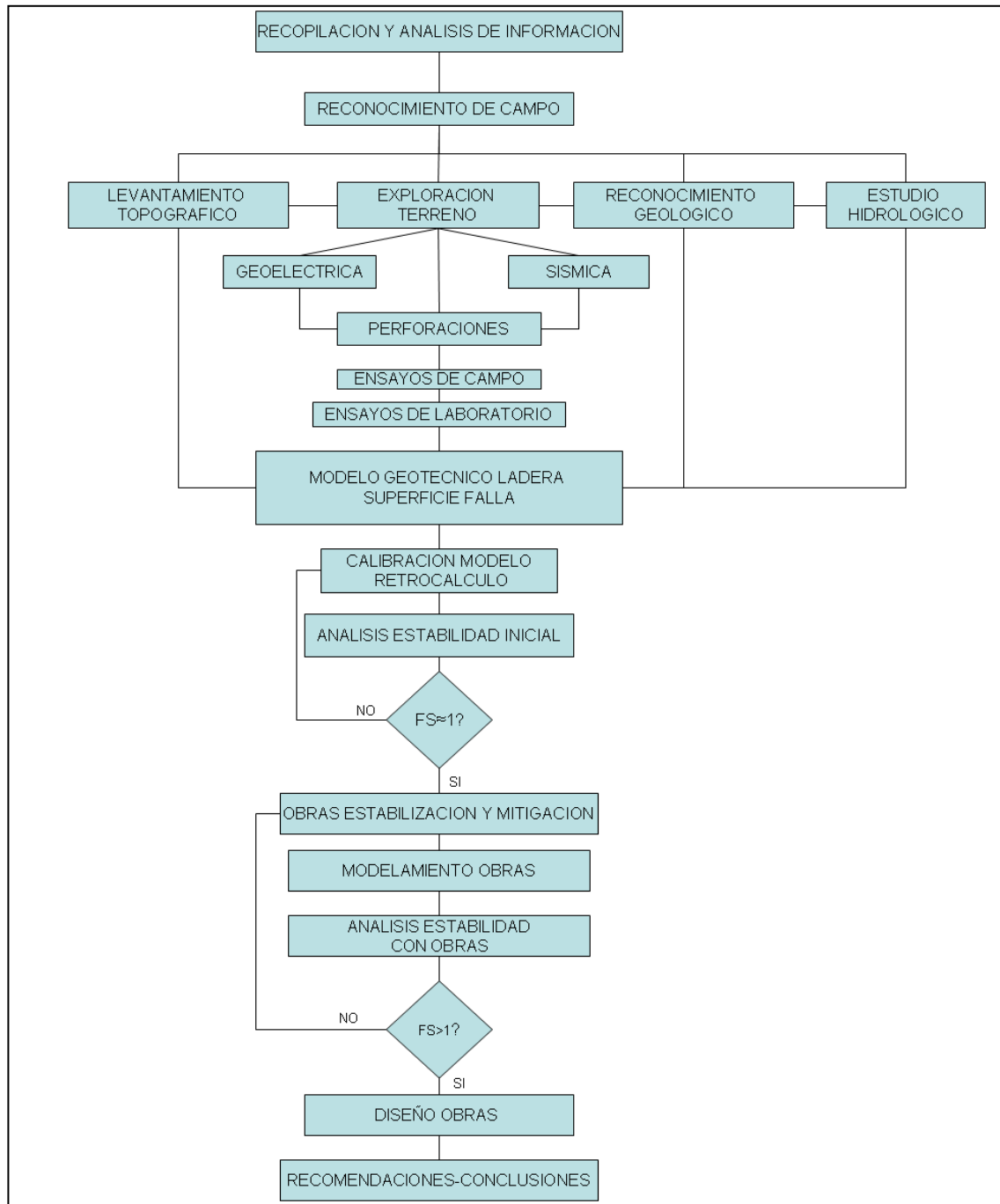
- Realizar evaluación geotécnica del sitio en estudio.
- Analizar los resultados de la exploración geotécnica y ensayos geotécnicos (perforaciones, geoelectrica, sísmica, ensayos básicos de laboratorio).
- Elaborar un modelo geotécnico de la ladera en estudio.
- Realizar análisis determinístico de estabilidad taludes en el sector de estudio.
- Realizar la evaluación de la estabilidad utilizando pilotes o pilas para mitigar el riesgo de deslizamiento, implementando la metodología de Robert Liang.

## **1.3 METODOLOGIA**

Para este proyecto se utiliza una metodología de trabajo que busca hacer el análisis de una ladera inestable con el fin de plantear obras de mitigación y estabilización. En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo que resume las etapas seguidas en el proyecto, adaptada de los procedimientos convencionales establecidos en la ingeniería geotécnica para el estudio de este tipo de problemas.

Dentro del desarrollo del presente trabajo se especificará con mayor detalle las actividades, alcance y resultado de cada una de estas etapas.

Figura 4. Diagrama de flujo metodología obras estabilización en laderas.



Fuente: Autor.

## 1.4 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA ACTUAL

Durante la ola invernal de Diciembre del 2010, una serie de deslizamientos afectaron el casco urbano de Gramalote (Norte de Santander). La falla presentada fue lenta y progresiva, informándose de la aparición de grietas y deslizamientos en la parte alta del casco urbano para los primeros días de Diciembre. El 16 de diciembre fue evidente el avance de los deslizamientos hacia la zona central del pueblo, siendo ordenada la evacuación del casco urbano el 17 de diciembre del 2010. En los días siguientes estos deslizamientos destruyeron gran parte de las viviendas, quedando solo en pie el barrio La Lomita, al norte del casco urbano.

El avance progresivo de los deslizamientos, afectaron las laderas de la parte baja, en la margen derecha de la quebrada La Calderera, amenazando con generar un desplazamiento de la masa de suelo sobre la corriente de agua y su consecuente represamiento. Las figura 5 presenta la situación de la vía de acceso en la fecha de inicio de los deslizamientos y la situación después de ser afectada.

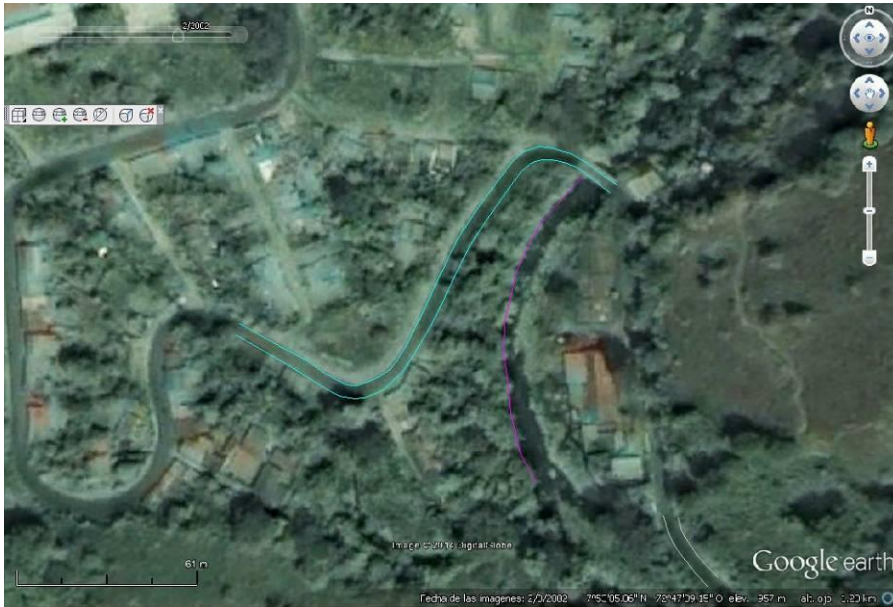
Figura 5. Vía de acceso a Gramalote antes y después del deslizamiento.



Fuente: PEDROZA ROJAS, Alvaro. Lecciones de un movimiento en masa, caso Gramalote. [Presentación pdf curso técnicas modernas de voladura]. Bogotá: Escuela de Ingenieros Militares, 2013. p 13.

En la figura 6 tomada de Google Earth, se ha marcado la vía de acceso y el margen derecho de la quebrada antes del deslizamiento.

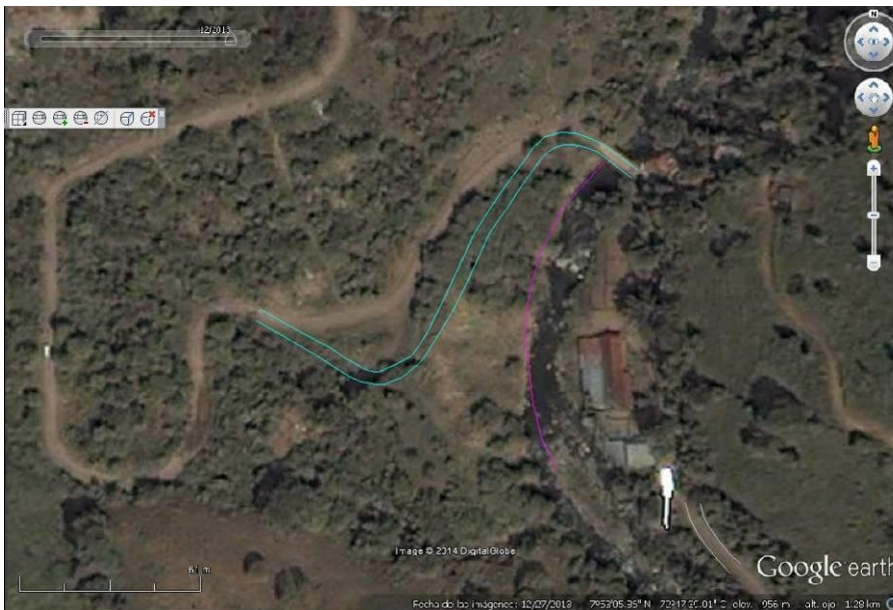
Figura 6. Zona de deslizamiento 3 Febrero 2002. Antes del deslizamiento.



Fuente: Google earth-Autor

En la figura 7 se observa como la vía fue afectada por el deslizamiento.

Figura 7. Vía de acceso 27 diciembre 2010. Después del deslizamiento.



Fuente: Google earth-autor.

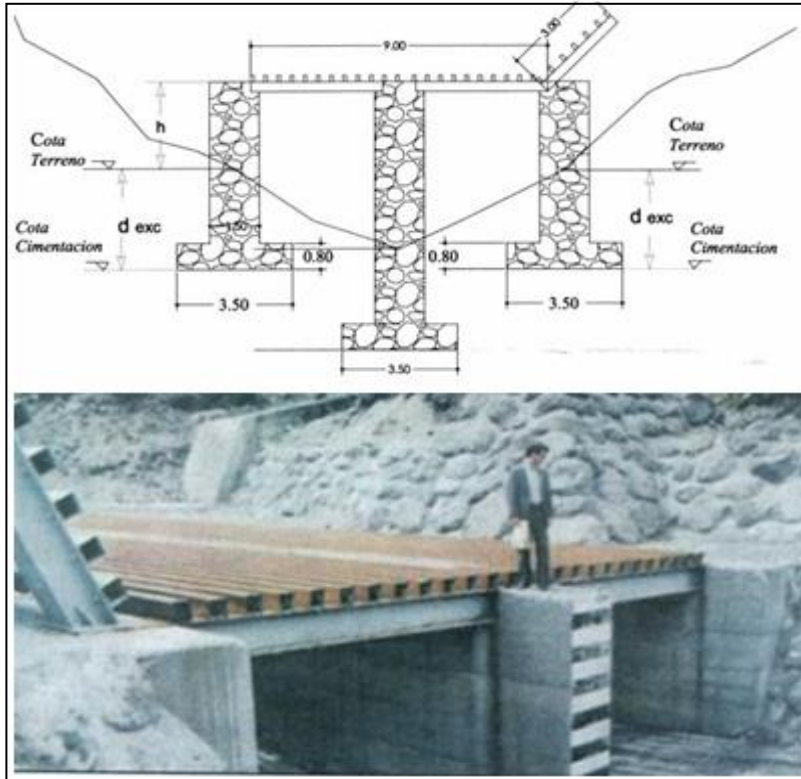
Como consecuencia de esta problemática, se activaron alertas por el posible desplazamiento de la masa deslizada hacia la quebrada La Calderera, cuyo represamiento y eventual ruptura repentina, pudiera generar avalanchas, afectando las poblaciones ubicadas río abajo, en especial los municipios de El Zulia, Santiago y el corregimiento de Cornejo, con el consiguiente peligro para la población que habita esas zonas

La Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) en mayo de 2011, presentó al Comité Regional para Prevención y Atención de Desastres (CREPAD) el proyecto “Construcción de obras para la retención de lavas torrenciales sobre la quebrada La Calderera, municipio de Gramalote (Norte de Santander)”, el cual fue aprobado para viabilizar recursos ante el fondo de calamidades, Colombia Humanitaria y la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (UNGRD).

En Mayo del 2012 se justificó por parte del Fondo Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres y la UNGRD, la asignación de recursos, firmándose el convenio de cooperación No 9677-04-594-2012 con la UNGRD, la Gobernación Norte de Santander y Fiduprevisora para la administración de los recursos. Además se suscribió el convenio de Cooperación No 079 de 2012 entre La Gobernación del Departamento Norte de Santander y Corponor con el objeto de ejecutar los recursos aprobados por la UNGRD.

El proyecto de CORPONOR, presenta la construcción de una especie de falso túnel siguiendo el cauce de la quebrada, con el fin de soportar los materiales desprendidos desde la ladera, permitiendo un canal para la circulación del agua y evitar su represamiento. La figura 8 muestra el esquema de las obras propuestas.

Figura 8. Esquema de la propuesta de CORPONOR, control lavas torrenciales.



Fuente: CORPONOR. Construcción de obras para la retención de lavas torrenciales sobre la quebrada La Calderera, municipio de Gramalote, Norte de Santander. Cúcuta: CORPONOR, 2011.

En desarrollo de los convenios, la UNGRD contrató a la firma HVM para el apoyo técnico en las labores de revisión de los estudios y diseños elaborados por CORPONOR y de común acuerdo se decidió la necesidad de complementar los diseños, principalmente en análisis hidráulicos y geotécnicos debido a que no se disponía de la información pertinente.

Con el fin de complementar los estudios, CORPONOR contrató a la firma CH&Q Ltda., mediante contrato N° 192 de 2013 cuyo objeto es "Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastre en el municipio de Gramalote en los tres sectores comprendidos entre las abscisas KO+300 al K0+400- K0+550 al K0+650- KO+800

al K0+950, en el marco del convenio de cooperación N°.00079 del 1 de Octubre del 2012 entre el Departamento Norte de Santander y CORPONOR”.

Este proyecto de grado presenta los análisis geotécnicos de una alternativa de mitigación del riesgo por deslizamiento sobre la quebrada La Calderera, mediante el uso de pilas. Para ello se usará la información base topográfica, de exploración geotécnica e hidrológica, facilitada por la firma CH&Q en el desarrollo del contrato anteriormente citado y en el cual se participó dando asesoría geotécnica en la ejecución del contrato. La alternativa desarrollada en este informe tiene un carácter académico y es presentada a la UIS como trabajo de grado para optar al título de Magíster en geotecnia, siendo diferentes e independientes de los análisis geotécnicos y las alternativas presentadas a CORPONOR por la firma CH&Q en el desarrollo del contrato.

Dentro del alcance de este trabajo de grado no se contempla discutir ni hacer la comparación con los diseños definitivos presentados por CH&Q, ya que en este caso se aplican análisis, criterios y juicios que son responsabilidad solo del autor del presente proyecto de grado.

## **1.5 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS PARA SONDEOS**

### **1.5.1 SONDEOS GEOELECTRICOS**

Fueron realizados por la firma INGEOEXPLORACIONES cargo del geólogo Carlos Wandurraga Barón.

Los sondeos Geoeléctricos y las Tomografías Eléctricas se realizan con un Equipo de resistividad SUPERSTING R8 IP; es un equipo multi-canal portátil, medidor de resistividad del subsuelo con almacenamiento de lecturas en memoria con ciclos de medidas definidos por el usuario. Proporciona la exactitud más alta y los

niveles más bajos de ruido en la industria. Este instrumento tiene capacidad para medir simultáneamente hasta 8 canales que utilizan un transmisor de alto poder para que la producción de datos de campo pueda alcanzar altas velocidades. Como elementos complementarios se utilizaron electrodos de acero inoxidable de alta conductividad.

Figura 9 . Equipo de resistividad SuperSting R8 IP y electrodo.



Fuente: Autor.

### 1.5.2 EXPLORACION SISMICA REFRACCION

Realizada por la firma INGENIOEXPLORACIONES, para lo cual se utilizó un Sismógrafo Geometrics GEODE y geófonos de 4.5 hz. y 14 Hz. Este equipo es uno de los más conocidos a nivel internacional; los sistemas de grabación sísmica GEODE combinan lo mejor de las estaciones sísmicas del mundo. Puede aprovechar la máxima flexibilidad de un sistema distribuido de hasta 48 Canales de grabación en condiciones especiales. Este sistema es ideal para refracción o reflexión para grandes profundidades de investigación. La figura 10 muestra los equipos utilizados para la exploración sísmica.

Figura 10. Elementos del equipo sísmico de refracción



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3B.

### 1.5.3 PERFORACION

Las perforaciones fueron realizadas por la firma INGEOEXPLORACIONES, con el equipo para sondeo por rotación de Javier Sánchez Rodríguez de la ciudad de Bucaramanga. En la figura 11 se muestra una vista del equipo utilizado.

Se realizaron ensayos de penetración estándar utilizando la norma ASTM D 1586, equivalente a la norma INVIAS E 111.

- Peso del martillo: 140 libras
- Altura de caída: 76 centímetros
- Penetración: 3 intervalos de 15 centímetros cada uno (6")
- N de diseño: Sumatoria de los golpes de los últimos 30 centímetros (12")
- Diámetro exterior del tubo: 50.8 mm
- Diámetro interior del muestreador en la punta: 34.93 mm
- Longitud del tubo: 75 centímetros

- Rechazo: Más de 50 golpes para 15 centímetros (6")

Figura 11. Equipo de perforación utilizado.



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 4.

Las perforaciones se avanzaron por percusión, haciendo pruebas SPT y recuperando muestras del suelo con penetrómetro; en el caso de rechazo se utiliza rotación y toma de muestras con barrena. Sobre las muestras recuperadas se hace la descripción de campo.

## **2. GEOLOGIA**

La descripción geológica del sitio en estudio se basa en la recopilación de información existente del INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano SGC) y la confrontación con los trabajos de reconocimiento de campo y sondeos realizados para el presente proyecto.

### **2.1 GEOLOGIA REGIONAL**

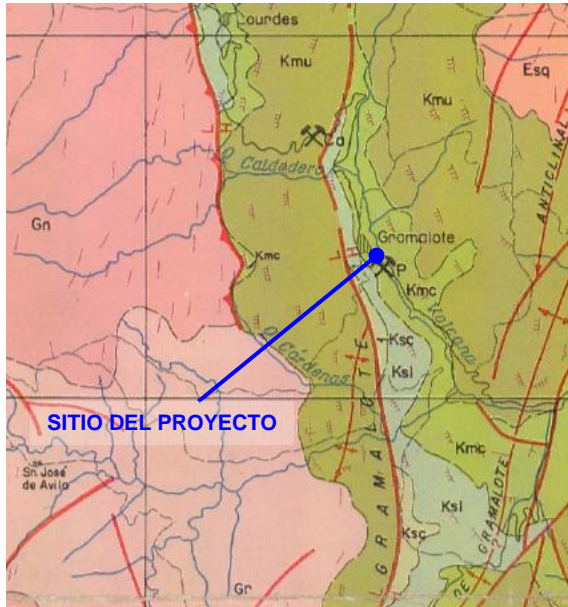
En el sector sobre las rocas ígneas y metamórficas del basamento se tiene una secuencia de rocas sedimentarias del Cretáceo y sobre estas rocas se encuentran depósitos recientes de sedimentos de origen estructural, denudacional y aluvial. La figura 12 presenta un detalle del mapa geológico de la zona, mostrando las unidades geológicas representativas a profundidad. Las características litológicas de las formaciones geológicas en el sitio son las siguientes:

Formación Uribante (Kmu): ha sido dividida en tres miembros: Tibú, Mercedes y Aguardiente. En la zona se evidencia la presencia del miembro superior Aguardiente consta exclusivamente de areniscas glauconíticas de grano fino y grueso, de color gris a verde claro, muy duras, intercaladas con algunas pocas laminas de arcilla pizarrosas negras, y delgados lechos de caliza en la parte inferior. En el sector de estudio el miembro Aguardiente cubre las laderas al oriente y occidente del municipio de Gramalote, conformando la parte alta de las montañas que forman el cauce donde se encuentra la quebrada la Calderera.

Formación Cogollo (Kmc): está constituida por una secuencia finogranular constituida de shales oscuros con intercalaciones de calizas macizas fosilíferas y delgadas capas de chert. Hacia la base se encuentran intercalaciones con delgadas capas de areniscas de grano fino y areniscas calcáreas. El espesor de la

Formación se estima entre 250 y 273 m, en contacto transicional con la Formación Uribante a la base y en contacto neto con la Formación Luna al tope. Corresponde al material predominante en la zona de estudio ya que cubre la ladera occidental (margen derecha) de la Quebrada La Calderera.

Figura 12. Detalle mapa geológico en el sitio de estudio.



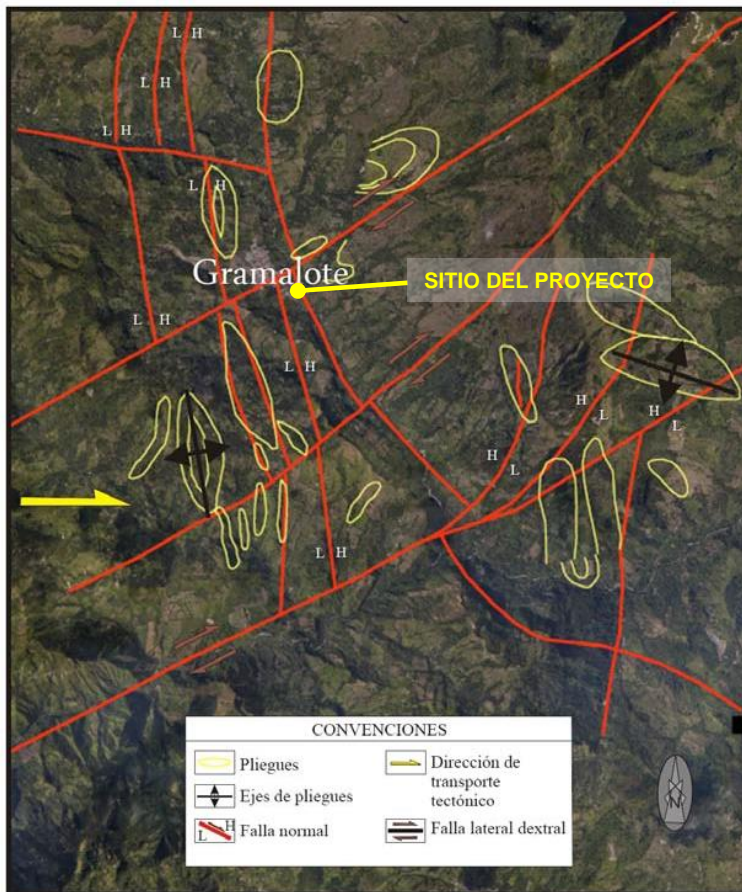
Fuente: INGEOMINAS, Cuadrángulo G-13 Cúcuta. Bogotá. 1967.

Formación La Luna (Ksl): Consiste en una sucesión de calizas finas fosilíferas duras de color negro a gris oscuro en capas medias entre 10 y 20 cm, con intercalaciones de chert negro en capas de 5 a 15 cm con partición concoidea y fracturamiento ortogonal que pueden generar paquetes hasta de 5 m. Alternan a esta secuencia delgadas capas de arcillolitas fisiles piritosas de color gris con abundantes micas y niveles de areniscas fosfáticas. En el sitio de estudio esta formación conforma la parte intermedia de los cerros al costado occidental del antiguo casco urbano de Gramalote, al occidente de la Quebrada La Calderera.

## 2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

A nivel regional se encuentra el sistema de fallas de Gramalote, de tipo normal y que tienen una dirección con tendencia N-S. INGEOMINAS ha presentado un esquema del modelo estructural para la zona, el cual se muestra en la figura 13.

Figura 13. Modelo estructural preliminar Gramalote



Fuente: INGEOMINAS<sup>1</sup>.

En este esquema los principales rasgos estructurales son los siguientes:

<sup>1</sup> INGEOMINAS. Estudios de geología y geomorfología escala 1:25.000 para la reubicación del casco urbano del municipio de gramalote, departamento Norte de Santander. Bogotá. 2012. p. 20.

- Fallas de tipo normal con tendencia NW-SE y NNE-SSW, que establecen los límites mayores de sub-cuenca.
- Dirección de transporte estructural generalmente al E y NEE.
- Plegamiento con tendencia general N-S afectando las secuencias de origen sedimentario.
- Presencia de cuerpos coluviales de origen tectónico de espesor variable.
- Fallas de tipo lateral dextrales con tendencia general NE y desarrollo de fallas menores que caracterizan este tipo de fallamiento.

### **2.3 GEOMORFOLOGIA**

La topografía y geoformas características del área de Gramalote corresponden a un relieve ondulado sobre las formaciones del Cretáceo y la presencia de cerros altos con grandes laderas de origen estructural-denudacional, con escarpes coincidentes con algunas de las fallas normales.

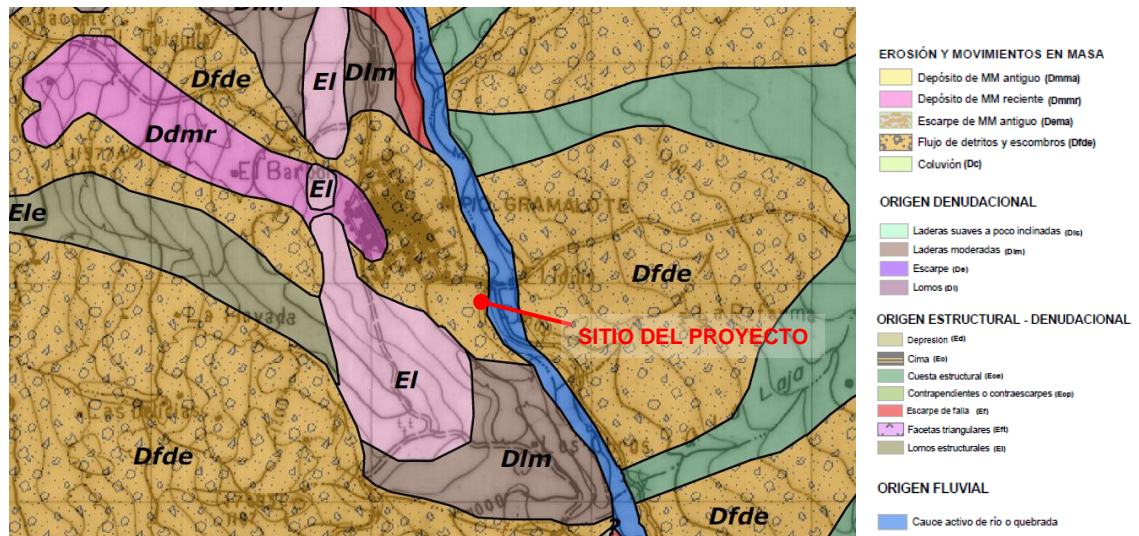
En la parte superior del sitio objeto de estudio se presenta un paisaje de colinas suaves, característico de depósitos de tipo coluvial. Estos materiales han sido sujetos a movimientos por el empuje desde las partes altas, por lo cual su clasificación actual corresponde a Flujos de detritos (Dfde) tal como se muestra en la figura 14. La parte baja de las laderas corresponde a depósitos aluviales sobre los cuales se ubica el cauce de la quebrada La Calderera.

### **2.4 GEOLOGIA DE FORMACIONES SUPERFICIALES**

Corresponde a la descripción del conjunto de materiales que conforman la parte superior del terreno y hasta unas decenas de metros por debajo de este. Estas unidades geológicas son de gran interés para el caso del estudio de deslizamientos. Sobre las unidades de roca base correspondiente a la formación

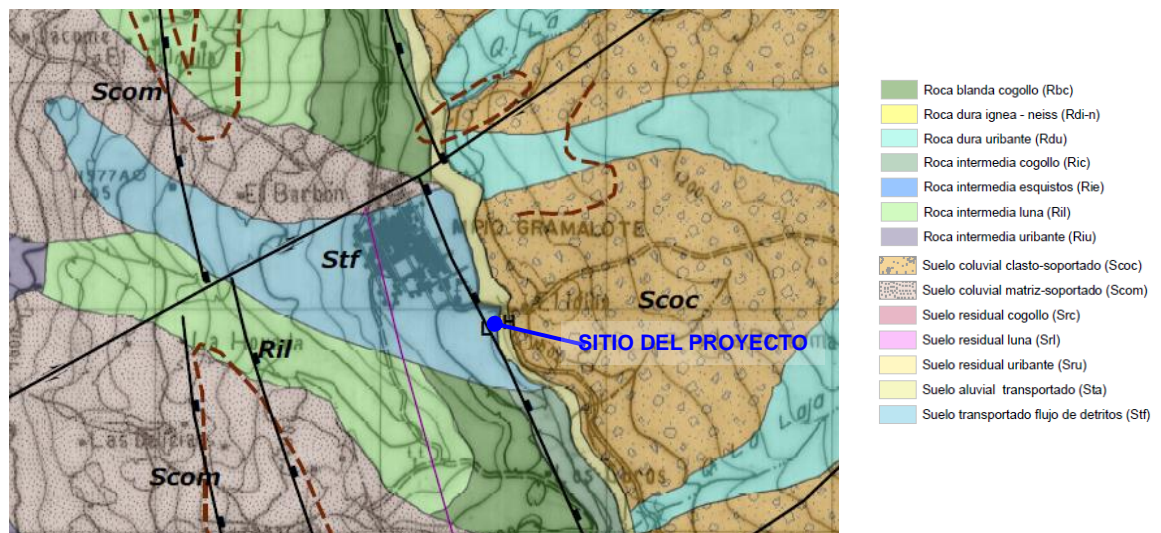
Cogollo (Kmc), se observan en el sitio suelos transportados por el flujo de detritos y suelos in-situ y macizo rocoso afectado por dichos movimientos (Stf), Figura 15.

Figura 14. Detalle mapa geomorfológico de la zona en estudio



Fuente: INGEOMINAS. Mapa de subunidades geomorfológicas de un sector del municipio de Gramalote. 2011.

Figura 15. Detalle mapa de unidades geológicas superficiales en la zona.



Fuente: INGEOMINAS. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales de un sector del municipio de Gramalote. 2011.

El suelo transportado flujo de detritos (Stf) “consiste en material de deslizamiento heterométrico de génesis variada, matriz soportado con matriz arcillosa de color pardo oscuro a gris, muy poco firme de consistencia, humedad natural muy alta, permeabilidad media alta. Los tamaños varían de clastos y bloques angulares de calizas y de areniscas de grano fino con dimensiones promedio entre 10 y 60 cm, presenta fragmentos centimétricos de lutitas negras y restos de materia orgánica y suelo negro”<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Ibíd., p. 58.

### **3. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICO-GEOTÉCNICA DEL SITIO**

Para determinar las características del sector en estudio y establecer el modelo geotécnico para el análisis de estabilidad se realizaron entre otras las siguientes actividades: levantamiento topográfico del sitio, reconocimiento geológico, toma de datos estructurales geológicos, tomografías y sondeos geoeléctricos, sondeos sísmicos de refracción y de ondas superficiales, perforaciones por percusión y rotación, medición del nivel freático, toma de muestras de suelos y rocas, ensayos de laboratorio de clasificación de suelos.

#### **3.1 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO**

Se hizo reconocimiento de campo de las unidades geológicas superficiales en el sitio del deslizamiento y en puntos aguas arriba y aguas abajo. El movimiento se encuentra ubicado sobre un talud a media ladera y en la parte baja a borde de cañada. Se presenta escarpado con pendientes empinadas entre 50 y 60%, sin afloramientos evidentes de roca; los materiales afectados constituyen suelos sueltos de un depósito coluvial. Sobre la superficie se observa desarrollo de erosión y vestigios de estructuras y árboles afectados por deslizamiento.

En el sitio de estudio se verificó la presencia de un deslizamiento que se asemeja a uno de tipo rotacional, con grietas de 5 a 60 cms de ancho en la parte superior, postes inclinados, restos de antiguas viviendas y de la vía de acceso; la cresta del deslizamiento coincide sobre la antigua vía de acceso, ver figuras 16 a 19. Este deslizamiento abarcó la mayor parte del talud, con evidencia de detritos en la parte inferior al borde de la quebrada. El término detritos es usado para definir el material desplazada producto del deslizamiento y no debe entenderse como un material en flujo tipo fluido viscoso como una avalancha.

Figura 16. Zona superior del deslizamiento.



Fuente: autor.

Figura 17. Detritos en el cuerpo y la parte inferior del deslizamiento.



Fuente: autor.

Figura 18. Árboles inclinados, Restos del pavimento.



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 2.

Figura 19. Cresta y dirección del deslizamiento.



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 2.

Los datos estructurales sobre las rocas aflorantes en los alrededores de sitio del deslizamiento y en la parte inferior de la quebrada, muestran que la estratificación presenta rumbo  $N8^{\circ}E$  con buzamiento  $21^{\circ}NW$ . Esto significa que el buzamiento es contrario a la dirección de la pendiente y el deslizamiento (SW). La tabla 1

presenta datos estructurales medidos para discontinuidades en la roca, el diaclasamiento medido es aproximadamente paralelo o perpendicular a la estratificación. La familia de diaclasas predominante presenta buzamiento contrario a la pendiente de la ladera.

Tabla 1. Datos estructurales de discontinuidades para la roca aflorante

<b>DIRECCION DE BUZAMIENTO DE DIACLASAS</b>	<b>BUZAMIENTO</b>
260	23
261	18
250	19
181	86
186	90
262	87

Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote..... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 2.

Con la información geológica recopilada y la observación de campo, se tiene la columna estratigráfica tipo para el sitio en estudio, tal como se muestra en la figura 20.

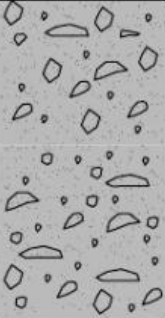
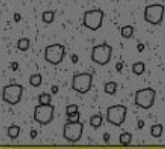
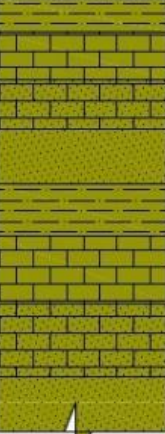
### **3.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

El levantamiento topográfico se realizó mediante una poligonal abierta y por radiación, generando una nube de puntos en toda el área de estudio. Entre las actividades del levantamiento topográfico, se tomaron los puntos donde se realizaron las tomografías geoelectricas, se hizo un levantamiento batimétrico de la quebrada la calderera, en el sitio afectado por el deslizamiento (margen derecha) se tomaron detalles del área, referenciando aquellos accidentes que pueden afectar en la estabilidad del suelo, como lo son filtraciones de aguas y agrietamientos que están marcadas en el terreno debido al fenómeno ocurrido, se

detallaron obras que intervienen en el área de estudio como postes, casas, vías y el puente. Se referenciaron los puntos donde se hicieron los sondeos geotécnicos y sísmicos para su localización en planta. La Figura 21 presenta el plano topográfico realizado.

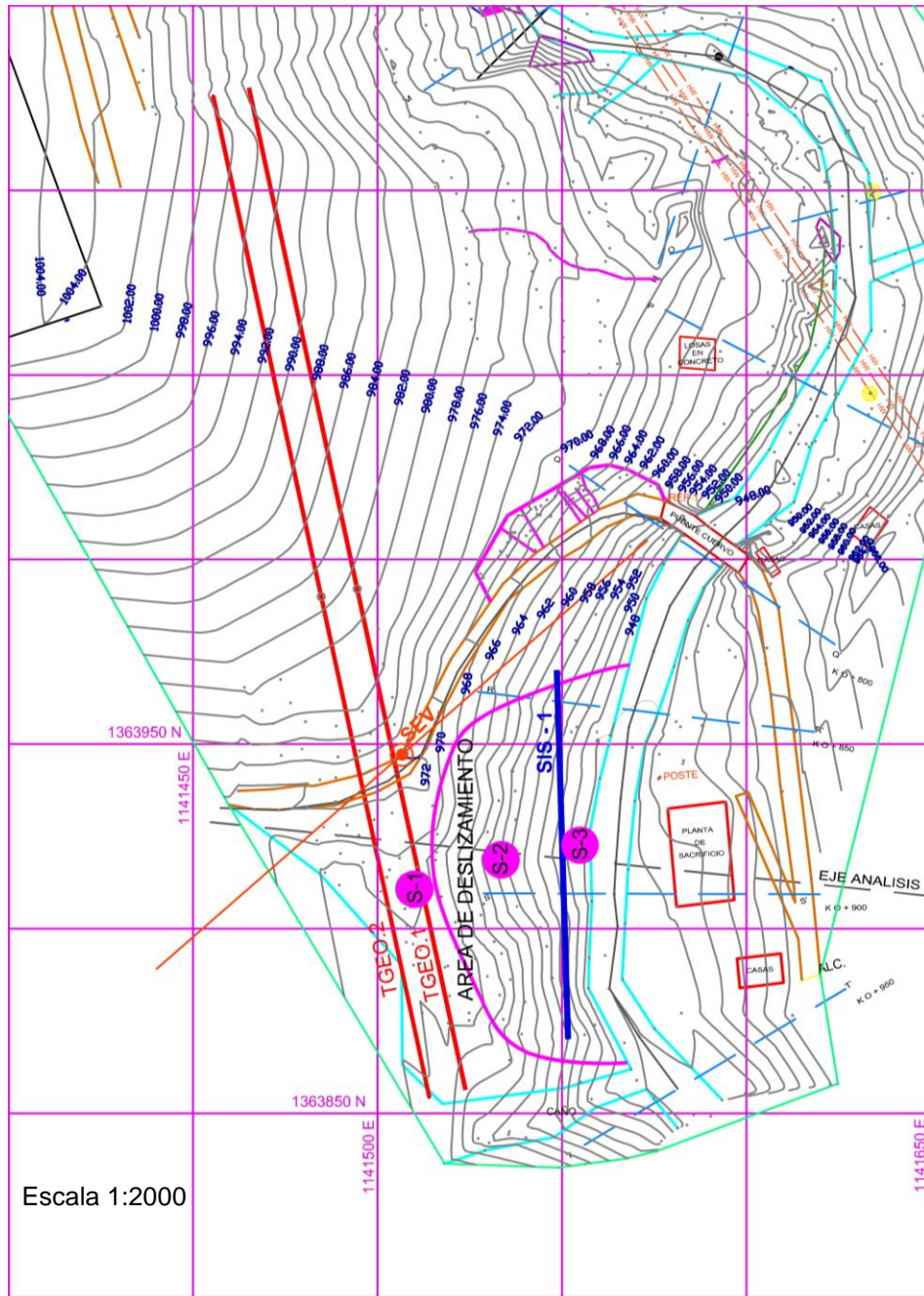
La Figura 22 muestra el perfil utilizado para el estudio, el cual corresponde al trazado en la zona central con mayor pendiente.

Figura 20. Columna estratigráfica en la zona del deslizamiento.

UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	ESPESOR (metros)	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
Depósito de Ladera ó Coluvión (Ql)	8 - 21		Coluvión constituido por arenas limosas de color marrón y gravas de calizas grises y arenosas, algunas de color negro con bloques de calizas grises oscuras y negras.  Bloques de caliza gris en una matriz arcillo arenosa y areno limosa de color marrón claro con gravas.  Material arcillo - gravoso con fragmentos de calizas arenosas, limolitas grises y areniscas de grano fino.
Depósito Aluvial (Qal)	1 - 5		Cantos redondeados de variado tamaño composición calcárea predominantemente, alto contenido de gravas y guijarros en una matriz areno-limosa
Grupo Cogollo (Kmc)	12 - >50		Secuencia de limolitas grises con calizas grises, calizas arenosas, limolitas grises oscuras, areniscas negras de grano fino. Esta secuencia presenta valores de RQD entre el 65% y el 90%.

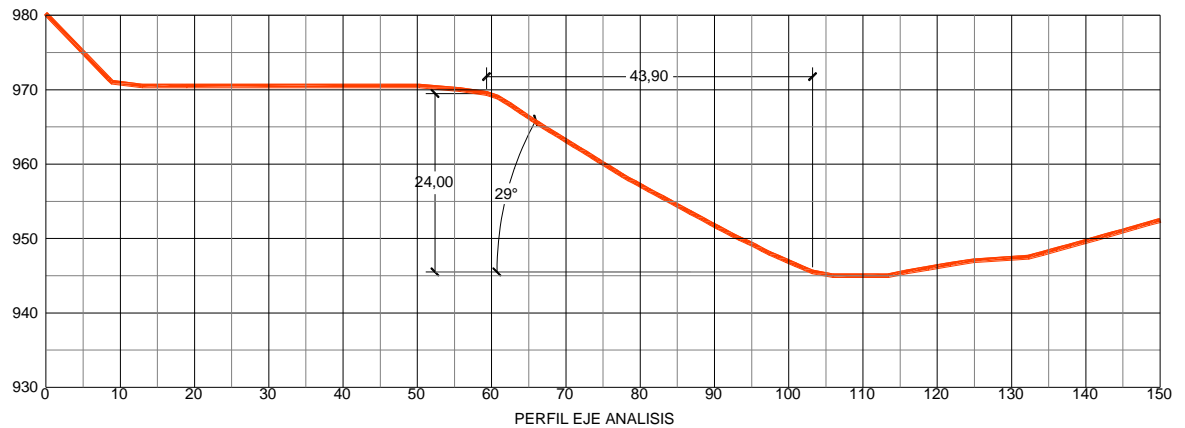
Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote..... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 2.

Figura 21. Levantamiento topográfico sitio en estudio.



Fuente: Adaptado por el autor de CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 2.

Figura 22. Perfil análisis- sector más crítico deslizamiento.



Fuente: Autor

El origen de coordenadas planas es según el Datum Magna Sirgas Bogotá, sistema de proyección cartográfica conforme a Gauss-Krüger así:

Origen: Bogotá Magna.

Latitud Origen: 4° 35' 46.32150" N.

Longitud Origen: 74° 04' 39.02850" W.

Falso Norte: 1000000.

Falso Este: 1000000.

Factor de Escala: 1.000000000.

Unidad de Medida: Metro Internacional.

Modelo Geoidal: Geocol 2004.

### 3.3 TOMOGRAFÍAS GEOELECTRICAS

Se realizaron 2 tomografías geoelectricas 2D, con el fin de caracterizar la distribución de capas en el terreno mediante el contraste de resistividades. La ubicación se estos ensayos se ha mostrado en la figura 21.

Las tomografías se ubicaron en la parte alta, en la cresta del deslizamiento. Se dispuso un arreglo para dos tomografías eléctricas 2D, paralelas y separadas 10m una de la otra para luego generar una tomografía eléctrica 3D.

La disposición de medida utilizada para cada tomografía geoelectrica fue tipo Wenner, con 56 electrodos de acero inoxidable de alta conductividad separados entre si cada 5m, con lo cual la longitud de la línea fue de 275 metros, permitiendo investigar hasta una profundidad aproximada de 70 m. La figura 23 muestra el momento en que se realizó la tomografía 1.

Figura 23. Sitio de ensayo Tomografía geoelectrica TGEO-1

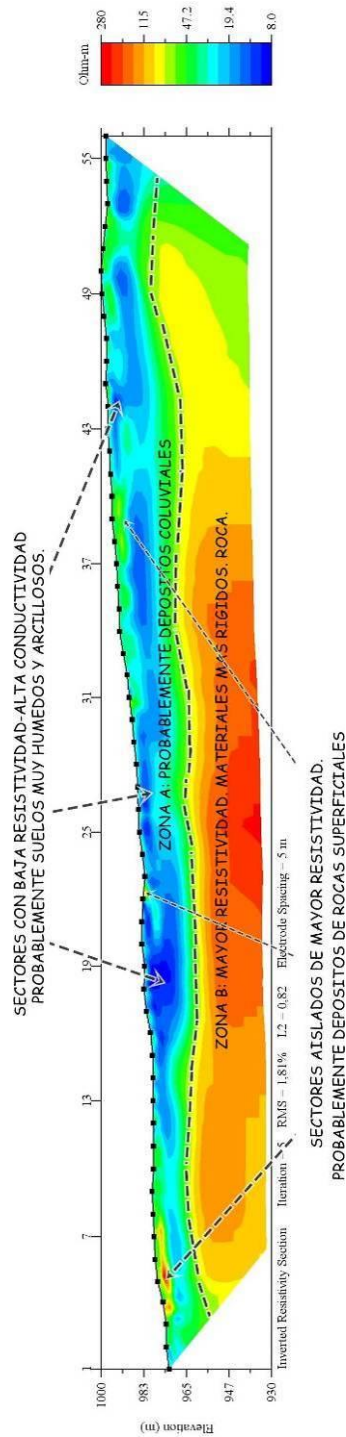


Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

Los resultados de las tomografías geoelectricas se muestran en las figuras 24 y 25.

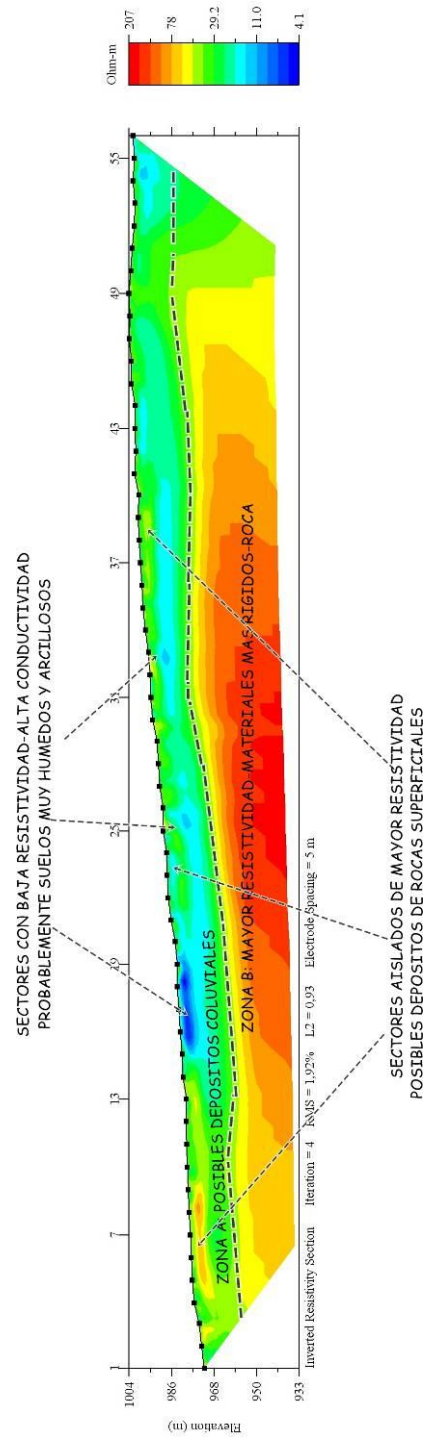
En las tomografías eléctricas para las dos secciones analizadas, se observa un contraste de impedancia en los valores de resistividad, el cual corresponde a una variación en la composición de la sección estudiada.

Figura 24. Tomografía geoelectrica TGE01.



Fuente: Adaptada por el Autor de CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

Figura 25. Tomografía geoléctrica TGeo2.



Fuente: Adaptada por el Autor de CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

La parte superior de las tomografías (Zona A de color predominante azul y verde), litológicamente está representado por un depósito cuaternario de tipo Coluvial y detritos, compuesto por bloques heterométricos de areniscas, calizas, chert y limolitas embebidos en una matriz areno-arcillosa.

Subyace la zona B (color amarillo y naranja), la cual se interpreta como el basamento cretácico compuesto de lutitas y calizas de la formación Cogollo.

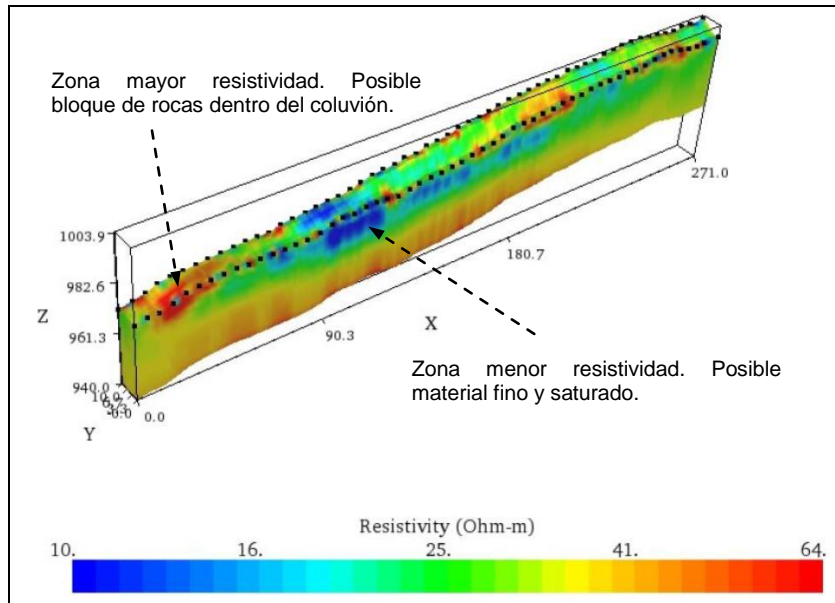
Dentro de la zona A o depósito coluvial y detritos, se presentan zonas de características muy conductivas (color azul oscuro), las cuales probablemente corresponden a zonas más húmedas. Por el contraste de resistividades este depósito podría ser sedimentos de grano más finos y saturados, matriz arcillo-arenosa del coluvión-detritos.

También en la parte superior de la zona A se observan zonas aisladas con características poco conductivas y de mayor rigidez, probablemente correspondan a sectores de materiales más gruesos y secos o rocas de menor grado de meteorización.

Estas tomografías en la zona de la cresta del deslizamiento, aproximadamente entre los electrodos 7 y 19, muestran que la Zona A conformada por posible material coluvial y detritos, tiene un espesor aproximado de 20 a 23 metros.

La figura 26 muestra la tomografía 3D, obtenida a partir de las lecturas de las dos tomografías 2D. En este caso se observa en la zona del deslizamiento, mayor contraste superficial con una zona de mayor resistividad, asociada posiblemente a un bloque de gran espesor en la zona del deslizamiento estudiado. La perforación realizada en el sitio, se correlaciona en buena forma con esta interpretación, debido a la presencia de bloques de roca de 1 a 3 metros de espesor dentro del material coluvial y de detritos.

Figura 26. Tomografía 3D sitio en estudio.



Fuente: Adaptado por el autor de CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

### 3.4 SONDEO ELECTRICO VERTICAL

Se realizó un sondeo eléctrico vertical en la parte alta de la zona de deslizamiento, sobre la vía actual, tal como se ve en la figura 27. Su ubicación se ha mostrado en la figura 21.

Para el sondeo se utiliza un arreglo tipo Schlumberger, con lecturas secuenciales para electrodos dispuestos en separaciones que aumentan logarítmicamente, hasta una separación máxima de 180 metros (distancia AB/2). Las separaciones utilizadas y las lecturas realizadas se muestran en la tabla 2.

La figura 28 presenta la curva de resistividad y el modelo de capas que responde a estos resultados, obtenida a través del procesamiento de datos con el software de inversión y modelización AGI EarthImager 1D.

Figura 27. Sondeo electrico vertical – SEV.



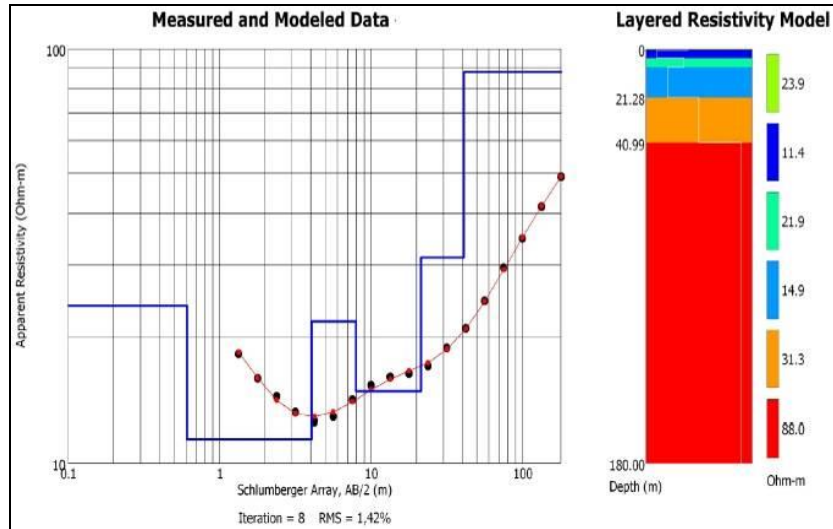
Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

Tabla 2. Resistividades Aparentes-Sondeo Eléctrico Vertical SEV

<b>AB/2 (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>Resistencia (Ohm)</b>	<b>Resistividad (Ohm – m)</b>
1,33	5,62	3,254448399	18,29
1,78	10,62	1,501412429	15,95
2,37	19,36	0,744834711	14,42
3,16	34,95	0,378082976	13,21
4,22	62,88	0,200015903	12,58
5,63	112,06	0,115000892	12,89
7,50	200,12	0,070687587	14,15
10,00	356,30	0,043056413	15,34
13,34	634,60	0,025319887	16,07
17,78	1127,88	0,014523708	16,38
23,71	2006,23	0,008519462	17,09
31,62	255,52	0,073955072	18,90
42,17	461,74	0,045599255	21,06
56,23	828,21	0,029667596	24,57
74,99	1480,29	0,019978518	29,57
100,00	2637,50	0,01318673	34,78
133,33	4699,60	0,00883905	41,54
180,00	1047,60	0,04681387	49,04

Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

Figura 28. Curva Sondeo Electrico Vertical - SEV



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote..... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

La tabla 3 muestra la interpretación realizada para el modelo de capas con base en la información geológica y de reconocimiento de campo que se tiene para el deslizamiento.

Tabla 3. Perfil del terreno a partir de resultados del SEV

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm – m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.60	I	24	Suelo areno-arcilloso con fragmentos.
0.60 - 4.00	II	11	Depósito coluvial areno-arcilloso con fragmentos heterométricos de calizas, areniscas, chert y limolitas. Saturado a la base.
4.00 - 8.00	III	22	Depósito coluvial areno-arcilloso con fragmentos heterométricos de calizas, areniscas, chert y limolitas. Húmedo.
8.00 - 21.28	IV	15	Depósito coluvial areno-arcilloso con fragmentos heterométricos de calizas, areniscas, chert y limolitas. Húmedo.
21.28 - 40.99	V	31	Basamento Cretácico fracturado correlacionable con la Formación Cogollo. Húmedo.
40.99 - 180.00	VI	88	Basamento Cretácico fracturado correlacionable con la Formación Cogollo. Húmedo.

Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3A.

El sondeo muestra que el espesor de materiales asociado con los coluviones y detritos tiene un espesor aproximado de 22 metros (Unidades Geoelectricas I a V).

### 3.5 ENSAYOS REFRACCION SISMICA

Se ubicó una línea de refracción sísmica en la parte baja del deslizamiento. La exploración se realizó mediante el tendido de 24 geófonos, espaciados cada 3.0m, para una longitud de línea de 69.0 m. La figura 29 muestra el sitio estudiado. La ubicación del ensayo se muestra en la figura 21.

Figura 29. Línea de refracción sísmica – SIS1

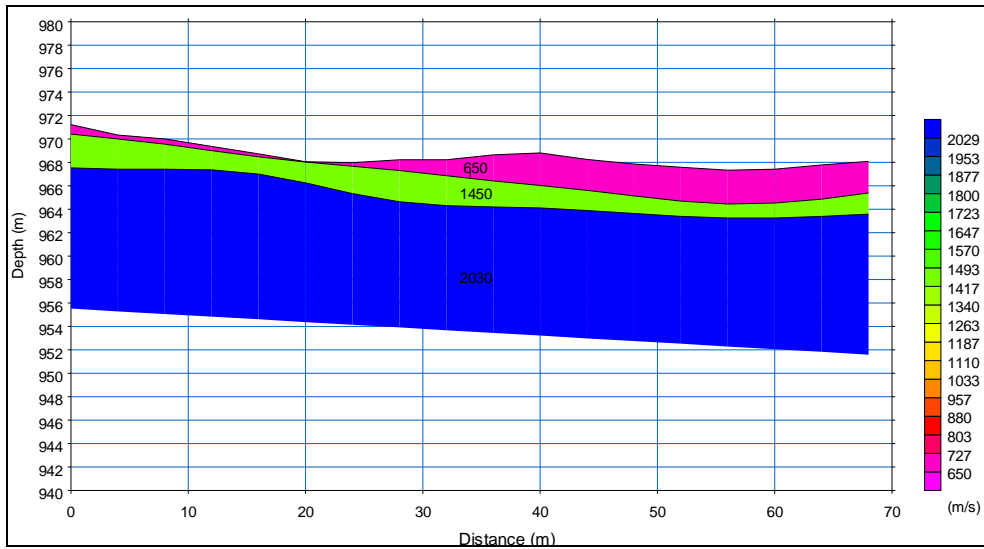


Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3B.

El procesamiento de resultados muestra un modelo tricapa representado en la figura 30. Utilizando un modelo tipo tomografía se presentan los resultados en la figura 31.

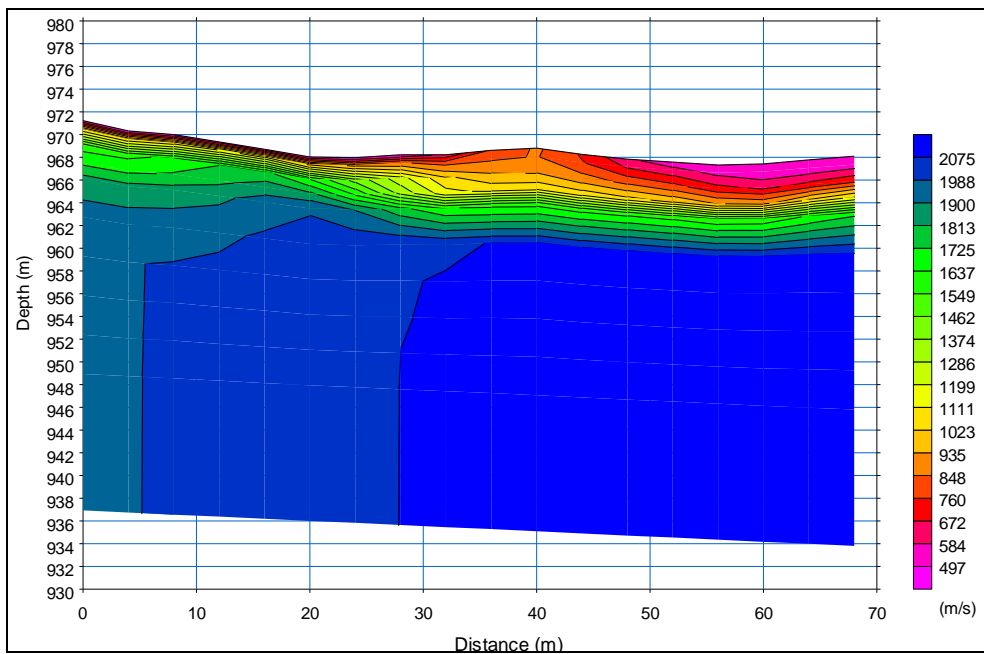
El ensayo de medición de ondas superficiales (MASW) fue realizado utilizando la misma línea sísmica. La interpretación de los resultados del ensayo se presenta en la figura 32.

Figura 30. Modelo tricapa - Línea refracción sísmica



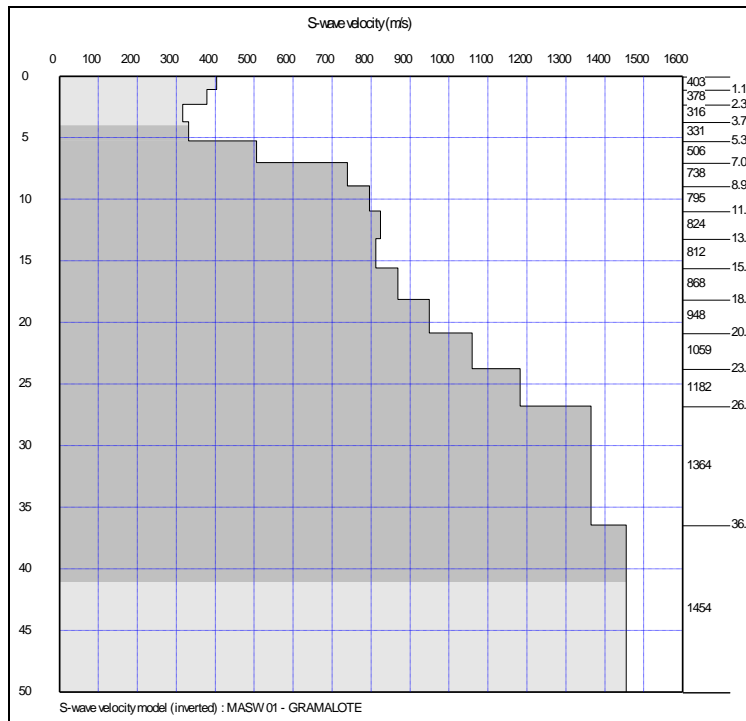
Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3B.

Figura 31. Modelo tomografía – Línea refracción sísmica



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3B.

Figura 32. Resultados Ensayo Medición ondas superficiales -MASW



Fuente: CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 3B.

En los resultados de la línea de refracción sísmica se observa un modelo tricapa. La primera capa con valores de onda compresional  $V_p$  de 650 m/s, se podría correlacionar con los depósitos de ladera, la cual presenta un espesor variable entre 1.0 y 3.0m.

Subyacente se observa una capa con valores de velocidad de onda compresional  $V_p$  de 1450 m/s, que puede correlacionarse con rocas blandas, la cual alcanza profundidades variables entre 4.0 y 5.0m. A profundidades superiores a los 5.0m se encuentra una capa con valores de velocidad de onda compresional  $V_p$  de 2030 m/s, que podría correlacionarse con rocas intermedias.

Mediante el ensayo de medición de ondas (MASW), se pudo establecer con mayor precisión el perfil estratigráfico del sitio en la parte central del arreglo. Se

observa una variación de valores de velocidad de onda de corte  $V_s$ , con un contraste marcado a partir de 5 a 7 m, variando rápidamente de 300 m/s en las capas superficiales por encima de 5 metros, a 700 m/s en las capas por debajo de 7 metros. Para las capas inferiores el cambio es más uniforme, alcanzando a profundidades superiores a los 26.0m valores de 1182.0 m/s para la velocidad de onda de corte  $V_s$ , lo cual corresponde a un perfil de suelo B (perfil de roca de rigidez media) de acuerdo a NSR-10.

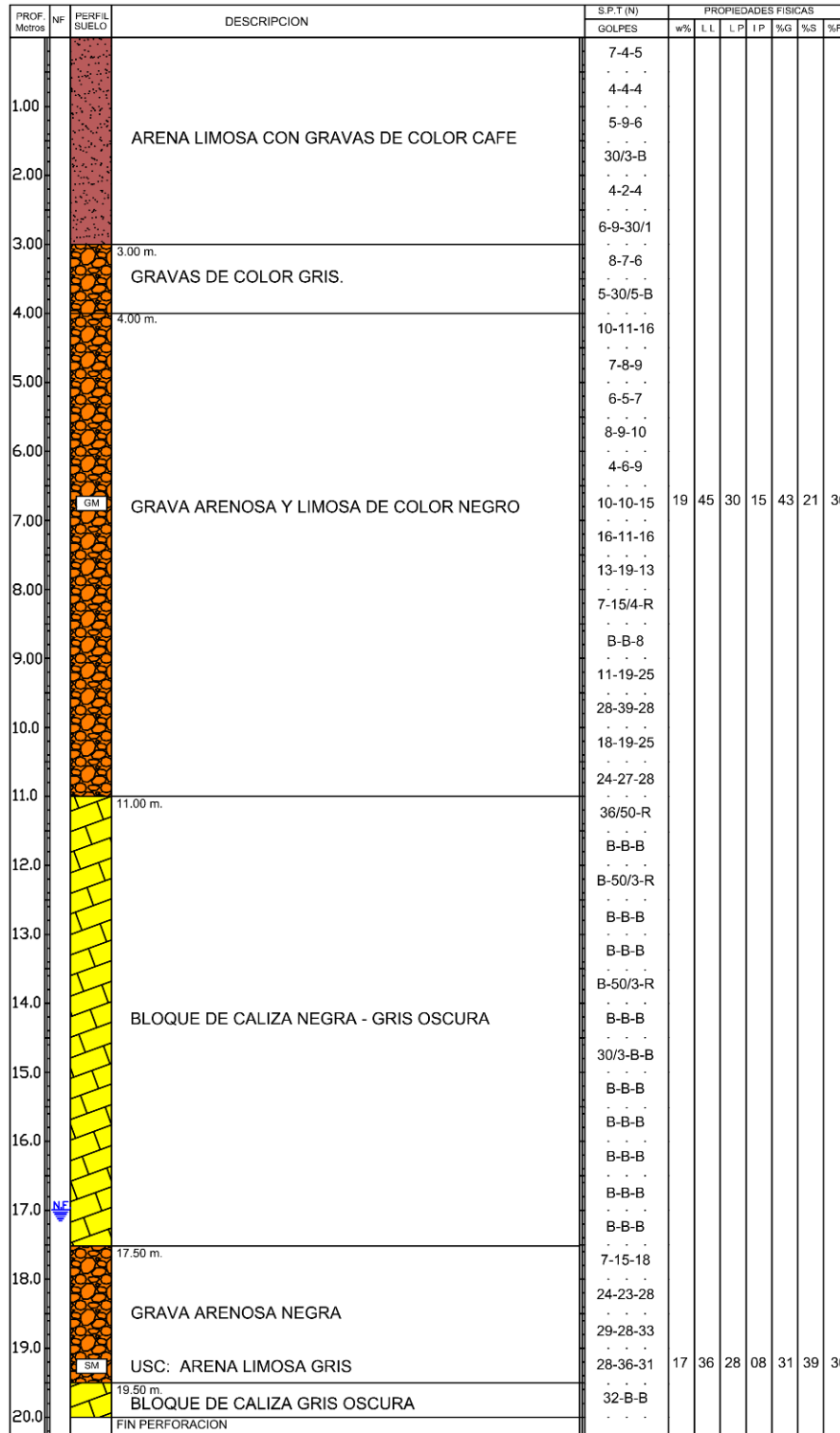
### **3.6 PERFORACIONES**

Se hicieron 3 perforaciones en la zona del deslizamiento. La primera (S-1) se ubicó en la parte alta del deslizamiento, la segunda (S-2) a mitad de la ladera y la tercera (S-3) en la parte baja. En la figura 21 ha mostrado la ubicación de estos sondeos. La profundidad de las perforaciones fue de 20 metros. Las perforaciones se avanzaron por percusión, haciendo pruebas SPT y recuperando muestras del suelo con penetrómetro; en el caso de rechazo se utiliza rotación y toma de muestras con barrena. Sobre las muestras recuperadas se hizo la descripción de campo y ensayos de laboratorio de humedad y clasificación de suelos. Las figuras 33, 34 y 35 presentan el perfil obtenido en las perforaciones y resumen de resultados básicos realizado sobre las muestras de suelo.

En el anexo A se presenta la información del registro de perforación y fotografías del sitio y muestras obtenidas. En el anexo B se presentan los resultados de ensayos de laboratorio realizados.

El nivel freático se encontró a 17 metros para la perforación S-1, a 9.7 metros para la perforación S-2 y a 3.0 metros para la perforación S-3.

Figura 33. Perforación S1



Fuente: Autor



Figura 35. Perforación S3

PROF. Metros	NF	PERFIL SUELO	DESCRIPCION	S.P.T (N)		PROPIEDADES FISICAS										
				GOLPES		w %	LL	LP	IP	% G	% S	% F				
1.00		GM		5-3-2												
				2-3-2	16	45	27	18	27	24	49					
				4-5-4												
2.00			USC: MEZCLA DE GRAVAS-ARENAS-LIMOS COLOR GRIS..	4-4-4												
			DESCRIPCION CAMPO:	2-3-3												
			ARCILLA CON GRAVAS COLOR GRIS- OXIDADA.	3-4-6												
3.00				2-10-R												
			3.30 m.	B-B-B												
4.00			BLOQUE DE CALIZA GRIS CLARO. MUY FRACTURADA.	B-B-B												
				B-B-B												
				1-2-3	41	42	29	13	00	30	70					
5.00		ML		6-8-10												
			LIMO ARENOSO GRIS VERDOSO CON ALGUNAS GRAVAS.	8-6-10												
6.00				20-11-12												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
7.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
8.00			BLOQUE CALIZA GRIS CLARO	B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
9.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
10.00			LIMOLITAS GRISES	B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
11.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
12.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
13.00			CALIZA GRIS CLARO	B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
14.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
15.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
16.00			LIMOLITA GRIS OSCURA	B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
17.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
18.00			ARENISCA GRIS OSCURO Y NEGRA.	B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
19.00				B-B-B												
				B-B-B												
				B-B-B												
20.00			FIN PERFORACION	B-B-B												

Fuente: Autor

Las perforaciones muestran la presencia en las capas superficiales de materiales de tipo coluvial, con presencia de bloques de caliza y limolita color gris embebidos en matriz arcillosa-limosa y arenosa. En la perforación 3 es evidente que el espesor de la capa de suelos superficiales es de 6.5 metros, con mantos rocosos de la formación cogollo (Kmc) por debajo de este nivel y hasta la profundidad explorada. En las perforaciones 2 y 3 se encontró que el espesor de la capa superficial de suelo coluvial tiene un espesor mayor de 18 a 20 metros, consistente con los resultados de la exploración geofísica.

### **3.7 ANALISIS RESULTADOS CAMPO Y LABORATORIO**

La capa superficial está conformada por un depósito coluvial, con fragmentos y bloques de rocas tipo arenisca, caliza y limonitas de tamaño variable. En las perforaciones se ha avanzado dentro de bloques de 1 a 3 metros de espesor.

La matriz en la cual se encuentran embebidos los bloques es de tipo limo-arcillosa y arenosa, de media a baja plasticidad (límite líquido 36 a 45%, límite plástico 27 a 30%, índice de plasticidad 8 a 15%), el contenido de finos es variable entre 57 a 70% para los suelos finos y del 30 a 49% para los granulares. La clasificación de estos suelos coincide con la naturaleza heterogénea asociada con su formación, con materiales del tipo ML (limos mediana plasticidad) para la fracción de suelos finos y SM o GM (arenas y gravas limosas) para la fracción gruesa. La humedad natural es variable dependiendo de la presencia de agua freática. Para los suelos gruesos es de 16 a 19% y para los finos es de 20 a 41%, siendo el valor mas alto el de la muestra del sondeo 3, correspondiente a suelo fino en contacto sobre la roca base. Este valor está en el rango del límite líquido, dando indicios de la condición desfavorable de este suelo en cuanto a resistencia y deformabilidad para soportar las cargas del deslizamiento.

Los valores de N obtenidos en la prueba de penetración estándar, se corrigieron utilizando valores estandarizados en la práctica geotécnica. Siguiendo las recomendaciones de Gonzalez<sup>3</sup> se utilizó la correlación de Kishida para estimar el ángulo de fricción. Las tablas 4, 5 y 6 presentan los valores de ángulo de fricción obtenido.

Las figuras 36, 37 y 38 representan la variación de N y el ángulo de fricción con la profundidad para cada perforación. Las discontinuidades en las gráficas corresponden a los sitios donde se utilizó barrena para avanzar en roca.

Los valores de ángulo de fricción más bajos se encuentran en el rango de 24 a 27° y corresponde a las capas de suelos con matriz limosa y arcillosa. En las capas granulares el valor es mayor de 30° a 35°.

La naturaleza heterogénea de los suelos no permitió obtener muestras con tubo Shelby para ensayos de resistencia sobre muestras inalteradas. Sin embargo en el informe de la firma CH&Q<sup>4</sup> se presentan dos ensayos de corte directo sobre muestras obtenidas de las muestras recuperadas con SPT. Sobre la muestra granular del S1-M15 a profundidad de 18.5 metros se obtuvo en el ensayo un valor de fricción ( $\phi$ ) de 48.2° y cohesión de 0.21 kg/cm<sup>2</sup>. Sobre la muestra limosa del S3-M3 a una profundidad de 3.0 metros se obtuvo un ángulo de fricción ( $\phi$ ) de 4° y cohesión de 0.91 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados de estos ensayos se presentan en el anexo B. Debido a la no representatividad de las muestras usadas para la realización de este ensayo, estos valores no son tomados en cuenta para este trabajo.

---

<sup>3</sup> GONZALEZ, ALVARO. J. Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X jornadas geotécnicas de la Ingeniería Colombia. SCI-SCG. Bogotá. 1999.

<sup>4</sup> CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote.... Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. Tomo 4B.

Tabla 4. Perforación S1: Valores estimados del ángulo de fricción

Prof. (m)	Prof. (m)	LECTURA (golpes / 6")			N golpes/pie N2+N3	NF	CORRECCION					N <sub>45</sub>	esfuerzo efectivo $\sigma'$ kPa	Correccion profundidad C <sub>N</sub> (Liao y Whitman)	(N <sub>1</sub> ) <sub>45</sub>	$\phi'$ Kishida
		N1/N2/N3	NF N"	Diámetro perforacio C <sub>B</sub>			Energía CE (ER/45)	Liner C <sub>S</sub>	Longitud de varillas C <sub>R</sub>							
0.00 - 0.50	0.25	7	4	5	9	no	9	1	1.00	1	0.75	7	4.25	1.700	12	27.2
0.50 - 1.00	0.75	4	4	4	8	no	8	1	1.00	1	0.75	6	12.75	1.700	10	26.2
1.00 - 1.50	1.25	5	9	6	15	no	15	1	1.00	1	0.75	11	21.25	1.700	19	30.4
1.50 - 2.00	1.75	30/3"	B	B		no		1	1.00	1	0.85		29.75	1.700		
2.00 - 2.50	2.25	4	2	4	6	no	6	1	1.00	1	0.85	5	38.25	1.617	8	25.0
2.50 - 3.00	2.75	6	9	30/1"		no		1	1.00	1	0.95		46.75	1.463		
3.00 - 3.50	3.25	8	7	6	13	no	13	1	1.00	1	0.95	12	55.25	1.345	16	29.1
3.50 - 4.00	3.75	5	30/5"	B		no		1	1.00	1	0.95		63.75	1.252		
4.00 - 4.50	4.25	10	11	16	27	no	27	1	1.00	1	0.95	26	72.25	1.176	31	34.7
4.50 - 5.00	4.75	7	8	9	17	no	17	1	1.00	1	1	17	80.75	1.113	19	30.4
5.00 - 5.50	5.25	6	5	7	12	no	12	1	1.00	1	1	12	89.25	1.059	13	27.7
5.50 - 6.00	5.75	8	9	10	19	no	19	1	1.00	1	1	19	97.75	1.011	19	30.4
6.00 - 6.50	6.25	4	6	9	15	no	15	1	1.00	1	1	15	106.25	0.970	15	28.7
6.50 - 7.00	6.75	10	10	15	25	no	25	1	1.00	1	1	25	114.75	0.934	23	32.0
7.00 - 7.50	7.25	16	11	16	27	no	27	1	1.00	1	1	27	123.25	0.901	24	32.3
7.50 - 8.00	7.75	13	19	13	32	no	32	1	1.00	1	1	32	131.75	0.871	28	33.7
8.00 - 8.50	8.25	7	15/4"	R		no		1	1.00	1	1		140.25	0.844		
8.50 - 9.00	8.75	B	B	9		no		1	1.00	1	1		148.75	0.820		
9.00 - 9.50	9.25	11	19	25	44	no	44	1	1.00	1	1	44	157.25	0.797	35	35.9
9.50 - 10.00	9.75	28	39	28	67	no	67	1	1.00	1	1	67	165.75	0.777	52	40.5
10.00 - 10.50	10.25	18	19	25	44	no	44	1	1.00	1	1	44	174.25	0.758	33	35.3
10.50 - 11.00	10.75	24	27	28	55	no	55	1	1.00	1	1	55	182.75	0.740	41	37.6
11.00 - 11.50	11.25	36	50/3"	B		no		1	1.00	1	1		191.25	0.723		
11.50 - 12.00	11.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		199.75	0.708		
12.00 - 12.50	12.25	B	50/3"	R		no		1	1.00	1	1		208.25	0.693		
12.50 - 13.00	12.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		216.75	0.679		
13.00 - 13.50	13.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		225.25	0.666		
13.50 - 14.00	13.75	B	50/3"	R		no		1	1.00	1	1		233.75	0.654		
14.00 - 14.50	14.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		242.25	0.642		
14.50 - 15.00	14.75	30/3"	NR	NR		no		1	1.00	1	1		250.75	0.632		
15.00 - 15.50	15.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		259.25	0.621		
15.50 - 16.00	15.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		267.75	0.611		
16.00 - 16.50	16.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		276.25	0.602		
16.50 - 17.00	16.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		284.75	0.593		
17.00 - 17.50	17.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		293.25	0.584		
17.50 - 18.00	17.75	7	15	18	33	si	24	1	1.00	1	1	24	294.8925	0.582	14	28.2
18.00 - 18.50	18.25	24	23	28	51	si	33	1	1.00	1	1	33	298.9875	0.578	19	30.4
18.50 - 19.00	18.75	29	28	33	61	si	38	1	1.00	1	1	38	303.0825	0.574	22	31.6
19.00 - 19.50	19.25	28	36	31	67	si	41	1	1.00	1	1	41	307.1775	0.571	23	32.0
19.50 - 20.00	19.75	32	B	B		si		1	1.00	1	1		311.2725	0.567		

Fuente: Autor

Tabla 5. Perforación S2: Valores estimados del ángulo de fricción

Prof. (m)	Prof. (m)	LECTURA (golpes / 6") N1/N2/N3			N golpes/pie N2+N3	NF	CORRECCION					N <sub>45</sub>	esfuerzo efectivo σ' kPa	Correccion profundidad C <sub>v</sub> (Liao y Whitman)	(N <sub>1</sub> ) <sub>45</sub>	φ' Kishida
		N1	N2	N3			NF N"	Diámetro perforacio C <sub>B</sub>	Energía CE (ER/45)	Liner C <sub>s</sub>	Longitud de varillas C <sub>R</sub>					
0.00 - 0.50	0.25	4	4	4	8	no	8	1	1.00	1	0.75	6	4.25	1.700	10	26.2
0.50 - 1.00	0.75	3	5	5	10	no	10	1	1.00	1	0.75	8	12.75	1.700	14	28.2
1.00 - 1.50	1.25	4	5	6	11	no	11	1	1.00	1	0.75	8	21.25	1.700	14	28.2
1.50 - 2.00	1.75	8	13	15	28	no	28	1	1.00	1	0.85	24	29.75	1.700	41	37.6
2.00 - 2.50	2.25	5	5	6	11	no	11	1	1.00	1	0.85	9	38.25	1.617	15	28.7
2.50 - 3.00	2.75	9	9	9	18	no	18	1	1.00	1	0.95	17	46.75	1.463	25	32.7
3.00 - 3.50	3.25	30	29	17	46	no	46	1	1.00	1	0.95	44	55.25	1.345	59	42.2
3.50 - 4.00	3.75	29	50/3"	B		no		1	1.00	1	0.95		63.75	1.252		
4.00 - 4.50	4.25	B	B	B		no		1	1.00	1	0.95		72.25	1.176		
4.50 - 5.00	4.75	30/2"	B	B		no		1	1.00	1	1		80.75	1.113		
5.00 - 5.50	5.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		89.25	1.059		
5.50 - 6.00	5.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		97.75	1.011		
6.00 - 6.50	6.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		106.25	0.970		
6.50 - 7.00	6.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		114.75	0.934		
7.00 - 7.50	7.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		123.25	0.901		
7.50 - 8.00	7.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		131.75	0.871		
8.00 - 8.50	8.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		140.25	0.844		
8.50 - 9.00	8.75	B	B	B		no		1	1.00	1	1		148.75	0.820		
9.00 - 9.50	9.25	B	B	B		no		1	1.00	1	1		157.25	0.797		
9.50 - 10.00	9.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		165.76	0.777		
10.00 - 10.50	10.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		169.8545	0.767		
10.50 - 11.00	10.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		173.9495	0.758		
11.00 - 11.50	11.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		178.0445	0.749		
11.50 - 12.00	11.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		182.1395	0.741		
12.00 - 12.50	12.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		186.2345	0.733		
12.50 - 13.00	12.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		190.3295	0.725		
13.00 - 13.50	13.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		194.4245	0.717		
13.50 - 14.00	13.75	15	20	22	42	si	29	1	1.00	1	1	29	198.5195	0.710	21	31.2
14.00 - 14.50	14.25	28	41	56	97	si	56	1	1.00	1	1	56	202.6145	0.703	39	37.1
14.50 - 15.00	14.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		206.7095	0.696		
15.00 - 15.50	15.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		210.8045	0.689		
15.50 - 16.00	15.75	28	35	45	80	si	48	1	1.00	1	1	48	214.8995	0.682	33	35.3
16.00 - 16.50	16.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		218.9945	0.676		
16.50 - 17.00	16.75	11	14	19	33	si	24	1	1.00	1	1	24	223.0895	0.670	16	29.1
17.00 - 17.50	17.25	21	24	25	49	si	32	1	1.00	1	1	32	227.1845	0.663	21	31.2
17.50 - 18.00	17.75	18	12	24	36	si	26	1	1.00	1	1	26	231.2795	0.658	17	29.6
18.00 - 18.50	18.25	40/2"	10	20	30	si	23	1	1.00	1	1	23	235.3745	0.652	15	28.7
18.50 - 19.00	18.75	30	R	R		si		1	1.00	1	1		239.4695	0.646		
19.00 - 19.50	19.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		243.5645	0.641		
19.50 - 20.00	19.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		247.6595	0.635		

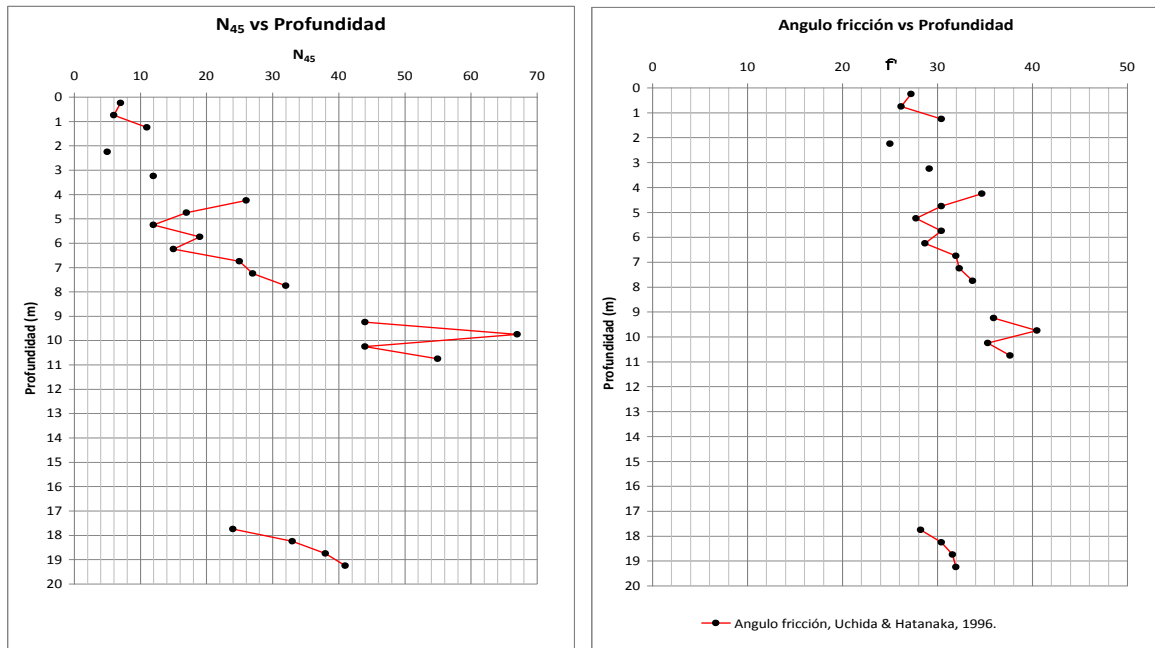
Fuente: Autor

Tabla 6. Perforación S3: Valores estimados del ángulo de fricción

Prof. (m)	Prof. (m)	LECTURA (golpes / 6") N1/N2/N3			N golpes/pie N2+N3	NF	CORRECCION					N <sub>45</sub>	esfuerzo efectivo σ' kPa	Correccion profundidad C <sub>N</sub> (Liao y Whitman)	(N <sub>1</sub> ) <sub>45</sub>	φ' Kishida
							NF N"	Diámetro perforación C <sub>B</sub>	Energía CE (ER/45)	Liner C <sub>s</sub>	Longitud de varillas C <sub>R</sub>					
0.00 - 0.50	0.25	5	3	2	5	no	5	1	1.00	1	0.75	4	4.25	1.700	7	24.4
0.50 - 1.00	0.75	2	3	2	5	no	5	1	1.00	1	0.75	4	12.75	1.700	7	24.4
1.00 - 1.50	1.25	4	5	4	9	no	9	1	1.00	1	0.75	7	21.25	1.700	12	27.2
1.50 - 2.00	1.75	4	4	4	8	no	8	1	1.00	1	0.85	7	29.75	1.700	12	27.2
2.00 - 2.50	2.25	3	3	6	9	no	9	1	1.00	1	0.85	8	38.25	1.617	13	27.7
2.50 - 3.00	2.75	3	4	6	10	no	10	1	1.00	1	0.95	10	46.75	1.463	15	28.7
3.00 - 3.50	3.25	2	10	R		si		1	1.00	1	0.95		53.2975	1.370		
3.50 - 4.00	3.75	B	B	B		si		1	1.00	1	0.95		57.3925	1.320		
4.00 - 4.50	4.25	B	B	B		si		1	1.00	1	0.95		61.4875	1.275		
4.50 - 5.00	4.75	1	2	3	5	si	10	1	1.00	1	1	10	65.5825	1.235	12	27.2
5.00 - 5.50	5.25	5	8	10	18	si	17	1	1.00	1	1	17	69.6775	1.198	20	30.8
5.50 - 6.00	5.75	8	6	10	16	si	16	1	1.00	1	1	16	73.7725	1.164	19	30.4
6.00 - 6.50	6.25	20	11	12	23	si	19	1	1.00	1	1	19	77.8675	1.133	22	31.6
6.50 - 7.00	6.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		81.9625	1.105		
7.00 - 7.50	7.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		86.0575	1.078		
7.50 - 8.00	7.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		90.1525	1.053		
8.00 - 8.50	8.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		94.2475	1.030		
8.50 - 9.00	8.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		98.3425	1.008		
9.00 - 9.50	9.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		102.4375	0.988		
9.50 - 10.00	9.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		106.5325	0.969		
10.00 - 10.50	10.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		110.6275	0.951		
10.50 - 11.00	10.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		114.7225	0.934		
11.00 - 11.50	11.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		118.8175	0.917		
11.50 - 12.00	11.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		122.9125	0.902		
12.00 - 12.50	12.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		127.0075	0.887		
12.50 - 13.00	12.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		131.1025	0.873		
13.00 - 13.50	13.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		135.1975	0.860		
13.50 - 14.00	13.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		139.2925	0.847		
14.00 - 14.50	14.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		143.3875	0.835		
14.50 - 15.00	14.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		147.4825	0.823		
15.00 - 15.50	15.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		151.5775	0.812		
15.50 - 16.00	15.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		155.6725	0.801		
16.00 - 16.50	16.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		159.7675	0.791		
16.50 - 17.00	16.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		163.8625	0.781		
17.00 - 17.50	17.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		167.9575	0.772		
17.50 - 18.00	17.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		172.0525	0.762		
18.00 - 18.50	18.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		176.1475	0.753		
18.50 - 19.00	18.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		180.2425	0.745		
19.00 - 19.50	19.25	B	B	B		si		1	1.00	1	1		184.3375	0.737		
19.50 - 20.00	19.75	B	B	B		si		1	1.00	1	1		188.4325	0.728		

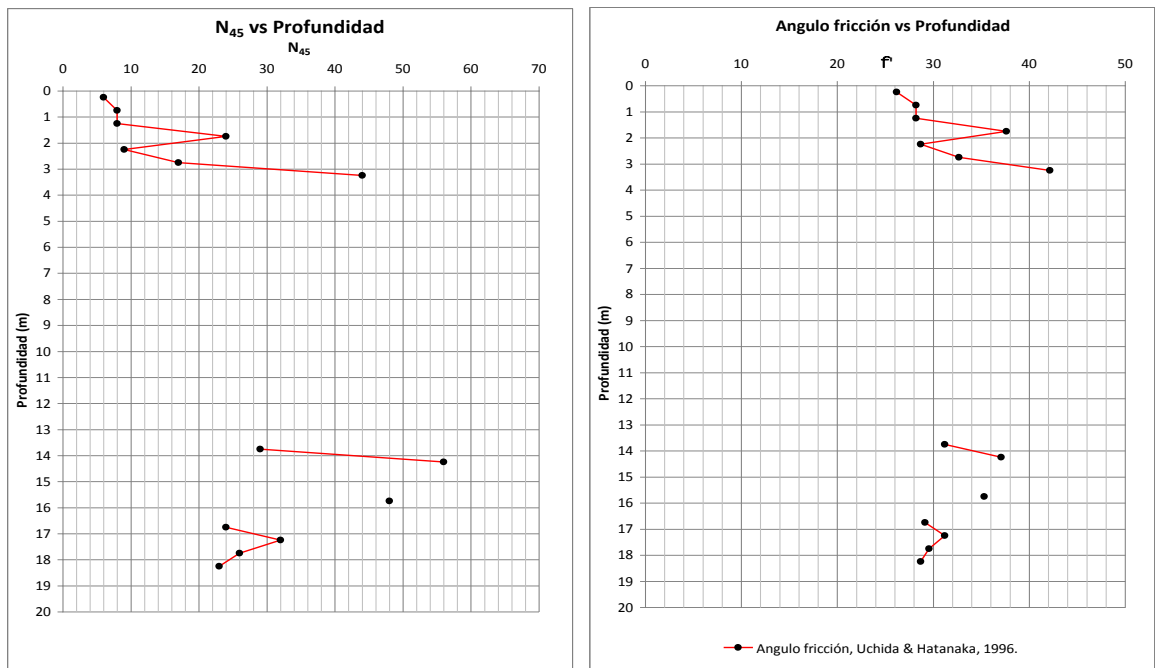
Fuente: Autor

Figura 36. Perforación S1: variación N y ángulo de fricción.



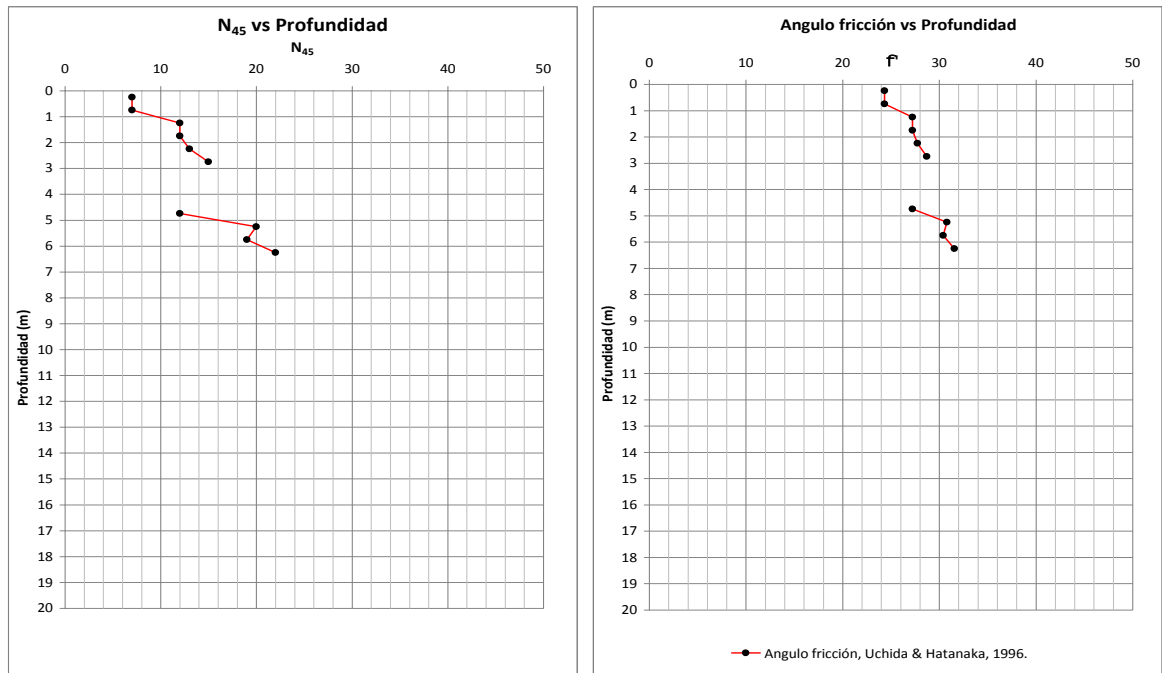
Fuente: Autor

Figura 37. Perforación S2: variación N y ángulo de fricción.



Fuente: Autor

Figura 38. Perforación S3: variación N y ángulo de fricción.



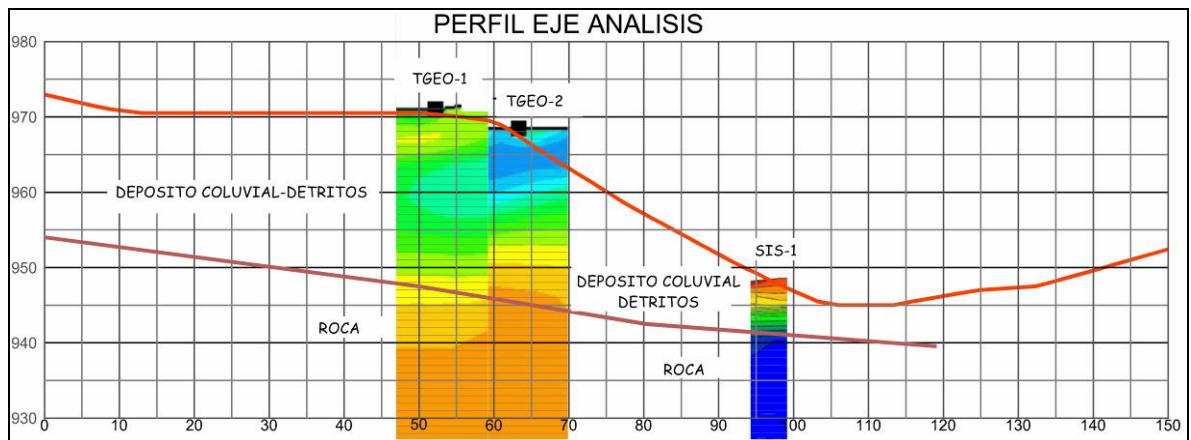
Fuente: Autor

## 4. MODELO GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO

### 4.1 ESTRATIGRAFIA

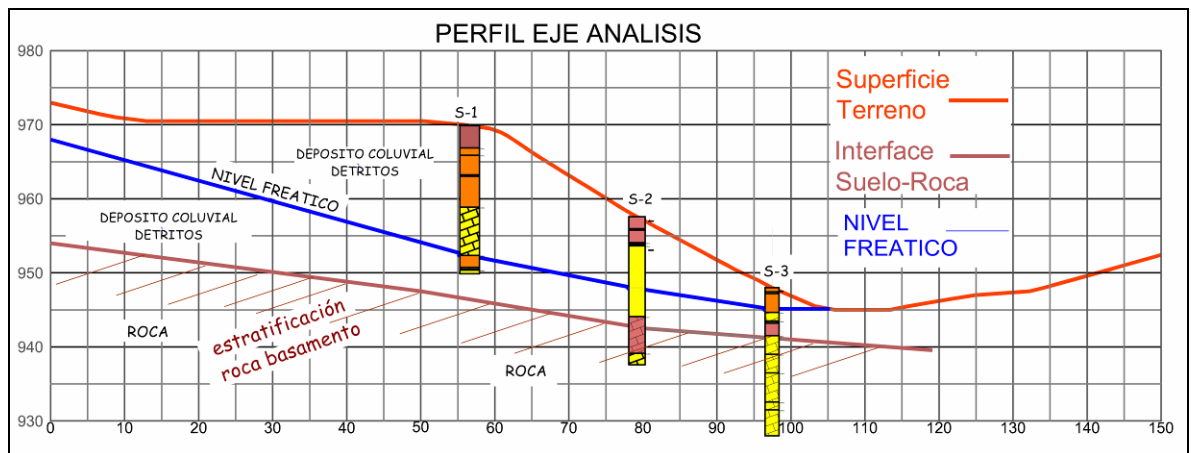
Con base en la información topográfica y la información terreno obtenida en los sondeos geoelectrónicos, sísmicos y las perforaciones, se elaboró el perfil de las capas que componen la ladera estudiada, mostrado en las figuras 39 y 40.

Figura 39. Estratigrafía y sondeos geofísicos



Fuente: Autor

Figura 40. Estratigrafía y Perforaciones



Fuente: Autor

La información disponible, permite inferir un espesor de 23 metros para la masa coluvial o detritos para la parte superior del deslizamiento, donde se hicieron los sondeos y tomografías geoeléctricas. Dentro del alcance del contrato de CH&Q LTDA, la perforación en este lugar solo alcanzó los 20 metros, por lo cual se recomienda, que previo a la construcción, se verifique la información de este análisis con perforaciones adicionales de al menos 40 metros de profundidad en la parte alta de la ladera.

En la parte baja del deslizamiento, la información sísmica y de perforación permite confirmar la ubicación del basamento rocoso a una profundidad de 6 a 7 metros. Este tiene un buzamiento aproximado de 21° en dirección contraria a la pendiente.

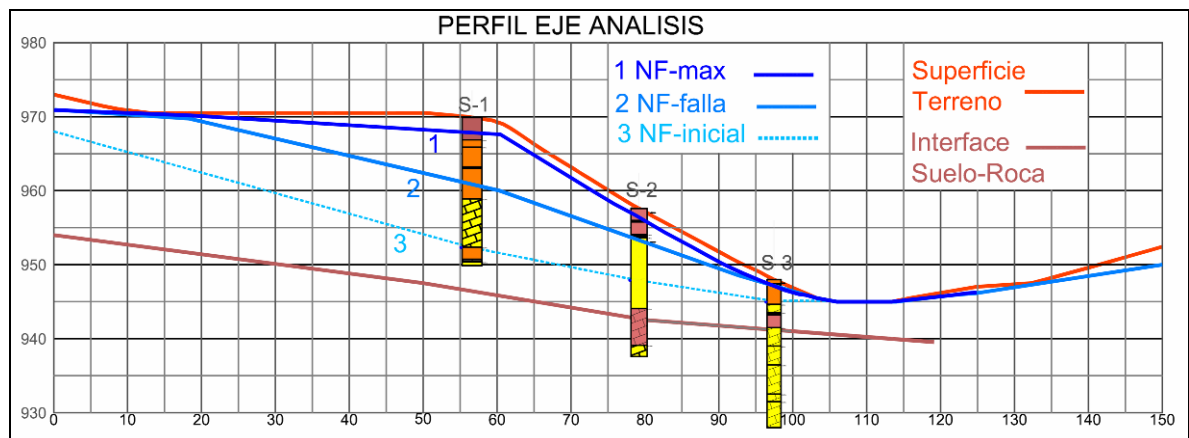
La perforación en la parte media de la ladera mostró que por debajo de 3.50 metros se tiene un espesor de 10 metros de roca competente (calizas y limonitas) y subyacen 5 metros de material rocoso menos competente (lutitas y limonitas) en el cual se puede avanzar mediante una combinación de barreno y percusión con valores de N (golpes/pie) de 30 a 90. En el perfil elaborado, se considera en este material rocoso menos competente una interface entre el material deslizado coluvial y el basamento rocoso. Se recomienda que previo a la construcción, se verifiquen los diseños mediante sondeos adicionales por lo menos de 40 metros de profundidad en la parte media de la ladera.

#### 4.2 NIVEL FREÁTICO

La posición del nivel freático mostrada en la figura 40 corresponde al encontrado en las perforaciones en julio de 2013, trazando una línea freática desde un drenaje natural que se encuentra en la parte alta y hasta el nivel de aguas de la quebrada La Calderera en la parte baja.

El deslizamiento objeto de estudio se produjo en el mes de Diciembre de 2010, durante la llamada ola invernal, un periodo de fuertes lluvias que duplicó los promedios históricos. El nivel freático encontrado en las perforaciones corresponde a Julio de 2013, durante una temporada baja de lluvias. No se tiene información de los niveles freáticos en la época del deslizamiento, por lo cual para este trabajo se considerará un ascenso de nivel freático, en primer lugar a la parte media de la ladera, con el fin de calibrar el modelo para la superficie de falla a analizar y otro nivel freático mas alto, a nivel superficial, para considerar la posibilidad más crítica para el proyecto, una vez construidas las obras de estabilización. La figura 41 muestra la posición de los niveles freáticos mencionados.

Figura 41. Variación del nivel freático considerada en el análisis de estabilidad.



Fuente: Autor

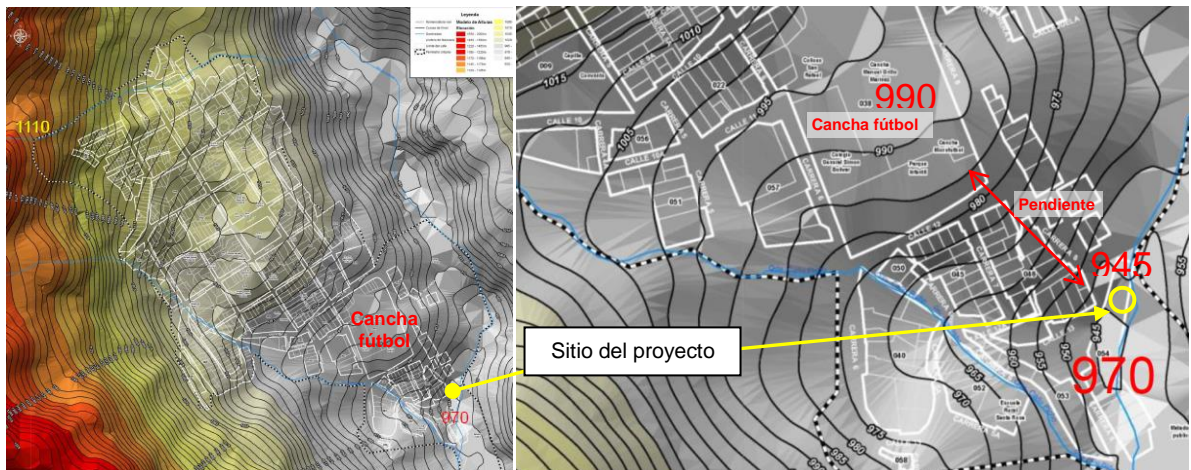
### 4.3 CLASIFICACION DEL DESLIZAMIENTO

La estratificación de la roca que conforma el basamento es de aproximadamente 20° en dirección contraria al deslizamiento, dificultando un desplazamiento planar.

La causa detonante del deslizamiento esta asociada a las fuertes lluvias presentadas en la ola invernal del 2010.

El fenómeno de movimiento en masa que obligó a la evacuación del casco urbano de Gramalote fue complejo. En la parte alta, al occidente del casco urbano, se presentó un flujo de detritos y bloques que a su vez produjo una serie de movimientos sucesivos de tipo rotacional, que se inició en la parte alta del pueblo, a una cota aproximada de 1110 metros y terminó en la zona plana cerca de la cancha de fútbol, a la cota aproximada 990 metros (ver figura 42). El sitio en estudio se encuentra aproximadamente 30 a 40 metros por debajo de la zona que fue afectada en el casco urbano y en el flanco NW tiene como límite una ladera con fuerte pendiente.

Figura 42. Mapa de elevaciones casco urbano evacuado de Gramalote



Fuente: FONDO DE ADAPTACION<sup>5</sup>

El movimiento fue lento y hubo un control estructural por la roca del basamento, con dirección de buzamiento contraria al deslizamiento y conformado por una serie alternada de rocas competentes (calizas y areniscas) sobre rocas menos competentes (limolitas y lutitas).

<sup>5</sup> FONDO DE ADAPTACION. Socialización diseños urbanísticos nuevo gramalote 26 y 27 de octubre de 2013. Disponible desde Internet en: <[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_76/recursos/julio2013/08082013/documentos.jsp/estudios\\_diseno\\_urbanisticos.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_76/recursos/julio2013/08082013/documentos.jsp/estudios_diseno_urbanisticos.pdf)>

En el sitio de estudio, el control estructural hizo que el movimiento se manifestara como una falla de tipo rotacional. La cresta se ubica sobre las grietas observadas en el terreno, sobre el antiguo trazado de la vía y la pata del deslizamiento aflora en la parte baja, sobre la quebrada.

Por lo tanto, aunque el movimiento del terreno en el sitio en estudio está relacionado con el fenómeno que destruyó Gramalote, se puede analizar este deslizamiento como una falla local de tipo rotacional, considerando que los factores que controlan su estabilidad son independientes del movimiento global sobre el casco urbano, cuyo análisis y estabilidad está fuera del alcance de este trabajo.

#### **4.4 PARAMETROS RESISTENCIA AL CORTE**

Como complemento a la información geotécnica recopilada para el talud, se determinarán los parámetros de resistencia al corte haciendo uso del retro-análisis (back análisis). Este tipo de procedimientos es recomendado como alternativa en el caso cuando se tiene un deslizamiento conocido, ya que puede razonablemente ser considerado como un ensayo de corte a escala real, dando una medida de la resistencia al corte movilizada en la superficie de falla<sup>6</sup>.

El método consiste en obtener por prueba y error, los parámetros cohesión ( $c'$ ) y ángulo de fricción ( $\phi'$ ) que producen la superficie de falla observada en la ladera, para la cual se conocen su geometría, estratigrafía y línea piezométrica.

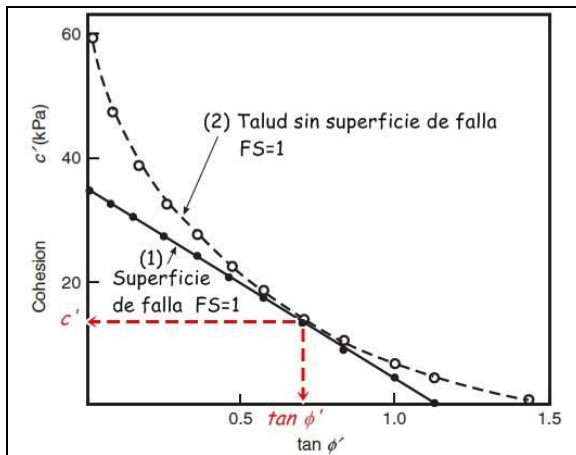
---

<sup>6</sup> POPESCU, M. E. y V.R. Schaefer, V.R. Back Analysis of Slope Failures to Design Landslide Stabilizing Piles. En: ISSMGE, INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING. Forensic Geotechnical Engineering. Londres: ISSMGE, Octubre 2009. p. 63.

Wesley<sup>7</sup> propone los siguientes procedimientos para obtener los parámetros:

- Para el talud sin la superficie de falla (intacto), obtener los valores de  $c'$  y  $\phi'$  para los cuales el Factor de seguridad es igual a 1. Curva 1 de la figura 43.
- Para la superficie de falla, obtener los valores de  $c'$  y  $\phi'$  para los cuales el FS=1. Curva 2 de la figura 43.
- El lugar donde las dos curvas son tangentes o se aproximan corresponde a los parámetros de resistencia, cohesión ( $c'$ ) y ángulo de fricción ( $\phi'$ ), del suelo.

Figura 43. Valores de  $c'$  y  $\phi'$  para FS=1 en un talud.



Fuente: Adaptado por el Autor de WESLEY, LAURENCE D. Geotechnical engineering in residual soils. . Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2010. p. 180.

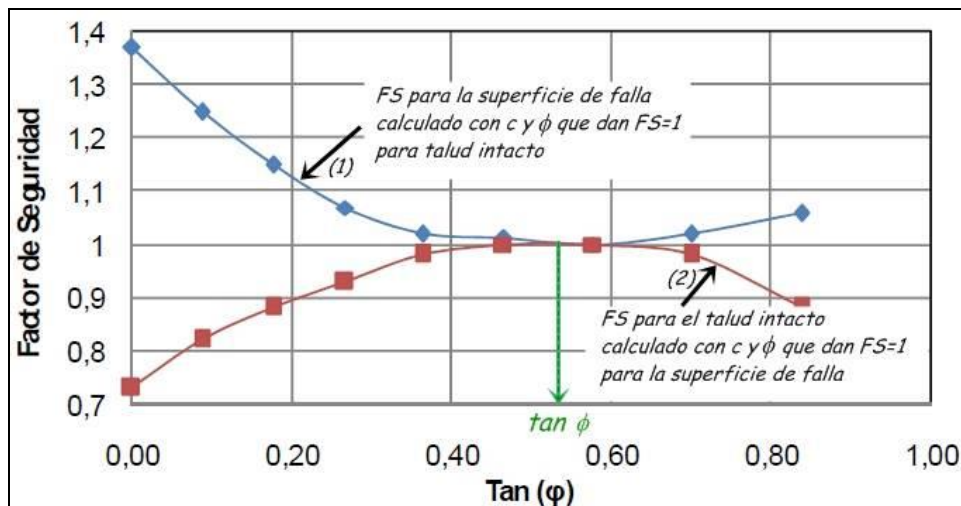
Como complemento a este procedimiento, Wesley<sup>8</sup> presenta la siguiente alternativa para obtener los valores de  $c'$  y  $\phi'$ :

<sup>7</sup> WESLEY, Laurence. Geotechnical engineering in residual soils. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2010. p. 180.

<sup>8</sup> ARELLANO, Rodrigo, *et. al.* Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas. Santiago: Universidad de Chile, 2009. Disponible desde Internet en: <[https://www.u-cursos.cl/diplomados/2009/2/DMS-TFD/1/material\\_docente/](https://www.u-cursos.cl/diplomados/2009/2/DMS-TFD/1/material_docente/)>

- Con los valores de  $c'$  y  $\phi'$  que dan  $FS=1$  en el talud intacto, calcular el  $FS$  para la superficie de falla. Se obtienen valores de  $FS$  mayores a 1, curva 1 de la figura 44.
- Con los valores de  $c$  y  $\phi'$  que dan  $FS=1$  para la superficie de falla, calcular el  $FS$  para el talud sin falla (intacto). Se obtienen valores de  $FS$  menores a 1, curva 2 de figura 44.
- El punto donde las dos curvas son tangentes o se acercan corresponde al valor de fricción para el suelo. La cohesión  $c'$  será la asociada al valor de  $\phi'$  encontrado.

Figura 44. Variación del  $FS$  y parámetros de resistencia al corte, retro-análisis.



Fuente: adaptador de ARELLANO, Rodrigo, et. al. Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas. Santiago: Universidad de Chile, 2009.

Para el retro-análisis, uno de los parámetros con mayor incertidumbre es el valor de la presión de poros o posición del nivel freático dentro del talud.

Por esto para mayor seguridad en la determinación de los parámetros se debe conocer la presión de poros o la posición del nivel freático actuando sobre la superficie de falla en el momento de la falla. Esta información por lo general no está disponible, por falta de instrumentación o estudios geotécnicos en el

momento de la falla. Su posición se puede obtener con base en el conocimiento previo del talud, la oportuna investigación del terreno en el momento de la falla o la observación en taludes similares.

Las suposiciones que son conservativas para el diseño y análisis de estabilidad de un talud son inseguras para el retro-análisis<sup>9</sup>.

Cuando se hace el análisis y diseño de obras de estabilidad, el considerar valores altos de la presión de poros, lleva a valores del Factor de Seguridad (FS) bajos y diseños más conservativos.

En el retro-análisis, para obtener un  $FS=1$ , entre mayor es la presión de poros, se necesitan valores mas altos de los parámetros de resistencia al corte, cohesión ( $c'$ ) y ángulo de fricción ( $\phi'$ ), esto dará parámetros de resistencia menos seguros para el posterior análisis de estabilidad.

En el caso de considerar para el retro-análisis niveles freáticos muy bajos, los parámetros de resistencia al corte calculados serán bajos, llegando a ser demasiado conservativos para el análisis y diseño de obras.

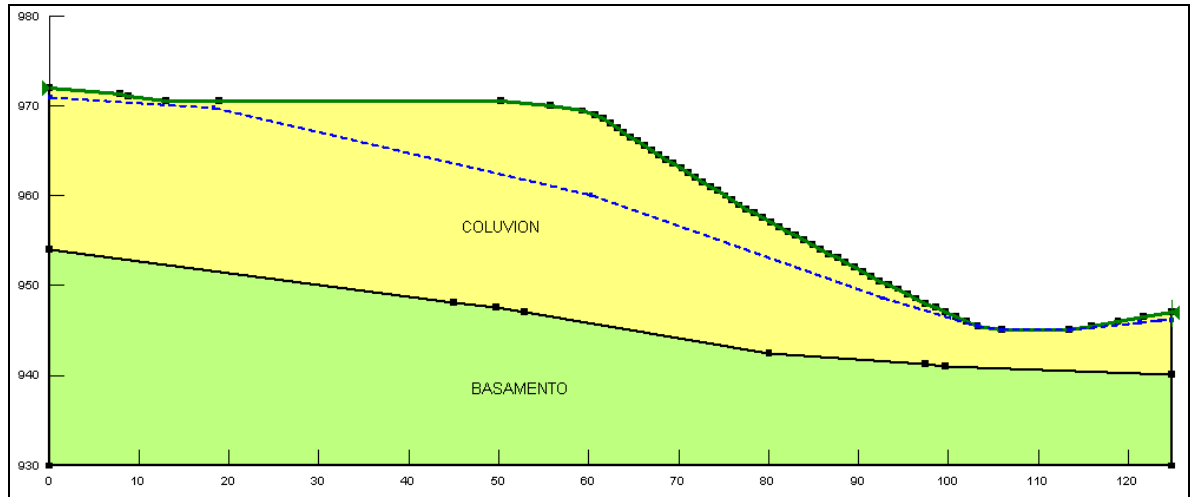
La figura 45 muestra la superficie de la ladera analizada, modelada en el programa SLOPE/W de la firma Geo-slope Internacional Ltda. Para el talud analizado no se cuenta con información detallada del nivel freático en el momento de la falla. Por lo tanto se ha considerado su posición en la parte intermedia del talud, debido al incremento de la presión de poros por las fuertes lluvias.

En la figura 46 se muestra el perfil de la ladera con 4 posibles superficies de falla, que coinciden con las grietas y el movimiento de la ladera observado.

---

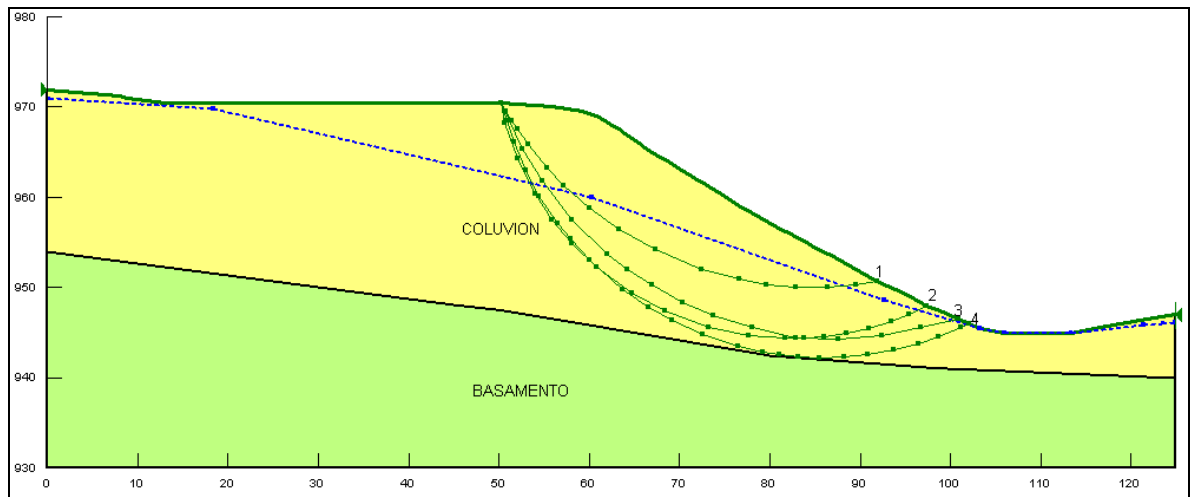
<sup>9</sup> DESCHAMPS, Rick. y YANKEY, Greg. Limitations in the Back-Analysis of Strength from Failures. En: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, vol. 132, no. 4, p.532-536.

Figura 45. Perfil ladera sin la superficie de falla, modelo SLOPE/W.



Fuente: Autor

Figura 46. Perfil con superficies de falla, modelo SLOPE/W.



Fuente: Autor.

Usando el programa SLOPE/W, se hizo el cálculo de Factores de Seguridad para la ladera y las 4 superficies de falla. Para el coluvión se tomó un modelo de Mohr-Coulomb, con peso unitario de  $18 \text{ KN/m}^3$ , variando los parámetros de resistencia al corte  $c'$  y  $\phi'$ . Para el basamento se consideró como un material muy resistente (Bedrock). Los valores usados y los Factores de seguridad obtenidos se muestran en la tabla 7.

El factor de seguridad se calculó utilizando el método de equilibrio límite según los criterios de Morgenstern-Price incluidos en el software. Este método se seleccionó porque hace el mayor número de consideraciones en la determinación de las fuerzas sobre dovelas, incluyendo equilibrio de fuerzas y momentos.

Tabla 7. Factores de seguridad para diferentes valores de  $c'$  y  $\phi'$ .

Cohesión	$\phi$	FS falla 1	FS falla 2	FS falla 3	FS falla 4	FS intacto
0	35	-----	-----	-----	-----	1.085
0	30	1.038	1.161	1.07	1.157	0.895
0	25	0.838	0.938	0.834	0.934	0.723
10	30	-----	-----	-----	-----	1.121
10	25	1.012	1.107	1.024	1.162	0.944
10	20	0.829	0.901	0.834	0.957	-----
20	25	-----	-----	-----	-----	1.125
20	20	1.006	1.072	0.996	1.184	0.956
20	15	0.835	0.88	0.819	0.992	-----
20	20	1.006	1.072	0.996	1.184	-----
30	25	1.189	1.277	1.185	1.389	-----
30	20	1.184	1.246	1.159	1.412	1.121
30	15	1.013	1.055	0.982	1.22	0.95
40	15	1.191	1.231	1.147	1.449	1.106
40	10	1.03	1.052	0.981	1.226	0.938
50	10	1.212	1.23	1.147	1.496	1.094
50	5	1.056	1.062	0.99	1.319	0.934
50	0	0.905	-----	-----	1.146	-----

Fuente: autor.

En cada superficie de falla y en la ladera intacta, para cada valor de cohesión, se obtuvo por interpolación el valor de  $\phi'$  que da un FS=1, estos resultados se presentan en la tabla 8.

Las superficies de falla 1 y 3 dan los menores factores de seguridad por lo cual se seleccionan para el análisis. Con los valores de  $c'$  y  $\phi'$  obtenidos para el talud intacto y las superficies de falla 1 y 3, se calculó en SLOPE/W el Factor de seguridad para cada una de las combinaciones mostradas en la tabla 9.

Con los valores de las tabla 9 se elaboró la figura 47. Las superficies de falla analizadas no dan FS=1 pero se observa que un valor de  $\phi'=20^\circ$  corresponde al rango donde las curvas están mas cercanas.

Tabla 8. Valores de  $c'$  y  $\phi'$  para FS=1.

Cohesion	Falla 1	Falla 2	Falla 3	Falla 4	Intacto
0.0	29.1	26.4	28.6	26.5	32.8
10	24.7	22.4	24.4	21.1	26.6
20.0	19.8	18.2	20.1	15.2	21.3
30	14.6	13.5	15.5	9.0	16.5
40.0	9.0	8.5	10.6	4.8	11.9
50	3.2	3.1	5.3	-----	7.1
64.75	-----	-----	-----	-----	0

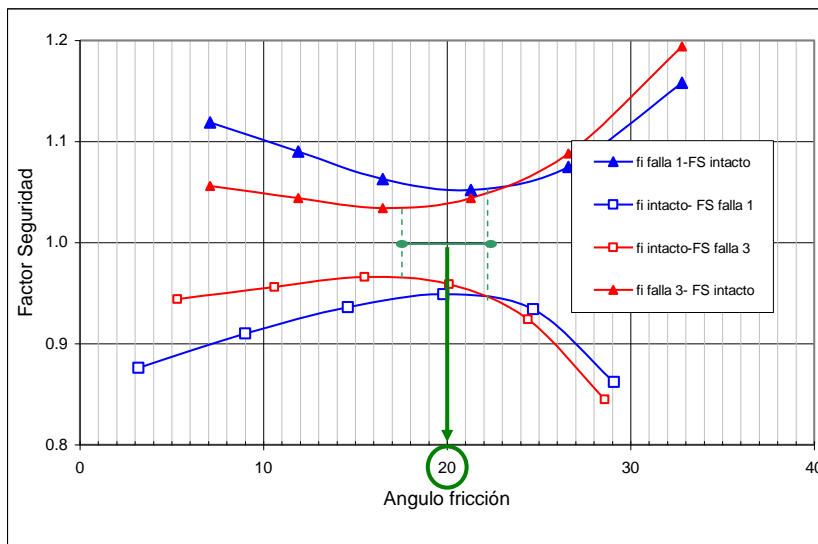
Fuente: autor.

Tabla 9. Factores de seguridad para diferentes combinaciones de  $c'$  y  $\phi'$

c	$\phi$ Falla 1	FS intacto	c	$\phi$ intacto	FS falla 1	c	$\phi$ intacto	FS falla 3	c	$\phi$ Falla 3	Fs intacto
0	29.1	0.862	0	32.8	1.158	0	32.8	1.194	0	28.6	0.845
10	24.7	0.934	10	26.6	1.075	10	26.6	1.088	10	24.4	0.924
20	19.8	0.949	20	21.3	1.052	20	21.3	1.044	20	20.1	0.959
30	14.6	0.936	30	16.5	1.063	30	16.5	1.034	30	15.5	0.966
40	9.0	0.91	40	11.9	1.09	40	11.9	1.044	40	10.6	0.956
50	3.2	0.876	50	7.1	1.119	50	7.1	1.056	50	5.3	0.944

Fuente: autor.

Figura 47. Valores de FS para combinaciones de  $c'$  y  $\phi'$

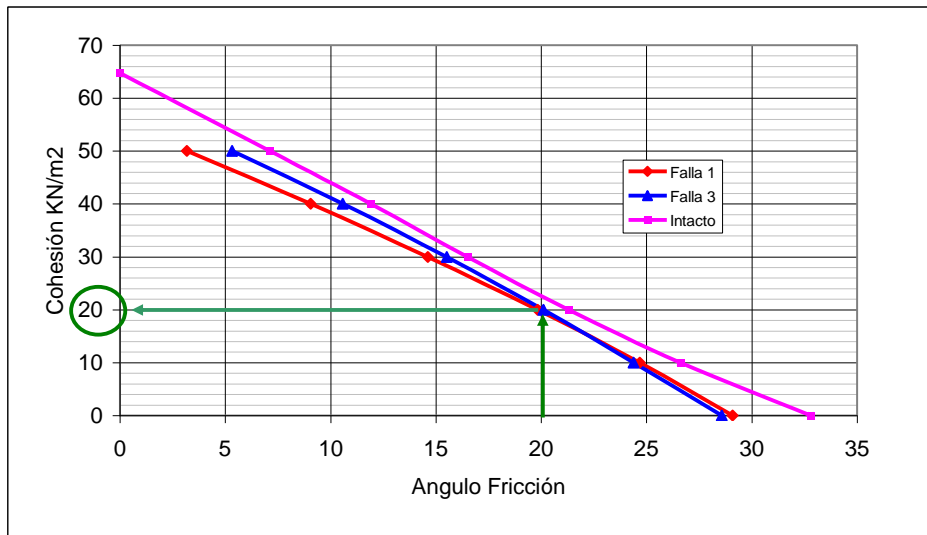


Fuente: autor

Con los valores de cohesión y ángulo de fricción de la tabla 8 se elabora la figura 48. Al igual que en la figura 46, tampoco se obtiene un punto de tangencia de las

curvas, sin embargo para el valor de  $\phi'=20^\circ$  se puede observar un valor de cohesión  $c'=22.5 \text{ KN/m}^2$  leído en la curva el talud intacto y un valor  $c'=20 \text{ KN/m}^2$  para el caso de las superficies de falla analizadas.

Figura 48. Valores de  $c'$  y  $\phi'$  para FS=1



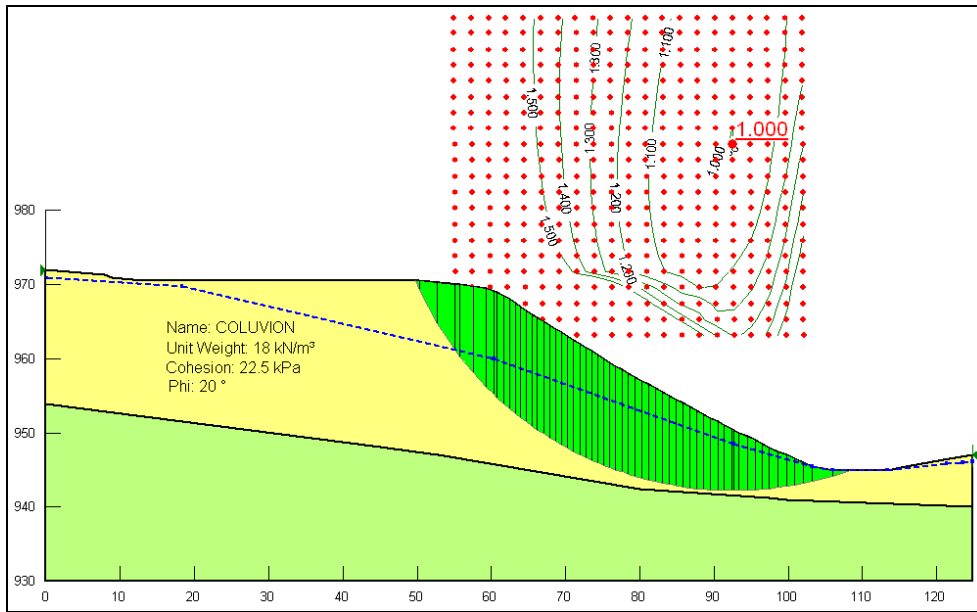
Fuente: autor.

Con estos valores se hace el análisis del talud. El Factor de seguridad FS=1.0 se obtiene para la cohesión  $c'=22.5 \text{ KN/m}^2$  y un valor menor FS=0.956 para  $c'=20 \text{ KN/m}^2$ . Los resultados se muestran en las figuras 49 y 50.

Con base en la información disponible y lo análisis realizados, se adopta de manera conservativa el menor valor, siendo  $c'=20 \text{ KN/m}^2$  y  $\phi'=20^\circ$  los valores a utilizar como parámetros de resistencia al corte del material.

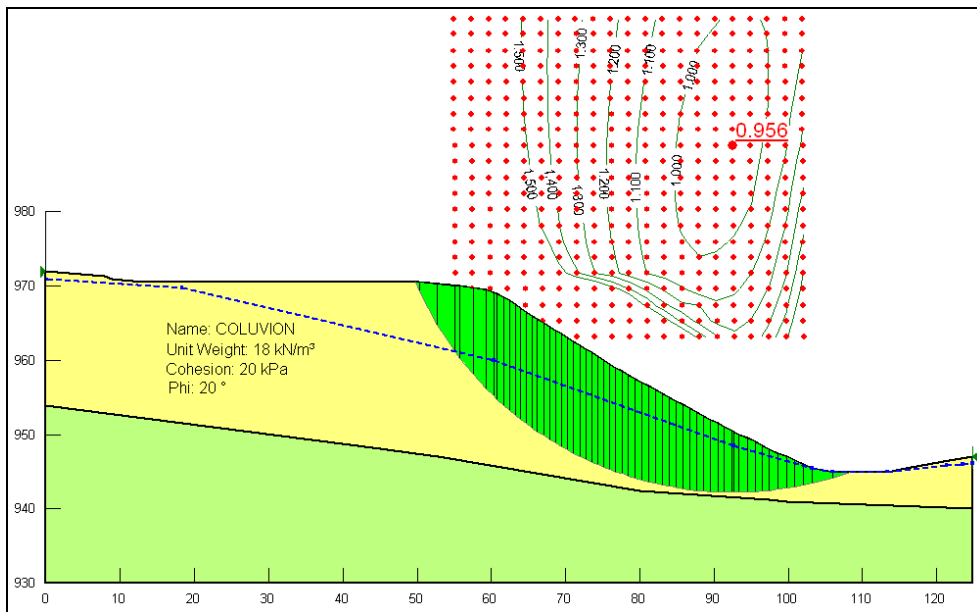
Estos valores son aceptables para el tipo de materiales analizados, según la comparación con resultados presentados en la literatura geotécnica.

Figura 49. Factor de seguridad para  $c'=22.5\text{KN/m}^2$  y  $\phi'=20^\circ$



Fuente: autor

Figura 50. Factor de seguridad para  $c'=20\text{KN/m}^2$  y  $\phi'=20^\circ$



Fuente: autor

## 5. ANALIS ESTABILIDAD USANDO PILAS

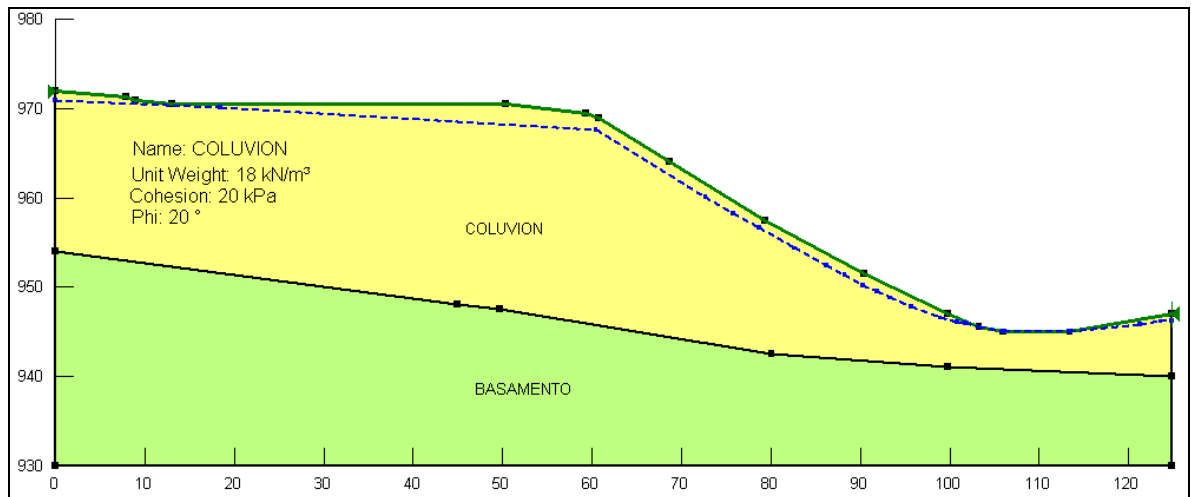
### 5.1 JUSTIFICACION USO DE PILAS

La falla analizada comprende una masa coluvial de más de 20 metros de espesor, la cual se desliza por encima de una superficie de roca resistente. Las alternativas existentes para estabilidad de taludes para este caso, consideran el uso de pilotes o pilas que atraviesen la superficie de falla y quedan anclados en la roca. Los pilotes o pilas “cosen” la superficie de falla, aportando resistencia contra el movimiento a través de la resistencia al corte del material del pilote.

### 5.2 FUERZA RESISTENTE DE PILOTES O PILAS

Para el caso, se considera que los pilotes o pilas aportan resistencia y controlan el deslizamiento. Sin embargo al no generarse la falla, el nivel freático puede seguir subiendo por lo que se asumirá en este caso una situación mas desfavorable, con el nivel freático cerca a la superficie como se observa en la figura 51.

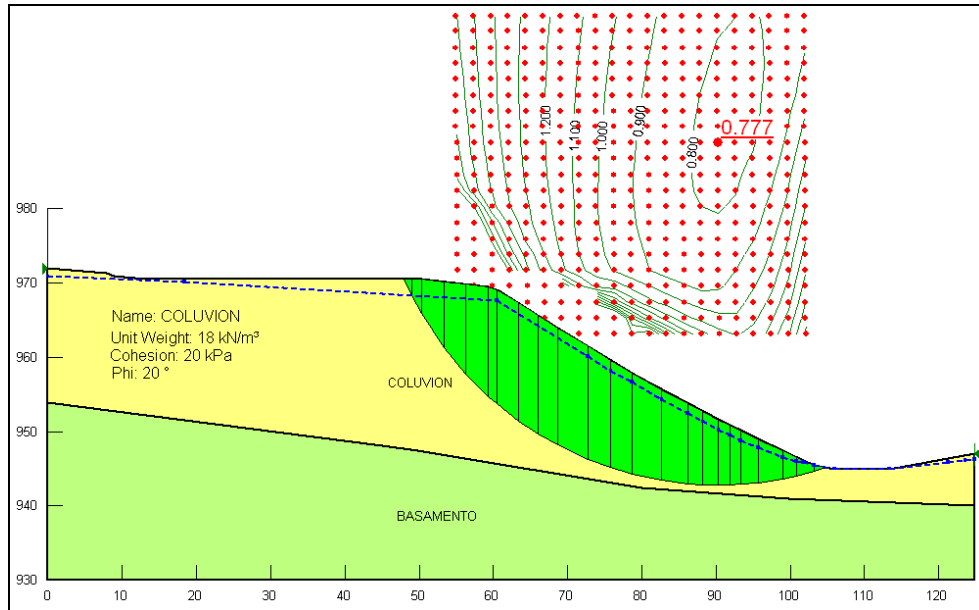
Figura 51. Modelo ladera Nivel freático superficial, SLOPE/W



Fuente: autor

En estas condiciones el FS calculado es de 0.777, ver figura 52, con una reducción importante con respecto al obtenido para la situación inicial.

Figura 52. Factor seguridad sin obras, NF superficial. SLOPE/W

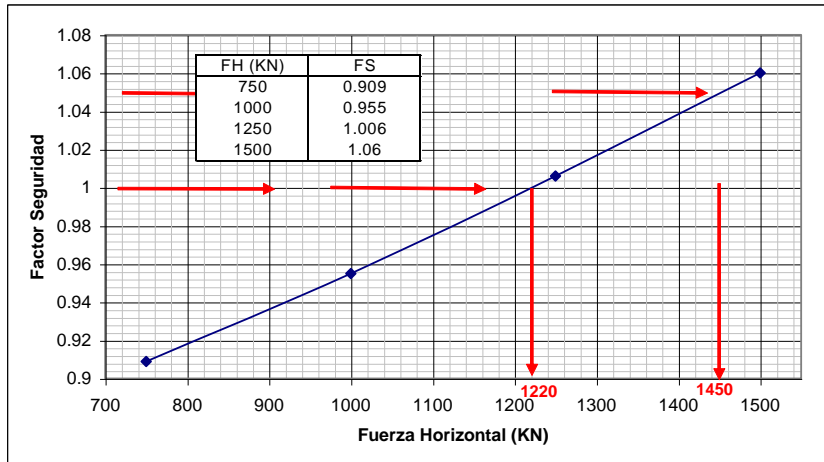


Fuente: autor

Para evaluar la fuerza cortante que aportan las pilas, necesaria para estabilizar el talud, se evalúa la carga puntual horizontal, con dirección contraria a la del movimiento, que produce FS=1. La ubicación de esta carga se hace dentro de la masa de suelo por encima de la superficie de falla. La posición de la carga es aproximada y el FS obtenido es poco sensible a esta ubicación, sin embargo se debe verificar que la carga quede dentro de la superficie de falla y no por fuera de esta.

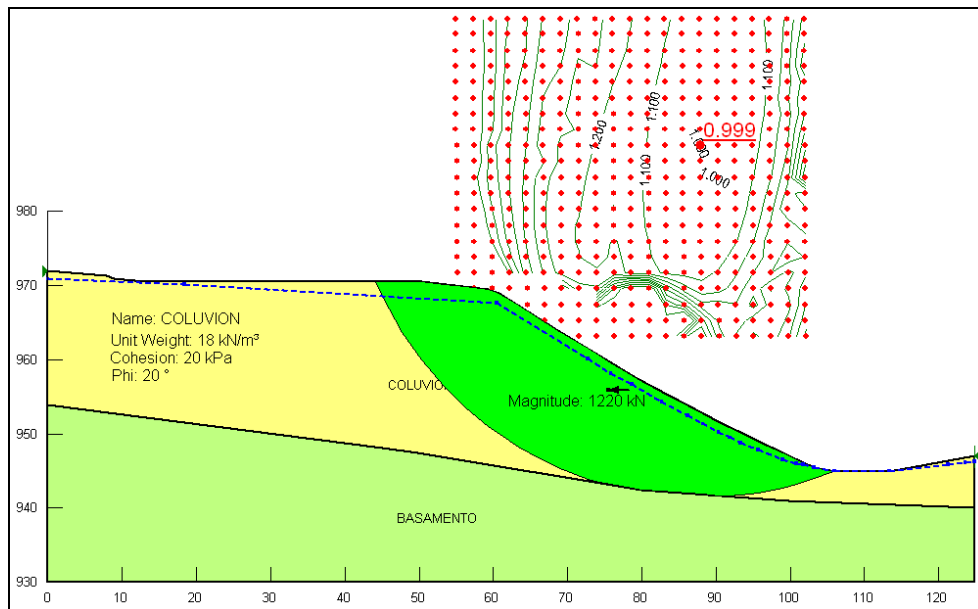
En la figura 53 se presentan los valores de fuerza horizontal (FH) utilizados y los Factores de Seguridad calculados con SLOPE/W; se obtiene por interpolación que las pilas deben aportar una Fuerza horizontal FH=1200 KN/m para un FS=1 y 1450 KN/m para un FS=1.05; en la figura 54 se muestra el análisis en SLOPE/W para la fuerza que produce el FS=1.0.

Figura 53. Variación del Factor de seguridad con la Fuerza Horizontal



Fuente: autor

Figura 54. Factor de seguridad para Fuerza Horizontal de 1220 KN/m



Fuente: autor

### 5.3 RESISTENCIA AL CORTE DE PILAS DE CONCRETO

Con el fin de estimar de manera aproximada el diámetro y separación entre pilas, se calcula la resistencia al corte de las pilas en función de su diámetro.

El anexo C presenta los criterios adoptados para calcular la resistencia al corte de los pilotes o pilas, con base en el reglamento colombiano de construcción sismo-resistentes (NSR-10), sección C.11.2: “resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados”. La tabla 9 muestra los valores de Fuerza cortante calculada para las pilas en función del diámetro. Como elementos estructurales se consideran pilas excavadas de forma manual, tipo caisson con anillo en concreto de 10 cms. de espesor, concreto de resistencia  $f'c=28$  MPa, estribos de diámetro 5/8” separados cada 10 cms., acero  $f_y=420$  MPa. La tabla 10 muestra los valores de Fuerza cortante calculada para las pilas en función del diámetro.

Tabla 10. Resistencia al corte de las pilas

Dext caisson	espesor anillo	Dint	Concreto $f'c$	Area estribo $A_v$	Acero $F_y$	separación s	F cortante $V_u$
m	m	m	MPa	cm <sup>2</sup>	MPa	m	KN
<b>1.0</b>	0.1	0.8	28	4	420	0.1	<b>1329.5</b>
<b>1.2</b>	0.1	1.0	28	4	420	0.1	<b>1796.2</b>
<b>1.4</b>	0.1	1.2	28	4	420	0.1	<b>2319.3</b>
<b>1.6</b>	0.1	1.4	28	4	420	0.1	<b>2899.0</b>
<b>1.8</b>	0.1	1.6	28	4	420	0.1	<b>3535.2</b>
<b>2.0</b>	0.1	1.8	28	4	420	0.1	<b>4227.9</b>

Fuente: autor.

#### 5.4 SELECCIÓN PRELIMINAR DIAMETRO Y SEPARACION DE PILAS

La carga que debe aportar y resistir cada pila se calcula en función de la Fuerza horizontal por metro (FH), necesaria para estabilizar el talud y la separación centro a centro entre pilas (S),  $F \text{ pila} = FH * S$ .

La tabla 11 presenta la carga sobre las pilas y el número de pilas necesarias para obtener un Factor de Seguridad predeterminado, en función de su diámetro y separación.

Tabla 11. Número de pilas en función de la separación y FS.

Factor Seguridad FS	FH/m KN/m	D caisson m	B m	S m	S/D	F pilote F=FH*S KN	Vu pilote NSR-10 KN	FS corte	V pilote Vu/FS KN	F / V	No. Filas	Volumen 1 m long m3/mL	Volumen/m separacion m3/mL/mS
1.00	1250	1.0	2.0	3.0	3.0	3750	1329.5	1.4	949.7	3.95	4	0.79	1.05
1.00	1250	1.2	2.4	3.6	3.0	4500	1796.2	1.4	1283.0	3.51	4	1.13	1.26
1.00	1250	1.4	2.8	4.2	3.0	5250	2319.3	1.4	1656.6	3.17	4	1.54	1.47
1.00	1250	1.6	3.2	4.8	3.0	6000	2899.0	1.4	2070.7	2.90	3	2.01	1.26
1.00	1250	1.8	3.6	5.4	3.0	6750	3535.2	1.4	2525.1	2.67	3	2.54	1.41
1.00	1250	2.0	4.0	6.0	3.0	7500	4227.9	1.4	3019.9	2.48	3	3.14	1.57
1.00	1250	1.0	1.0	2.0	2.0	2500	1329.5	1.4	949.7	2.63	3	0.79	1.18
1.00	1250	1.2	1.2	2.4	2.0	3000	1796.2	1.4	1283.0	2.34	3	1.13	1.41
1.00	1250	1.4	1.4	2.8	2.0	3500	2319.3	1.4	1656.6	2.11	3	1.54	1.65
1.00	1250	1.6	1.6	3.2	2.0	4000	2899.0	1.4	2070.7	1.93	2	2.01	1.26
1.00	1250	1.8	1.8	3.6	2.0	4500	3535.2	1.4	2525.1	1.78	2	2.54	1.41
1.00	1250	2.0	2.0	4.0	2.0	5000	4227.9	1.4	3019.9	1.66	2	3.14	1.57
1.05	1450	1.0	2.0	3.0	3.0	4350	1329.5	1.4	949.7	4.58	5	0.79	1.31
1.05	1450	1.2	2.4	3.6	3.0	5220	1796.2	1.4	1283.0	4.07	5	1.13	1.57
1.05	1450	1.4	2.8	4.2	3.0	6090	2319.3	1.4	1656.6	3.68	4	1.54	1.47
1.05	1450	1.6	3.2	4.8	3.0	6960	2899.0	1.4	2070.7	3.36	4	2.01	1.68
1.05	1450	1.8	3.6	5.4	3.0	7830	3535.2	1.4	2525.1	3.10	4	2.54	1.88
1.05	1450	2.0	4.0	6.0	3.0	8700	4227.9	1.4	3019.9	2.88	3	3.14	1.57
1.05	1450	1.0	1.0	2.0	2.0	2900	1329.5	1.4	949.7	3.05	4	0.79	1.57
1.05	1450	1.2	1.2	2.4	2.0	3480	1796.2	1.4	1283.0	2.71	3	1.13	1.41
1.05	1450	1.4	1.4	2.8	2.0	4060	2319.3	1.4	1656.6	2.45	3	1.54	1.65
1.05	1450	1.6	1.6	3.2	2.0	4640	2899.0	1.4	2070.7	2.24	3	2.01	1.88
1.05	1450	1.8	1.8	3.6	2.0	5220	3535.2	1.4	2525.1	2.07	3	2.54	2.12
<b>1.05</b>	1450	<b>2.0</b>	2.0	<b>4.0</b>	<b>2.0</b>	5800	<b>4227.9</b>	<b>1.4</b>	<b>3019.9</b>	1.92	<b>2</b>	3.14	1.57

Fuente: autor

En este caso se adopta un FS=1.05, ligeramente superior a la unidad, tomando en cuenta los siguientes criterios: en primer lugar el caso analizado corresponde al nivel freático superficial, el cual tiene menor probabilidad de ocurrencia; los efectos que se pueden presentar son de baja magnitud (daño de la vía de acceso y caída de material a la quebrada); el factor de seguridad adoptado permite que en el caso de falla, se presenten movimientos controlados que serán objeto de seguimiento y mantenimiento. Se deberá verificar que el Factor de seguridad con el Nivel freático en una posición intermedia dentro del talud (más probable) esté en un rango aceptable mayor a 1.25.

Según los cálculos, dos filas con pilas de diámetro 2 metros, separadas 4 metros centro a centro, aportan suficiente resistencia al corte para obtener el  $FS=1.05$ .

Con el fin de considerar de manera preliminar los costos en el criterio de selección, en la tabla 10 también se ha calculado el volumen de concreto necesario para las pilas. Este cálculo se hace por metro de largo de pila y metro de longitud de la fila de pilas. En la tabla se obtienen alternativas con 3 a 5 filas de pilas que dan menor volumen de concreto, sin embargo para efectos prácticos se considera la construcción de máximo dos filas de pilas, por lo que la alternativa seleccionada es la única que cumple este criterio.

## **5.5 FUERZA CORTANTE SOBRE LAS PILAS**

La carga que se transfiere del suelo al pilote depende de muchos factores. Para su evaluación se considera que hay un efecto de arco que transfiere la carga del suelo al pilote durante el movimiento del suelo. En la Universidad de Akron (Ohio-EUU), Robert Liang<sup>10</sup> ha investigado este aspecto desde el año 2002 y en colaboración con el Departamento de transporte del estado de Ohio<sup>11</sup> presentó en el año 2011 una metodología para diseñar la estabilización de laderas mediante pilas preexcavadas.

La propuesta de Liang se basa en el resultado de más de 10 años de investigación, utilizando modelos de elementos finitos 2-D, modelos físicos en ensayos de centrífuga y resultados de instrumentación en pilas construidas, con el fin de desarrollar un modelo matemático sencillo para predecir el porcentaje de carga lateral que es transferido del suelo a las pilas durante un deslizamiento.

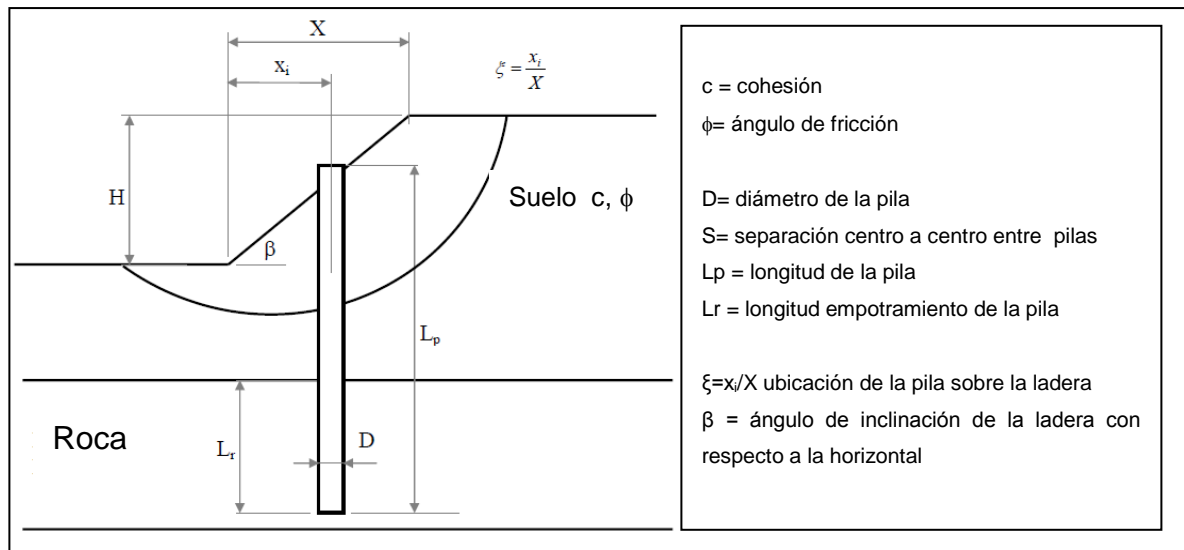
---

<sup>10</sup> LIANG, Robert. Field Instrumentation, Monitoring of Drilled Shafts for Landslide Stabilization and Development of Pertinent Design Methods. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2010.

<sup>11</sup> OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Drilled Shaft Landslide Stabilization Design. Geotechnical Bulletin 7. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2011.

Las figuras 55 y 56 presentan el esquema de una fila de pilas en una ladera y las variables consideradas por Liang para calcular la fuerza sobre la pila.

Figura 55. Variables que afectan la fuerza sobre una pila en una ladera.



Fuente: LIANG, Robert. Field Instrumentation, Monitoring of Drilled Shafts for Landslide Stabilization and Development of Pertinent Design Methods. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2010. p. 24.

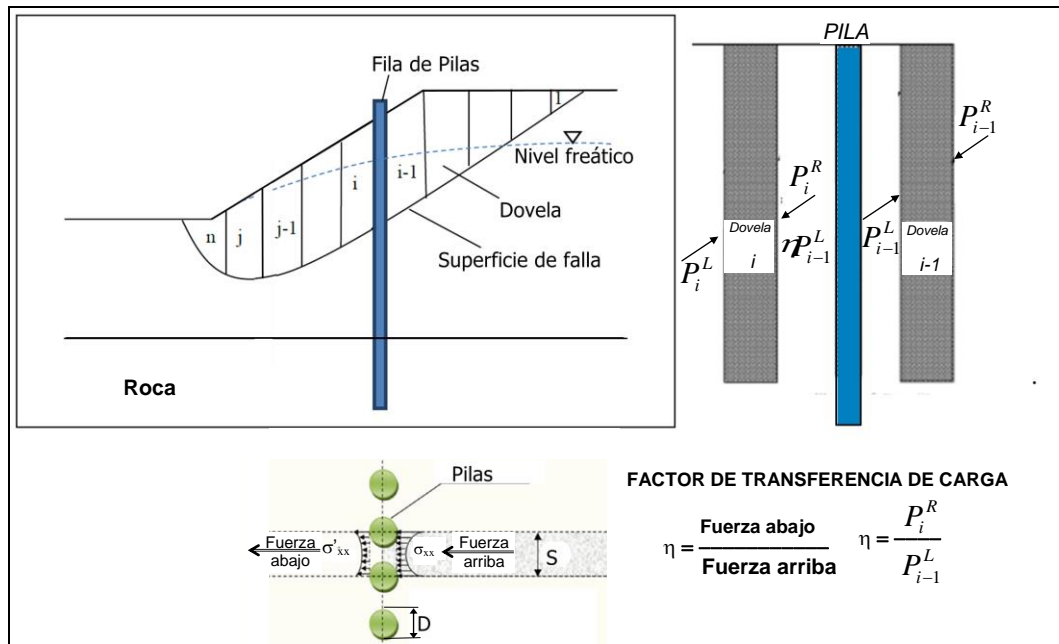
De la fuerza que produce el deslizamiento arriba de las pilas, un porcentaje es transferido a la pilas y otro al suelo mas abajo, el porcentaje que se transmite al suelo mas abajo se denomina “Factor de transferencia de carga” ( $\eta$ ). Actualmente y luego de varios trabajos doctorales realizados por el grupo de Robert Liang en la Universidad de Akron, se propone la siguiente ecuación<sup>12</sup> para calcular este factor:

$$\eta = -0.272c^{0.153}(\tan \beta)^{-0.429}\left(-1.17 + 1.114 \frac{S}{D}\right)\left(e^{(-0.578 \tan \phi)}\right)(0.065 + 0.876D)\left(-0.252 + 0.61\xi_x + 0.57(\xi_x^2)\right)$$

$0 < \eta < 1$  ;  $L_r > 0.15 L_p$  ;  $c$  [psf],  $\beta$  [grados],  $S$  [pies],  $D$  [pies],  $\xi$  [adimensional].

<sup>12</sup> JOORABCHI, A. E.. Landslide stabilization using drilled shafts in static and dynamic conditions. Tesis de Doctorado. Akron: The Graduate Faculty of The University of Akron, 2011. p. 55.

Figura 56. Mecanismo de transferencia de carga suelo-pila



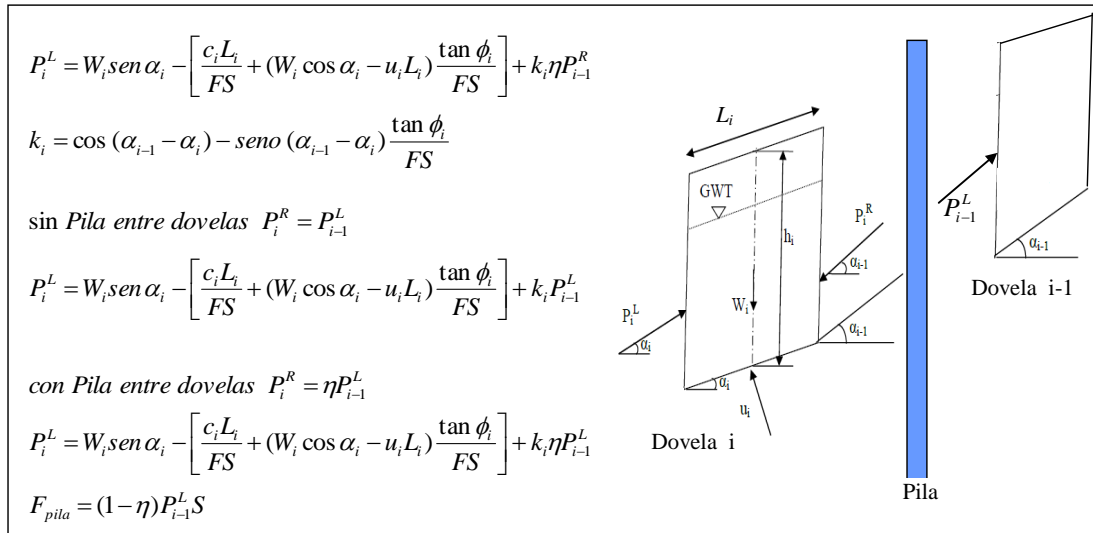
Fuente: autor con base en LIANG, Robert. Probabilistic Analysis Algorithm for UA Slope Software Program. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2013. p. 34,35.

Según los trabajos del grupo de Liang, la longitud de empotramiento en roca debe ser como mínimo el 15% de la longitud de la pila, para que esta variable no afecte el factor de transferencia de carga entre suelo y pila. Los métodos de equilibrio límite y el software SLOPE/W no toman en cuenta la longitud de empotramiento dentro de la roca para el cálculo del Factor de Seguridad. El chequeo de esta longitud debe hacerse analizando la interacción suelo-estructura ante carga lateral sobre la pila, tal como lo hacen los programas COMP624LP, LPILE, ALLPILE y otros similares.

## 5.6 METODO DE EQUILIBRIO LIMITE CONSIDERANDO PILAS

Para el análisis de equilibrio límite por el método de las dovelas, Liang presenta las siguientes consideraciones, obtenidas de plantear ecuaciones de equilibrio para el elemento de la figura 57.

Figura 57. Ecuaciones para cálculo de fuerzas entre dovelas, método Liang.



Fuente: autor con base en las ecuaciones de método de Liang.

El software UA Slope 2.1<sup>13</sup>, disponible en la pagina web<sup>14</sup> del Departamento de transporte de Ohio, fue desarrollado por la Universidad de Akron para aplicar el método de Liang y calcular la carga sobre la pila y el factor de seguridad para el análisis de una superficie de falla determinada. Este software requiere ingresar los datos de geometría de la ladera, estratigrafía del terreno, parámetros de resistencia al corte del suelo  $c$  y  $\phi$ , posición de la pila dentro de la ladera y superficie de falla a analizar.

## 5.7 SUPERFICIE DE FALLA PARA ANALISIS CON PILAS

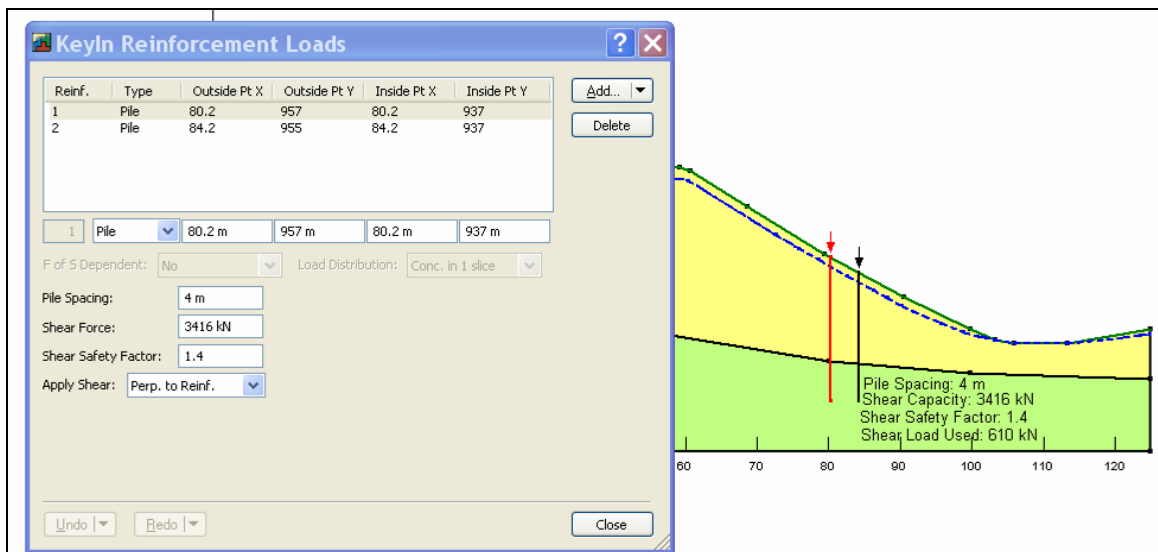
Para ubicar la superficie de falla con la fila de pilas, en el programa SLOPE/W se usa la opción de refuerzo con pilote, ingresando los parámetros mostrados en la figura 58.

<sup>13</sup> OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Op.cit., p. 16.

<sup>14</sup> THE UNIVERSITY OF AKRON. UA Slope 2.1[Software]. Disponible en internet desde: <www.dot.state.oh.us/Divisions/Engineering/Geotechnical/Geotechnical\_Documents/UA Slope 2.1 Installer 2011-12-06.zip>

Las dos pilas aportan 1220 KN/m, valor que corresponde al calculado anteriormente (figura 53) para estabilizar el talud. Para obtener una Fuerza horizontal de 610 KN/m como Fuerza de estabilización para cada fila de pilas se ingresa el valor de 3416 KN como Fuerza al corte de cada pila, debido a que SLOPE/W divide esta fuerza entre el FS de 1.4 y la separación entre pilas  $S=4$  m.

Figura 58. Datos de Pilas ingresadas al programa SLOPE/W.



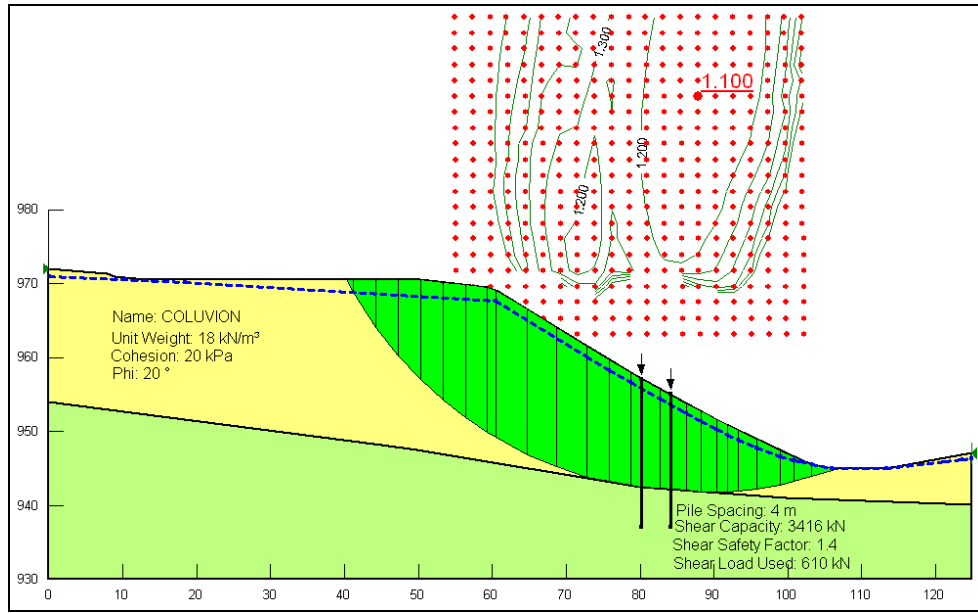
Fuente: Autor.

Con estas pilas se obtiene un Factor de seguridad de 1.1, la figura 59 muestra la superficie de falla para este caso.

Es importante aclarar que la opción de refuerzo con pilotes del programa SLOPE/W, no calcula la fuerza sobre los pilotes. El programa encuentra el FS para diversas superficies de falla, usando la carga en los pilotes suministrada por el diseñador. Este valor “Shear Force” (Fuerza por corte que soporta el pilote) es el que se obtiene aplicando el método de Liang y por lo tanto es un error ingresar en esta casilla la máxima resistencia al corte ( $V_u$ ), que por diseño estructural se calcula para las dimensiones, materiales y refuerzo de los pilotes.

La superficie de falla obtenida con el programa SLOPE/W se ingresa al programa UA Slope 2.1, con el fin de encontrar el FS y la fuerza sobre las pilas (Anexo D).

Figura 59. Superficie de falla con pilas.



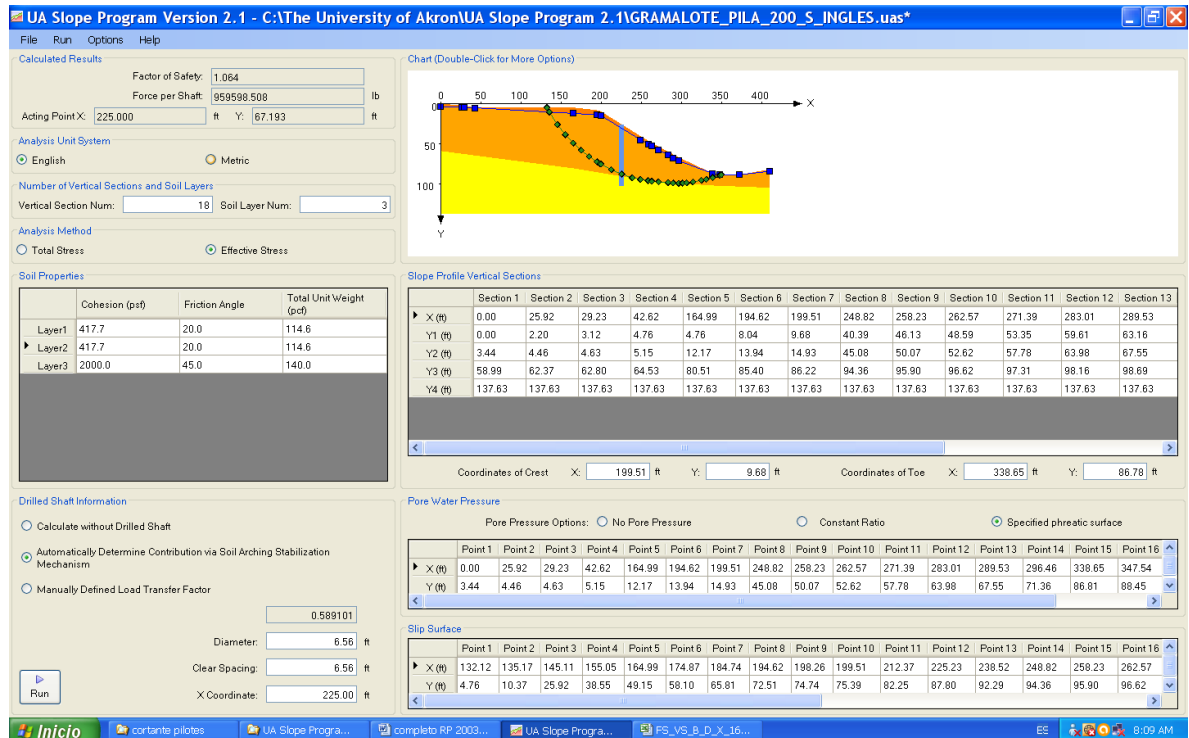
Fuente: Autor.

## 5.8 ANALISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS

Con la información de la ladera se utiliza el método de Liang para calcular la variación del Factor de Seguridad y la carga sobre las pilas según la posición que ocupe la fila de pilas dentro de la ladera. De manera preliminar se obtuvo el resultado para una sola fila de pilas, usando el programa UA Slope 2.1, los datos se ingresan en unidades Inglesas (Libras y pies). La figura 60 y el Anexo D muestran la entrada de datos en el programa. La opción para ingresar los datos en unidades del Sistema Internacional (SI) da resultados inconsistentes, lo cual fue verificado por este autor y confirmado en un e-mail por los creadores del programa en la Universidad de Akron.

Utilizando una hoja de Excel, se programaron las ecuaciones del método de Liang y se verificó que los resultados en unidades Inglesas eran coincidentes entre el programa UA Slope 2.1 y la hoja de Excel. En el anexo D se presenta el resumen de los datos, procedimientos y resultados utilizando las dos opciones.

Figura 60. Entrada datos programa UA Slope 2.1.



Fuente: Autor.

Utilizando el programa y la hoja de Excel se calcularon los valores del FS y la carga sobre la pila, para diferentes separaciones y posiciones de la pila, los cuales se muestran en la tabla 12 y la figura 61.

De la gráfica se confirma que para la resistencia máxima al corte de la pila de diámetro 2 metros ( $V=3019$  KN), se obtiene un  $FS=1.0$  utilizando una fila de pilotes ubicada a 91 metros (261 ft) desde el origen de coordenadas. Si la pila se ubica mas arriba en la ladera, la carga en la pila y el Factor de seguridad aumentan. El mayor aporte de resistencia de la pila se presenta cuando esta se ubica a una

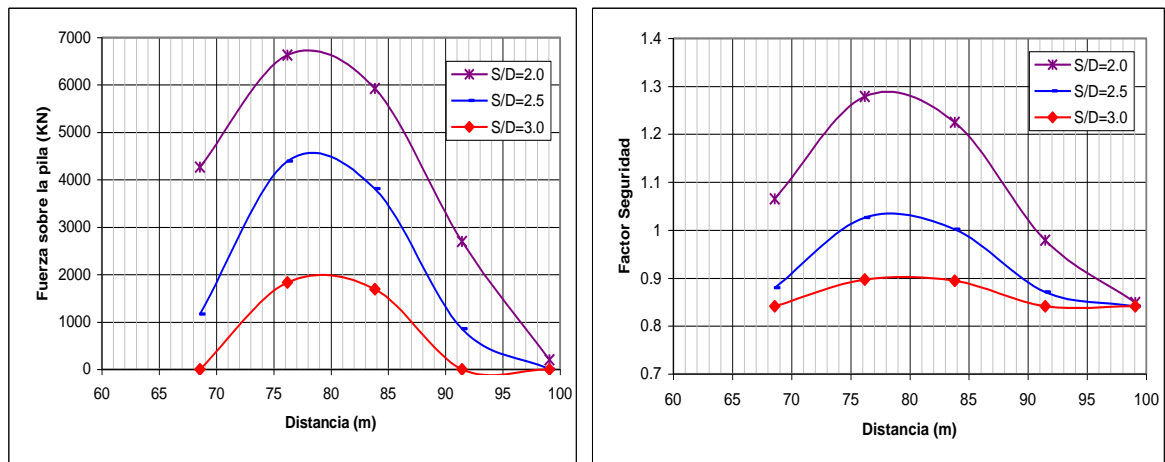
distancia aproximada de 80 metros (262.5 ft), aproximadamente a una distancia igual al 60% de la longitud de la pendiente, medida desde la cresta.

Tabla 12. Variación Factor de seguridad y Fuerza sobre las pilas

Diametro (m)	S/D	Distancia (ft)	Distancia (m)	FS	F pila Lbf	F pila KN
2	2	225	68.58	1.065	959598	4269
2	2	250	76.2	1.278	1488870	6623
2	2	275	83.82	1.225	1330844	5920
2	2	300	91.44	0.978	606110	2696
2	2	325	99.06	0.849	46325	206
2	2.5	225	68.58	0.880	261681	1164
2	2.5	250	76.2	1.026	987655	4393
2	2.5	275	83.82	1.002	856689	3811
2	2.5	300	91.44	0.871	192445	856
2	2.5	325	99.06	0.840	0	0
2	3	225	68.58	0.840	0	0
2	3	250	76.2	0.896	413036	1837
2	3	275	83.82	0.893	380824	1694
2	3	300	91.44	0.840	0	0
2	3	325	99.06	0.840	0	0

Fuente: Autor

Figura 61. Variación FS y Fuerza sobre las pilas con la distancia

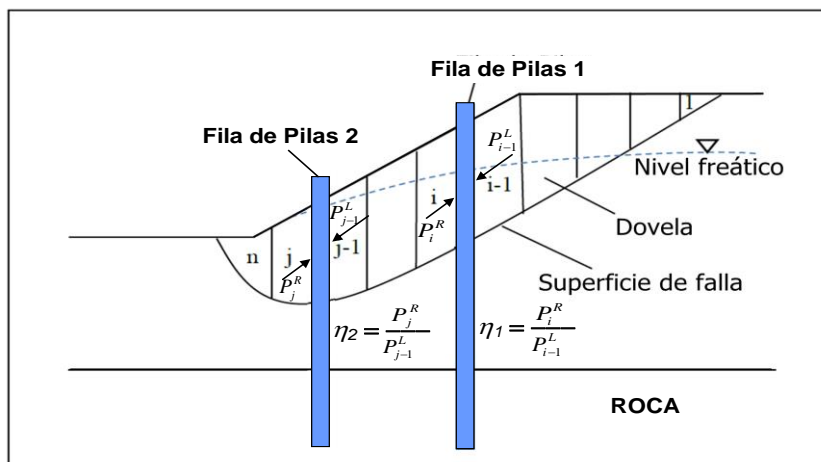


Fuente: Autor.

Para poder obtener un Factor de seguridad mayor a 1 se requiere utilizar pilas de mayor diámetro o usar dos filas de pilas, tal como se había calculado anteriormente.

Para hacer el análisis utilizando dos filas (figura 62), Liang<sup>15</sup> recomienda calcular el coeficiente de transferencia de carga ( $\eta$ ) para cada fila y emplear las mismas ecuaciones de equilibrio límite utilizadas para el cálculo con una sola fila, cambiando el valor de  $\eta$  a  $\eta_1$  para la fila 1 (dovelas  $i, i-1$ ) y  $\eta_2$  para la fila 2 (dovelas  $j, j-1$ ).

Figura 62. Análisis de equilibrio límite para dos filas de pilas.



Fuente: Autor

En este trabajo el cálculo del Factor de seguridad y Carga sobre las pilas se hace con la misma hoja de Excel con la cual se verificaron los cálculos del programa UA Slope 2.1, añadiendo la información correspondiente a la segunda fila de pilas. El Anexo E muestra ejemplos con los cálculos realizados. La tabla 13 presenta el resumen de los datos de entrada seleccionados y los resultados obtenidos. La

<sup>15</sup> LIANG, Robert. Probabilistic Analysis Algorithm for UA Slope Software Program. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2013. p. 83.

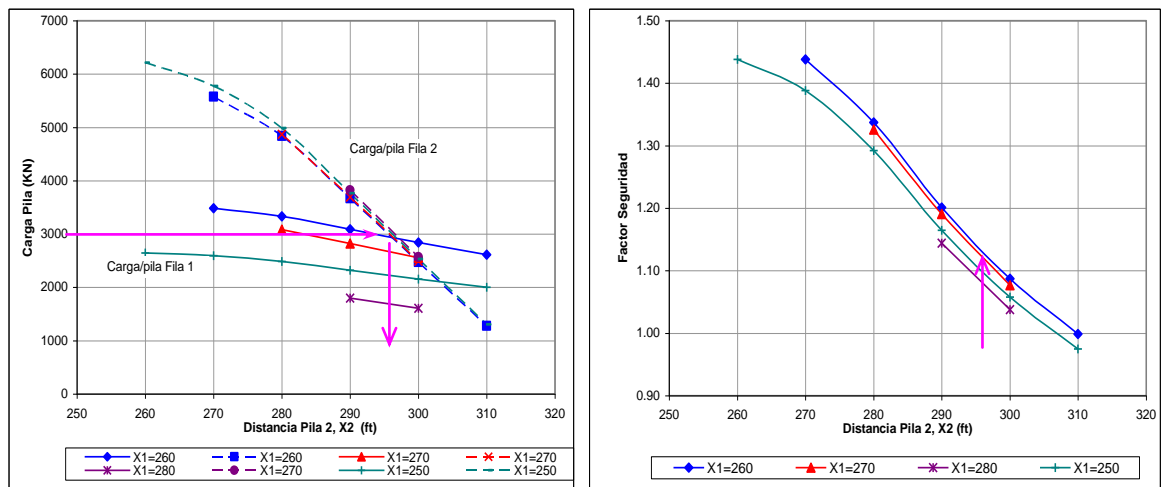
Figura 63 y 64 presenta la variación de la carga sobre cada pilote y el FS encontrado.

Tabla 13. Resultados con dos filas de pilas y Factor de seguridad

Fila 1 S/D 1	Fila 2 S/D2	X1 (ft)	X2 (ft)	FS	Pila 1 (KN)	Pila 2 (KN)	Fila 1 S/D 1	Fila 2 S/D2	X1 (ft)	X2 (ft)	FS	Pila 1 (KN)	Pila 2 (KN)	
3.0	2.0	250	260	1.438	2642	6213	2.5	2.0	260	270	1.752	6633	4637	
		250	270	1.388	2592	5771			260	280	1.620	6394	4081	
		250	280	1.292	2486	4987			260	290	1.440	6002	3166	
		250	290	1.165	2321	3763			260	300	1.282	5574	2178	
		250	300	1.058	2154	2532			260	310	1.159	5168	1143	
3.0	2.0	250	310	0.975	2002	1302	2.5	2.0	270	280	1.599	6083	4129	
		260	270	1.438	3483	5578			270	290	1.418	5645	3205	
		260	280	1.337	3329	4836			270	300	1.260	5170	2207	
		260	290	1.201	3087	3666			270	310	1.137	4719	1160	
		260	300	1.087	2841	2476			2.5	2.0	280	290	1.344	4686
260	310	0.999	2614	1278	280	300	1.197	4222			2296			
270	280	1.326	3082	4871	280	310	1.083	3785			1202			
270	290	1.191	2822	3693	2.5	2.5	260	270			1.346	5758	3226	
270	300	1.077	2558	2495			260	280			1.272	5542	2575	
280	290	1.144	1802	3819			260	290	1.176	5226	1615			
280	300	1.038	1606	2570			260	300	1.097	4929	705			
280	310	0.999	1506	1278			2.5	2.5	270	280	1.250	5137	2617	
270	290	1.133	2274	4327	270	290			1.153	4787	1641			
270	300	1.108	2236	3898	270	300			1.075	4455	717			
270	310	1.055	2149	3065	2.5	2.5			280	290	1.098	3849	1711	
260	270	1.140	2960	3791					280	300	1.025	3528	745	
260	280	1.083	2831	2988										
260	290	1.011	2648	1840										
260	300	0.999	2614	1278										
3.0	2.5	270	280	1.074	2548	3014								
		270	290	1.001	2352	1855								
		270	300	0.999	2614	1278								

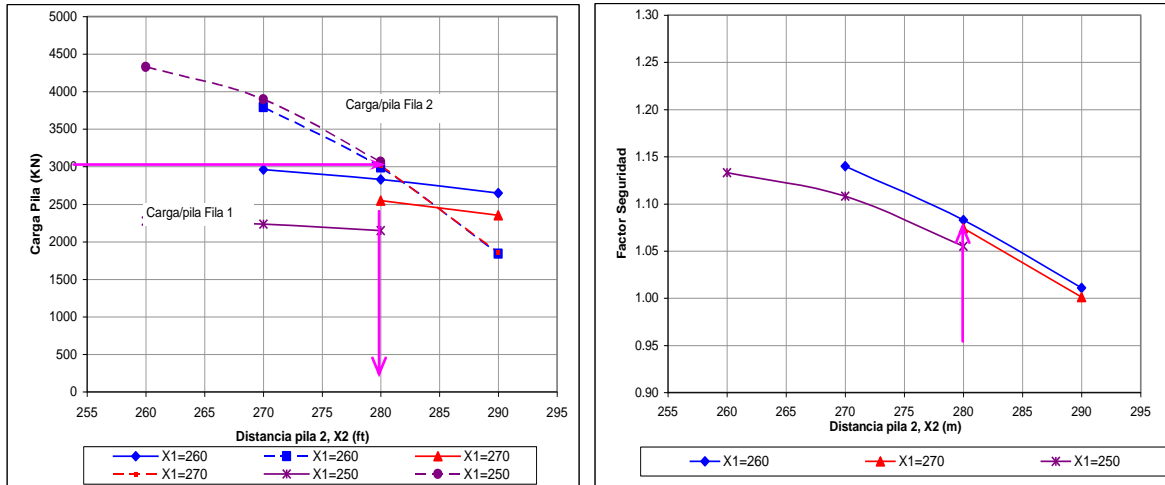
Fuente: Autor.

Figura 63. Carga sobre pilas y factor de seguridad S/D<sub>FILA 1</sub>=3 S/D<sub>FILA 2</sub>=2



Fuente: Autor.

Figura 64. Carga pilas y factor de seguridad  $S/D_{FILA\ 1}=3$   $S/D_{FILA\ 2}=2.5$



Fuente: Autor.

Para la relación  $S/D=3$  en la primera fila y  $S/D=2$  en la segunda, figura 63, se observa que la fuerza por corte admisible para una pila de 2 metros de diámetro ( $V=3019$  KN), se obtiene cuando las pilas se ubican aproximadamente a las distancias  $X1=260$  ft (79.2m) para la primera fila y  $X2=296$  ft (90.2 m) para la segunda fila, con separación entre filas de 11 metros, el factor de seguridad en este caso es aproximadamente 1.13.

Para una relación  $S/D=2.5$  en la segunda fila, figura 64, la fuerza por corte admisible ( $V=3019$  KN), se cumple para las distancias  $X1=260$  ft (79.2m) para la primera y  $X2=280$  ft (85.3 m) para la segunda, con separación entre filas de 6.1 metros, el factor de seguridad es aproximadamente 1.08.

Desde el punto de vista económico, en la opción 1 los pilotes de la segunda fila serán un poco más cortos (aproximadamente 2 a 3 metros) que los de la opción 2, disminuyendo el volumen de concreto por pilote individual, pero al estar mas juntos se tiene también un ligero incremento en el volumen de concreto. La diferencia entre volúmenes de concreto no es muy grande, tal como se muestra en los cálculos de tabla 14.

Para este trabajo se selecciona la alternativa 1, ya que se espera mejor desarrollo del mecanismo de arco por la mayor distancia entre las filas y por estar las pilas de la primera fila enfrentadas con pilas de la segunda fila, configurando con la pila intermedia de la segunda fila una distribución tipo tresbolillo.

Tabla 14. Volúmenes de concreto para alternativas de separación fila 2

Alternativa	Diametro caisson	Separ	S/D	Vu /pilote NSR-10	FS corte	V / pilote	No. Filas	Volumen /m Largo	Volumen/m /m Largo	Largo	Volumen/m m3/m
	m	m		KN		KN		m3/mL	m3/mL/m	m	
1	2.0	4.0	2.0	4227.9	1.4	3019.9	1	3.14	0.79	14.2	11.15
2	2.0	5.0	2.5	4227.9	1.4	3019.9	1	3.14	0.63	17	10.68

Fuente: Autor.

El diámetro, separación y posición para cada una de las filas, son introducidas a la hoja de Excel y se calcula el FS y la fuerza sobre las pilas. Los valores de posición X1 para la fila 1 y X2 para la fila son ajustados con el fin de equilibrar de mejor manera el valor de la carga sobre las pilas. En la figura 65 se muestran los resultados obtenidos con la hoja de Excel y la tabla 15 muestra la información de las pilas seleccionadas.

Tabla 15. Diámetro, separación y posición de las pilas seleccionadas.

Fila	Diametro caisson	Separ S	S/D	Posicion X	Posicion X	F corte KN	Vu /pilote NSR-10	FS corte	V / pilote	Relacion cortante	FS
	m	m		ft	m		KN		KN	V/F	
1	2.0	6.0	3.0	262.0	79.8	3010	4227.9	1.4	3019.9	1.00	1.139
2	2.0	4.0	2.0	296.0	90.2	3010	4227.9	1.4	3019.9	1.00	

Fuente: Autor.

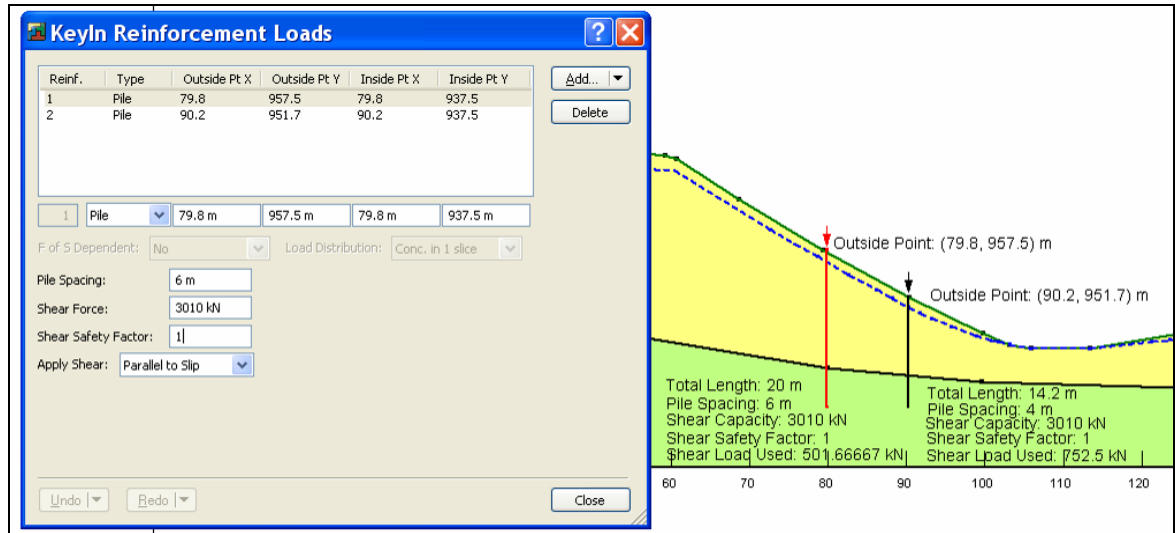
Los resultados de posición y carga para las pilas, se ingresan al modelo del programa SLOPE/W, con el fin de verificar el cálculo del FS y la existencia de otras posibles superficies de falla críticas. La figura 66 presenta los datos ingresados y la figura 67 los resultados obtenidos para el FS mínimo.

Figura 65. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las pilas, NF superficial.

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61							
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12							
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49							
1	6.5616798	13.1234	X fila 1	262	ee	0.550884	x= X-Xcrest	129.88	$k_i = \frac{\cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i)}{FS} \frac{\tan \phi_i}{FS}$						
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	296	ee	0.3065258	x= X-Xcrest	163.88	$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$						
CONVERSION A LB Y FT										T <sub>i</sub> = Wcos a + Pi-1 sin(a-ai)-uL					
c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61							
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12							
D	B	S	S/D	ang B	28.9917		DX	217.49	%DX						
6.56168	13.12336	19.685	3	X fila 1	262	ee	0.550884	x= X-Xcrest	129.88	59.7	n1	0.80270			
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	296	ee	0.3065258	x= X-Xcrest	163.88	75.4	n1	0.52128			
DATOS DOVELAS										$P_i^L = W_i \text{sen} \alpha_i - \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta L_{i-1}^L$					
Dovela i	Wi	a i	Li	ui	ki	Wi sen a	Wcos a-uL	k * Pi-1	Ti f	T	Xi-Xcrest	n	Pi	F pila	F pila
No.	Lbf	(°)	ft	Lbf/ft2		Lbf	Lbf	LbF	LbF	Lbf	ft		Lbf	Lbf	KN
0	0	0	0	0	0.77	1733.14	986.32	0.00	358.99	3539.08	4.35	1.00000	-1805.94	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.98	4639.32	375.91	-1773.93	103.06	3080.80	8.70	1.00000	-215.41	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	1.00	7491.78	-1075.81	-215.33	-391.65	0.00	13.05	1.00000	7276.45	0	0
3	8998.26	57.35	8.06	729.03	0.96	9400.91	-313.50	7017.61	141.97	2478.26	17.40	1.00000	13940.27	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	1.00	11565.94	-921.95	13940.27	-335.56	0.00	21.75	1.00000	25506.21	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	0.98	12968.05	175.85	24959.51	632.38	2452.64	26.10	1.00000	35474.93	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.99	14358.89	652.39	35177.63	563.32	2539.60	30.45	1.00000	46996.91	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	15516.86	1548.36	46450.92	1153.77	2744.37	34.80	1.00000	59223.41	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.98	15947.81	2816.37	58270.07	2036.93	3051.28	39.15	1.00000	71166.59	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	1.00	16879.33	3122.03	70890.89	1444.72	3126.11	43.50	1.00000	84644.11	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	0.98	16634.04	4980.85	82838.38	3690.95	3614.56	47.85	1.00000	95857.86	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	1.00	17528.97	5047.61	95857.86	1837.18	3635.88	52.20	1.00000	109750.95	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	0.98	16915.07	6970.33	107433.67	4949.11	4162.30	56.55	1.00000	120186.43	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	1.00	17437.58	7304.72	119921.78	2957.06	4260.12	60.90	1.00000	133099.24	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	0.99	17304.17	8628.61	131815.93	4539.51	4646.79	65.25	1.00000	144473.30	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.98	15692.82	12800.16	141038.18	8199.31	5905.58	69.60	1.00000	150825.42	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	1.00	15324.85	12950.04	150355.86	5240.53	5944.07	73.95	1.00000	159736.64	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15233.66	12868.14	159736.64	4683.61	5917.91	78.30	1.00000	169052.39	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	13854.12	13778.43	166470.60	7764.25	6168.34	82.65	1.00000	174156.37	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	12579.58	14359.79	171922.24	7629.47	6323.87	87.00	1.00000	178177.94	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	1.00	12415.28	14176.42	178177.94	5159.79	6265.30	91.35	1.00000	184327.92	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	0.98	10871.01	14814.18	181297.27	8604.17	6435.78	95.70	1.00000	185732.50	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.99	9692.08	15038.44	183626.92	7752.37	6487.05	100.05	1.00000	186831.95	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	1.00	9494.32	14743.98	186831.95	5366.36	6392.98	104.40	1.00000	189933.29	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	0.98	7412.40	15272.43	185397.93	10231.37	6527.90	108.75	1.00000	186282.43	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	5540.27	15367.18	182390.62	9647.67	6535.39	113.09	1.00000	181395.50	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	1.00	5196.00	14938.94	181035.88	5843.17	6396.62	117.44	1.00000	179835.26	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	0.99	4240.17	14194.77	178033.46	7127.46	6150.21	121.79	1.00000	176123.42	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	1.00	4084.29	13627.09	176124.38	4958.75	5968.88	126.14	1.00000	174239.80	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	3967.39	13393.74	174312.19	4792.27	5894.68	130.49	0.80270	138373.33	676723	3010
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	1749.49	12805.53	130079.38	4660.83	5690.09	139.19	1.00000	126138.78	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1565.06	12109.54	125937.21	4635.40	5467.16	143.54	1.00000	122035.11	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1489.51	11583.78	122031.65	4220.09	5299.20	147.89	1.00000	118221.96	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1464.59	11052.64	118316.66	3914.50	5129.84	152.24	1.00000	114651.42	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1490.96	10570.25	114853.73	3614.71	4976.44	156.59	1.00000	111368.25	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1321.99	10072.07	111187.31	3870.48	4816.67	160.94	1.00000	107692.62	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	788.37	9600.27	106689.47	4589.31	4663.18	165.29	0.52128	53595.59	676565	3010
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	-793.61	8499.08	51618.09	5041.35	4311.72	169.64	1.00000	46512.76	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	-1208.43	7762.88	45984.48	3397.16	4080.26	173.99	1.00000	40695.78	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-1612.94	6962.70	40143.75	3126.16	3831.46	178.34	1.00000	34699.35	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1541.27	6209.84	34610.52	2360.17	3592.62	182.69	1.00000	29476.63	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1818.17	5334.28	29016.63	2430.71	3324.55	187.04	1.00000	23873.92	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1566.08	4559.14	23873.92	1659.39	3076.94	191.39	1.00000	19230.90	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1554.06	3701.02	19011.66	1584.28	2813.77	195.74	1.00000	14643.83	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1385.46	2838.98	14512.75	1176.63	2548.55	200.09	1.00000	10578.74	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1115.04	1964.29	10484.34	818.16	2280.57	204.44	1.00000	7088.73	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-758.89	1053.19	7026.31	451.62	2002.17	208.79	1.00000	4265.25	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-474.44	600.18	4231.18	255.86	1870.16	213.14	1.00000	1886.59	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-135.35	174.34	1877.67	73.39	1742.32	217.49	1.00000	0.00	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99										
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00										

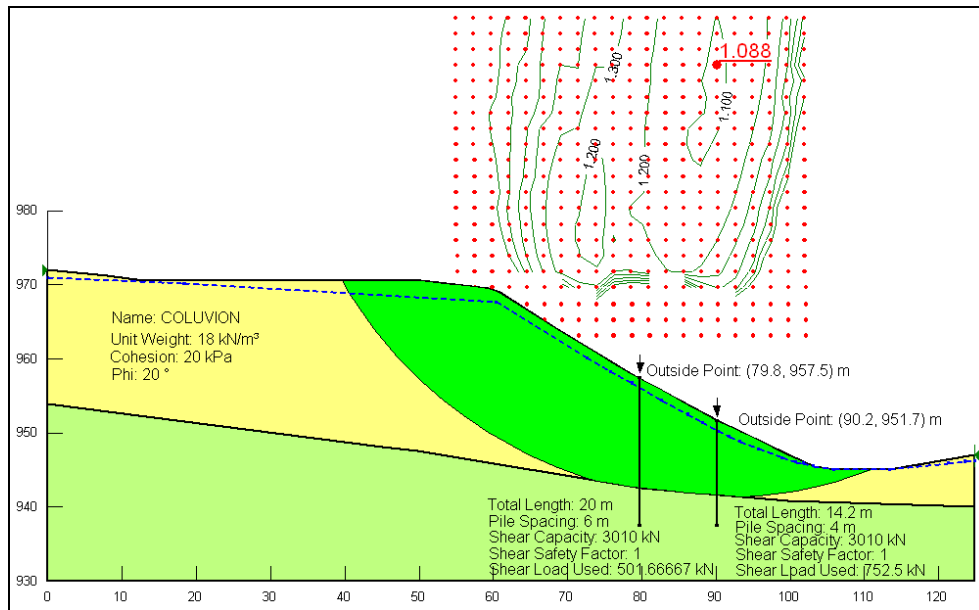
Fuente: Autor.

Figura 66. Datos de las pilas seleccionadas, SLOPE/W



Fuente: Autor

Figura 67. Factor seguridad Pilas seleccionadas, SLOPE/W



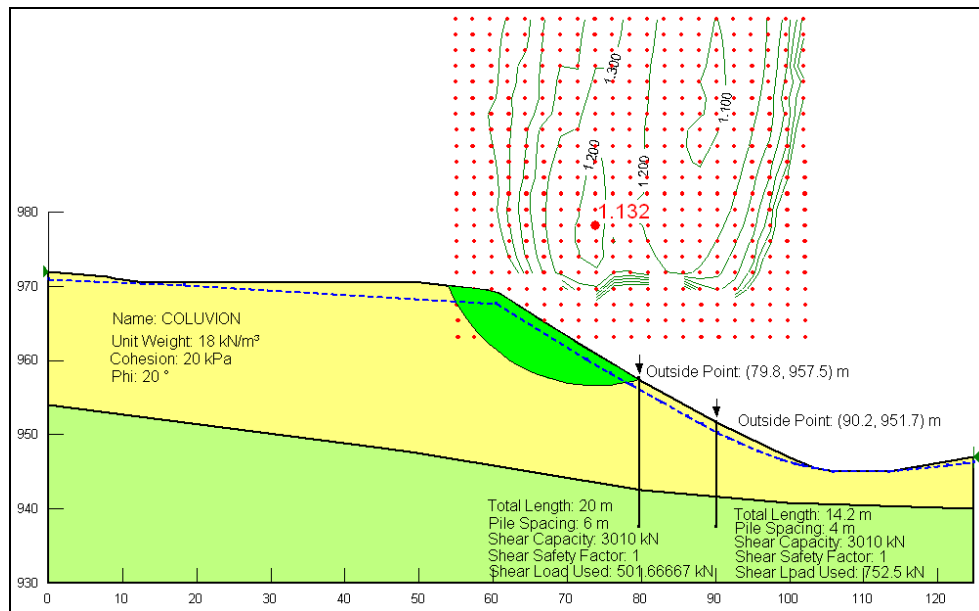
Fuente: Autor.

El Factor de seguridad calculado con SLOPE/W es 1.088, algo menor al obtenido con la hoja de Excel ya que no corresponde exactamente a la superficie de falla considerada en US Slope 2.1 y la hoja de Excel. Estas dos superficies sin

embargo son muy aproximadas. Para un procedimiento mas refinado, se debería ingresar la nueva superficie de falla en la hoja de EXCEL y hacer el recálculo de las fuerzas y el Factor de Seguridad, el proceso se convierte en iterativo y solo se justifica en el caso de que se encuentran diferencias grandes entre la superficie de falla de SLOPE/W y la que se utilizó inicialmente en la hoja de cálculo.

El programa SLOPE/W también sirve para verificar que no existan otras superficies de falla críticas, que generen falla y deslizamiento local por encima o por debajo de la fila de pilas; esta situación se puede presentar si las pilas quedan muy abajo o muy arriba dentro de la ladera. En la figura 68 se muestra la superficie de falla por encima de la fila de pilas, para la cual se tiene un FS=1.132, algo mayor al FS de la ladera.

Figura 68. FS para Falla local arriba de la fila de pilas, SLOPE/W



Fuente: Autor.

Para el Nivel freático en posición intermedia, se hace el cambio de la presión de poros en la hoja de Excel y se obtienen las cargas y el FS; las cargas se ingresan

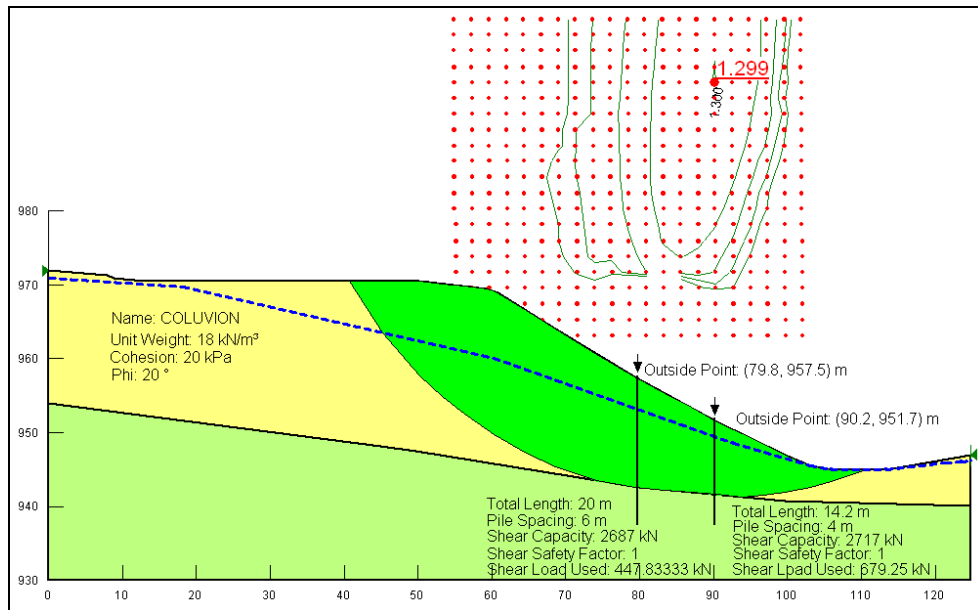
al programa SLOPE/W y se obtienen los resultados mostrados en la figuras 69 y 70.

Figura 69. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las pilas, NF intermedio.

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61								
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12								
Fila	D	B	ang B	28.9917	DX			217.49	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$							
1	6.5616798	13.1234	X fila 1	262	ee	0.550884	x= X-Xcrest	129.88								
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	296	ee	0.3065258	x= X-Xcrest	163.88								
CONVERSION A LB Y FT													$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$			
c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	T <sub>i</sub> = Wcos a + Pi-1sin(a-ai)-uL							
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	T = (cL+(Wcosa-uL)tan fi)/FS							
D	B	S	S/D	ang B	DX			217.49	%DX							
6.56168	13.12336	19.685	3	X fila 1	262	ee	0.550884	x= X-Xcrest	129.88	59.7	n1	0.80270				
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	296	ee	0.3065258	x= X-Xcrest	163.88	75.4	n1	0.52128				
DATOS DOVELAS													$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \frac{c_i l_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i P_{i-1}^L$		FS	
Dovela i	Wi	a (°)	Li	ui	ki	Wi sen a	Wcos a-uL	k' Pi-1	Ti f	T	Xi-Xcrest	n	Pi	F pila	F pila	
No.	Lbf		ft	Lbf/ft2		Lbf	Lbf	LbF	LbF	LbF	ft		Lbf	Lbf	KN	
0	0.00	0.00	0.00										0			
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.73	1733.14	986.32	0.00	358.99	3053.37	4.35	1.00000	-1320.23	0	0	
2	5506.18	57.41	8.08	0.00	0.98	4639.32	2965.59	-1299.80	1054.71	3371.69	8.70	1.00000	-32.17	0	0	
3	8898.26	57.35	8.06	0.00	1.00	7491.78	4801.28	-32.16	1747.51	3872.96	13.05	1.00000	3586.66	0	0	
4	11963.17	51.80	7.03	78.81	0.97	9400.91	6844.39	3474.28	2617.37	4110.84	17.40	1.00000	8764.34	0	0	
5	14718.29	51.80	7.03	353.35	1.00	11565.94	6617.31	8764.34	2408.50	4048.26	21.75	1.00000	16282.02	0	0	
6	17372.22	48.29	6.54	615.57	0.98	12968.05	7535.58	15976.74	3105.55	4144.37	26.10	1.00000	24800.43	0	0	
7	19684.51	46.84	6.36	836.12	0.99	14358.89	8147.95	24620.03	3193.42	4256.83	30.45	1.00000	34722.09	0	0	
8	21996.81	44.86	6.14	1056.67	0.99	15516.86	9106.56	34371.22	3750.57	4450.76	34.80	1.00000	45437.33	0	0	
9	23754.32	42.17	5.87	1237.90	0.99	15947.81	10339.55	44799.41	4539.60	4705.89	39.15	1.00000	56041.32	0	0	
10	25478.51	41.49	5.81	1416.42	1.00	16879.33	10860.04	55853.46	4195.58	4829.66	43.50	1.00000	67903.14	0	0	
11	27020.98	38.00	5.52	1572.78	0.98	16634.04	12613.01	66636.02	6097.38	5221.90	47.85	1.00000	78048.16	0	0	
12	28474.74	38.00	5.52	1718.32	1.00	17528.97	12955.33	78048.16	4715.35	5316.24	52.20	1.00000	90260.89	0	0	
13	29838.51	34.53	5.28	1852.89	0.98	16915.07	14797.21	88594.07	7369.50	5748.14	56.55	1.00000	99761.00	0	0	
14	31068.90	34.14	5.26	1971.18	1.00	17437.58	15354.10	99571.15	5836.09	5893.85	60.90	1.00000	111114.88	0	0	
15	32216.53	32.49	5.16	2062.14	0.99	17304.17	16540.75	110184.21	7188.22	6189.63	65.25	1.00000	121298.75	0	0	
16	32754.17	28.63	4.96	2096.68	0.98	15692.82	18359.84	118772.69	9654.95	6627.33	69.60	1.00000	127838.19	0	0	
17	32560.41	28.08	4.93	2142.79	1.00	15324.85	18164.63	127494.00	7058.14	6565.43	73.95	1.00000	136253.43	0	0	
18	32366.65	28.08	4.93	2188.90	1.00	15233.66	17766.36	136253.43	6466.42	6455.67	78.30	1.00000	145031.42	0	0	
19	32161.66	25.52	4.82	2233.68	0.99	13854.12	18258.61	143100.59	9004.24	6556.51	82.65	1.00000	150398.19	0	0	
20	31747.03	23.34	4.74	2253.72	0.99	12579.58	18471.18	148718.79	8798.09	6589.06	87.00	1.00000	154709.30	0	0	
21	31332.39	23.34	4.74	2273.75	1.00	12415.28	17995.56	154709.30	6549.84	6457.98	91.35	1.00000	160666.60	0	0	
22	30898.57	20.60	4.65	2291.53	0.99	10871.01	18274.54	158362.23	9451.30	6506.19	95.70	1.00000	162727.06	0	0	
23	30280.72	18.67	4.59	2287.58	0.99	9692.08	18184.67	161122.77	8615.24	6463.84	100.05	1.00000	164351.01	0	0	
24	29662.86	18.67	4.59	2283.63	1.00	9494.32	17617.44	164351.01	6412.22	6307.52	104.40	1.00000	167537.81	0	0	
25	29033.40	14.79	4.50	2278.31	0.98	7412.40	17821.36	164033.70	10608.13	6334.48	108.75	1.00000	165111.62	0	0	
26	28118.75	11.36	4.44	2239.33	0.98	5540.27	17632.13	162094.98	10011.26	6262.68	113.09	1.00000	161372.57	0	0	
27	27204.10	11.01	4.43	2200.36	1.00	5196.00	16952.66	161096.13	6531.31	6073.71	117.44	1.00000	160218.43	0	0	
28	26253.78	9.29	4.41	2152.65	0.99	4240.17	16420.97	158823.61	7723.82	5919.67	121.79	1.00000	157144.11	0	0	
29	25285.99	9.30	4.41	2103.46	1.00	4084.29	15682.57	157144.85	5707.00	5716.18	126.14	1.00000	155512.97	0	0	
30	24368.20	9.37	4.41	2060.82	1.00	3967.39	14957.68	155568.69	5370.37	5516.70	130.49	0.80270	123631.33	603991	2687	
31	23431.93	4.47	4.36	1998.30	0.97	1827.52	14641.78	120271.57	9170.28	5415.23	134.84	1.00000	116683.86	0	0	
32	22431.35	4.47	4.36	1927.80	1.00	1749.49	13951.85	116683.86	5078.05	5225.09	139.19	1.00000	113208.26	0	0	
33	21426.46	4.19	4.36	1857.92	1.00	1565.06	13266.01	113051.99	5032.96	5035.55	143.54	1.00000	109581.50	0	0	
34	20416.95	4.18	4.36	1786.53	1.00	1489.51	12570.73	109578.82	4578.91	4843.93	147.89	1.00000	106224.41	0	0	
35	19407.43	4.33	4.36	1715.14	1.00	1464.59	11870.23	106297.77	4223.07	4651.13	152.24	1.00000	103111.23	0	0	
36	18402.10	4.65	4.36	1641.54	1.00	1490.96	11177.69	103267.99	3859.20	4460.87	156.59	1.00000	100298.08	0	0	
37	17396.78	4.36	4.36	1571.85	1.00	1321.99	10489.41	100157.31	4002.05	4270.63	160.94	1.00000	97208.67	0	0	
38	16389.27	2.76	4.35	1500.24	0.99	788.37	9836.98	96422.24	4568.85	4088.43	165.29	0.52128	48543.06	610701	2717	
39	15297.16	-2.97	4.36	1437.81	0.97	-793.61	9013.94	46964.49	5045.11	3861.86	169.64	1.00000	42309.03	0	0	
40	14121.42	-4.91	4.37	1340.73	0.99	-1208.43	8216.26	41891.13	3510.51	3645.23	173.99	1.00000	37037.46	0	0	
41	12870.23	-7.20	4.38	1234.60	0.99	-1612.94	7355.82	36599.95	3216.03	3413.96	178.34	1.00000	31573.04	0	0	
42	11573.43	-7.65	4.39	1123.01	1.00	-1541.27	6541.58	31503.17	2471.91	3190.99	182.69	1.00000	26770.92	0	0	
43	10201.53	-10.27	4.42	1002.42	0.99	-1818.17	5606.93	26406.66	2485.04	2943.42	187.04	1.00000	21645.08	0	0	
44	8787.08	-10.27	4.42	876.73	1.00	-1566.08	4770.73	21645.08	1736.40	2712.96	191.39	1.00000	17366.04	0	0	
45	7348.79	-12.21	4.45	748.19	0.99	-1554.06	3852.80	17193.86	1616.52	2469.43	195.74	1.00000	13170.37	0	0	
46	5829.19	-13.75	4.48	609.91	0.99	-1385.46	2930.91	13068.00	1195.67	2224.11	200.09	1.00000	9458.42	0	0	
47	4229.55	-15.29	4.51	462.03	0.99	-1115.04	1996.46	9385.14	818.94	1976.45	204.44	1.00000	6293.65	0	0	
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	6245.54	443.96	1727.38	208.79	1.00000	3759.27	0	0	
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	3733.21	251.42	1613.49	213.14	1.00000	1645.28	0	0	
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1638.55	72.12	1503.20	217.49	1.00000	0.00	0	0	

Fuente: Autor

Figura 70. Factor seguridad Pilas seleccionadas, NF intermedio. SLOPE/W



Fuente: Autor.

La carga que aporta cada pila es menor a la del caso con el Nivel freático superficial, pero el factor de seguridad aumenta a 1.3, por efecto del menor nivel freático. Este valor es aceptable para la condición de la ladera.

Para el Nivel freático encontrado en el sitio, la figura 71 presenta el cálculo de la fuerza sobre las pilas y el FS con las obras utilizando el método de Liang y en la figura 72 los resultados con SLOPE/W. La tendencia se mantiene con la disminución de la carga sobre las pilas y aumento del Factor de seguridad, en este caso a un valor algo mayor a 1.5.

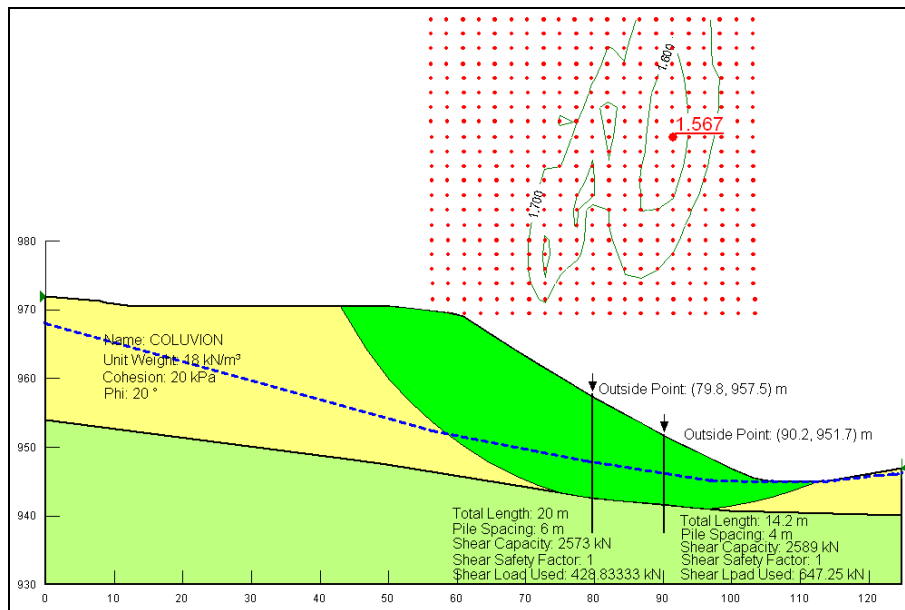
Para el nivel freático en la posición “in situ”, encontrada en las exploraciones, se presenta en la figura 73 el cálculo del FS sin obras, utilizando el programa SLOPE/W. Este valor es de 1.173, valor bajo, por lo cual las obras también son necesarias para mejorar la estabilidad inicial.

Figura 71. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las pilas, NF "in situ".

c		417.7	psf	X pata		338.65	Y pata		86.78	Xdov der		349.61				
fi		20	°	Xcresta		199.51	Ycresta		9.68	X dov izq		132.12				
Fila		D		B		ang B		28.9917	DX		217.49	$k_i = \frac{\cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \operatorname{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \phi_i}{FS}$ $T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i l_i] \frac{\tan \phi_i}{FS}$				
1		6.5616798	13.1234	ft		X fila 1		262	ee		0.550884		x= X-Xcrest	129.88		
2		6.5616798	6.56168	ft		X fila 2		296	ee		0.3065258		x= X-Xcrest	163.88		
CONVERSION A LB Y FT													$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a - \alpha_i) - u_i l_i$ $T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$			
c		417.7	psf	X pata		338.65	Y pata		86.78	Xdov der		349.61				
fi		0.3490656	rad	Xcresta		199.51	Ycresta		9.68	X dov izq		132.12				
D		B		S		S/D		ang B		28.9917	DX		217.49	%DX		
6.56168		13.12336	19.685	3		X fila 1		262	ee		0.550884	x= X-Xcrest	129.88	n1	0.80270	
6.56168		6.5616798	13.1234	2		X fila 2		296	ee		0.3065258	x= X-Xcrest	163.88	75.4	n1	0.52128
DATOS DOVELAS													FS		1.590	
$P_i^L = W_i \operatorname{sen} \alpha_i - \frac{c_i l_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta P_{i-1}^L$													FS		1.590	
Dovela No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	ui Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k' Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN	
0	0.00	0.00	0.00										0			
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.69	1733.14	986.32	0.00	358.99	2536.64	4.35	1.00000	-803.50	0	0	
2	5506.18	57.41	8.08	0.00	0.99	4639.32	2965.59	-792.99	1064.36	2801.09	8.70	1.00000	1045.23	0	0	
3	8998.26	57.35	8.06	0.00	1.00	7491.78	4801.28	1044.95	1747.96	3217.53	13.05	1.00000	5319.21	0	0	
4	11963.17	51.80	7.03	0.00	0.97	9400.91	7398.67	5176.53	2880.09	3542.06	17.40	1.00000	11035.38	0	0	
5	14718.29	51.80	7.03	0.00	1.00	11565.94	9102.58	11035.38	3313.07	3932.19	21.75	1.00000	18669.13	0	0	
6	17372.22	48.29	6.54	0.00	0.98	12968.05	11559.57	18372.40	4623.36	4364.33	26.10	1.00000	26976.12	0	0	
7	19684.51	46.84	6.36	0.00	0.99	14358.89	13464.86	26811.65	5148.60	4753.79	30.45	1.00000	36416.75	0	0	
8	21996.81	44.86	6.14	0.00	0.99	15516.86	15591.23	36107.37	6132.08	5182.27	34.80	1.00000	46441.96	0	0	
9	23754.32	42.17	5.87	0.00	0.99	15947.81	17604.98	45891.62	7201.16	5572.98	39.15	1.00000	56266.44	0	0	
10	25478.51	41.49	5.81	0.00	1.00	16879.33	19085.13	56109.07	7190.24	5895.53	43.50	1.00000	67092.87	0	0	
11	27020.98	38.00	5.52	0.00	0.98	16634.04	21294.18	66031.64	9239.09	6325.81	47.85	1.00000	76339.86	0	0	
12	28474.74	38.00	5.52	15.90	1.00	17528.97	22352.05	76339.86	8135.47	6568.02	52.20	1.00000	87300.81	0	0	
13	29838.51	34.53	5.28	147.94	0.98	16915.07	23799.65	85934.52	10581.06	6836.55	56.55	1.00000	96013.04	0	0	
14	31068.90	34.14	5.26	275.97	1.00	17437.58	24263.54	95860.87	9069.55	6936.31	60.90	1.00000	106362.13	0	0	
15	32216.53	32.49	5.16	401.70	0.99	17304.17	25103.31	105614.53	10254.78	7102.62	65.25	1.00000	115816.08	0	0	
16	32754.17	28.63	4.96	505.04	0.98	15692.82	26247.35	113767.89	12391.41	7311.68	69.60	1.00000	122149.03	0	0	
17	32560.41	28.08	4.93	594.54	1.00	15324.85	25797.48	121874.87	9816.39	7201.95	73.95	1.00000	129997.77	0	0	
18	32366.65	28.08	4.93	684.03	1.00	15233.66	25185.32	129997.77	9166.70	7061.79	78.30	1.00000	138169.64	0	0	
19	32161.66	25.52	4.82	772.15	0.99	13854.12	25303.07	136618.10	11456.62	7059.83	82.65	1.00000	143412.39	0	0	
20	31747.03	23.34	4.74	834.51	0.99	12579.58	25194.79	142064.56	11148.89	7013.41	87.00	1.00000	147630.73	0	0	
21	31332.39	23.34	4.74	896.88	1.00	12415.28	24518.62	147630.73	8924.04	6858.59	91.35	1.00000	153187.41	0	0	
22	30898.57	20.60	4.65	956.89	0.99	10871.01	24476.46	151332.40	11578.27	6825.11	95.70	1.00000	155378.30	0	0	
23	30280.72	18.67	4.59	994.30	0.99	9692.08	24122.54	154090.75	10686.28	6729.48	100.05	1.00000	157053.36	0	0	
24	29662.86	18.67	4.59	1031.71	1.00	9494.32	23365.42	157053.36	8504.31	6556.13	104.40	1.00000	159991.55	0	0	
25	29033.40	14.79	4.50	1067.70	0.98	7412.40	23267.78	157149.65	12404.82	6509.48	108.75	1.00000	158052.56	0	0	
26	28118.75	11.36	4.44	1068.66	0.98	5540.27	22826.15	155605.71	11748.08	6392.04	113.09	1.00000	154753.94	0	0	
27	27204.10	11.01	4.43	1069.62	1.00	5196.00	21963.37	154533.21	8340.25	6193.09	117.44	1.00000	153536.13	0	0	
28	26253.78	9.29	4.41	1063.91	0.99	4240.17	21219.74	152414.02	9397.57	6016.59	121.79	1.00000	150637.60	0	0	
29	25285.99	9.30	4.41	1054.94	1.00	4084.29	20304.13	150638.19	7389.15	5806.96	126.14	1.00000	148915.52	0	0	
30	24368.20	9.37	4.41	1060.23	1.00	3967.39	19368.90	148959.83	6979.06	5593.08	130.49	0.80270	118265.09	578367	2573	
31	23431.93	4.47	4.36	1051.70	0.98	1827.52	18771.87	115522.01	10506.79	5444.42	134.84	1.00000	111905.11	0	0	
32	22431.35	4.47	4.36	1031.65	1.00	1749.49	17861.84	111905.11	6501.17	5236.06	139.19	1.00000	108418.54	0	0	
33	21426.46	4.19	4.36	1010.94	1.00	1565.06	16960.06	108293.99	6368.83	5029.16	143.54	1.00000	104829.89	0	0	
34	20416.95	4.18	4.36	989.53	1.00	1489.51	16046.80	104827.76	5843.94	4820.05	147.89	1.00000	101497.22	0	0	
35	19407.43	4.33	4.36	968.11	1.00	1464.59	15128.96	101555.40	5413.48	4610.12	152.24	1.00000	98409.87	0	0	
36	18402.10	4.65	4.36	948.46	1.00	1490.96	14202.36	98533.90	4969.63	4398.47	156.59	1.00000	95626.39	0	0	
37	17396.78	4.36	4.36	928.71	1.00	1321.99	13295.06	95514.69	5014.64	4190.28	160.94	1.00000	92646.39	0	0	
38	16389.27	2.76	4.35	907.80	0.99	788.37	12416.98	92017.59	5461.50	3987.25	165.29	0.52128	46299.74	582039	2589	
39	15297.16	-2.97	4.36	863.21	0.97	-793.61	11516.71	45009.76	5874.51	3781.34	169.64	1.00000	40434.81	0	0	
40	14121.42	-4.91	4.37	803.11	0.99	-1208.43	10563.40	40099.11	4341.75	3565.73	173.99	1.00000	35324.94	0	0	
41	12870.23	-7.20	4.38	733.67	0.99	-1612.94	9552.08	34973.50	3990.49	3339.06	178.34	1.00000	30021.50	0	0	
42	11573.43	-7.65	4.39	658.59	1.00	-1541.27	8579.86	29966.14	3209.31	3117.65	182.69	1.00000	25307.22	0	0	
43	10201.53	-10.27	4.42	574.22	0.99	-1818.17	7499.84	25016.70	3149.71	2878.69	187.04	1.00000	20319.84	0	0	
44	8787.08	-10.27	4.42	512.69	1.00	-1566.08	6380.02	20319.84	2322.14	2622.30	191.39	1.00000	16131.46	0	0	
45	7348.79	-12.21	4.45	456.22	0.99	-1554.06	5152.21	15997.02	2074.24	2349.03	195.74	1.00000	12093.93	0	0	
46	5829.19	-13.75	4.48	389.57	0.99	-1385.46	3917.59	12015.10	1544.25	2073.63	200.09	1.00000	8556.00	0	0	
47	4229.55	-15.29	4.51	312.91	0.99	-1115.04	2668.91	8500.41	1054.88	1795.93	204.44	1.00000	5589.44	0	0	
48	2625.25	-16.80	4.54	234.12	0.99	-758.89	1449.39	5553.61	581.38	1525.77	208.79	1.00000	3268.95	0	0	
49	1520.36	-18.18	4.58	140.65	0.99	-474.44	800.49	3249.97	320.03	1386.30	213.14	1.00000	1389.23	0	0	
50	415.47	-19.01	4.60	47.18	1.00	-135.35	175.75	1384.48	71.29	1249.13	217.49	1.00000	0.00	0	0	

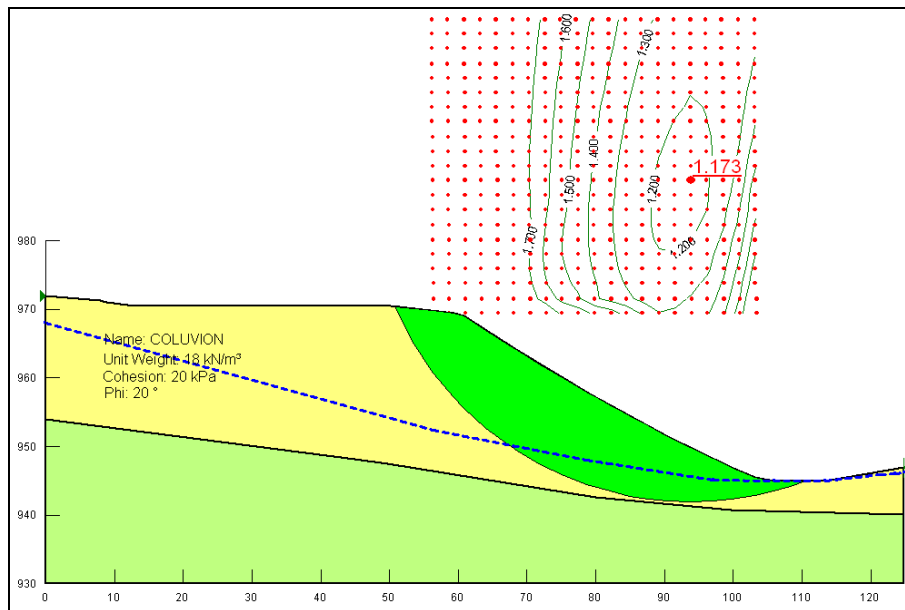
Fuente: Autor.

Figura 72. Factor seguridad Pilas seleccionadas, NF "in situ", SLOPE/W



Fuente: Autor.

Figura 73. Factor seguridad sin Pilas, NF "in situ", SLOPE/W



Fuente: Autor.

## 5.9 ANALISIS DE ESTABILIDAD CON FUERZAS SISMICAS

Para el análisis de las obras ante la acción de fuerzas sísmicas, se considera el caso con el nivel freático encontrado en el sitio, que es la condición normal que se espera en el momento de presentarse el sismo de diseño.

El municipio de gramalote se ubica en una zona de amenaza sísmica alta, con un valor de coeficiente de aceleración sísmica  $A_a=0.30$ , según la zonificación presentada en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

Para incluir el efecto dinámico en el cálculo de una ladera con pilas utilizando el método de Liang, Joorabchi<sup>16</sup> en la Universidad de Akron, bajo la dirección de Robert Liang, presentó su disertación doctoral sobre la estabilización de laderas con pilas sometidas a condiciones dinámicas.

En ese trabajo, se presentan las ecuaciones de equilibrio límite del método de Liang, incorporando el efecto sísmico mediante un coeficiente  $K_{eq}$ , calculado en función del coeficiente sísmico de aceleración horizontal (MHA) y el factor  $f_{eq}$  relacionado con las características sísmicas locales o de sitio ( $K_{eq}=f_{eq} \times MHA/g$ )<sup>17</sup>.

La figura 74 presenta las ecuaciones ajustadas para considerar el efecto sísmico en el método de Liang, con el fin de obtener la carga sobre las pilas.

Ante la falta de estudios sísmicos detallados de la zona, se utilizará un coeficiente sísmico igual a la mitad de la aceleración máxima establecida por el reglamento

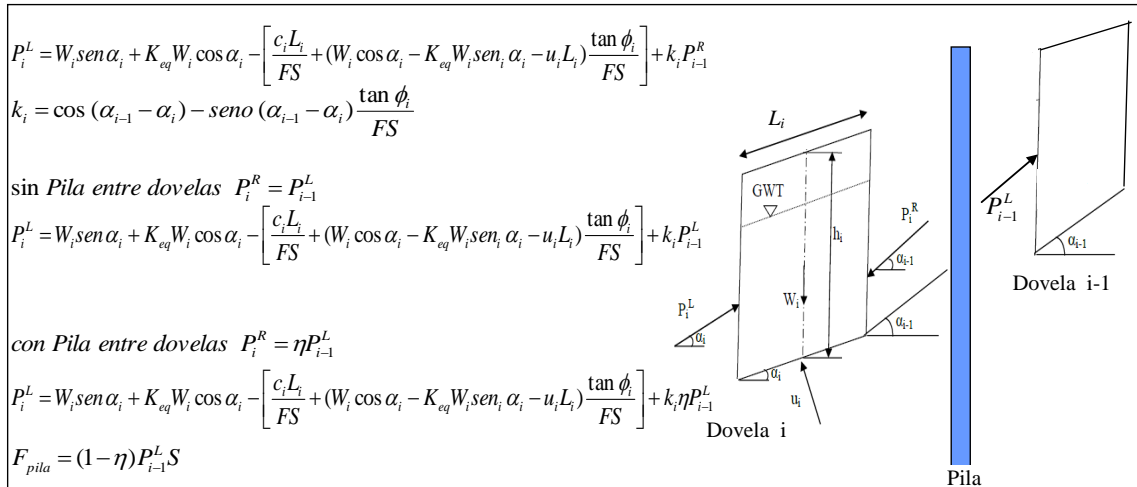
---

<sup>16</sup> JOORABCHI. Op.cit., p. 129.

<sup>17</sup> BLAKE, T.F; HOLLINGSWORTH, R.A.;STEWART J.P. eds. Recommended procedures for Implementation of Dmg special publication 117 guidelines For analyzing and mitigating Landslide hazards in California. Los Angeles: SCEC, 2002. p. 78.

Colombiano de Construcción sismo resistente (NSR-10), el valor  $K=0.15$  correspondiente a la mitad de la máxima aceleración ( $A_a$ ) para la zona.

Figura 74. Ecuaciones de equilibrio límite con sismo, método Liang.



Fuente: Autor, con las ecuaciones de JOORABCHI.

Este valor es ingresado como  $K_{eq}$  en las ecuaciones y se hace el ajuste en la formulas de la hoja de Excel, utilizando el método de equilibrio límite de Liang, para el cálculo de las Fuerzas y el Factor de seguridad. La figura 75 presenta los resultados obtenidos.

Las cargas por pila se incrementan del 5 a 10% con respecto al caso sin considerar el sismo. Los valores de la carga en cada pila son ingresados al programa SLOPE/W. La figura 76 muestra los resultados obtenidos utilizando como coeficiente sísmico horizontal  $K_h=0.15$ . El coeficiente sísmico vertical  $K_v$  se toma como cero, según la práctica recomendada para analizar las cargas sísmicas en taludes con fuente sismogénica lejana.

El Factor de seguridad obtenido está en el rango de 1.02 a 1.11, valor bajo pero mayor a 1.0 que para el caso se considera aceptable. Se recomienda hacer un análisis sísmico más detallado para la zona, con el fin de verificar los coeficientes

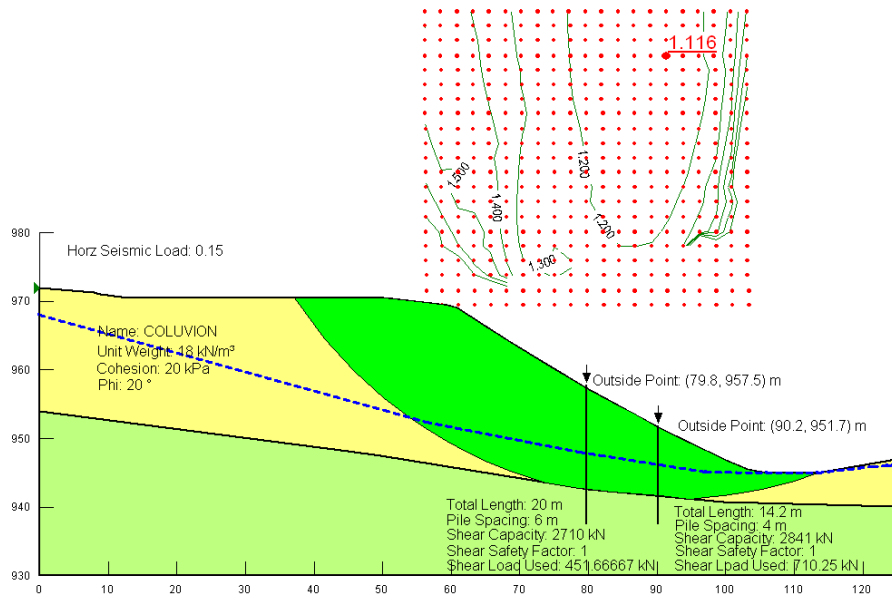
sísmicos de diseño y la condición más cercana al comportamiento sísmico de la ladera.

Figura 75. Hoja de cálculo FS y fuerza sobre las dovelas, NF "in situ" y sismo.

c		417.7		psf		X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61						
fi		20				Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	Xdov izq	132.12	$k_i = \frac{\cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \phi_i}{FS}$					
Filas		D		B		ang B		28.9917		DX		217.49		Ws= Wi sen a + K Wi cos a			
1		6.5616798		13.1234		X fila 1		262		ee		0.550884		x= X-Xcrest			
2		6.5616798		13.1234		X fila 2		296		ee		0.3065258		x= X-Xcrest			
				ft										Wc=Wi cos a + K Wi sen a -uL			
CONVERSION A LB Y FT																	
c		417.7		psf		X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61						
fi		0.3490656		rad		Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	Xdov izq	132.12	$T_i = \frac{C_i I_i}{FS} + [W_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i I_i] \frac{\tan \phi}{FS}$					
D		B		S		S/D		ang B		DX		217.49		%DX			
6.56168		13.12336		19.685		3		X fila 1		262		ee		0.550884			
6.56168		13.1234		2		X fila 2		296		ee		0.3065258		x= X-Xcrest			
														129.88			
														59.7			
														n1			
														0.80270			
														n1			
														0.52128			
SISMO																	
Keq		0.15		$P_i^L = W_i \text{sen} \alpha_i + K_w W_i \cos \alpha_i - \frac{C_i I_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - K_w W_i \text{sen} \alpha_i - u_i I_i) \frac{\tan \phi}{FS} + k_i \eta P_{i-1}^L$												FS	
DATOS DOVELAS																	
Dovela	Wi	ai	Li	ui	ki	Ws	Wc	k + Pi-1	Ti f	T	Xi-Xcrest	n	FS	F pila	F pila		
No.	Lbf	(°)	ft	Lbf/ft2		Lbf	Lbf	LbF	LbF	Lbf	ft			Lbf	KN		
0	0.00	0.00	0.00	0.00													
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.80	1881.09	726.35	0.00	264.37	3828.29	4.35	1.00000	-1947.20	0	0		
2	5506.18	57.41	8.08	0.00	0.98	5084.15	2269.69	-1909.25	789.70	4082.75	8.70	1.00000	-907.84	0	0		
3	8898.26	57.35	8.06	0.00	1.00	8211.97	3677.51	-907.47	1338.12	4574.94	13.05	1.00000	2729.57	0	0		
4	11963.17	51.80	7.03	0.00	0.96	10510.71	5988.53	2623.39	2275.71	4975.16	17.40	1.00000	8158.94	0	0		
5	14718.29	51.80	7.03	0.00	1.00	12931.33	7367.69	8158.94	2681.62	5463.17	21.75	1.00000	15627.10	0	0		
6	17372.22	48.29	6.54	0.00	0.98	14701.99	9614.36	15259.24	3847.57	6056.62	26.10	1.00000	23904.61	0	0		
7	19684.51	46.84	6.36	0.00	0.99	16378.62	11311.03	23683.52	4336.46	6584.69	30.45	1.00000	33477.45	0	0		
8	21996.81	44.86	6.14	0.00	0.99	17855.55	13263.70	33048.77	5248.02	7185.42	34.80	1.00000	43718.90	0	0		
9	23754.32	42.17	5.87	0.00	0.98	18588.55	15212.80	42944.52	6283.96	7766.39	39.15	1.00000	53766.69	0	0		
10	25478.51	41.49	5.81	0.00	1.00	19742.10	16553.23	53536.36	6257.87	8215.43	43.50	1.00000	65063.04	0	0		
11	27020.98	38.00	5.52	0.00	0.98	19828.16	18799.07	63538.56	8285.91	8893.44	47.85	1.00000	74473.29	0	0		
12	28474.74	38.00	5.52	15.90	1.00	20894.94	19722.70	74473.29	7178.47	9220.26	52.20	1.00000	86147.97	0	0		
13	29838.51	34.53	5.28	147.94	0.98	20602.19	21262.39	84150.06	9632.24	9667.85	56.55	1.00000	95084.40	0	0		
14	31068.90	34.14	5.26	275.97	1.00	21294.67	21647.91	94852.71	8115.24	9794.29	60.90	1.00000	106353.09	0	0		
15	32216.53	32.49	5.16	401.70	0.99	21380.39	22507.69	105221.98	9309.96	10058.39	65.25	1.00000	116543.98	0	0		
16	32754.17	28.63	4.96	505.04	0.97	20005.35	23893.42	113502.94	11552.49	10467.02	69.60	1.00000	123041.27	0	0		
17	32560.41	28.08	4.93	594.54	1.00	19634.13	23498.75	122617.56	8982.84	10316.96	73.95	1.00000	131934.73	0	0		
18	32366.65	28.08	4.93	684.03	1.00	19517.30	22900.27	131934.73	8335.01	10105.19	78.30	1.00000	141346.83	0	0		
19	32161.66	25.52	4.82	772.15	0.98	18207.83	23224.95	138970.86	10751.92	10175.38	82.65	1.00000	147003.30	0	0		
20	31747.03	23.34	4.74	834.51	0.99	16951.83	23307.86	144925.76	10511.65	10171.29	87.00	1.00000	151706.30	0	0		
21	31332.39	23.34	4.74	896.88	1.00	16730.43	22656.33	151706.30	8246.22	9940.75	91.35	1.00000	158495.98	0	0		
22	30898.57	20.60	4.65	956.89	0.98	15209.47	22845.81	155628.93	11077.27	9970.97	95.70	1.00000	160867.44	0	0		
23	30280.72	18.67	4.59	994.30	0.99	13995.24	22668.73	158857.15	10224.48	9885.74	100.05	1.00000	162966.65	0	0		
24	29662.86	18.67	4.59	1031.71	1.00	13709.68	21941.27	162966.65	7985.96	9628.34	104.40	1.00000	167047.99	0	0		
25	29033.40	14.79	4.50	1067.70	0.97	11623.08	22155.92	162670.60	12173.74	9666.75	108.75	1.00000	164626.94	0	0		
26	28118.75	11.36	4.44	1068.66	0.98	9675.40	21995.11	160848.83	11588.70	9584.62	113.09	1.00000	160939.61	0	0		
27	27204.10	11.01	4.43	1069.62	1.00	9201.50	21183.97	160586.50	8070.41	9295.41	117.44	1.00000	160492.59	0	0		
28	26253.78	9.29	4.41	1063.91	0.99	8126.54	20583.72	158719.14	9241.93	9073.38	121.79	1.00000	157772.30	0	0		
29	25285.99	9.30	4.41	1054.94	1.00	7827.39	19691.49	157773.26	7166.12	8757.67	126.14	1.00000	156842.97	0	0		
30	24368.20	9.37	4.41	1060.23	1.00	7573.85	18773.79	156915.17	6758.69	8433.33	130.49	0.80270	125265.87	609157	2710		
31	23431.93	4.47	4.36	1051.70	0.97	5331.61	18497.74	121024.99	10624.52	8317.16	134.84	1.00000	118039.44	0	0		
32	22431.35	4.47	4.36	1031.65	1.00	5103.94	17599.41	118039.44	6405.66	7999.29	139.19	1.00000	115144.09	0	0		
33	21426.46	4.19	4.36	1010.94	1.00	4770.44	16725.30	114940.43	6295.53	7689.32	143.54	1.00000	112021.55	0	0		
34	20416.95	4.18	4.36	989.53	1.00	4543.89	15823.37	112018.03	5762.85	7370.16	147.89	1.00000	109191.76	0	0		
35	19407.43	4.33	4.36	968.11	1.00	4367.40	14909.27	109288.69	5326.47	7047.04	152.24	1.00000	106609.04	0	0		
36	18402.10	4.65	4.36	948.46	1.00	4242.20	13978.72	106817.61	4871.60	6718.55	156.59	1.00000	104341.26	0	0		
37	17396.78	4.36	4.36	928.71	1.00	3923.96	13096.76	104153.62	4958.47	6405.76	160.94	1.00000	101671.82	0	0		
38	16389.27	2.76	4.35	907.80	0.99	3243.92	12298.72	100627.01	5510.24	6120.30	165.29	0.52128	50955.79	638740	2841		
39	15297.16	-2.97	4.36	863.21	0.96	1497.88	11635.75	48900.61	6087.06	5886.05	169.64	1.00000	44512.44	0	0		
40	14121.42	-4.91	4.37	803.11	0.99	902.01	10744.66	43955.15	4457.85	5574.86	173.99	1.00000	39282.30	0	0		
41	12870.23	-7.20	4.38	733.67	0.99	302.37	9794.02	38695.43	4136.11	5246.01	178.34	1.00000	33751.79	0	0		
42	11573.43	-7.65	4.39	658.59	1.00	179.28	8811.05	33656.19	3304.20	4900.03	182.69	1.00000	28935.45	0	0		
43	10201.53	-10.27	4.42	574.22	0.98	-312.44	7772.56	28438.50	3309.18	4545.42	187.04	1.00000	23580.64	0	0		
44	8787.08	-10.27	4.42	512.69	1.00	-269.12	6614.93	23580.64	2407.64	4135.80	191.39	1.00000	19175.73	0	0		
45	7348.79	-12.21	4.45	456.22	0.99	-476.67	5385.32	18934.75	2196.63	3712.84	195.74	1.00000	14745.25	0	0		
46	5829.19	-13.75	4.48	389.57	0.99	-536.14	4125.41	14599.61	1645.84	3278.26	200.09	1.00000	10785.21	0	0		
47	4229.55	-15.29	4.51	312.91	0.99	-503.05	2836.16	10679.03	1137.51	2834.73	204.44	1.00000	7341.25	0	0		
48	2625.25	-16.80	4.54	234.12	0.99	-381.91	1563.23	7269.91	639.69	2398.30	208.79	1.00000	4489.70	0	0		
49	1520.36	-18.18	4.58	140.65	0.99	-257.77	871.66	4450.12	356.64	2167.66	213.14	1.00000	2024.69	0	0		
50	415.47	-19.01	4.60	47.18	0.99	-76.43	196.05	2014.10	82.02	1937.68	217.49	1.00000	0.00	0	0		

Fuente: Autor.

Figura 76. . Factor seguridad con pilas, NF "in situ"-sismo, SLOPE/W



Fuente: Autor.

## 5.10 RESUMEN DE RESULTADOS ANALISIS DE ESTABILIDAD

En la tabla 16 se presenta el resumen de resultados de estabilidad realizados.

Tabla 16. Resumen resultados análisis estabilidad ladera

Caso	Nivel Freático	Fuerza Corte Fila 1	Fuerza Corte Fila 2	FS Liang	FS SLOPE/W
Sin Pilas	in situ				1.173
Sin Pilas	intermedio				0.956
Sin Pilas	superficie				0.777
Con pilas	superficie	3010	3010	1.135	1.088
Con pilas	intermedio	2687	2714	1.321	1.299
Con pilas	in situ	2573	2589	1.59	1.567
Pilas + Sismo	in situ	2710	2841	1.029	1.109

Fuente: Autor.

## 6. RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS

### 6.1 LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO DE LAS PILAS

Según las recomendaciones del método de Liang y el Departamento de transporte del Estado de Ohio, la longitud de empotramiento de las pilas dentro de la roca debe ser como mínimo del 15% de la longitud total de la pila ( $L_r > 0.15L_p$ ), pero no menor a 3 metros. Este valor da suficiente empotramiento para la transferencia de carga suelo-pilote. En la tabla 17 se indican los valores de longitud de las pilas y longitud de empotramiento utilizadas en los análisis de estabilidad.

Tabla 17. Longitud de pilas y longitud de empotramiento en roca

Pila	Longitud Pila $L_p$ (m)	Empotramiento $L_r$ (m)	Empotramiento $L_r/L_p$ (%)
Fila 1	20	5	25%
Fila 2	14.2	4.2	30%

Fuente: autor.

Las longitudes de la pila y su empotramiento no entran como variables que afecten directamente el cálculo del Factor de Seguridad para los métodos de equilibrio límite o en el software SLOPE/W, sin embargo debe garantizarse una longitud mínima de la pila, para que el elemento estructural soporte sin colapso la carga impuesta por la ladera. Este chequeo se realiza verificando el comportamiento de las fuerzas cortantes, momentos y deflexiones sobre la pila, utilizando modelos matemáticos de interacción suelo-estructura implementados en programas como COMP64LP, LPILE, ALLPILE o similares.

### 6.2 ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

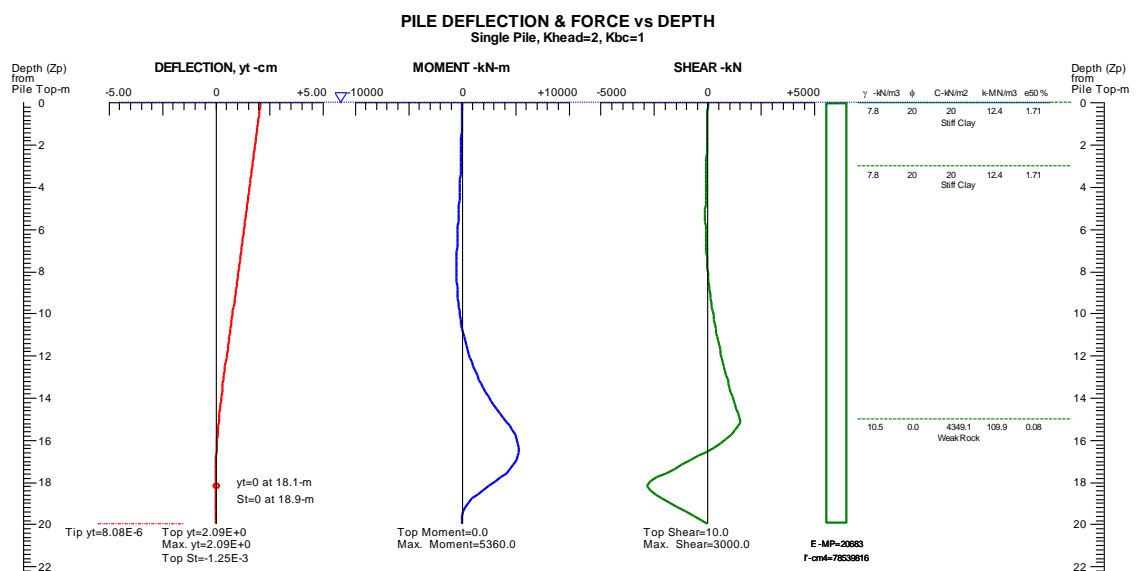
Para el análisis estructural, se modela la pila utilizando el programa ALLPILE 7 de la firma Civiltech. Este programa hace un análisis de interacción suelo-pila

utilizando las curvas carga-deformación (p-y) según el modelo de Reese. La Fuerza de corte sobre la pila ( $V=3010$  KN), obtenida en el análisis, se aplica como una carga distribuida triangular actuando sobre la longitud no empotrada de la pila. Los datos ingresados y el reporte de resultados del programa se presentan en el anexo F. Las figuras 77 y 78 presentan los resultados obtenidos del análisis.

La fuerza cortante sobre la pila varía de 3000 a 4571 KN y el momento es de 5360 A 7150 KN-m. El desplazamiento en la parte superior es menor a 2.5 cms., valor aceptable (menor al 1% de la longitud libre de la pila). Al desprestigiar el efecto del suelo alrededor de la pila y considerarla como una columna empotrada en su base, con una carga triangular equivalente a la Fuerza de corte, el Cortante en la base es  $V=3010$  KN y el momento  $M=15050$  KN-m.

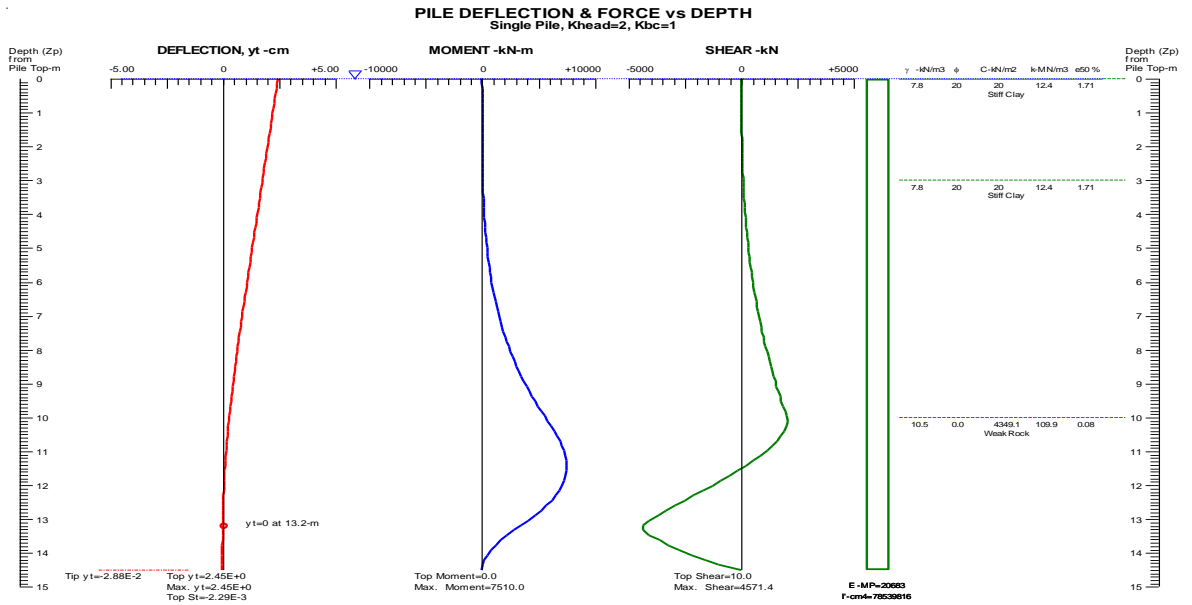
De este conjunto de resultados se considerará, una Fuerza de corte  $V=3400$  KN y un momento  $M=10000$  KN-m como valor promedio para el diseño.

Figura 77. Análisis de esfuerzos sobre la pila 1, resultados ALLPILE.



Fuente: Autor.

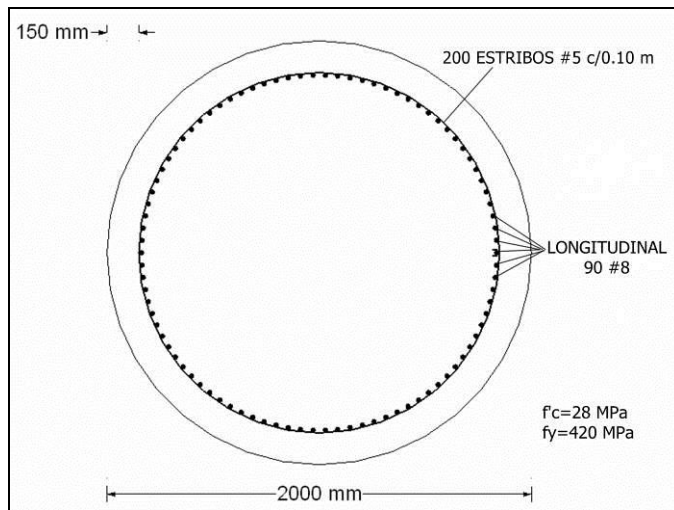
Figura 78. Análisis de esfuerzos sobre la pila 2, resultados ALLPILE.



Fuente: Autor.

Las cargas se incluyen en el modulo de diseño estructural del programa RAM ELEMENTS v8 de Bentley; los resultados se muestran en el anexo G y el esquema del refuerzo se presenta en la figura 79.

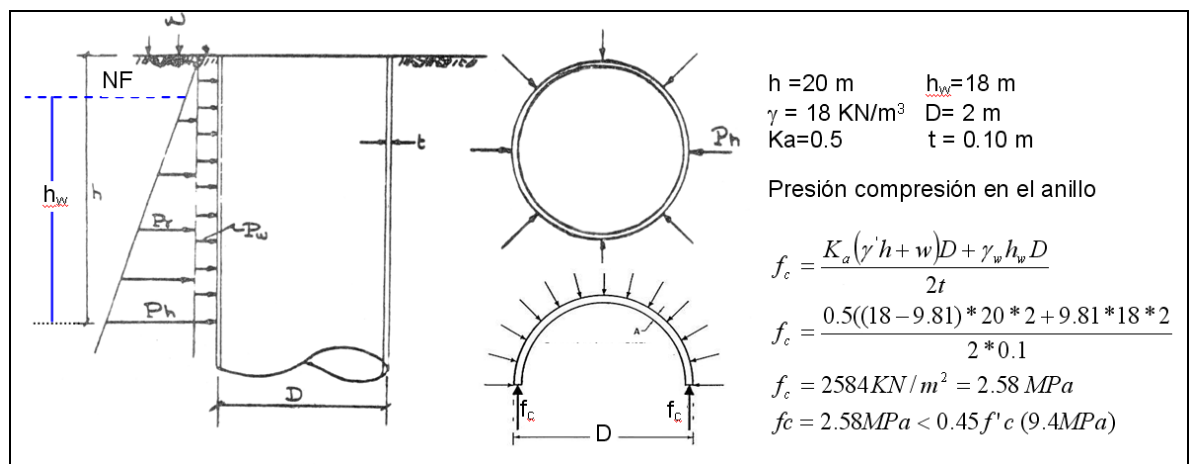
Figura 79. Refuerzo interno pila



Fuente: Autor.

La pared del caisson hace la función de soporte temporal, como protección durante la excavación y para facilitar el proceso constructivo. En la figura 80 se presenta el análisis y verificación del espesor de la pared. Teóricamente no se requiere refuerzo, pero se coloca acero por cuantía mínima debido a eventuales diferencias en las presiones laterales y deficiencias en el proceso constructivo del cilindro.

Figura 80. Fuerzas que actúan sobre la pared del caisson.



Fuente: Autor adaptado de Kerpel<sup>18</sup>

El refuerzo de la pared del caisson corresponde a estribos circulares de diámetro 3/8" separados cada 22.5 cms. Ver figura 81.

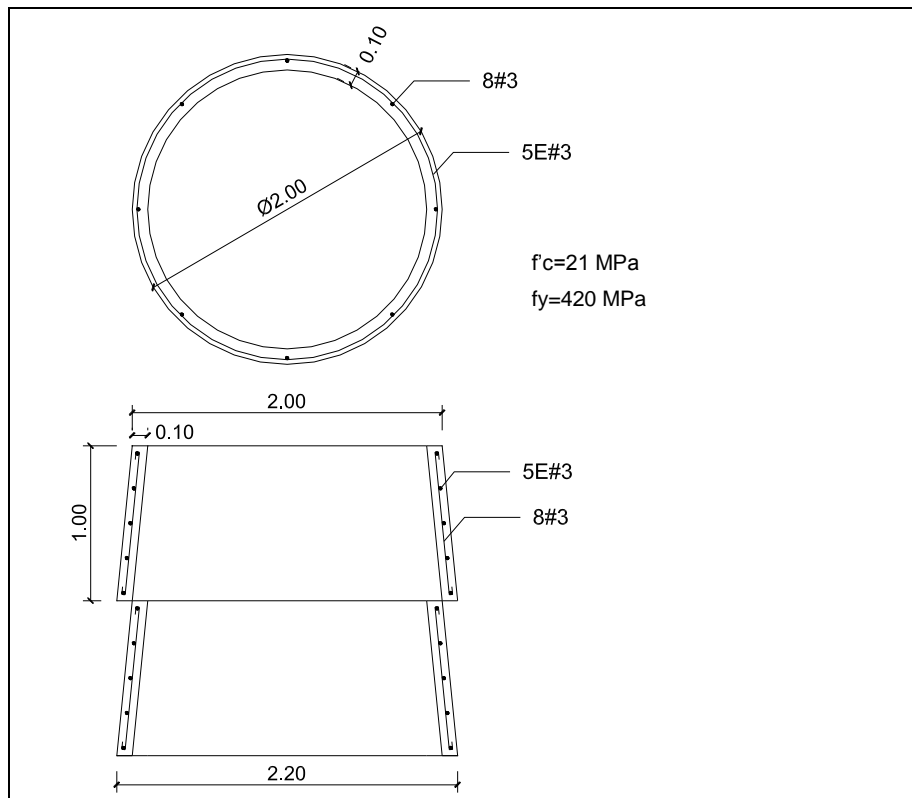
### 6.3 OBRAS COMPLEMENTARIAS CONTROL DE AGUAS FREATICAS

Como medida complementaria de estabilización del talud, se recomienda incluir la perforación de drenes de penetración. Este sistema de drenaje profundo se recomienda como medida de mitigación adicional debido a la probable infiltración de aguas y elevación del nivel freático en la temporada de lluvias. El objetivo es

<sup>18</sup> KERPEL, Enrique. Curso de Concreto Armado II. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, [c.a.] 1970. p. 200.

controlar el ascenso del nivel freático, mejorando los análisis de estabilidad realizados.

Figura 81. Refuerzo pared del Caisson.



Fuente: Autor.

Esta medida es complementaria y no se ha tomado en cuenta en el cálculo del Factor de seguridad, debido a que existen diversos factores que generan incertidumbre para la evaluación de su funcionamiento, en especial la posibilidad de que se obstruyan durante su vida útil

Se proyectaron un total de 72 drenes de penetración, distribuidos en tres filas separadas verticalmente 5 metros. Los drenes serán de diámetro 2" en tubería P.V.C., ranurados o perforados recubiertos de geotextil no tejido NT 2500 o equivalente; espaciados cada 6 m en sentido horizontal. Los drenes descargarán a

un filtro transversal en geotextil y piedra con profundidad aproximada de 3.50 metros. El filtro descargará las aguas a la cañada del costado sur. La figura 81 muestra la ubicación de estas obras.

#### **6.4 RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION**

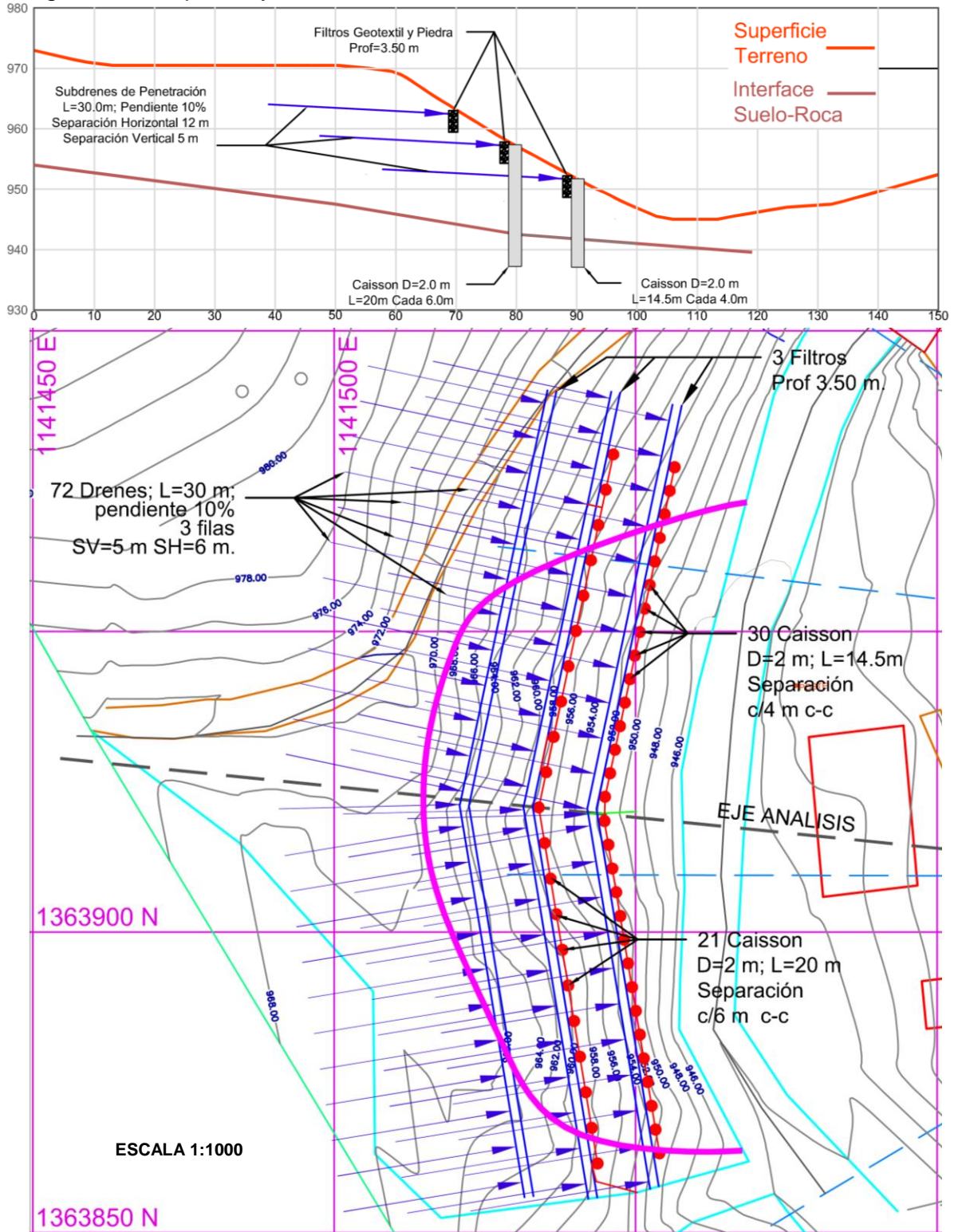
Las pilas serán construidas manualmente utilizando el sistema tipo caisson, excavando tramos de 1 metro de profundidad y fundiendo para cada sección anillos de concreto reforzado de 10 cms. de espesor. La excavación se hará con herramienta manual; los bloques de gran tamaño y la roca de fondo será excavada con ayuda de herramienta picadora (martillo neumático) para fracturar la roca, eventualmente será necesario utilizar gel expansivo para la fracturación. El material excavado será retirado con baldes y grúa. Se deberá prever el uso de motobombas para la extracción de agua. De igual manera se deberá tener un sistema de ventilación dentro de la excavación, extrayendo el aire contaminado y suministrando aire fresco.

Se deberá supervisar el material extraído de las excavaciones con el fin de verificar la presencia de los suelos y rocas previstos en el análisis y diseño. Especial control debe hacerse de la parte inferior de la pila con el fin de garantizar que se encuentre roca en las longitudes de empotramiento.

Una vez alcanzada la profundidad recomendada para las pilas se procederá a introducir el refuerzo, armando la canasta con el acero longitudinal y los estribos. Posteriormente se vaciará el concreto tipo tremie iniciando desde el fondo de la pila y ascendiendo hasta llegar a la superficie.

La figura 82 muestra la distribución de las pilas en la ladera. Para la ubicación de las pilas, se trazaron ejes horizontales que mantuvieran las cotas y posiciones de las pilas similares a las usadas en el análisis.

Figura 82. Esquema y Localización obras de estabilización.



Fuente: Autor

## 7. CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta una metodología para el análisis de estabilidad de una ladera con pilotes o pilas, considerando los factores mas relevantes que permiten estimar la carga que actúan sobre estos elementos y obtener los valores de refuerzo para los análisis de equilibrio límite.

El sitio en estudio presenta un espesor de 20 a 25 metros de material desplazada de tipo coluvial, el cual ha sido denominado desde el punto de vista geomorfológico como un flujo de detritos. Esta masa de suelo descansa sobre un basamento rocoso de la Formación Cogollo (Kmc), compuesto por intercalaciones de rocas competentes (calizas) y rocas débiles (lutitas, limonitas). El basamento tiene buzamiento contrario a la pendiente de la ladera.

El deslizamiento ocurrido en el sector de estudio, tiene componente principal de tipo rotacional, como consecuencia de un incremento de la presión de poros en la temporada de fuertes lluvias.

El retro-cálculo permite establecer los parámetros de fricción y cohesión más probable en la ladera para el momento de la falla, valores que son de utilidad para realizar el análisis de estabilidad con la implementación de obras de refuerzo.

Se determinó que la ladera en las condiciones actuales tiene un factor de seguridad bajo,  $FS=1.17$ ; esta ladera con las obras de estabilización propuestas, aumenta su Factor de seguridad a 1.57 y ante un evento sísmico el Factor de seguridad disminuye a 1.12, valor aceptable para este tipo de situación.

Ante un evento excepcional de lluvias que eleve el nivel freático cerca de la superficie del terreno, las obras de estabilización propuestas dan un Factor de Seguridad alrededor de 1.1, el cual es aceptable para esta situación eventual.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la metodología de Liang permite obtener las cargas que aportan un sistema de pilas o pilotes para la estabilidad de una ladera.

Las obras de estabilización propuestas para la estabilización de la ladera comprenden dos filas de pilas de diámetro 2 metros, con separación de 6 metros centro a centro para las pilas de la fila superior y 4 metros de separación entre pilas para la fila inferior. El método de Liang permite evaluar y determinar la posición de cada fila de pilas y la separación de las pilas dentro de la fila, con el fin de obtener el valor de carga para refuerzo con el cual las pilas actúan dentro de la ladera.

Los resultados obtenidos muestran que en los programas de estabilidad de taludes por métodos de equilibrio límite, como SLOPE/W y similares, la opción que utiliza pilotes como método de refuerzo no hace el cálculo de la fuerza de corte en el pilote que se debe utilizar como refuerzo. La interpretación errónea de la Fuerza de corte en el pilote como la Resistencia máximo por cortante, afectada por un factor de seguridad, puede llevar a análisis y diseños inseguros.

El manual de SLOPE/W recomienda aproximarse a la carga que pueden aportar los pilotes, utilizando software de elementos finitos como SIGMA/W, PLAXIS, ABACUS o similares. Estos métodos pueden ser muy tediosos ya que solo permiten generar mallas para una geometría del problema y se requiere por lo tanto un alto poder de cómputo y mucho tiempo para poder estudiar diferentes alternativas.

La propuesta de Liang es una alternativa práctica al uso de software de elementos finitos, ya que permite obtener la carga sobre las pilas tomando en cuenta variables asociadas a la geometría y distribución de estas sobre una ladera

determinada. Este método se basa en análisis de resultados de elementos finitos y ensayos en centrífuga, lo cual permite tener una aproximación rápida a la carga sobre las pilas que puede ser introducida en los programas de equilibrio límite.

## 8. RECOMENDACIONES

Antes de iniciar el proceso constructivo, deberán ejecutarse perforaciones adicionales con el fin de verificar los espesores del manto coluvial en otros puntos de la ladera. Se recomiendan al menos 2 sondeos en la parte alta y 2 en la parte media. Con esta información se debe hacer una verificación de las consideraciones hechas para el análisis de estabilidad y se podrá estimar de mejor manera la cantidad de roca a excavar.

Se deberán realizar trabajos adicionales con el fin de investigar el comportamiento hidrogeológico y sísmico de la ladera, con el fin de tener mayor seguridad en los análisis y diseños realizados.

Se recomienda diseñar un sistema de monitoreo para la ladera estabilizada, con al menos 2 piezómetros y 2 inclinómetros. Esta información es importante para implementar trabajos de investigación sobre los fenómenos de remoción en masa que han ocurrido en la zona y mejorar las propuestas de estabilización. De igual manera el monitoreo permitirá determinar la necesidad de labores de mantenimiento y remoción de tierra, en el caso de presentarse deslizamientos en la ladera.

Se recomienda a la par del monitoreo, establecer un mantenimiento y seguimiento a los sistemas de drenaje profundo recomendados.

El uso de software que implementa métodos de equilibrio límite combinado con sistemas de refuerzo para el análisis de estabilidad de laderas, debe ser complementado con rutinas o programas que permitan estimar las cargas que realmente aportan los elementos de refuerzo. Esta recomendación no solo se aplica al caso estudiado de pilas o pilotes, sino que debe estudiarse también los casos de anclajes, clavos y refuerzo con geotextiles. En todos estos elementos al

igual que en el caso de los pilotes, es costumbre asociar la máxima carga de rotura de los elementos de refuerzo, afectada por un Factor de seguridad, como equivalente a la carga que aportan a la estabilidad del talud, lo cual puede causar diseños inseguros.

Es altamente recomendable crear grupos de investigación sobre el tema de estabilidad con laderas y taludes utilizando elementos de refuerzo como micropilotes, pilotes, pilas, anclajes y geotextiles, con el fin de mejorar el conocimiento en esta área.

## BIBLIOGRAFIA

ARELLANO, Rodrigo, et. al. Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas . Santiago: Universidad de Chile, 2009. 9 p.

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA (AIS). Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10. Bogotá: AIS, 2010. 1625 p.

BLAKE, T.F; HOLLINGSWORTH, R.A.; STEWART J.P. eds. Recommended procedures for Implementation of Dmg special publication 117 guidelines For analyzing and mitigating Landslide hazards in California. Los Angeles: SCEC, 2002. 132 p.

CORPONOR. Construcción de obras para la retención de lavas torrenciales sobre la quebrada La Calderera, municipio de Gramalote, Norte de Santander. Cúcuta: CORPONOR, 2011. 80 p.

CH&Q LTDA. Consultoría para los diseños definitivos de las obras aprobadas por la UNGRD en el municipio de Gramalote en los tres sectores comprendidos entre los k+300 al k+400 - k+550 al k+650 - k+800 al k+950, en el marco del convenio de cooperación No.00079 del 01 de octubre de 2012, entre el departamento Norte de Santander y CORPONOR. Cúcuta: CH&Q LTDA, Enero 2014. 452 p.

DESCHAMPS, Rick. y YANKEY, Greg. Limitations in the Back-Analysis of Strength from Failures. En: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, vol. 132, no. 4, p.532-536.

DUNCAN, J. Michael. The use of back analysis to reduce slope failure risk. En: Journal Boston Society Civil Engineering, 1999, vol 14, no.1, p 75-91.

DUNCAN, J. Michael y WRIGHT, Stephen G. Soil strength and slope stability. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2005. 293 p.

FONDO DE ADAPTACION. Gramalote estudios diseños urbanísticos – copia [en línea]. Cúcuta: Fondo de Adaptación, 2013. 179 p. [consultado 5 Mayo 2014]. Disponible desde Internet en: <[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_76/recursos/octubre/documentos\\_descarga/29102013/estudios\\_diseno\\_urbanisticos.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_76/recursos/octubre/documentos_descarga/29102013/estudios_diseno_urbanisticos.pdf)>

GONZALEZ, Alvaro J. Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT [online]. Bogotá: SCI-SCG, 1999. 12 p. [consultado 30 abril 2014]. Disponible desde Internet en:<<http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE-PARAMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf>>

INGEOMINAS. Cuadrángulo G-13 Cúcuta. Escala: 1:200.000. Bogotá: INGEOMINAS, 1967.

------. Estudios de geología y geomorfología escala 1:25.000 para la reubicación del casco urbano del municipio de gramalote, departamento Norte de Santander. Bogotá. 2012. 66 p.

------. Mapa de subunidades geomorfológicas de un sector del municipio de Gramalote. Escala: 1:25.000. Bogotá: INGEOMINAS, 2011.

------. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales de un sector del municipio de Gramalote. Escala: 1:25.000. Bogotá: INGEOMINAS, 2011.

JOORABCHI, Arash Erfani. Landslide stabilization using drilled shafts in static and dynamic conditions. Tesis de Doctorado. Akron: The Graduate Faculty of The University of Akron, 2011. 183 p.

KERPEL, Enrique. Curso de Concreto Armado II. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, [c.a.] 1970. 259 p.

LIANG, Robert. Field Instrumentation, Monitoring of Drilled Shafts for Landslide Stabilization and Development of Pertinent Design Methods. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2010. 238 p.

-----, Robert. Probabilistic Analysis Algorithm for UA Slope Software Program. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2013. 132 p..

OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Drilled Shaft Landslide Stabilization Design. Geotechnical Bulletin 7. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2011. 60 p.

PEDROZA ROJAS, Alvaro. Lecciones de un movimiento en masa, caso Gramalote. [Presentación pdf curso técnicas modernas de voladura]. Bogotá: Escuela de Ingenieros Militares, 2013. 101 p.

POPESCU, M. E. y V.R. Schaefer, V.R. Back Analysis of Slope Failures to Design Landslide Stabilizing Piles. En: ISSMGE, INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING. Forensic Geotechnical Engineering. Londres: ISSMGE, Octubre 2009. 218 p.

SAITO, M. Reverse calculation method to obtain  $c$  and  $\phi$  on a slip surface. En: Proceedings of the International Symposium Landslides, New Delhi, 1980, vol. 1, p.281-284.

SUAREZ, Jaime. Deslizamientos. Bucaramanga: publicaciones UIS, 2009

THE UNIVERSITY OF AKRON. UA Slope 2.1 [programa de computador]. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2011. [consultado 30 abril 2014]. Disponible en internet desde: <[www.dot.state.oh.us/Divisions/Engineering/Geotechnical/Geotechnical\\_Documents/UA Slope 2.1 Installer 2011-12-06.zip](http://www.dot.state.oh.us/Divisions/Engineering/Geotechnical/Geotechnical_Documents/UA_Slope_2.1_Installer_2011-12-06.zip)>

WESLEY, Laurance. Geotechnical engineering in residual soils. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2010. 249 p.

------. Stability of slopes in residual soils [en línea]. En: Obras y proyectos: revista de Ingeniería Civil, N°. 10, 2011. p. 47-61. [consultada 30 abril 2014]. Disponible desde Internet en: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132011000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132011000200005&script=sci_arttext)>

WESLEY, L. D. y LELARATNAM, V. Shear strength parameters from back-analysis of single slips. Geotechnique, 2001, vol. 51, no. 4, p 373 – 374.

## **ANEXOS**

## ANEXO A. Registro de perforaciones<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> FUENTE: CH&Q. Tomo 4 y 4 A. Exploración geotécnica y sismicidad-registro fotográfico. versión 1. Contrato 192-2013. CH&Q-CORPONOR. Enero 2014.

**ENSAYO DE PENETRACION NORMAL Y  
MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS  
SUELOS I.N.V. E - 111**

PROYECTO: Consultoria para el diseño de las obras en el municipio de Gramalote  
 LOCALIZACION: Deslizamiento N°1  
 FECHA: 3-4 julio de 2013  
 SONDEO: 1

Profundidad m	No. de golpes			N	Observaciones
	6"	12"	18"	G/P	
0,00-0,50	7	4	5	9	Arena limosa con gravas de color café
0,50-1,00 m1	4	4	4	8	
1,00-1,50	5	9	6	15	
1,50-2,00 m2	30/3"	Barrena			Gravas de color gris
2,00-2,50	4	2	4	6	
2,50-3,00 m3	6	9	30/1"	B	
3,00-3,50	8	7	6	13	Grava arenosa de color negro
3,50-4,00 m4	5	30/5"	Barrena		
4,00-4,50	10	11	16	27	
4,50-5,00 m5	7	8	9	17	
5,00-5,50	6	5	7	12	
5,50-6,00 m6	8	9	10	19	
6,00-6,50	4	6	9	15	
6,50-7,00 m7	10	10	15	25	
7,00-7,50	16	11	16	27	
7,50-8,00 m8	13	19	13	32	
8,00-8,50	7	15/4"	Rechazo		
8,50-9,00 m9	Barrena		8.25	9	
9,00-9,50	11	19	25	44	
9,50-10,00 m10	28	39	28	67	

METODO DE PERFORACION: Rotacion y Percusion

Observaciones:

**Laboratorista Javier Sánchez R.**



**ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL Y  
MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS  
I.N.V. E - 111**

PROYECTO: Consultoría para el diseño de las obras en el municipio de Gramalote  
 LOCALIZACIÓN: Deslizamiento N° 1  
 FECHA: 5-6 julio de 2013  
 SONDEO: 1

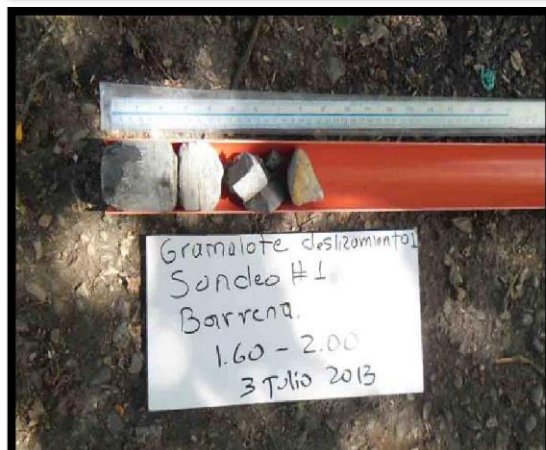
Profundidad m	No. de golpes			N	Observaciones
	6"	12"	18"	G/P	
10,00-10,50	18	19	25	44	Grava arenosa negra
10,50-11,00	24	27	28	55	
11,00-11,50	36	50/30			Grava con caliza gris oscura y mineralización de calcita
11,50-12,00	Barrena				Caliza con bandas miner calcita
12,00-12,50	B	50/3"	R		Bloque de caliza negra bituminosa
12,50-13,00	Barrena				
13,00-13,50	Barrena				
13,50-14,00	B	50/3"	R		Bloque de caliza gris muy oscura
14,00-14,50	Barrena				
14,50-15,00	30/3"	No recupera			
15,00-15,50	Barrena				Bloque de caliza gris
15,50-16,00	Barrena				
16,00-16,50	R Barrena				Bloque de caliza gris oscura con mineralización
16,50-17,00	R Barrena				Bloque de caliza gris oscura con mineralización
17,00-17,50	R Barrena				
17,50-18,00	7	15	18	33	Grava arenosa negra
18,00-18,50	24	23	28	51	
18,50-19,00	29	28	33	61	
19,00-19,50	28	36	31	67	
19,50-20,00	32	Barrena			Bloque de caliza gris oscura

MÉTODO DE PERFORACIÓN: Rotación y Percusión

Observaciones:

**Laboratorista Javier Sánchez R.**

# SONDEO 1













**ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL Y  
MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS  
SUELOS I.N.V. E - 111**

PROYECTO: Consultoría para el diseño de las obras en el municipio de Gramalote  
 LOCALIZACIÓN: Deslizamiento N°1  
 FECHA: 7-8 julio de 2013  
 SONDEO: 2

Profundidad m	No. de golpes			N	Observaciones
	6"	12"	18"	G/P	
0,00-0,50	4	4	4	8	Arcilla arenosa de color gris oxidado
0,50-1,00 m1	3	5	5	10	
1,00-1,50	4	5	6	11	
1,50-2,00 m2	8	13	15	28	
2,00-2,50	5	5	6	11	
2,50-3,00 m3	9	9	9	18	
3,00-3,50	30	29	17	46	
3,50-4,00 m4	29	50/3"		89	Bloque de caliza largas vetas mineralizada calcita -Bloque de arenisca grano fino oxidado
4,00-4,50	Barrena				Bloque da caliza arenosa gris
4,50-5,00 m5	30/2"	Barrena			
5,00-5,50	Barrena				Bloque de limolitas grises levemente calcáreas
5,50-6,00 m6	Barrena				
6,00-6,50	Barrena				
6,50-7,00 m7	Barrena				Limolitas grises
7,00-7,50	Barrena				
7,50-8,00 m8	Barrena				
8,00-8,50	Barrena				
8,50-9,00 m9	Barrena				Bloque de limolitas grises con alteraciones ferrojias amarilla rojiza
9,00-9,50	Barrena				
9,50-10,00 m10	Barrena				Bloque de arenisco grano fino gris

MÉTODO DE PERFORACIÓN: Rotación y Percusión

Observaciones:

**Laboratorista Javier Sánchez R.**



**ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL Y  
MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS  
I.N.V. E - 111**

PROYECTO: Consultoría para el diseño de las obras en el municipio de Gramalote  
 LOCALIZACIÓN: Deslizamiento N°1  
 FECHA: 5-6 julio de 2013  
 SONDEO: 2

Profundidad m	No. de golpes			N	Observaciones
	6"	12"	18"	G/P	
10,00-10,50	Barrena				Bloque de arenisca grano fino gris
10,50-11,00	Barrena				
11,00-11,50	Barrena				
11,50-12,00	Barrena				Bloque de caliza gris -Bloque de arenisca grises de grano fino
12,00-12,50	Barrena				
12,50-13,00	Barrena				
13,00-13,50	Barrena				Bloque de arenisca de grano fino gris
13,50-14,00	15	20	22	42	
14,00-14,50	28	41	56	97	
14,50-15,00	Barrena				Suelo limo arenoso con gravas
15,00-15,50	Barrena				
15,50-16,00	28	35	45	80	
16,00-16,50	Barrena				
16,50-17,00	11	14	19	33	
17,00-17,50	21	24	25	49	
17,50-18,00	18	12	24	36	
18,00-18,50	40/2"	10	20	30	
18,50-19,00	30	R	R	R	
19,00-19,50	Barrena				
19,50-20,00	Barrena				

MÉTODO DE PERFORACIÓN: Rotación y Percusión

Observaciones:

**Laboratorista Javier Sánchez R.**

## SONDEO 2









**ENSAYO DE PENETRACIÓ NORMAL Y MUESTREO  
CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS I.N.V. E -  
111**

PROYECTO: Consultoría para el diseño de las obras en el municipio de Gramalote  
 LOCALIZACIÓN: Deslizamiento N°1  
 FECHA: 11-12 julio de 2013  
 SONDEO: 3

Profundidad m	No. de golpes			N	Observaciones
	6"	12"	18"	G/P	
0,00-0,50	5	3	2	5	Arcilla con gravas color gris oxidada
0,50-1,00 m1	2	3	2	5	
1,00-1,50	4	5	4	9	
1,50-2,00 m2	4	4	4	8	
2,00-2,50	2	3	3	6	
2,50-3,00 m3	3	4	6	10	Bloque de caliza gris claro - No RQD
3,00-3,50	2	10	R	R	
3,50-4,00 m4	Barrena				
4,00-4,50	Barrena				
4,50-5,00 m5	1	2	3	5	Limo arenoso gris verdoso con algunas gravas
5,00-5,50	6	8	10	18	
5,50-6,00 m6	8	6	10	16	
6,00-6,50	20	11	12	23	
6,50-7,00 m7	Barrena				Bloque de caliza gris claro - No RQD
7,00-7,50	Barrena				
7,50-8,00 m8	Barrena				
8,00-8,50	Barrena				
8,50-9,00 m9	Barrena				
9,00-9,50	Barrena				Limolitas grises (RQD = 15%)
9,50-10,00 m10	Barrena				

MÉTODO DE PERFORACIÓN: Rotación y Percusión

Observaciones:

Laboratorista Javier Sánchez R.

**ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL Y  
MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS  
SUELOS I.N.V. E - 111**

PROYECTO: Consultoría para el diseño de las obras en el municipio de Gramalote  
 LOCALIZACIÓN: Deslizamiento N°1  
 FECHA: 13-14 julio de 2013  
 SONDEO: 3

Profundidad m	No. de golpes			N	Observaciones
	6"	12"	18"	G/P	
10,00-10,50	Barrena				Limolitas grises (RQD = 15%)
10,50-11,00					Limolitas grises (RQD = 70%)
11,00-11,50					Caliza gris con mineralizaciones (RQD = 40%)
11,50-12,00					
12,00-12,50	Barrena				Calizas arenosas grises (RQD = 76.8%)
12,50-13,00					Caliza arenosa gris vidriosa (RQD = 71.2%)
13,00-13,50					
13,50-14,00					Limolita gris oscura (RQD = 72.8%)
14,00-14,50					
14,50-15,00					
15,00-15,50					
15,50-16,00	Barrena				Arenisca de grano fino gris oscuro (RQD = 90.9%)
16,00-16,50					Arenisca negra de grano fino (RQD = 85.83%)
16,50-17,00					
17,00-17,50					Barrena
17,50-18,00	Arenisca negra de grano fino (RQD= 61.66%)				
18,00-18,50					
18,50-19,00	Barrena				
19,00-19,50					
19,50-20,00					

MÉTODO DE PERFORACIÓN: Rotación y Percusión

Observaciones:

**Laboratorista Javier Sánchez R.**

# SONDEO 3









## ANEXO B. Resultados de laboratorio<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> FUENTE: CH&Q. Tomo 4B. Ensayos de Laboratorio. versión 1. Contrato 192-2013. CH&Q-CORPONOR. Enero 2014.



**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN  
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN  
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126**

IDT-FL-001

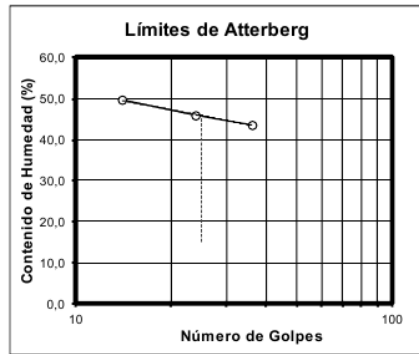
**PROYECTO:** GRAMALOTE DESLIZAMIENTO 1 **ABSCISA**  
**SONDEO** S1  
**CLIENTE:** 0 **MUESTRA** M7  
**LOCALIZACION:** DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER **PROF.** 6.00 - 7.00 [m]  
**FECHA:** 12-09-2013

PESO DE RECIP. + S.H. 1106,00  
 PESO DE RECIP. + S.S. 937,00  
 PESO RECIPIENTE 73,50  
 PESO AGUA 169,00  
 PESO SUELO SECO 863,50  
 % HUMEDAD 19,57

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No GOLFES	36	24	14
RECIP. No.	69	50	38
PESO DE RECIP. + S.H.	31,45	31,83	30,81
PESO DE RECIP. + S.S.	24,45	24,57	23,4
PESO RECIPIENTE	8,41	8,72	8,48
PESO A GUA	7,00	7,26	7,41
PESO SUELO SECO	16,04	15,85	14,92
% HUMEDAD	43,64	45,80	49,66

LÍMITE PLÁSTICO		
RECIP. No.	11	8
PESO DE RECIP. + S.H.	20,65	20,86
PESO DE RECIP. + S.S.	17,72	17,94
PESO RECIPIENTE	8,18	8,35
PESO A GUA	2,93	2,92
PESO SUELO SECO	9,54	9,59
% HUMEDAD	30,71	30,45



**RESULTADOS**

Límite Líquido 45,8 %  
 Límite Plástico 30,6 %  
 Índice Plástico 15,3 %

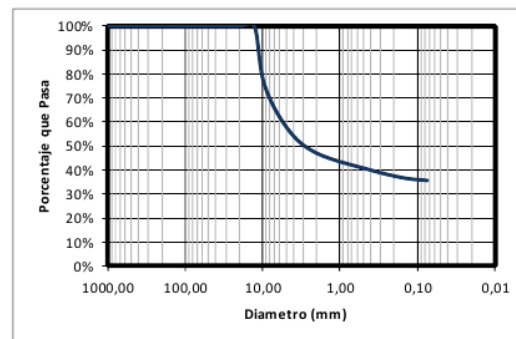
Gravas 42,8%  
 Arenas 21,6%  
 Finos 35,6%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo 1  
 A.A.S.H.T.O. A - 7 - 5  
 U.S.C GM

**GRADACIÓN**

Peso inicial:	421,00	gr	Peso final:	271,00	gr
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% RetAcum	% Pasa
3"	76,10				
2 ½"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 ½"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
¾"	19,00				100,0%
1/2"	12,70				
3/8"	9,51	102,0	24,2%	24,2%	75,8%
4	4,76	78,0	18,5%	42,8%	57,2%
8	2,38				
10	2,00	43,0	10,2%	53,0%	47,0%
12	1,68				
16	1,19				
30	0,59				
40	0,42	29,0	6,9%	59,9%	40,1%
50	0,30				
80	0,18	10,5	2,5%		
100	0,15	4,0			
200	0,07	4,5	1,1%	64,4%	35,6%
Pasa 200		150,0	35,6%	100,0%	0,0%
Total		421,0			



**OBSERVACIONES:**

Material compuesto de gravas, arenas y finos color gris.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
 Ingeniero Civil, M Sc. Geotecnia  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
 Laboratorista  
 Realizó



**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**  
**LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN**  
**I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126**

IDT-FL-001

**PROYECTO:** GRAMALOTE DESLIZAMIENTO 1 **ABSCISA:**

**SONDEO:** S1

**MUESTRA:** M16

**CLIENTE:** 0 **PROF.:** 19.00 - 19.60 [m]

**LOCALIZACIÓN:** DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER **FECHA:** 12-09-2013

PESO DE RECIP. + S.H. 835,50  
 PESO DE RECIP. + S.S. 720,00  
 PESO RECIPIENTE 72,50  
 PESO AGUA 115,50  
 PESO SUELO SECO 647,50  
 % HUMEDAD 17,84

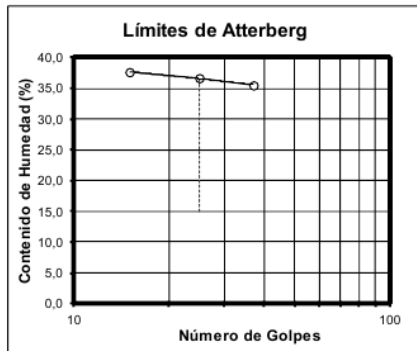
**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**LÍMITE LÍQUIDO**

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	37	25	15
RECIP. No.	54	34	32
PESO DE RECIP. + S.H.	31,26	32,39	33,64
PESO DE RECIP. + S.S.	25,2	26,57	27,42
PESO RECIPIENTE	8,17	10,69	10,91
PESO AGUA	6,06	5,82	6,22
PESO SUELO SECO	17,03	15,88	16,51
% HUMEDAD	35,58	36,65	37,67

**LÍMITE PLÁSTICO**

RECIP. No.	5	2
PESO DE RECIP. + S.H.	30,66	28,16
PESO DE RECIP. + S.S.	25,74	23,83
PESO RECIPIENTE	8,49	8,59
PESO AGUA	4,92	4,33
PESO SUELO SECO	17,25	15,24
% HUMEDAD	28,52	28,41



**RESULTADOS**

Límite Líquido 36,5 %  
 Límite Plástico 28,5 %  
 Índice Plástico 8,1 %

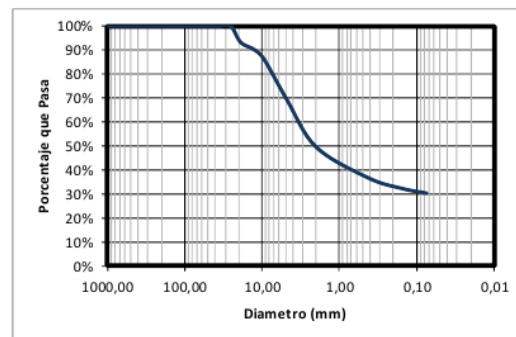
Gravas 30,7%  
 Arenas 38,9%  
 Finos 30,3%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo 0  
 A.A.S.H.T.O. A - 2 - 4  
 U.S.C SM

**GRADACIÓN**

Peso inicial:	402,00	gr	Peso final:	280,00	gr
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76,10				
2 1/2"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 1/2"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
3/4"	19,00	27,0	6,7%	6,7%	93,3%
1/2"	12,70	12,0	3,0%		
3/8"	9,51	15,5	3,9%	13,6%	86,4%
4	4,76	69,0	17,2%	30,7%	69,3%
8	2,38				
10	2,00	79,0	19,7%	50,4%	49,6%
12	1,68				
16	1,19				
30	0,59				
40	0,42	52,0	12,9%	63,3%	36,7%
50	0,30				
80	0,18	15,0	3,7%		
100	0,15	3,0			
200	0,07	7,5	1,9%	69,7%	30,3%
Pasa 200		122,0	30,3%	100,0%	0,0%
Total		402,0			



**OBSERVACIONES:**

Material compuesto de mezcla arenas y finos color negro.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
 Ingeniero Civil, M.Sc. Geotecnia  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
 Laboratorista  
 Realizó



**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**  
**LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN**  
**I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126**

IDT-FL-001

PROYECTO: **GRAMALOTE DESLIZAMIENTO 1** ABSCISA  
SONDEO S2  
MUESTRA M2  
 CLIENTE: 0 PROF. 1.00 - 2.00 [m]  
 LOCALIZACIÓN: DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER FECHA: 12-09-2013

PESO DE RECIP. + S.H. 900,50  
 PESO DE RECIP. + S.S. 761,50  
 PESO RECIPIENTE 69,50  
 PESO A GUA 139,00  
 PESO SUELO SECO 692,00  
 % HUMEDAD 20,09

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**LÍMITE LÍQUIDO**

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	35	24	13
RECIP. No.	80	79	78
PESO DE RECIP. + S.H.	32,99	32,92	34,71
PESO DE RECIP. + S.S.	26,42	25,77	26,88
PESO RECIPIENTE	11,68	10,06	10,1
PESO A GUA	6,57	7,15	7,83
PESO SUELO SECO	14,74	15,71	16,78
% HUMEDAD	44,57	45,51	46,66

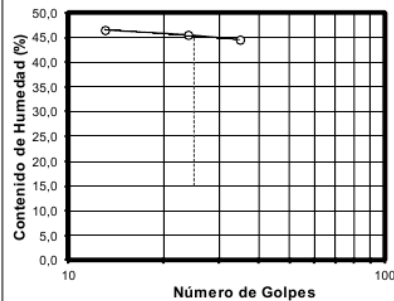
**LÍMITE PLÁSTICO**

RECIP. No.	77	75
PESO DE RECIP. + S.H.	30,35	28,00
PESO DE RECIP. + S.S.	25,60	23,78
PESO RECIPIENTE	9,95	10,03
PESO A GUA	4,75	4,22
PESO SUELO SECO	15,65	13,75
% HUMEDAD	30,35	30,69

**GRADACIÓN**

Peso inicial:	335,00	gr	Peso final:	142,00	gr
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% RetAcum	% Pasa
3"	76,10				
2 1/2"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 1/2"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
3/4"	19,00				100,0%
1/2"	12,70	4,0	1,2%		
3/8"	9,51	7,5	2,2%	3,4%	96,6%
4	4,76	28,0	8,4%	11,8%	88,2%
8	2,38				
10	2,00	44,5	13,3%	25,1%	74,9%
12	1,68				
16	1,19				
30	0,59				
40	0,42	39,5	11,8%	36,9%	63,1%
50	0,30				
80	0,18	11,5	3,4%		
100	0,15	2,0			
200	0,07	5,0	1,5%	42,4%	57,6%
Pasa 200		193,0	57,6%	100,0%	0,0%
Total		335,0			

**Límites de Atterberg**



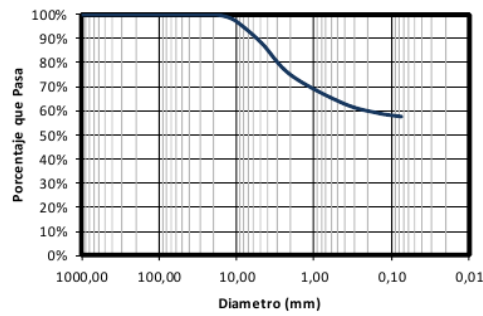
**RESULTADOS**

Límite Líquido 45,3 %  
 Límite Plástico 30,5 %  
 Índice Plástico 14,8 %

Gravas 11,8%  
 Arenas 30,6%  
 Finos 57,6%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo 7  
 A.A.S.H.T.O. A - 7 - 5  
 U.S.C ML



**OBSERVACIONES:**

Material compuesto de limos color gris ligeramente plasticos.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
 Ingeniero Civil, M.Sc. Geotecnia  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
 Laboratorista  
 Realizó



**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**  
**LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN**  
**I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126**

IDT-FL-001

**PROYECTO:** GRAMALOTE DESLIZAMIENTO 1 **ABSCISA**  
**SONDEO** S2  
**CLIENTE:** 0 **MUESTRA** M4  
**LOCALIZACIÓN:** DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER **PROF.** 3.00 - 3.75 [m]  
**FECHA:** 12-09-2013

PESO DE RECIP. + S.H. 1039,00  
 PESO DE RECIP. + S.S. 974,00  
 PESO RECIPIENTE 59,00  
 PESO AGUA 65,00  
 PESO SUELO SECO 915,00  
 % HUMEDAD 7,10

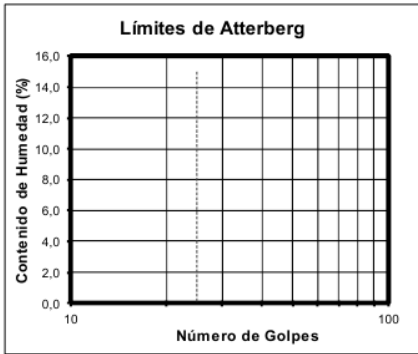
**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

LÍMITE LÍQUIDO	
Determinación No	
No GOLPES	
RECIP. No.	
PESO DE RECIP. + S.H.	
PESO DE RECIP. + S.S.	
PESO RECIPIENTE	
PESO AGUA	
PESO SUELO SECO	
% HUMEDAD	

NL

LÍMITE PLÁSTICO	
RECIP. No.	
PESO DE RECIP. + S.H.	
PESO DE RECIP. + S.S.	
PESO RECIPIENTE	
PESO AGUA	
PESO SUELO SECO	
% HUMEDAD	

NP



**RESULTADOS**

Límite Líquido     N.L.     %  
 Límite Plástico     N.P.     %  
 Índice Plástico     -     %

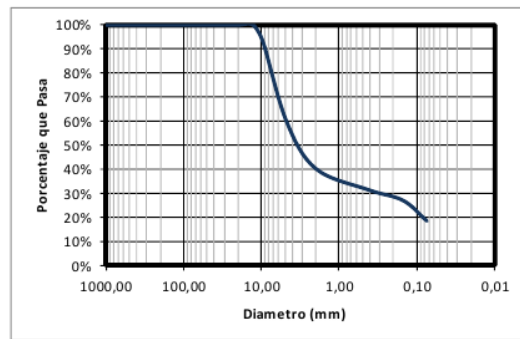
Gravas     40,0%      
 Arenas     41,5%      
 Finos     18,5%    

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo     0      
 A.A.S.H.T.O.     A - 1 - b      
 U.S.C     SM    

**GRADACIÓN**

Peso inicial:	486,50	gr	Peso final:	396,50	gr
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76,10				
2 1/2"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 1/2"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
3/4"	19,00				100,0%
1/2"	12,70				
3/8"	9,51	34,5	7,1%	7,1%	92,9%
4	4,76	160,0	32,9%	40,0%	60,0%
8	2,38				
10	2,00	96,0	19,7%	59,7%	40,3%
12	1,68				
16	1,19				
30	0,59				
40	0,42	43,0	8,8%	68,6%	31,4%
50	0,30				
80	0,18	14,0	2,9%		
100	0,15	7,5			
200	0,07	41,5	8,5%	81,5%	18,5%
Pasa 200		90,0	18,5%	100,0%	0,0%
Total		486,5			



**OBSERVACIONES:**  
 Material compuesto de arenas limosas , color café oscuro.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
 Ingeniero Civil, M Sc. Geotecnia  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
 Laboratorista  
 Realizó



**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN  
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN  
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126**

IDT-FL-001

PROYECTO: **GRAMALOTE DESLIZAMIENTO 3** ABSCISA: **S8**  
 SONDEO: **S8**  
 MUESTRA: **M2**  
 CLIENTE: **0** PROF.: **1.00 - 2.00 [m]**  
 LOCALIZACIÓN: **DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER** FECHA: **12-09-2013**

PESO DE RECIP. + S.H. 945,00  
 PESO DE RECIP. + S.S. 848,00  
 PESO RECIPIENTE 61,00  
 PESO A GUA 97,00  
 PESO SUELO SECO 787,00  
 % HUMEDAD 12,33

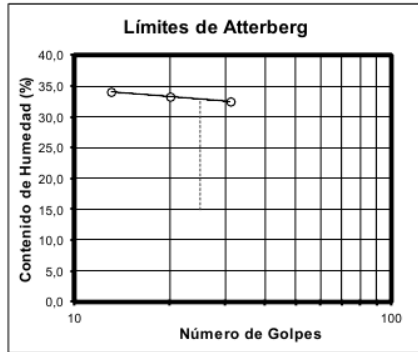
**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**LÍMITE LÍQUIDO**

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	31	20	13
RECIP. No.	70	49	33
PESO DE RECIP. + S.H.	31,32	31,68	32
PESO DE RECIP. + S.S.	25,63	26	26,02
PESO RECIPIENTE	8,15	8,55	8,49
PESO A GUA	5,69	5,79	5,98
PESO SUELO SECO	17,48	17,34	17,53
% HUMEDAD	32,55	33,39	34,11

**LÍMITE PLÁSTICO**

RECIP. No.	29	18
PESO DE RECIP. + S.H.	27,05	25,86
PESO DE RECIP. + S.S.	23,36	22,42
PESO RECIPIENTE	8,51	8,47
PESO A GUA	3,69	3,44
PESO SUELO SECO	14,85	13,95
% HUMEDAD	24,85	24,66



**RESULTADOS**

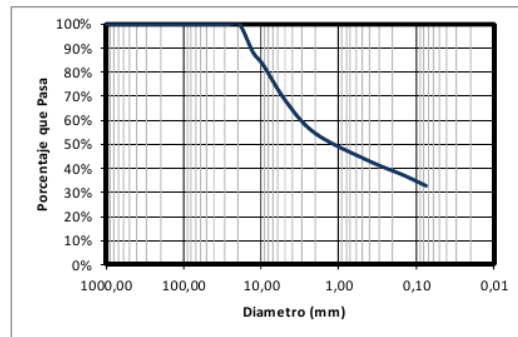
Límite Líquido 33,0 %  
 Límite Plástico 24,8 %  
 Índice Plástico 8,2 %  
 Gravas 32,2%  
 Arenas 35,1%  
 Finos 32,7%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo 0  
 A.A.S.H.T.O. A - 2 - 4  
 U.S.C SM

**GRADACIÓN**

Peso inicial:	453,00	gr	Peso final:	305,00	gr
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76,10				
2 1/2"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 1/2"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
3/4"	19,00				100,0%
1/2"	12,70	53,5	11,8%		
3/8"	9,51	22,5	5,0%	16,8%	83,2%
4	4,76	70,0	15,5%	32,2%	67,8%
8	2,38				
10	2,00	60,0	13,2%	45,5%	54,5%
12	1,68				
16	1,19				
30	0,59				
40	0,42	51,0	11,3%	56,7%	43,3%
50	0,30				
80	0,18	20,0	4,4%		
100	0,15	7,0			
200	0,07	21,0	4,6%	67,3%	32,7%
Pasa 200		148,0	32,7%	100,0%	0,0%
Total		453,0			

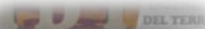


**OBSERVACIONES:**

Material compuesto de arenas limosas color cafe.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
 Ingeniero Civil, M.Sc. Geotecnia  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
 Laboratorista  
 Realizó



**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**  
**LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN**  
**I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126**

**IDT-FL-001**

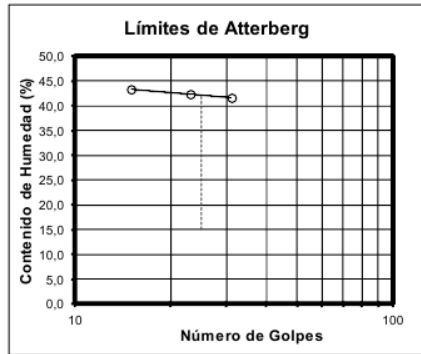
**PROYECTO:** GRAMALOTE DESLIZAMIENTO 1 **ABSCISA:** S3  
**SONDEO:** M5  
**MUESTRA:** M5  
**CLIENTE:** 0 **PROF.:** 4.50 - 5.50 [m]  
**LOCALIZACIÓN:** DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER **FECHA:** 12-09-2013

PESO DE RECIP. + S.H. 1004,50  
 PESO DE RECIP. + S.S. 729,00  
 PESO RECIPIENTE 57,50  
 PESO A GUA 275,50  
 PESO SUELO SECO 671,50  
 % HUMEDAD 41,03

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No GOLFES	31	23	15
RECIP. No.	27	24	6
PESO DE RECIP. + S.H.	31,99	31,41	30,91
PESO DE RECIP. + S.S.	25,08	24,54	24,06
PESO RECIPIENTE	8,52	8,34	8,25
PESO A GUA	6,91	6,87	6,85
PESO SUELO SECO	16,56	16,20	15,81
% HUMEDAD	41,73	42,41	43,33

LÍMITE PLÁSTICO		
RECIP. No.	4	3
PESO DE RECIP. + S.H.	30,94	28,15
PESO DE RECIP. + S.S.	25,58	24,01
PESO RECIPIENTE	8,24	8,49
PESO A GUA	5,36	4,14
PESO SUELO SECO	17,34	15,52
% HUMEDAD	30,91	26,68



**RESULTADOS**

Límite Líquido 42,2 %  
 Límite Plástico 28,8 %  
 Índice Plástico 13,4 %

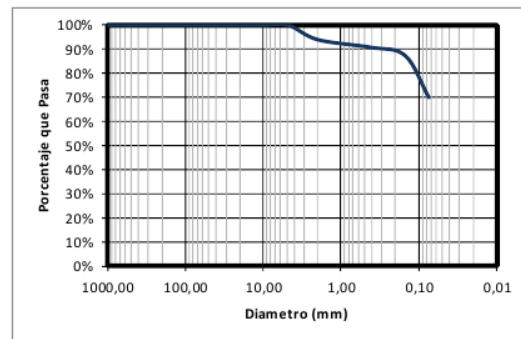
Gravas 0,0%  
 Arenas 30,1%  
 Finos 69,9%

**CLASIFICACIÓN**

Índice de Grupo 9  
 A.A.S.H.T.O. A - 7 - 6  
 U.S.C ML

**GRADACIÓN**

Peso inicial:	439,50	gr	Peso final:	132,50	gr
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76,10				
2 1/2"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 1/2"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
3/4"	19,00				100,0%
1/2"	12,70				
3/8"	9,51				100,0%
4	4,76				100,0%
8	2,38				
10	2,00	26,5	6,0%	6,0%	94,0%
12	1,68				
16	1,19				
30	0,59				
40	0,42	14,0	3,2%	9,2%	90,8%
50	0,30				
80	0,18	9,0	2,0%		
100	0,15	6,0			
200	0,07	77,0	17,5%	30,1%	69,9%
Pasa 200		307,0	69,9%	100,0%	0,0%
Total		439,5			



**OBSERVACIONES:**

Material compuesto de limos color gris oscuro  
 ligeramente plasticos.

**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
 Ingeniero Civil, M.Sc. Geotecnia  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
 Laboratorista  
 Realizó









**INGENIERÍA  
DEL TERRENO  
S.A.S**

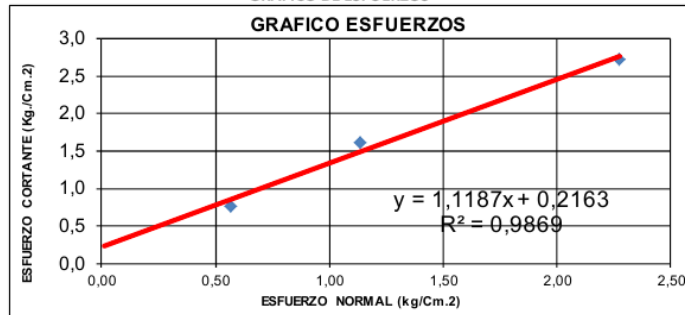
**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CORTE  
DIRECTO NORMA INV E 154-07**

**IDT-FL-002**

**PROYECTO:** ESTUDIOS GEOTECNICOS GRAMALOTE  
**SITIO:**  
**CLIENTE:** 0 **APIQUE N°:** 1  
**DESCRIPCIÓN:** **MUESTRAN°** 15  
**FECHA:** 06-09-2013

DATOS ESFUERZO NORMAL Y CORTANTE	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Esfuerzo Normal $s_n$ (kg./Cm <sup>2</sup> )	0,569	1,137	2,275
Esfuerzo Cortante. $\tau$ (kg./Cm <sup>2</sup> )	0,768	1,616	2,719

**GRÁFICO DE ESFUERZOS**



$\phi = 48,2^\circ$   
 $C = 0,216 \text{ Kg./Cm.2}$

**OBSERVACIONES:** Ensayo no consolidado drenado (UD)

**EDWIN F. VALENCIA PINZÓN**  
*Ingeniero Civil, M.Sc. Geotecnia*  
 Aprobó

**NELSON E. FLOREZ**  
*Laboratorista*  
 Realizó











INGENIERÍA  
DEL TERRENO  
S.A.S

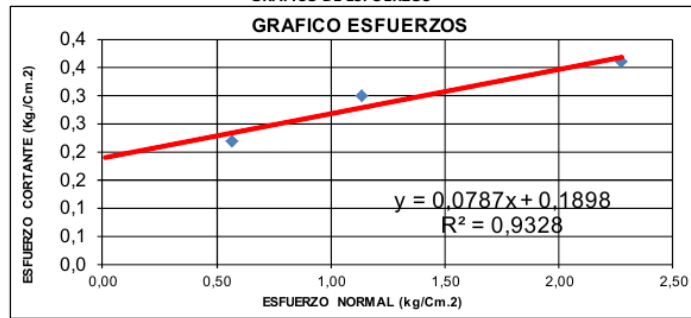
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CORTE  
DIRECTO NORMA INV E 154-07

IDT-FL-002

PROYECTO: ESTUDIOS GEOTECNICOS GRAMALOTE  
 SITIO: APIQUE N°: 3  
 CLIENTE: 0 MUESTRAN° 3  
 DESCRIPCIÓN: FECHA: 03-09-2013

DATOS ESFUERZO NORMAL Y CORTANTE	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Esfuerzo Normal $s_n$ (kg./Cm <sup>2</sup> )	0,569	1,137	2,275
Esfuerzo Cortante. $\tau$ (kg./Cm <sup>2</sup> )	0,221	0,300	0,362

GRÁFICO DE ESFUERZOS



$\phi = 4,5^\circ$   
 $C = 0,190 \text{ Kg./Cm.2}$

OBSERVACIONES: Ensayo no consolidado drenado (UD)

EDWIN F. VALENCIA PINZÓN  
 Ingeniero Civil, MSc. Geotecnia  
 Aprobó

NELSON E. FLOREZ  
 Laboratorista  
 Realizó



## ANEXO C. Resistencia al corte de pilas

La resistencia al corte de las pilas se calcula siguiendo la práctica recomendada para este tipo de elementos de concreto reforzado, según los criterios del reglamento colombiano de construcción sismo-resistentes (NSR-10), sección C.11.2, resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados.

Para calcular la resistencia al corte de las pilas se hacen las siguientes consideraciones, cuyos resultados se presentan en la tabla 1.

Pila tipo caisson, con anillos de 0.10 m de espesor; Para el aporte de resistencia al corte de la pila se considera el aporte del diámetro interior, despreciando el espesor del anillo.

D interior = D exterior – 2\*espesor anillo.

Recubrimiento del acero  $d' = 0.10$  m

Diámetro efectivo núcleo concreto  $D' = D_{\text{interior}} - 2*d'$

Diámetro equivalente a cortante  $D'' = 0.8 D_{\text{interior}}$

Resistencia a compresión del concreto  $f'_c = 28$  MPa (4000 psi).

Resistencia del acero  $f_y = 420$  MPa (60000 psi).

Estribos circulares de acero corrugado diámetro 5/8"

Separación estribos  $s = 0.10$  m

Area de estribos, 2 alas  $A_v = 4$  cm<sup>2</sup>.

Esfuerzo al corte concreto sin estribos (MPa)  $v_c = 0.17 \sqrt{f'_c}$

Area núcleo concreto  $A_c = \pi (D')^2 / 4$

Fuerza Cortante concreto  $V_c = v_c * A_c$

Fuerza cortante en el acero  $V_s = A_v f_y (D''/s)$

Fuerza cortante última  $V_u = V_c + V_s$

Factor de reducción de resistencia al corte  $\phi = 0.85$

Fuerza cortante en la sección  $\phi V_u$ .

TABLA 1. RESISTENCIA AL CORTE DE PILAS EN CONCRETO REFORZADO SEGÚN NSR-10

Diámetro exterior m	espesor anillo m	Diámetro interior m	Recubrimiento d' m	D núcleo D'=Dint-2*d' m	Dequivalente D''=0.8*Dint m	Concreto f'c MPa	Area estribo Av cm2	Acero Fy MPa	separación s m	Resist conc vc MPa	Area nucleo Ac m2	F cort concr		F cort acero		F cortante Vu KN	factor φ	F cortante φ Vu KN
												Vc KN	Vs KN	Vs KN	Vu KN			
<b>1.0</b>	0.1	0.8	0.1	0.6	0.6	28	4	420	0.1	0.900	0.283	254.3	1075.2	1329.5	0.85	<b>1130.1</b>		
<b>1.2</b>	0.1	1.0	0.1	0.8	0.8	28	4	420	0.1	0.900	0.503	452.2	1344.0	1796.2	0.85	<b>1526.7</b>		
<b>1.4</b>	0.1	1.2	0.1	1.0	1.0	28	4	420	0.1	0.900	0.785	706.5	1612.8	2319.3	0.85	<b>1971.4</b>		
<b>1.6</b>	0.1	1.4	0.1	1.2	1.1	28	4	420	0.1	0.900	1.131	1017.4	1881.6	2899.0	0.85	<b>2464.1</b>		
<b>1.8</b>	0.1	1.6	0.1	1.4	1.3	28	4	420	0.1	0.900	1.539	1384.8	2150.4	3535.2	0.85	<b>3004.9</b>		
<b>2.0</b>	0.1	1.8	0.1	1.6	1.4	28	4	420	0.1	0.900	2.011	1808.7	2419.2	4227.9	0.85	<b>3593.7</b>		

ANEXO D. Programa UA SLOPE 2.1 y Hoja de Cálculo Excel

## 1. UASlope 2.1

Para detalles de la entrada de datos al programa se debe consultar el manual de usuario el cual se encuentra en el anexo del Boletín Geotécnico 7<sup>1</sup> del departamento de transporte del estado de Ohio (EEUU).

Se deben entrar los datos en unidades Inglesas [Lbf, pies]; el programa tiene un error y la opción de unidades métricas [KN,m] da resultados equivocados.

La información ingresada al programa es la siguiente:

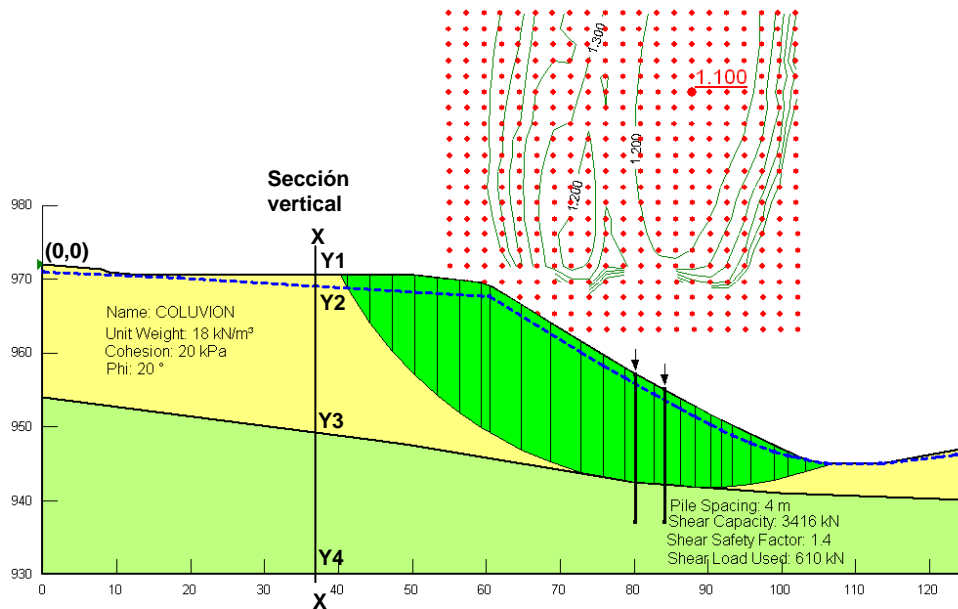
- Analysis Unit System= English (Sistema de unidades Ingles)
  
- Number of vertical sections = 18 (numero de secciones verticales que definen el perfil de suelos)
  
- Number of soil layers = 3 (numero de estratos=3; capa 1 del nivel del terreno al nivel freático, capa 2 del nivel freático a la roca, capa 3 basamento rocoso).
  
- Analysis method= Effective stress (método de análisis en esfuerzos efectivos)
  
- Soil properties: Cohesión (psf; Lbf/pie<sup>2</sup>), ángulo de fricción y peso unitario (pcf; Lbf/pie<sup>3</sup>) de cada estrato. Para la capa 1 y 2 se asignan los valores del depósito coluvial: cohesión 20KN/m<sup>2</sup>(417.7 psf), fricción 20°; peso unitario 18 KN/m<sup>3</sup> (114.6 pcf); para la capa 3 se le asignan valores altos de un material resistente (cohesión 2000 psf, fricción 45°, peso unitario 140 pcf). La superficie de falla está en las capas 1 y 2 por lo que los valores de la capa 3 no afectarán los resultados.

---

<sup>1</sup> OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Drilled Shaft Landslide Stabilization Design. Geotechnical Bulletin 7. 2011.

- Slope Profile Vertical Sections: Se dan las coordenadas (X,Y) para cada una de las secciones verticales que definen el perfil de suelos. Estos valores se obtuvieron del perfil analizado en SLOPE/W para la superficie de falla crítica con pilas (Figura 1), exportada como archivo DXF a autocad y leyendo los valores de X,Y que definen el perfil estratigráfico. Se seleccionaron 18 secciones verticales. El origen de coordenadas (0,0) para UASlope debe ubicarse en la esquina superior izquierda del perfil estratigráfico. Para cada valor de X se deben asignar 4 valores de Y en orden descendente (Y1, perfil del terreno: Y2, limite capa1-capa2; Y3: limite capa 2-capa 3: Y4: fondo capa 4). Los valores (X,Y1,Y2,Y3,Y4) se convierten de metros a pies y se ingresan a UASlope. Estos valores se muestran en la tabla 1.

Figura 1. Perfil para Análisis y superficie de falla con pilas para UASlope.



Fuente: Autor.

Tabla 1. Datos en pies de las secciones que definen el perfil estratigráfico

		SECCION VERTICAL PERFIL ESTRATIGRAFICO																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X	0	25.92	29.23	42.62	165	194.6	199.5	248.8	258.2	262.6	271.4	283	289.5	296.5	338.7	347.5	372	409.7	
Y1	0	2.2	3.12	4.76	4.76	8.04	9.68	40.39	46.13	48.59	53.35	59.61	63.16	66.9	86.78	88.39	88.42	81.86	
Y2	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55	71.36	86.81	88.45	88.45	84.35	
Y3	58.99	62.37	62.8	64.53	80.51	85.4	86.22	94.36	95.9	96.62	97.31	98.16	98.69	99.21	102	102.3	103.3	104.7	
Y4	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	137.6	

Fuente: Autor.

- Coordinates of toe: X=338.65 Y=86.78 (en pies) ; punto (X,Y) donde empieza la inclinación en la pata del talud, se deben ingresar estos valores antes que los de la cresta para evitar un error de ejecución en el programa.

- Coordinates of crest: X=199.51 Y=9.68 (en pies); punto (X,Y) en la parte alta de la ladera donde termina la inclinación.

- Pore Water Pressure= Specified phreatic (Presión de poros definida por nivel freático). Se introducen las coordenadas (X,Y) de los puntos que definen el nivel freático. Se utiliza la figura 1 exportada a Autocad y se obtienen los valores de la tabla 2. En este caso se aprovecharon los datos en cada sección vertical que se usó para definir el perfil de suelo, pero no necesariamente debe ser el mismo número de secciones verticales y puntos para nivel freático.

Tabla 2. Datos en pies de los puntos que definen el nivel freático.

		PUNTOS SUPERFICIE IVEL FREATICO																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X	0	25.92	29.23	42.62	165	194.6	199.5	248.8	258.2	262.6	271.4	283	289.5	296.5	338.7	347.5	372	409.7	
Y	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55	71.36	86.81	88.45	88.45	84.35	

Fuente: Autor.

- Slip Surface: Coordenadas de los puntos que definen la superficie de falla. El primero y último punto deben coincidir con un punto en la superficie del terreno. Estos valores se obtuvieron de la superficie de falla de la figura 1 exportada a Autocad. La tabla 3 presenta los valores obtenidos:

Tabla 3. Datos en pies de los puntos que definen la superficie de falla.

		PUNTOS SUPERFICIE DE FALLA													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X		132.1	135.2	145.1	155.1	165	174.9	184.7	194.6	198.3	199.5	212.4	225.2	238.5	248.8
Y		4.76	10.37	25.92	38.55	49.15	58.1	65.81	72.51	74.74	75.39	82.25	87.8	92.29	94.36

		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
X		258.2	262.6	271.4	283	289.5	296.5	301.3	306.2	314.2	324.7	330.7	338.7	347.5	349.6
Y		95.9	96.62	97.31	98.16	98.69	99.21	98.98	98.56	97.54	95.64	94.26	92.09	89.17	88.42

- Drilled Shaft Information: (Información de la pila)

Automatically Determine Contribution via Soil Arching Stabilization Mechanism: se selecciona esta opción para calcular automáticamente el valor del coeficiente de transferencia de carga  $\eta$ .

Diameter= 6.56 pies (diámetro de la pila=2 metros)

Clear Spacing= 6.56 pies; 9.84 pies, 13.12 pies (distancia libre entre pilas= 2metros, 3 metros, 4 metros)

X coordinate= variable (250 a 310 pies). Coordenada X donde se ubica la pila.

Luego de terminar la entrada de datos se da click al boton RUN y el programa muestra os resultados en el cuadro superior izquierdo:

Factor of Safety (Factor de seguridad)

Force per Shaft (Fuerza sobre la pila)

Acting point X: coordenada X donde se actúa la fuerza de la pila, es igual a la coordenada X introducida para la pila.

Acting point Y: Coordenada Y donde actúa la fuerza en la pila, es igual a la coordenada 1/3 arriba de la superficie de falla del punto donde se ubica la pila.

Al final de este anexo se muestran los datos y resultados de ejemplos representativos, con los cuales se elaboró la tabla 11 del trabajo.

## 2. HOJA DE CALCULO EXCEL CON ECUACIONES DE EQUILIBRIO LIMITE METODO LIANG.

La hoja de calculo en Excel fue creada para implementar las ecuaciones del método de Liang y obtener los mismos resultados del programa UASlope; también se usó para verificar el error del programa UASlope 2.1 al utilizar unidades métricas, sirvió para confirmar el procedimiento usado por el programa para obtener el FS y la carga sobre las pilas y permitió modificar las rutinas de cálculo con el fin de calcular el FS y las cargas sobre las pilas cuando se tienen dos o más filas de pilas y combinación con fuerzas sísmicas; estos casos no están cubiertos en la versión UASlope 2.1 y fueron necesarios incluirlos en la hoja de Excel para el análisis de estabilidad desarrollado para este trabajo.

En la hoja de Excel mostrada al final de este anexo, se muestran en color verde los datos de entrada. Para este caso, los datos coinciden con los introducidos al programa UASlope 2.1. Para el caso de las dovelas, se debe introducir para cada una la siguiente información:

$W_i$ = Peso en [Lbf/pie]

$a_i$ = ángulo inclinación en la base de la dovela en [grados].

$L_i$ = Longitud de la base de la dovela en [pies]

$U_i$ = presión de poros en la base de la dovela en [Lbf/pie<sup>2</sup>]

Con el fin de verificar resultados entre la hoja de Excel y el programa, se utilizaron los mismos datos de las dovelas que genera el programa UASlope 2.1, los cuales se obtienen del archivo C:\Spile\Calculation\_input.dat que se genera luego de correr el programa. Estos datos fueron verificados con la figura 1 exportada a Autocad y se comprobaron los valores y las unidades en [Lbf,pies], a partir de los datos en [KN,m]. El programa genera datos para 50 dovelas.

Se programaron en las columnas correspondientes las siguientes ecuaciones del método de Liang para cada dovela:

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

$$P_i^L = W_i \text{sen} \alpha_i - \left[ \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} \right] + k_i \eta P_{i-1}^L$$

$$P_i^L = W_i \text{sen} \alpha_i + K_{eq} W_i \cos \alpha_i - \left[ \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - K_{eq} W_i \text{sen} \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} \right] + k_i \eta P_{i-1}^L$$

$$F_{pila} = (1 - \eta) P_{i-1}^L S$$

Si la componente  $T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a - a_i) - uL$  de la segunda ecuación da negativo, se desprecia esta componente de la resistencia al corte.

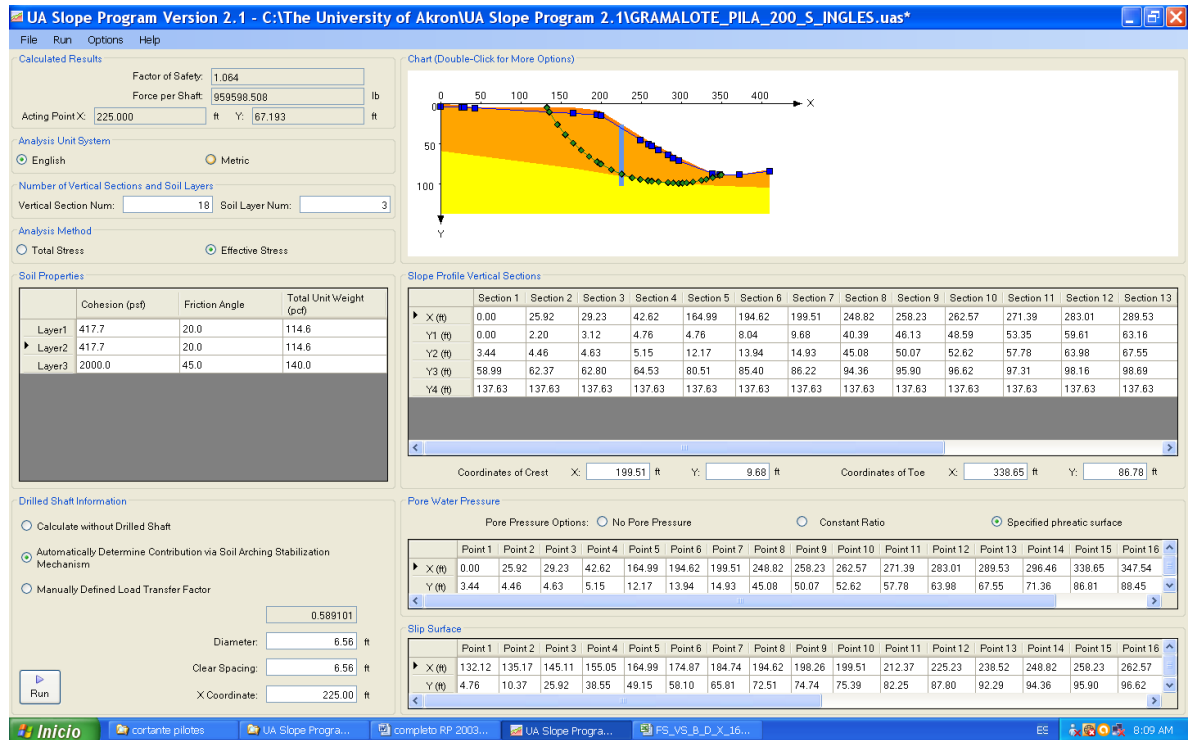
En el método de equilibrio límite la solución se obtiene cuando la fuerza  $P_i$  en la dovela inferior (dovela 50) sea cero. Para este cálculo se utiliza la Herramienta buscar objetivo de Excel, con las siguientes opciones: definir la casilla donde se encuentra el valor  $P_i$  dovela 50 con el valor 0.0, hacer variar la casilla donde se encuentra el Factor de seguridad. Una vez terminadas las iteraciones, la hoja de Excel muestra el valor del Factor de seguridad y la fuerza sobre las dovelas y las pilas en sus correspondientes casillas. Se debe observar que el valor  $P_i$  de la dovela 50 es 0.0.

Para verificación, en la etapa de construcción de la hoja de cálculo, se compararon los resultados de las fuerzas  $P_i$  sobre las dovelas, obtenidos con la hoja de Excel, con los que se obtienen en el programa UA SLOPE 2.1 y que son guardados en el archivo C:\Spile\Calculation\_output.dat; los archivos de trabajo del tipo \*.dat guardados en la carpeta C:\Spile\ por el programa, no están documentados en el manual de usuario y son utilizados como archivos temporales de entrada y salida de datos para cada corrida del programa.

### 3. RESULTADOS

Se presentan a continuación resultados de ejemplos representativos usando el programa USlope 2.1 y la hoja de cálculo Excel, para los mismos casos.

#### EJEMPLO 1 UA SLOPE 2.1: $D=6.56$ ft $B=6.56$ ft $S/D=2$ $X=225$ ft



EJEMPLO 1 HOJA DE CALCULO EXCEL: D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=225ft

c	417.7	psf
fi	20	°
Fila	D	B
1	6.5616798	6.56168

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	225	ee	0.8168032	x= X-Xcrest	92.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

CONVERSION A Lb Y FT

c	417.7	psf	
fi	0.3490656	rad	
D	B	S	S/D
6.5617	6.5616798	13.1234	2

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	225	ee	0.8168032	x= X-Xcrest	92.88
				%DX	42.7
				n1	0.58925

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

$$T_i = W \cos \alpha + P_{i-1} \sin(\alpha - \alpha_i) u_L$$

$$T = (cL + (W \cos \alpha - u_L) \tan \phi) / FS$$

DATOS DOVELAS

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	ui Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	FS Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									1.065		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.79	1733.14	986.32	0.00	358.99	3787.66	4.35	1.00000	-2054.52	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2015.74	98.42	3297.20	8.70	1.00000	-673.62	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-673.35	-391.85	0.00	13.05	1.00000	6818.43	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	6561.10	125.85	2652.33	17.40	1.00000	13309.68	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	13309.68	-335.56	0.00	21.75	1.00000	24875.62	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	24308.27	618.33	2624.91	26.10	1.00000	34651.41	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	34341.39	555.75	2717.99	30.45	1.00000	45982.29	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	45412.49	1141.03	2937.13	34.80	1.00000	57992.22	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	56997.61	2015.90	3265.60	39.15	1.00000	69679.82	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	69391.25	1438.28	3345.69	43.50	1.00000	82924.90	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	81042.43	3652.81	3868.44	47.85	1.00000	93808.02	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	93808.02	1837.18	3891.27	52.20	1.00000	107445.72	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	105031.54	4898.45	4454.66	56.55	1.00000	117491.94	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	117215.24	2950.38	4559.35	60.90	1.00000	130093.47	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	128754.85	4507.92	4973.18	65.25	1.00000	141085.83	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	137518.12	8116.30	6320.39	69.60	1.00000	146890.55	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	146401.59	5226.78	6361.58	73.95	1.00000	155364.86	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	155364.86	4683.61	6333.58	78.30	1.00000	164264.93	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	161591.58	7686.39	6601.61	82.65	1.00000	168844.09	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	166534.49	7556.17	6768.06	87.00	1.00000	172346.00	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	172346.00	5159.79	6705.37	91.35	1.00000	178055.91	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	174937.09	8494.87	6887.83	95.70	0.58925	105428.74	959797	4270
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	104153.78	6767.09	6942.70	100.05	1.00000	106903.17	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	106903.17	5366.36	6842.02	104.40	1.00000	109555.47	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	106773.28	8253.94	6986.42	108.75	1.00000	107199.25	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	104815.82	7926.41	6994.44	113.09	1.00000	103361.65	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	103142.47	5668.58	6845.92	117.44	1.00000	101492.56	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	100407.46	6273.18	6582.20	121.79	1.00000	98065.43	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	98066.01	4959.24	6388.13	126.14	1.00000	95762.17	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	95804.76	4829.49	6308.72	130.49	1.00000	93463.42	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	90394.72	7739.17	6253.68	134.84	1.00000	85968.56	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	85968.56	4660.83	6089.76	139.19	1.00000	81628.29	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	81488.76	4554.98	5851.17	143.54	1.00000	77202.64	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	77200.30	4218.64	5671.42	147.89	1.00000	73018.40	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	73081.01	3955.92	5490.15	152.24	1.00000	69055.45	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	69185.94	3707.19	5325.98	156.59	1.00000	65350.91	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	65237.33	3785.96	5154.99	160.94	1.00000	61404.33	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	60793.86	4118.62	4990.72	165.29	1.00000	56591.51	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	54376.67	5150.24	4614.57	169.64	1.00000	48968.49	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	48375.21	3427.34	4366.86	173.99	1.00000	42799.92	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	42180.96	3156.76	4100.58	178.34	1.00000	36467.45	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	36367.61	2365.26	3844.97	182.69	1.00000	30981.38	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	30466.20	2455.68	3558.06	187.04	1.00000	25089.97	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	25089.97	1659.39	3293.06	191.39	1.00000	20230.83	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	19984.81	1596.61	3011.41	195.74	1.00000	15419.34	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	15272.01	1184.22	2727.56	200.09	1.00000	11158.99	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	11052.70	823.82	2440.76	204.44	1.00000	7496.90	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7426.43	455.55	2142.80	208.79	1.00000	4524.75	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4486.16	258.13	2001.52	213.14	1.00000	2010.21	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2000.05	74.04	1864.70	217.49	1.00000	0.00	0	0

# EJEMPLO 2 UA SLOPE 2.1: D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=300 ft

UA Slope Program Version 2.1 - C:\The University of Akron\UA Slope Program 2.1\GRAMALOTE\_PILA\_200\_S\_INGLES.uas\*

File Run Options Help

Calculated Results

Factor of Safety: 0.978  
 Force per Shaft: 606110.528 lb  
 Acting Point X: 300.000 ft Y: 88.985 ft

Analysis Unit System  
 English  Metric

Number of Vertical Sections and Soil Layers  
 Vertical Section Num: 18 Soil Layer Num: 3

Analysis Method  
 Total Stress  Effective Stress

Soil Properties

	Cohesion (psf)	Friction Angle	Total Unit Weight (pcf)
Layer1	417.7	20.0	114.6
Layer2	417.7	20.0	114.6
Layer3	2000.0	45.0	140.0

Drilled Shaft Information

Calculate without Drilled Shaft  
 Automatically Determine Contribution via Soil Arching Stabilization Mechanism  
 Manually Defined Load Transfer Factor

0.556144  
 Diameter: 6.56 ft  
 Clear Spacing: 6.56 ft  
 X Coordinate: 300.00 ft

Run

Chart (Double-Click for More Options)

Slope Profile Vertical Sections

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53
Y1 (ft)	0.00	2.20	3.12	4.76	4.76	8.04	9.68	40.39	46.13	48.59	53.35	59.61	63.16
Y2 (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55
Y3 (ft)	58.99	62.37	62.80	64.53	80.51	85.40	86.22	94.36	95.90	96.62	97.31	98.16	98.69
Y4 (ft)	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63

Coordinates of Crest X: 199.51 ft Y: 9.68 ft Coordinates of Toe X: 338.65 ft Y: 86.78 ft

Pore Water Pressure

Pore Pressure Options:  No Pore Pressure  Constant Ratio  Specified phreatic surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53	296.46	338.65	347.54
Y (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55	71.36	86.81	88.45

Slip Surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	132.12	135.17	145.11	155.05	164.99	174.87	184.74	194.62	198.26	199.51	212.37	225.23	238.52	248.82	258.23	262.57
Y (ft)	4.76	10.37	25.92	38.55	49.15	58.10	65.81	72.51	74.74	75.39	82.25	87.80	92.29	94.36	95.90	96.62

Inicio UIS GRAMALOTE UA Slope Progra... completo RP 2003... UA Slope Progra... FS\_VS\_B\_D\_X\_16... GRAMALOTE\_PILA... ES 8:46 AM

EJEMPLO 2 HOJA DE CALCULO EXCEL: D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=300 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49
1	6.5616798	6.56168	X fila 1	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest	167.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - v_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
D	B	S	S/D	ang B	28.9917		DX	217.49
6.5617	6.5616798	13.1234	2	X fila 1	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a - a_i) - u_i l_i$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

								%DX					
								167.88	77.2	n1	0.55628		

$$P_i^L = W_i \text{sen} \alpha_i - \left[ \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} \right] + k_i \eta P_{i-1}^L$$

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	ui Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									0		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.82	1733.14	986.32	0.00	358.99	4120.97	4.35	1.00000	-2387.83	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2339.06	92.19	3587.34	8.70	1.00000	-1287.09	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-1286.53	-392.11	0.00	13.05	1.00000	6205.25	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	5953.00	104.27	2885.73	17.40	1.00000	12468.19	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	12468.19	-335.56	0.00	21.75	1.00000	24034.13	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	23441.70	599.58	2855.90	26.10	1.00000	33553.85	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	33228.18	545.67	2957.16	30.45	1.00000	44629.90	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	44030.53	1124.04	3195.60	34.80	1.00000	56351.79	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	55305.74	1987.87	3552.97	39.15	1.00000	67700.58	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	67395.96	1429.70	3640.10	43.50	1.00000	80635.20	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	78656.82	3602.01	4208.86	47.85	1.00000	91081.99	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	91081.99	1837.18	4233.69	52.20	1.00000	104377.27	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	101842.42	4831.01	4846.67	56.55	1.00000	113910.82	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	113619.17	2941.49	4960.57	60.90	1.00000	126096.19	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	124689.15	4465.90	5410.81	65.25	1.00000	136582.50	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	132852.01	8005.94	6876.58	69.60	1.00000	141668.26	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	141155.76	5208.53	6921.39	73.95	1.00000	149559.22	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	149559.22	4683.61	6890.93	78.30	1.00000	157901.95	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	155119.88	7582.91	7182.54	82.65	1.00000	161791.46	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	159393.82	7458.86	7363.64	87.00	1.00000	164609.76	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	164609.76	5159.79	7295.43	91.35	1.00000	169729.61	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	166512.14	8349.77	7493.94	95.70	1.00000	169889.21	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	167662.45	7557.98	7553.64	100.05	1.00000	169800.89	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	169800.89	5366.36	7444.11	104.40	1.00000	171851.10	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	167137.43	9786.52	7601.21	108.75	1.00000	166948.62	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	162936.38	9226.87	7609.94	113.09	1.00000	160866.71	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	160495.85	5797.24	7448.35	117.44	1.00000	158243.51	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	156409.04	6892.02	7161.42	121.79	1.00000	153487.78	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	153488.76	4958.89	6950.27	126.14	1.00000	150622.79	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	150695.68	4803.47	6863.88	130.49	1.00000	147799.19	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.96	1827.52	13285.01	142566.90	9427.33	6804.00	134.84	1.00000	137590.43	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	137590.43	4660.83	6625.65	139.19	1.00000	132714.27	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	132467.60	4647.28	6366.07	143.54	1.00000	127666.59	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	127662.38	4220.27	6170.49	147.89	1.00000	122981.40	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	123096.17	3910.14	5973.28	152.24	1.00000	118587.48	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	118831.45	3606.72	5794.66	156.59	1.00000	114527.75	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	114311.32	3876.29	5608.62	160.94	1.00000	110024.68	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	108838.36	4613.02	5429.89	165.29	1.00000	104196.84	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	99805.83	6880.46	5020.65	169.64	0.55628	52286.09	606742	2699
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	51599.49	3468.12	4751.14	173.99	1.00000	45639.92	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.98	-1612.94	6962.70	44925.02	3198.07	4461.42	178.34	1.00000	38850.66	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	38735.05	2372.13	4183.32	182.69	1.00000	33010.46	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	32416.27	2489.35	3871.17	187.04	1.00000	26726.93	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	26726.93	1659.39	3582.85	191.39	1.00000	21578.01	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	21293.60	1613.23	3276.41	195.74	1.00000	16463.13	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	16292.51	1194.43	2967.58	200.09	1.00000	11939.47	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	11816.13	831.44	2655.54	204.44	1.00000	8045.54	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7963.51	460.84	2331.36	208.79	1.00000	4873.26	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4828.17	261.19	2177.65	213.14	1.00000	2176.08	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2164.14	74.92	2028.79	217.49	1.00000	0.00	0	0

# EJEMPLO 3 UA SLOPE 2.1: D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=275 ft

**UA Slope Program Version 2.1 - C:\The University of Akron\UA Slope Program 2.1\GRAMALOTE\_PILA\_200\_S\_INGLES.uas\***

File Run Options Help

Calculated Results

Factor of Safety: 1.002  
 Force per Shaft: 856689.723 lb  
 Acting Point X: 275.000 ft Y: 83.622 ft

Analysis Unit System  
 English  Metric

Number of Vertical Sections and Soil Layers  
 Vertical Section Num: 18 Soil Layer Num: 3

Analysis Method  
 Total Stress  Effective Stress

Soil Properties

	Cohesion (psf)	Friction Angle	Total Unit Weight (pcf)
Layer1	417.7	20.0	114.6
Layer2	417.7	20.0	114.6
Layer3	2000.0	45.0	140.0

Chart (Double-Click for More Options)

Slope Profile Vertical Sections

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53
Y1 (ft)	0.00	2.20	3.12	4.76	4.76	8.04	9.68	40.39	46.13	48.59	53.35	59.61	63.16
Y2 (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55
Y3 (ft)	58.99	62.37	62.80	64.53	80.51	85.40	86.22	94.36	95.90	96.62	97.31	98.16	98.69
Y4 (ft)	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63

Coordinates of Crest X: 199.51 ft Y: 9.68 ft Coordinates of Toe X: 338.65 ft Y: 86.78 ft

Drilled Shaft Information

Calculate without Drilled Shaft  
 Automatically Determine Contribution via Soil Arching Stabilization Mechanism  
 Manually Defined Load Transfer Factor

0.618794  
 Diameter: 6.56 ft  
 Clear Spacing: 9.84 ft  
 X Coordinate: 275.00 ft

Run

Pore Water Pressure

Pore Pressure Options:  No Pore Pressure  Constant Ratio  Specified phreatic surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53	296.46	338.65	347.54
Y (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55	71.36	86.81	88.45

Slip Surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	132.12	135.17	145.11	155.05	164.99	174.87	184.74	194.62	198.26	199.51	212.37	225.23	238.52	248.82	258.23	262.57
Y (ft)	4.76	10.37	25.92	38.55	49.15	58.10	65.81	72.51	74.74	75.39	82.25	87.80	92.29	94.36	95.90	96.62

Inicio UIS GRAMALOTE UA Slope Progra... completo RP 2003... UA Slope Progra... FS\_VS\_B\_D\_X\_16... GRAMALOTE\_PILA... ES 8:51 AM

EJEMPLO 3 HOJA DE CALCULO EXCEL: D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=275 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
Fila	D B		ang B	28.9917			DX	217.49
1	6.5616798	9.84252	X fila 1	275	ee	0.4574529	x= X-Xcrest	142.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
D	B	S	S/D	ang B	28.9917	DX		217.49
6.5617	9.8425197	16.4042	2.5	X fila 1	275	ee	0.4574529	x= X-Xcrest

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - v_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a - a_i) - u l$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

DATOS DOVELAS										FS
										1.002

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	ui Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									0		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.81	1733.14	986.32	0.00	358.99	4023.82	4.35	1.00000	-2290.68	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2244.93	94.00	3502.77	8.70	1.00000	-1108.39	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-1107.92	-392.03	0.00	13.05	1.00000	6383.87	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	6129.77	110.56	2817.70	17.40	1.00000	12712.98	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	12712.98	-335.56	0.00	21.75	1.00000	24278.92	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	23693.50	605.03	2788.57	26.10	1.00000	33872.98	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	33551.70	548.60	2887.45	30.45	1.00000	45023.14	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	44432.11	1128.98	3120.26	34.80	1.00000	56828.71	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	55797.19	1996.02	3469.21	39.15	1.00000	68275.79	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	67975.72	1432.19	3554.29	43.50	1.00000	81300.76	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	79349.51	3616.77	4109.64	47.85	1.00000	91873.91	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	91873.91	1837.18	4133.88	52.20	1.00000	105269.00	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	102768.23	4850.60	4732.41	56.55	1.00000	114950.89	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	114663.46	2944.07	4843.62	60.90	1.00000	127257.41	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	125869.64	4478.11	5283.25	65.25	1.00000	137890.55	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	134205.74	8037.99	6714.46	69.60	1.00000	143184.11	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	142678.17	5213.82	6758.22	73.95	1.00000	151244.80	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	151244.80	4683.61	6728.48	78.30	1.00000	159749.99	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	156997.96	7612.96	7013.21	82.65	1.00000	163838.86	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	161465.34	7487.11	7190.04	87.00	1.00000	166854.87	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	166854.87	5159.79	7123.45	91.35	1.00000	172146.71	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	168955.70	8391.89	7317.28	95.70	1.00000	172509.44	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	170299.32	7590.13	7375.57	100.05	1.00000	172615.83	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	172615.83	5366.36	7268.62	104.40	1.00000	174841.54	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	170149.48	9860.08	7422.02	108.75	1.00000	170139.86	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	166140.15	9296.33	7430.54	113.09	1.00000	164249.88	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	163880.07	5804.81	7272.76	117.44	1.00000	161803.32	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	159970.09	6930.84	6992.59	121.79	1.00000	157217.66	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	157218.64	4958.87	6786.42	126.14	1.00000	154516.51	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	154589.52	4801.62	6702.06	130.49	1.00000	151854.85	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	146592.65	9553.34	6643.59	134.84	1.00000	141776.58	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	141776.58	4660.83	6469.45	139.19	1.00000	137056.62	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	136807.84	4655.12	6215.99	143.54	0.61895	81798.64	856714	3811
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	81796.00	4218.79	6025.03	147.89	1.00000	77260.49	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	77330.89	3952.03	5832.46	152.24	1.00000	72963.02	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	73109.56	3699.26	5658.06	156.59	1.00000	68942.46	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	68815.23	3792.56	5476.40	160.94	1.00000	64660.81	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	63979.46	4151.73	5301.89	165.29	1.00000	59465.94	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	57012.03	5254.71	4902.29	169.64	1.00000	51316.14	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	50657.47	3456.20	4639.13	173.99	1.00000	44809.91	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.98	-1612.94	6962.70	44123.72	3186.00	4356.24	178.34	1.00000	38154.53	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	38043.64	2370.13	4084.70	182.69	1.00000	32417.67	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	31847.11	2479.51	3779.91	187.04	1.00000	26249.04	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	26249.04	1659.39	3498.38	191.39	1.00000	21184.58	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	20911.65	1608.38	3199.17	195.74	1.00000	16158.42	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	15994.77	1191.45	2897.62	200.09	1.00000	11711.69	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	11593.45	829.22	2592.94	204.44	1.00000	7885.47	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7806.90	459.30	2276.40	208.79	1.00000	4771.61	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4728.47	260.30	2126.31	213.14	1.00000	2127.72	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2116.31	74.66	1980.96	217.49	1.00000	0.00	0	0

# EJEMPLO 4 UA SLOPE 2.1: D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=325 ft

**UA Slope Program Version 2.1 - C:\The University of Akron\UA Slope Program 2.1\GRAMALOTE\_PILA\_200\_S\_INGLES.uas\***

File Run Options Help

Calculated Results

Factor of Safety:   
 Force per Shaft:  lb  
 Acting Point X:  ft Y:  ft

Analysis Unit System  
 English  Metric

Number of Vertical Sections and Soil Layers  
 Vertical Section Num:  Soil Layer Num:

Analysis Method  
 Total Stress  Effective Stress

Soil Properties

	Cohesion (psf)	Friction Angle	Total Unit Weight (pcf)
Layer1	417.7	20.0	114.6
Layer2	417.7	20.0	114.6
Layer3	2000.0	45.0	140.0

Drilled Shaft Information

Calculate without Drilled Shaft  
 Automatically Determine Contribution via Soil Arching Stabilization Mechanism  
 Manually Defined Load Transfer Factor

Diameter:  ft  
 Clear Spacing:  ft  
 X Coordinate:  ft

Chart (Double-Click for More Options)

Slope Profile Vertical Sections

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53
Y1 (ft)	0.00	2.20	3.12	4.76	4.76	8.04	9.68	40.39	46.13	48.59	53.35	59.61	63.16
Y2 (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55
Y3 (ft)	58.99	62.37	62.80	64.53	80.51	85.40	86.22	94.36	95.90	96.62	97.31	98.16	98.69
Y4 (ft)	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63

Coordinates of Crest X:  ft Y:  ft  
 Coordinates of Toe X:  ft Y:  ft

Pore Water Pressure

Pore Pressure Options:  No Pore Pressure  Constant Ratio  [Specified phreatic surface]

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53	296.46	338.65	347.54
Y (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55	71.36	86.81	88.45

Slip Surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	132.12	135.17	145.11	155.05	164.99	174.87	184.74	194.62	198.26	199.51	212.37	225.23	238.52	248.82	258.23	262.57
Y (ft)	4.76	10.37	25.92	38.55	49.15	58.10	65.81	72.51	74.74	75.39	82.25	87.80	92.29	94.36	95.90	96.62

Inicio UIS GRAMALOTE UA Slope Progra... completo RP 2003... UA Slope Progra... FS\_VS\_B\_D\_X\_16... GRAMALOTE\_PILA... ES 8:58 AM

EJEMPLO 4 HOJA DE CALCULO EXCEL: D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=325 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49
1	6.5616798	9.84252	X fila 1	325	ee	0.0981026	x= X-Xcrest	192.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - v_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
D	B	S	S/D	ang B	28.9917		DX	217.49
6.5617	9.8425197	16.4042	2.5	X fila 1	325	ee	0.0981026	x= X-Xcrest
							192.88	88.7

$$T_i = W \cos \alpha + P_{i-1} \sin(\alpha - \alpha_i) - U$$

$$T = (cL + (W \cos \alpha - U) \tan \phi) / FS$$

DATOS DOVELAS													FS
$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \left[ \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} \right] + k_i \eta P_{i-1}^L$													0.841

Dovela i No.	Wi Lbf	ai (°)	Li ft	ui Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									0		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.87	1733.14	986.32	0.00	358.99	4797.62	4.35	1.00000	-3064.48	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2992.28	79.54	4176.38	8.70	1.00000	-2529.34	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-2528.06	-392.64	0.00	13.05	1.00000	4963.72	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.95	9400.91	-313.50	4732.63	60.58	3359.56	17.40	1.00000	10773.98	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	10773.98	-335.56	0.00	21.75	1.00000	22339.92	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.97	12968.05	175.85	21705.72	561.83	3324.83	26.10	1.00000	31348.94	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	30996.35	525.41	3442.72	30.45	1.00000	41912.51	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.98	15516.86	1548.36	41261.31	1089.92	3720.31	34.80	1.00000	53057.87	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	51920.84	1931.59	4136.35	39.15	1.00000	63732.29	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	0.99	16879.33	3122.03	63399.19	1412.50	4237.79	43.50	1.00000	76040.73	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.97	16634.04	4980.85	73891.96	3500.06	4899.94	47.85	1.00000	85626.05	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	85626.05	1837.18	4928.85	52.20	1.00000	98226.17	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.97	16915.07	6970.33	95478.44	4695.82	5642.47	56.55	1.00000	106751.04	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	106433.25	2923.71	5775.08	60.90	1.00000	118095.75	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	116569.70	4381.81	6299.25	65.25	1.00000	127574.61	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	123565.55	7785.19	8005.69	69.60	1.00000	131252.69	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	130700.89	5172.13	8057.87	73.95	1.00000	137967.88	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	137967.88	4683.61	8022.40	78.30	1.00000	145179.14	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	142225.05	7375.99	8361.89	82.65	1.00000	147717.27	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.98	12579.58	14359.79	145186.20	7264.67	8572.73	87.00	1.00000	149193.05	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	149193.05	5159.79	8493.32	91.35	1.00000	153115.00	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	149764.74	8060.23	8724.43	95.70	1.00000	151911.33	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.98	9692.08	15038.44	149607.44	7337.40	8793.93	100.05	1.00000	150505.59	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	150505.59	5366.36	8666.41	104.40	1.00000	151333.50	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	146557.87	9281.75	8849.31	108.75	1.00000	145120.96	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.97	5540.27	15367.18	141103.28	8751.78	8859.47	113.09	1.00000	137784.08	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	137414.71	5745.60	8671.35	117.44	1.00000	133939.37	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	132141.56	6627.00	8337.31	121.79	1.00000	128044.43	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	128045.38	4959.05	8091.49	126.14	1.00000	124038.18	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	124108.08	4816.08	7990.91	130.49	1.00000	120084.56	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.96	1827.52	13285.01	115207.36	8566.26	7921.19	134.84	1.00000	109113.69	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	109113.69	4660.83	7713.56	139.19	1.00000	103149.61	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	102926.62	4593.86	7411.36	143.54	1.00000	97080.32	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	97076.59	4219.28	7183.67	147.89	1.00000	91382.43	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	91481.77	3939.09	6954.07	152.24	1.00000	85992.28	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	86198.46	3672.84	6746.13	156.59	1.00000	80943.29	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	80765.38	3814.60	6529.54	160.94	1.00000	75557.83	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	74614.21	4262.54	6321.47	165.29	1.00000	69081.11	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.95	-793.61	8499.08	65748.62	5604.17	5845.02	169.64	1.00000	59109.99	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.98	-1208.43	7762.88	58211.87	3551.99	5531.26	173.99	1.00000	51472.18	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.98	-1612.94	6962.70	50540.29	3282.91	5193.97	178.34	1.00000	43733.38	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	43582.09	2386.20	4870.21	182.69	1.00000	37170.62	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	36398.02	2558.39	4506.80	187.04	1.00000	30073.06	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	30073.06	1659.39	4171.14	191.39	1.00000	24335.84	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.98	-1554.06	3701.02	23964.71	1647.25	3814.39	195.74	1.00000	18596.26	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	18372.99	1215.31	3454.84	200.09	1.00000	13532.68	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	13370.72	846.98	3091.58	204.44	1.00000	9164.10	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	9055.85	471.62	2714.16	208.79	1.00000	5582.80	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	5522.92	267.41	2535.21	213.14	1.00000	2513.28	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2497.26	76.69	2361.91	217.49	1.00000	0.00	0	0

# EJEMPLO 5 UA SLOPE 2.1: D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=275 ft

**UA Slope Program Version 2.1 - C:\The University of Akron\UA Slope Program 2.1\GRAMALOTE\_PILA\_200\_S\_INGLES.uas\***

File Run Options Help

Calculated Results

Factor of Safety: 0.893  
 Force per Shaft: 380824.570 lb  
 Acting Point X: 275.000 ft Y: 83.622 ft

Analysis Unit System  
 English  Metric

Number of Vertical Sections and Soil Layers  
 Vertical Section Num: 18 Soil Layer Num: 3

Analysis Method  
 Total Stress  Effective Stress

Soil Properties

	Cohesion (psf)	Friction Angle	Total Unit Weight (pcf)
Layer1	417.7	20.0	114.6
Layer2	417.7	20.0	114.6
Layer3	2000.0	45.0	140.0

Drilled Shaft Information

Calculate without Drilled Shaft  
 Automatically Determine Contribution via Soil Arching Stabilization Mechanism  
 Manually Defined Load Transfer Factor

0.832211  
 Diameter: 6.56 ft  
 Clear Spacing: 13.12 ft  
 X Coordinate: 275.00 ft

Run

Chart (Double-Click for More Options)

Slope Profile Vertical Sections

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6	Section 7	Section 8	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53
Y1 (ft)	0.00	2.20	3.12	4.76	4.76	8.04	9.68	40.39	46.13	48.59	53.35	59.61	63.16
Y2 (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55
Y3 (ft)	58.99	62.37	62.80	64.53	80.51	85.40	86.22	94.36	95.90	96.62	97.31	98.16	98.69
Y4 (ft)	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63	137.63

Coordinates of Crest X: 199.51 ft Y: 9.68 ft Coordinates of Toe X: 338.65 ft Y: 86.78 ft

Pore Water Pressure

Pore Pressure Options:  No Pore Pressure  Constant Ratio  Specified phreatic surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	0.00	25.92	29.23	42.62	164.99	194.62	199.51	248.82	258.23	262.57	271.39	283.01	289.53	296.46	338.65	347.54
Y (ft)	3.44	4.46	4.63	5.15	12.17	13.94	14.93	45.08	50.07	52.62	57.78	63.98	67.55	71.36	86.81	88.45

Slip Surface

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16
X (ft)	132.12	135.17	145.11	155.05	164.99	174.87	184.74	194.62	198.26	199.51	212.37	225.23	238.52	248.82	258.23	262.57
Y (ft)	4.76	10.37	25.92	38.55	49.15	58.10	65.81	72.51	74.74	75.39	82.25	87.80	92.29	94.36	95.90	96.62

Inicio UIS GRAMALOTE UA Slope Progra... completo RP 2003... UA Slope Progra... FS\_VS\_B\_D\_X\_16... GRAMALOTE\_PILA... ES 8:41 AM

EJEMPLO 5 HOJA DE CALCULO EXCEL: D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=275 ft

c	417.7	psf
fi	20	°
Fila	D	B
1	6.5616798	13.1234

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	275	ee	0.4574529	x= X-Xcrest	142.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - v_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	
fi	0.3490656	rad	
D	B	S	S/D
6.5617	13.12336	19.685	3

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	275	ee	0.4574529	x= X-Xcrest	142.88

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a - a_i) - u_i$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

DATOS DOVELAS														FS			
Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	ui Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN		
0	0	0	0	0									0				
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.85	1733.14	986.32	0.00	358.99	4512.67	4.35	1.00000	-2779.53	0	0		
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2717.72	84.86	3928.32	8.70	1.00000	-2006.72	0	0		
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-2005.77	-392.41	0.00	13.05	1.00000	5486.02	0	0		
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	5244.25	78.96	3160.02	17.40	1.00000	11485.14	0	0		
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	11485.14	-335.56	0.00	21.75	1.00000	23051.08	0	0		
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.97	12968.05	175.85	22432.99	577.67	3127.35	26.10	1.00000	32273.69	0	0		
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	31931.65	533.91	3238.24	30.45	1.00000	43052.29	0	0		
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	42421.59	1104.23	3499.34	34.80	1.00000	54439.11	0	0		
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	53338.21	1955.19	3890.68	39.15	1.00000	65395.34	0	0		
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	65073.57	1419.71	3986.09	43.50	1.00000	77966.81	0	0		
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.97	16634.04	4980.85	75885.86	3542.80	4608.91	47.85	1.00000	87910.98	0	0		
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	87910.98	1837.18	4636.11	52.20	1.00000	100803.84	0	0		
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.97	16915.07	6970.33	98140.57	4752.47	5307.34	56.55	1.00000	109748.29	0	0		
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	109440.84	2931.15	5432.07	60.90	1.00000	121446.35	0	0		
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	119967.20	4417.03	5925.11	65.25	1.00000	131346.25	0	0		
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	127446.12	7877.62	7530.20	69.60	1.00000	135608.75	0	0		
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	135072.13	5187.35	7579.27	73.95	1.00000	142817.71	0	0		
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	142817.71	4683.61	7545.91	78.30	1.00000	150505.46	0	0		
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	147615.95	7462.62	7865.24	82.65	1.00000	153604.83	0	0		
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.98	12579.58	14359.79	151122.64	7345.91	8063.55	87.00	1.00000	155638.66	0	0		
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	155638.66	5159.79	7988.87	91.35	1.00000	160065.07	0	0		
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	156759.85	8181.35	8206.24	95.70	1.00000	159424.62	0	0		
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	157145.01	7429.59	8271.62	100.05	1.00000	158565.48	0	0		
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	158565.48	5366.36	8151.68	104.40	1.00000	159908.12	0	0		
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	155139.90	9492.70	8323.71	108.75	1.00000	154228.59	0	0		
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.97	5540.27	15367.18	150195.98	8950.01	8333.26	113.09	1.00000	147402.98	0	0		
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	147031.13	5767.12	8156.32	117.44	1.00000	144070.81	0	0		
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	142248.04	6737.47	7842.12	121.79	1.00000	138646.09	0	0		
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	138647.06	4958.99	7610.90	126.14	1.00000	135120.46	0	0		
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	135192.07	4810.82	7516.29	130.49	1.00000	131643.17	0	0		
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.96	1827.52	13285.01	126585.53	8925.38	7450.72	134.84	1.00000	120962.34	0	0		
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	120962.34	4660.83	7255.42	139.19	1.00000	115456.41	0	0		
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	115221.55	4616.10	6971.16	143.54	0.83242	91412.78	380866	1694		
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	91409.47	4219.10	6757.00	147.89	1.00000	86141.99	0	0		
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	86230.05	3943.90	6541.04	152.24	1.00000	81153.60	0	0		
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	81336.54	3682.65	6345.45	156.59	1.00000	76482.05	0	0		
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	76323.88	3806.41	6141.72	160.94	1.00000	71504.14	0	0		
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	70662.53	4221.32	5946.01	165.29	1.00000	65504.89	0	0		
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.95	-793.61	8499.08	62513.16	5474.20	5497.86	169.64	1.00000	56221.69	0	0		
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	55416.29	3516.49	5202.73	173.99	1.00000	49005.12	0	0		
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.98	-1612.94	6962.70	48168.27	3247.02	4885.48	178.34	1.00000	41669.85	0	0		
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	41534.19	2380.25	4580.94	182.69	1.00000	35411.97	0	0		
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	34717.46	2529.21	4239.12	187.04	1.00000	28660.17	0	0		
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	28660.17	1659.39	3923.40	191.39	1.00000	23170.70	0	0		
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	22837.53	1632.88	3587.83	195.74	1.00000	17695.64	0	0		
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	17495.42	1206.50	3249.65	200.09	1.00000	12860.31	0	0		
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	12715.27	840.42	2907.95	204.44	1.00000	8692.27	0	0		
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	8595.51	467.07	2552.96	208.79	1.00000	5283.67	0	0		
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	5230.27	264.79	2384.63	213.14	1.00000	2371.20	0	0		
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2356.98	75.94	2221.63	217.49	1.00000	0.00	0	0		

ANEXO E. Resultados hoja de calculo Excel 2 pilas

Se presenta a continuación los datos y resultados de ejemplos representativos, con los cuales se elaboró la tabla 12 del trabajo.

EJEMPLO 1

FILA 1 D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=250 ft

FILA 2 D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=260 ft

c	417.7	psf				X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61				
fi	20	°				Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12				
Fila	D	B				ang B	28.9917			DX	217.49				
1	6.5616798	13.1234	ft			X fila 1	250	ee	0.6371281	x= X-Xcrest	117.88	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$			
2	6.5616798	6.56168	ft			X fila 2	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88				

$$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a - \alpha_i) - u_i L_i$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

CONVERSION A LB Y FT															
c	417.7	psf				X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61				
fi	0.3490656	rad				Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12				
D	B	S	S/D				ang B	28.9917			DX	217.49	%DX		
6.56168	13.12336	19.685	3				X fila 1	250	ee	0.6371281	x= X-Xcrest	117.88	54.2	n1	0.85498
6.56168	6.5616798	13.1234	2				X fila 2	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88	58.8	n1	0.39266

DATOS DOVELAS														FS		F pila		F pila	
Dovela i	Wi	a i	Li	ui	ki	Wi sen a	Wcos a-uL	k * Pi-1	Ti f	T	Xi-Xcrest	n	Pi	F pila	F pila	F pila			
No.	Lbf	(°)	ft	Lbf/ft2		Lbf	Lbf	LbF	LbF	Lbf	ft		Lbf	Lbf	KN	KN			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.71	1733.14	986.32	0.00	358.99	2805.07	4.35	1.00000	-1071.93	0	0				
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.99	4639.32	375.91	-1056.58	116.78	2441.84	8.70	1.00000	1140.90	0	0				
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	1140.56	-391.08	0.00	13.05	1.00000	8632.34	0	0				
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.97	9400.91	-313.50	8380.57	189.69	1964.26	17.40	1.00000	15817.21	0	0				
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	15817.21	-335.56	0.00	21.75	1.00000	27383.15	0	0				
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	26907.31	674.21	1943.96	26.10	1.00000	37931.40	0	0				
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	37676.94	585.88	2012.89	30.45	1.00000	50022.93	0	0				
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	49556.14	1191.77	2175.19	34.80	1.00000	62897.82	0	0				
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.99	15947.81	2816.37	62080.93	2099.71	2418.44	39.15	1.00000	75610.30	0	0				
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	75377.01	1463.98	2477.75	43.50	1.00000	89778.60	0	0				
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	88225.93	3804.88	2864.90	47.85	1.00000	101995.07	0	0				
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	101995.07	1837.18	2881.80	52.20	1.00000	116642.24	0	0				
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	114646.09	5100.57	3299.04	56.55	1.00000	128262.12	0	0				
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	128037.64	2977.11	3376.57	60.90	1.00000	142098.65	0	0				
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	141000.44	4634.10	3683.04	65.25	1.00000	154621.56	0	0				
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	151634.87	8448.00	4680.76	69.60	1.00000	162646.93	0	0				
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	162244.02	5281.84	4711.27	73.95	1.00000	172857.61	0	0				
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	172857.61	4683.61	4690.53	78.30	1.00000	183400.73	0	0				
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.99	13854.12	13778.43	181142.74	7997.59	4889.03	82.65	1.00000	190107.83	0	0				
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	188146.53	7849.56	5012.30	87.00	1.00000	195713.81	0	0				
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	195713.81	5159.79	4965.87	91.35	1.00000	203163.21	0	0				
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.99	10871.01	14814.18	200467.33	8932.41	5100.99	95.70	1.00000	206237.35	0	0				
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	204359.91	8003.95	5141.63	100.05	1.00000	208910.36	0	0				
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	208910.36	5366.36	5067.07	104.40	1.00000	213337.61	0	0				
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	7412.40	15272.43	209198.74	10807.15	5174.01	108.75	1.00000	211437.13	0	0				
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	207857.47	10195.17	5179.95	113.09	1.00000	208217.79	0	0				
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	207889.79	5903.18	5069.96	117.44	1.00000	208015.84	0	0				
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	206344.58	7434.76	4874.65	121.79	0.85498	175878.04	593827	2642				
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	175878.80	4958.75	4730.93	126.14	1.00000	175232.17	0	0				
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	175289.84	4791.80	4672.12	130.49	0.39266	68552.19	1396665	6213				
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	66820.38	6965.20	4631.36	134.84	1.00000	64016.55	0	0				
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	64016.55	4660.83	4509.96	139.19	1.00000	61256.07	0	0				
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	61178.33	4518.18	4333.27	143.54	1.00000	58410.12	0	0				
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	58408.81	4218.03	4200.15	147.89	1.00000	55698.18	0	0				
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	55733.51	3971.79	4065.91	152.24	1.00000	53132.19	0	0				
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	53206.33	3739.49	3944.32	156.59	1.00000	50752.96	0	0				
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	50687.47	3759.15	3817.69	160.94	1.00000	48191.77	0	0				
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	47832.07	3984.26	3696.03	165.29	1.00000	44924.41	0	0				
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.97	-793.61	8499.08	43564.05	4726.19	3417.46	169.64	1.00000	39352.98	0	0				
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	38994.06	3309.15	3234.02	173.99	1.00000	34551.61	0	0				
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	34174.40	3036.79	3036.81	178.34	1.00000	29524.65	0	0				
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	29464.55	2345.26	2847.51	182.69	1.00000	25075.79	0	0				
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.99	-1818.17	5334.28	24760.21	2357.67	2635.04	187.04	1.00000	20307.00	0	0				
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	20307.00	1659.39	2438.78	191.39	1.00000	16302.15	0	0				
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	16152.90	1548.15	2230.20	195.74	1.00000	12368.65	0	0				
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	12279.96	1154.36	2019.98	200.09	1.00000	8874.52	0	0				
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	8811.10	801.53	1807.58	204.44	1.00000	5888.48	0	0				
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	5846.95	440.06	1586.92	208.79	1.00000	3501.15	0	0				
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	3478.77	249.15	1482.29	213.14	1.00000	1522.05	0	0				
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1516.31	71.47	1380.96	217.49	1.00000	0.00	0	0				

## EJEMPLO 2

FILA 1 D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=250 ft

FILA 2 D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=280 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$ $T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49	
1	6.5616798	13.1234	X fila 1	250	ee	0.6371281	x= X-Xcrest	117.88	
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88	

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	Ti f=Wcos a+Pi-1sin(a-ai)-uL
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	T=(cL+(Wcosa-uL)tan fi)/FS
D	B	S	S/D	ang B			DX	%DX	
6.56168	13.12336	19.685	3	X fila 1	250	ee	0.6371281	x= X-Xcrest	117.88
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88

DATOS DOVELAS

$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta_i D_i^L$															FS
															1.292

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.74	1733.14	986.32	0.00	358.99	3120.51	4.35	1.00000	-1387.36	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-1365.46	110.89	2716.43	8.70	1.00000	557.42	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	557.24	-391.33	0.00	13.05	1.00000	8049.02	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.97	9400.91	-313.50	7792.10	169.16	2185.15	17.40	1.00000	15007.87	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	15007.87	-335.56	0.00	21.75	1.00000	26573.81	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	26065.70	656.17	2162.56	26.10	1.00000	36871.19	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	36597.35	576.14	2239.24	30.45	1.00000	48717.00	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	48214.53	1175.37	2419.79	34.80	1.00000	61311.60	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.99	15947.81	2816.37	60433.38	2072.61	2690.40	39.15	1.00000	73690.79	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	73438.45	1455.66	2756.38	43.50	1.00000	87561.40	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	85895.11	3755.68	3187.06	47.85	1.00000	99342.09	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	99342.09	1837.18	3205.86	52.20	1.00000	113665.20	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	111524.58	5035.14	3670.02	56.55	1.00000	124769.63	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	124527.04	2968.44	3756.27	60.90	1.00000	138208.35	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	137026.57	4593.21	4097.21	65.25	1.00000	150233.53	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	147043.61	8340.47	5207.12	69.60	1.00000	157529.31	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	157096.02	5263.96	5241.06	73.95	1.00000	167179.81	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	167179.81	4683.61	5217.99	78.30	1.00000	177195.49	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.99	13854.12	13778.43	174788.47	7896.68	5438.80	82.65	1.00000	183203.78	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	181115.98	7754.30	5575.94	87.00	1.00000	188119.62	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	188119.62	5159.79	5524.29	91.35	1.00000	195010.61	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.99	10871.01	14814.18	192157.67	8790.34	5674.61	95.70	1.00000	197353.48	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	195367.50	7894.95	5719.81	100.05	1.00000	199339.77	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	199339.77	5366.36	5636.87	104.40	1.00000	203197.22	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	7412.40	15272.43	198864.04	10557.68	5755.83	108.75	1.00000	200520.60	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	196784.36	9957.57	5762.44	113.09	1.00000	196562.19	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	196218.15	5877.11	5640.08	117.44	1.00000	195774.08	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	194034.18	7301.27	5422.81	121.79	0.85498	164884.23	558881	2486
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	164885.02	4958.82	5262.92	126.14	1.00000	163706.39	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	163766.35	4797.26	5197.50	130.49	1.00000	162536.23	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	158035.13	9885.20	5152.16	134.84	1.00000	154710.49	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	154710.49	4660.83	5017.11	139.19	1.00000	151442.87	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	151229.27	4681.11	4820.55	143.54	1.00000	147973.78	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	147970.08	4220.93	4672.46	147.89	0.42270	61201.15	1121071	4987
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	61244.35	3966.75	4523.12	152.24	1.00000	58185.82	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	58276.25	3729.24	4387.87	156.59	1.00000	55379.34	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	55299.92	3767.65	4246.99	160.94	1.00000	52374.92	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	51942.33	4026.80	4111.66	165.29	1.00000	48619.05	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.97	-793.61	8499.08	47008.59	4860.48	3801.76	169.64	1.00000	42413.22	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	41985.61	3346.77	3597.68	173.99	1.00000	37179.49	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	36731.29	3075.01	3378.30	178.34	1.00000	31740.05	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	31668.28	2351.64	3167.72	182.69	1.00000	26959.30	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.99	-1818.17	5334.28	26585.03	2388.93	2931.35	187.04	1.00000	21835.52	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	21835.52	1659.39	2713.02	191.39	1.00000	17556.42	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	17378.74	1563.63	2480.98	195.74	1.00000	13343.71	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	13237.82	1163.90	2247.12	200.09	1.00000	9605.23	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	9529.25	808.66	2010.85	204.44	1.00000	6403.36	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	6353.38	445.02	1765.37	208.79	1.00000	3829.13	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	3802.03	252.03	1648.97	213.14	1.00000	1678.62	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1671.60	72.30	1536.25	217.49	1.00000	0.00	0	0

### EJEMPLO 3

FILA 1 D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=250 ft

FILA 2 D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=310 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49	$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$
1	6.5616798	13.1234	X fila 1	250	ee	0.6371281	x= X-Xcrest	117.88	
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	310	ee	0.2059077	x= X-Xcrest	177.88	$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$ $T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a-a_i) - uL$ $T_i = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$

CONVERSION A LB Y FT										
c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61		
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12		
D	B	S	S/D	ang B	28.9917		DX	217.49	%DX	
6.56168	13.12336	19.685	3	X fila 1	250	ee	0.6371281	x= X-Xcrest	117.88	54.2
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	310	ee	0.2059077	x= X-Xcrest	177.88	81.8
										n1
										0.85498
										0.66191

$$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta_i D_{i-1}^L$$

DATOS DOVELAS															FS
															0.975

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									0	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.82	1733.14	986.32	0.00	358.99	4136.32	4.35	1.00000	-2403.18	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2353.93	91.90	3600.71	8.70	1.00000	-1315.32	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-1314.75	-392.12	0.00	13.05	1.00000	6177.04	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	5925.11	103.28	2896.48	17.40	1.00000	12429.54	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	12429.54	-335.56	0.00	21.75	1.00000	23995.48	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	23401.97	598.72	2866.54	26.10	1.00000	33503.49	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	33177.13	545.21	2968.18	30.45	1.00000	44567.84	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	43967.17	1123.26	3207.50	34.80	1.00000	56276.53	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	55228.21	1986.58	3566.20	39.15	1.00000	67609.82	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	67304.50	1429.31	3653.66	43.50	1.00000	80530.17	0	0
11	27202.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	78547.57	3599.68	4224.54	47.85	1.00000	90957.07	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	90957.07	1837.18	4249.46	52.20	1.00000	104236.57	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	101696.41	4827.91	4864.72	56.55	1.00000	113746.76	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	113454.46	2941.08	4979.04	60.90	1.00000	125913.00	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	124502.97	4463.98	5430.97	65.25	1.00000	136376.17	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	132638.59	8000.88	6902.19	69.60	1.00000	141429.22	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	140915.70	5207.69	6947.17	73.95	1.00000	149293.38	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	149293.38	4683.61	6916.60	78.30	1.00000	157610.45	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	154823.76	7578.17	7209.29	82.65	1.00000	161468.59	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	159067.25	7454.41	7391.07	87.00	1.00000	164255.76	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	164255.76	5159.79	7322.61	91.35	1.00000	169348.43	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	166126.96	8343.13	7521.86	95.70	1.00000	169476.11	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	167246.84	7552.91	7581.78	100.05	1.00000	169357.15	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	169357.15	5366.36	7471.84	104.40	1.00000	171379.63	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	166662.85	9774.92	7629.53	108.75	1.00000	166445.72	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	162431.78	9215.92	7638.28	113.09	1.00000	160333.76	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	159962.77	5796.05	7476.09	117.44	1.00000	157682.68	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	155848.16	6885.90	7188.10	121.79	0.85498	130726.66	450140	2002
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	130727.50	4959.03	6976.16	126.14	1.00000	127835.63	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	127897.72	4814.28	6889.45	130.49	1.00000	124975.67	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.96	1827.52	13285.01	120536.58	8718.23	6829.34	134.84	1.00000	115534.77	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	115534.77	4660.83	6650.33	139.19	1.00000	110633.93	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	110427.54	4607.39	6389.78	143.54	1.00000	105602.82	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	105599.32	4219.56	6193.48	147.89	1.00000	100895.35	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	100989.87	3930.38	5995.53	152.24	1.00000	96458.93	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	96658.12	3651.61	5816.25	156.59	1.00000	92332.83	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	92157.70	3835.52	5629.51	160.94	1.00000	87850.17	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	86899.54	4387.54	5450.12	165.29	1.00000	82237.79	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	78760.79	6082.36	5039.35	169.64	1.00000	72927.84	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	71966.77	3721.83	4768.83	173.99	1.00000	65989.50	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.98	-1612.94	6962.70	64952.20	3494.07	4478.04	178.34	0.66191	38960.77	292788	1302
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	38844.40	2372.45	4198.90	182.69	1.00000	33104.23	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	32506.25	2490.91	3885.59	187.04	1.00000	26802.50	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	26802.50	1659.39	3596.19	191.39	1.00000	21640.23	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	21353.98	1614.00	3288.62	195.74	1.00000	16511.31	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	16339.58	1194.91	2978.63	200.09	1.00000	11975.48	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	11851.32	831.79	2665.44	204.44	1.00000	8070.84	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7988.26	461.08	2340.04	208.79	1.00000	4889.33	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4843.92	261.33	2185.76	213.14	1.00000	2183.73	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2171.70	74.96	2036.35	217.49	1.00000	0.00	0	0

### EJEMPLO 4

FILA 1 D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=260 ft

FILA 2 D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=300 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49	
1	6.5616798	13.1234	X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88	$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest	167.88	

CONVERSION A LB Y FT									$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a_i - a) - u_i L_i$ $T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$			
c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	$\%DX$			
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12				
D	B	S	S/D	ang B	28.9917		DX	217.49				
6.56168	13.12336	19.685	3	X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88	58.8	n1	0.80610
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest	167.88	77.2	n1	0.55628

DATOS DOVELAS													FS	1.087	
Dovela i	Wi	a i	Li	u i	ki	Wi sen a	Wcos a-UL	k * Pi-1	Ti f	T	Xi-Xcrest	n	Pi	F pila	F pila
No.	Lbf	(°)	ft	Lbf/ft2		Lbf	Lbf	LbF	LbF	Lbf	ft		Lbf	Lbf	KN

0	0	0	0	0	0.79	1733.14	986.32	0.00	358.99	3708.09	4.35	1.00000	-1974.95	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.98	4639.32	375.91	-1938.40	99.90	3227.93	8.70	1.00000	-527.01	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	1.00	7491.78	-1075.81	-526.81	-391.79	0.00	13.05	1.00000	6964.98	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	9400.91	-313.50	6706.94	131.01	2596.61	17.40	1.00000	13511.24	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	11565.94	-921.95	13511.24	-335.56	0.00	21.75	1.00000	25077.18	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	12968.05	175.85	24516.26	622.82	2569.77	26.10	1.00000	34914.55	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.99	14358.89	652.39	34608.50	558.17	2660.89	30.45	1.00000	46306.50	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	15516.86	1548.36	45744.16	1145.10	2875.43	34.80	1.00000	58385.59	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15947.81	2816.37	57403.91	2022.62	3197.00	39.15	1.00000	70154.72	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	16879.33	3122.03	69870.19	1440.33	3275.40	43.50	1.00000	83474.12	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16634.04	4980.85	81615.73	3665.00	3787.18	47.85	1.00000	94462.59	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	17528.97	5047.61	94462.59	1837.18	3809.52	52.20	1.00000	108182.04	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	16915.07	6970.33	105798.22	4914.63	4361.08	56.55	1.00000	118352.21	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	17437.58	7304.72	118079.28	2952.51	4463.57	60.90	1.00000	131053.29	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17304.17	8628.61	129731.97	4518.01	4868.71	65.25	1.00000	142167.43	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	15692.82	12800.16	138641.11	8142.80	6187.62	69.60	1.00000	148146.32	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15324.85	12950.04	147663.39	5231.16	6227.94	73.95	1.00000	156760.30	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15233.66	12868.14	156760.30	4683.61	6200.53	78.30	1.00000	165793.43	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	13854.12	13778.43	163148.40	7711.25	6462.92	82.65	1.00000	170539.59	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	12579.58	14359.79	168253.23	7579.56	6625.88	87.00	1.00000	174206.93	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12415.28	14176.42	174206.93	5159.79	6564.51	91.35	1.00000	180057.70	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	10871.01	14814.18	176965.73	8529.76	6743.13	95.70	1.00000	181093.61	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	9692.08	15038.44	179847.49	7695.45	6796.85	100.05	1.00000	181842.72	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9494.32	14743.98	181842.72	5366.36	6698.29	104.40	1.00000	184638.75	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	7412.40	15272.43	180039.43	10101.11	6839.65	108.75	1.00000	180612.17	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	5540.27	15367.18	176674.06	9524.26	6847.50	113.09	1.00000	175366.83	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5196.00	14938.94	175002.71	5829.68	6702.10	117.44	1.00000	173496.61	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	4240.17	14194.77	171679.02	7058.35	6443.93	121.79	1.00000	169475.27	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4084.29	13627.09	169476.24	4958.79	6253.93	126.14	1.00000	167306.61	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	3967.39	13393.74	167379.44	4795.56	6176.19	130.49	0.80610	133143.85	638601	2841
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	1827.52	13285.01	128853.94	8972.01	6122.31	134.84	1.00000	124559.15	0	0
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1749.49	12805.53	124559.15	4660.83	5961.83	139.19	1.00000	120346.81	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1565.06	12109.54	120145.39	4624.93	5728.25	143.54	1.00000	115982.19	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1489.51	11583.78	115978.74	4219.90	5552.28	147.89	1.00000	111915.98	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1464.59	11052.64	112009.93	3920.28	5374.82	152.24	1.00000	108099.70	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1490.96	10570.25	108299.64	3627.99	5214.10	156.59	1.00000	104576.50	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1321.99	10072.07	104398.54	3858.01	5046.70	160.94	1.00000	100673.83	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	788.37	9600.27	99693.15	4517.94	4885.88	165.29	1.00000	95595.64	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	-793.61	8499.08	91922.85	6567.85	4517.63	169.64	0.55628	48180.72	556657	2476
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-1208.43	7762.88	47608.67	3417.66	4275.12	173.99	1.00000	42125.11	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1612.94	6962.70	41528.01	3146.95	4014.43	178.34	1.00000	35900.63	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1541.27	6209.84	35804.39	2363.63	3764.19	182.69	1.00000	30498.93	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1818.17	5334.28	30001.77	2447.67	3483.32	187.04	1.00000	24700.28	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1566.08	4559.14	24700.28	1659.39	3223.88	191.39	1.00000	19910.32	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1554.06	3701.02	19673.04	1592.66	2948.15	195.74	1.00000	15170.83	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1385.46	2838.98	15028.81	1181.79	2670.26	200.09	1.00000	10973.08	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1115.04	1964.29	10870.69	822.01	2389.49	204.44	1.00000	7366.16	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-758.89	1053.19	7298.32	454.30	2097.78	208.79	1.00000	4441.65	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-474.44	600.18	4404.54	257.40	1959.47	213.14	1.00000	1970.63	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-135.35	174.34	1960.88	73.83	1825.53	217.49	1.00000	0.00	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00										

### EJEMPLO 5

FILA 1 D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=280 ft

FILA 2 D=6.56 ft B=6.56 ft S/D=2 X=300 ft

c	417.7	psf
fi	20	°
Fila	D	B
1	6.5616798	13.1234
2	6.5616798	6.56168

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88
X fila 2	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest	167.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	
fi	0.3490656	rad	
D	B	S	S/D
6.56168	13.12336	19.685	3
6.56168	6.5616798	13.1234	2

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88
X fila 2	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest	167.88

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a-a_i) - uL$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

DATOS DOVELAS

$$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta_i D_{i-1}^L$$

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	FS	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									1.038	0		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.80	1733.14	986.32	0.00	358.99	3883.42	4.35	1.00000	-2150.28	0	0	
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-2108.73	96.63	3380.55	8.70	1.00000	-849.97	0	0	
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-849.62	-391.92	0.00	13.05	1.00000	6642.16	0	0	
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	6385.92	119.65	2719.38	17.40	1.00000	13067.45	0	0	
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	13067.45	-335.56	0.00	21.75	1.00000	24633.39	0	0	
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	24058.53	612.93	2691.27	26.10	1.00000	34335.31	0	0	
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	34020.63	552.85	2786.70	30.45	1.00000	45592.81	0	0	
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	45014.24	1136.14	3011.39	34.80	1.00000	57519.71	0	0	
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	56509.87	2007.82	3348.16	39.15	1.00000	69109.52	0	0	
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	68816.20	1435.81	3430.27	43.50	1.00000	82265.27	0	0	
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	80354.42	3638.17	3966.24	47.85	1.00000	93022.21	0	0	
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	93022.21	1837.18	3989.65	52.20	1.00000	106561.54	0	0	
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	104111.61	4879.01	4567.28	56.55	1.00000	116459.39	0	0	
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	116178.25	2947.81	4674.62	60.90	1.00000	128941.21	0	0	
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	127582.27	4495.81	5098.91	65.25	1.00000	139787.52	0	0	
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.97	15692.82	12800.16	136171.29	8084.48	6480.18	69.60	1.00000	145383.93	0	0	
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	144887.92	5221.51	6522.42	73.95	1.00000	153690.36	0	0	
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	153690.36	4683.61	6493.71	78.30	1.00000	162430.31	0	0	
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	159724.08	7656.55	6768.51	82.65	1.00000	166809.69	0	0	
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	164473.26	7528.10	6939.17	87.00	1.00000	170113.67	0	0	
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	170113.67	5159.79	6874.90	91.35	1.00000	175654.06	0	0	
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	172504.61	8453.01	7061.96	95.70	1.00000	176313.67	0	0	
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	174130.13	7636.81	7118.22	100.05	1.00000	176703.99	0	0	
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	176703.99	5366.36	7015.00	104.40	1.00000	179183.31	0	0	
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	174528.22	9966.90	7163.05	108.75	1.00000	174777.57	0	0	
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	170801.28	9397.27	7171.27	113.09	1.00000	169170.28	0	0	
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	168802.57	5815.82	7019.00	117.44	1.00000	166979.58	0	0	
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	165151.10	6987.28	6748.61	121.79	1.00000	162642.66	0	0	
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	162643.64	4958.84	6549.63	126.14	1.00000	160178.30	0	0	
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	160251.34	4798.94	6468.22	130.49	1.00000	157750.51	0	0	
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	152454.66	9736.51	6411.79	134.84	1.00000	147870.40	0	0	
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	147870.40	4660.83	6243.72	139.19	1.00000	143376.17	0	0	
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	143124.94	4666.54	5999.10	143.54	1.00000	138690.90	0	0	
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	138686.58	4220.63	5814.80	147.89	0.86777	116594.47	361011	1606	
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	116696.99	3915.99	5628.96	152.24	1.00000	112532.62	0	0	
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	112750.69	3619.00	5460.63	156.59	1.00000	108781.01	0	0	
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	108587.21	3865.73	5285.32	160.94	1.00000	104623.88	0	0	
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	103558.46	4558.10	5116.89	165.29	1.00000	99229.94	0	0	
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	95260.71	6699.94	4731.24	169.64	0.55628	49918.70	577819	2570	
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	49299.33	3439.02	4477.26	173.99	1.00000	43613.64	0	0	
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	42967.85	3168.60	4204.25	178.34	1.00000	37150.67	0	0	
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	37046.42	2367.23	3942.17	182.69	1.00000	31562.98	0	0	
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	31025.69	2465.33	3648.02	187.04	1.00000	25559.51	0	0	
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	25559.51	1659.39	3376.32	191.39	1.00000	20617.12	0	0	
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	20360.35	1601.38	3087.55	195.74	1.00000	15718.75	0	0	
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	15564.91	1187.15	2796.51	200.09	1.00000	11382.93	0	0	
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	11271.88	826.01	2502.47	204.44	1.00000	7654.37	0	0	
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7580.67	457.07	2196.97	208.79	1.00000	4624.81	0	0	
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4584.40	259.01	2052.12	213.14	1.00000	2057.85	0	0	
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	0.99	-135.35	174.34	2047.19	74.29	1911.84	217.49	1.00000	0.00	0	0	

# EJEMPLO 6

FILA 1 D=6.56 ft B=13.12 ft S/D=3 X=260 ft

FILA 2 D=6.56 ft B= 9.84 ft S/D=2.5 X=280 ft

c	417.7	psf
fi	20	°
Fila	D	B
1	6.5616798	13.1234
2	6.5616798	9.84252

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88
X fila 2	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf
fi	0.3490656	rad
D	B	S
6.56168	13.12336	19.685
6.56168	9.8425197	16.4042

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88
X fila 2	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a-a_i) - uL$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

DATOS DOVELAS

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	FS	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									1.083	0		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.79	1733.14	986.32	0.00	358.99	3722.10	4.35	1.00000		-1988.96	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-1952.02	99.64	3240.12	8.70	1.00000		-552.82	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-552.61	-391.80	0.00	13.05	1.00000		6939.18	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	6681.25	130.10	2606.42	17.40	1.00000		13475.74	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	13475.74	-335.56	0.00	21.75	1.00000		25041.68	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	24479.62	622.03	2579.48	26.10	1.00000		34868.20	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	34561.45	557.74	2670.94	30.45	1.00000		46249.40	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	45685.73	1144.38	2886.29	34.80	1.00000		58316.30	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	57332.33	2021.43	3209.07	39.15	1.00000		70071.06	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	69785.82	1439.97	3287.77	43.50	1.00000		83377.38	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	81514.71	3662.85	3801.48	47.85	1.00000		94347.27	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	94347.27	1837.18	3823.91	52.20	1.00000		108052.32	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	105663.12	4911.78	4377.55	56.55	1.00000		118200.64	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	117927.04	2952.13	4480.43	60.90	1.00000		130884.18	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	129559.79	4516.23	4887.10	65.25	1.00000		141976.86	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	138443.19	8138.13	6210.99	69.60	1.00000		147925.03	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	147441.02	5230.39	6251.47	73.95	1.00000		156514.41	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	156514.41	4683.61	6223.95	78.30	1.00000		165524.12	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	162874.04	7706.87	6487.34	82.65	1.00000		170240.82	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	167950.31	7575.44	6650.91	87.00	1.00000		173878.97	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	173878.97	5159.79	6589.30	91.35	1.00000		179704.95	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	176608.16	8523.61	6768.60	95.70	1.00000		180710.58	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	178561.29	7690.76	6822.52	100.05	1.00000		181430.85	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	181430.85	5366.36	6723.59	104.40	1.00000		184201.58	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	7412.40	15272.43	179597.41	10090.36	6865.49	108.75	1.00000		180144.32	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	176202.79	9514.08	6873.37	113.09	1.00000		174869.70	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	174505.25	5828.57	6727.42	117.44	1.00000		172973.84	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	171155.18	7052.64	6468.26	121.79	1.00000		168927.08	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	168928.06	4958.80	6277.55	126.14	1.00000		166734.80	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	166807.66	4795.83	6199.52	130.49	0.80610		132664.13	636419	2831
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	128375.36	8957.10	6145.43	134.84	1.00000		124057.45	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	124057.45	4660.83	5984.35	139.19	1.00000		119822.59	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	119621.29	4623.99	5749.89	143.54	1.00000		115436.46	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	115433.02	4219.88	5573.25	147.89	0.64523		71846.21	671802	2988
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	71906.75	3957.00	5395.12	152.24	1.00000		67976.22	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	68102.43	3709.38	5233.79	156.59	1.00000		64359.59	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	64249.66	3784.14	5065.76	160.94	1.00000		60505.89	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	59914.35	4109.48	4904.33	165.29	1.00000		55798.40	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	53647.57	5121.41	4534.69	169.64	1.00000		48319.27	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	47743.51	3419.36	4291.27	173.99	1.00000		42243.80	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	41642.88	3148.67	4029.60	178.34	1.00000		36000.34	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	35903.47	2363.92	3778.41	182.69	1.00000		30583.79	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	30083.49	2449.08	3496.48	187.04	1.00000		24768.84	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	24768.84	1659.39	3236.06	191.39	1.00000		19966.71	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	19727.90	1593.36	2959.29	195.74	1.00000		15214.55	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	15071.60	1182.21	2680.34	200.09	1.00000		11005.79	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	10902.72	822.33	2398.51	204.44	1.00000		7389.16	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7320.87	454.52	2105.71	208.79	1.00000		4456.27	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4418.90	257.53	1966.87	213.14	1.00000		1977.59	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1967.77	73.87	1832.42	217.49	1.00000		0.00	0	0

## EJEMPLO 7

FILA 1 D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=260 ft

FILA 2 D=6.56 ft B= 6.56 ft S/D=2 X=270 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$ $T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49	
1	6.5616798	9.84252	X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88	
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	270	ee	0.493388	x= X-Xcrest	137.88	

CONVERSION A LB Y FT									
c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	Ti f=Wcos a+Pi-1sin(a-ai)-uL
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	T= (cL+(Wcosa-uL)tan fi)/FS
D	B	S	S/D	ang B			DX	%DX	
6.56168	9.8425197	16.4042	2.5	X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	270	ee	0.493388	x= X-Xcrest	137.88
								n1	0.59938
								n1	0.39473

DATOS DOVELAS									
$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta D_i^L$									
FS 1.752									

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									0	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.68	1733.14	986.32	0.00	358.99	2301.78	4.35	1.00000	-568.63	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.99	4639.32	375.91	-561.82	126.19	2003.72	8.70	1.00000	2073.78	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	2073.28	-390.68	0.00	13.05	1.00000	9565.06	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.98	9400.91	-313.50	9328.10	222.51	1611.83	17.40	1.00000	17117.18	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	17117.18	-335.56	0.00	21.75	1.00000	28683.12	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.99	12968.05	175.85	28264.46	703.18	1595.17	26.10	1.00000	39637.34	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	39416.88	601.55	1651.73	30.45	1.00000	52124.04	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	51719.34	1218.16	1784.91	34.80	1.00000	65451.30	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.99	15947.81	2816.37	64740.82	2143.34	1984.52	39.15	1.00000	78704.12	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	78503.86	1477.38	2033.18	43.50	1.00000	93350.01	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.99	16634.04	4980.85	91994.09	3884.12	2350.86	47.85	1.00000	106277.26	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	106277.26	1837.18	2364.74	52.20	1.00000	121444.50	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.99	16915.07	6970.33	119696.35	5206.05	2707.11	56.55	1.00000	133904.31	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	133711.44	2991.12	2770.73	60.90	1.00000	148378.29	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	147426.19	4700.10	3022.22	65.25	1.00000	161708.14	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	159079.17	8621.66	3840.92	69.60	1.00000	170931.07	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	170582.20	5310.79	3865.96	73.95	1.00000	182041.10	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	182041.10	4683.61	3848.94	78.30	1.00000	193425.82	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.99	13854.12	13778.43	191437.02	8160.63	4011.82	82.65	1.00000	201279.32	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	199549.39	8003.70	4112.97	87.00	1.00000	208015.99	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	208015.99	5159.79	4074.88	91.35	1.00000	216356.39	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.99	10871.01	14814.18	213956.04	9162.33	4185.75	95.70	1.00000	222664.30	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	218970.62	8180.68	4219.10	100.05	1.00000	224443.61	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	224443.61	5366.36	4157.92	104.40	1.00000	229780.01	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	7412.40	15272.43	226027.71	11211.66	4245.67	108.75	1.00000	229194.43	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.99	5540.27	15367.18	225936.77	10581.66	4250.54	113.09	1.00000	227226.49	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	226932.00	5945.71	4160.29	117.44	1.00000	227967.72	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	226446.43	7652.32	4000.02	121.79	1.00000	226686.57	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	226687.38	4958.44	3882.09	126.14	1.00000	226889.59	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	226950.83	4767.29	3833.83	130.49	0.59938	136109.44	1491091	6633
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.98	1827.52	13285.01	133198.78	9064.14	3800.38	134.84	1.00000	131225.92	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	131225.92	4660.83	3700.77	139.19	0.39473	51029.11	1042343	4637
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	50975.85	4499.70	3555.78	143.54	1.00000	48985.14	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	48984.23	4217.73	3446.54	147.89	1.00000	47027.21	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	47051.66	3979.74	3336.38	152.24	1.00000	45179.86	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	45231.47	3755.62	3236.62	156.59	1.00000	43485.81	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	43439.66	3745.80	3132.70	160.94	1.00000	41628.94	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	41371.06	3917.52	3032.88	165.29	1.00000	39126.56	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.97	-793.61	8499.08	38119.26	4515.47	2804.29	169.64	1.00000	34521.36	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	34259.46	3249.77	2653.76	173.99	1.00000	30397.28	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	30120.61	2976.36	2491.93	178.34	1.00000	26015.73	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	25972.13	2335.15	2336.60	182.69	1.00000	22094.27	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.99	-1818.17	5334.28	21861.98	2308.19	2162.25	187.04	1.00000	17881.57	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	17881.57	1659.39	2001.20	191.39	1.00000	14314.29	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	14205.28	1523.63	1830.04	195.74	1.00000	10821.18	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	10756.81	1139.21	1657.54	200.09	1.00000	7713.80	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	7668.06	790.21	1483.26	204.44	1.00000	5069.76	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	5040.11	432.17	1302.19	208.79	1.00000	2979.04	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	2963.26	244.58	1216.33	213.14	1.00000	1272.49	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1268.53	70.16	1133.18	217.49	1.00000	0.00	0	0

### EJEMPLO 8

FILA 1 D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=260 ft

FILA 2 D=6.56 ft B= 6.56 ft S/D=2 X=310 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49
1	6.5616798	9.84252	X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88
2	6.5616798	6.56168	X fila 2	310	ee	0.2059077	x= X-Xcrest	177.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i l_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i l_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

Ti f=Wcos a+Pi-1sin(a-ai)-uL  
T=(cL+(Wcosa-uL)tan fi)/FS

CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
D	B	S	S/D	ang B			DX	%DX
6.56168	9.8425197	16.4042	2.5	X fila 1	260	ee	0.565258	58.8
6.56168	6.5616798	13.1234	2	X fila 2	310	ee	0.2059077	81.8

DATOS DOVELAS

														FS	
															1.159

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									0	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.77	1733.14	986.32	0.00	358.99	3477.89	4.35	1.00000	-1744.75	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-1714.32	104.21	3027.54	8.70	1.00000	-102.54	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-102.50	-391.61	0.00	13.05	1.00000	7389.28	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	7130.37	145.94	2435.41	17.40	1.00000	14095.88	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	14095.88	-335.56	0.00	21.75	1.00000	25661.81	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	25120.47	635.85	2410.23	26.10	1.00000	35678.28	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	35384.25	565.18	2495.70	30.45	1.00000	47247.44	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	46707.55	1156.92	2696.92	34.80	1.00000	59527.49	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	58584.68	2042.13	2998.52	39.15	1.00000	71533.96	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	71261.53	1446.31	3072.06	43.50	1.00000	85068.80	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	83282.66	3700.38	3552.06	47.85	1.00000	96364.63	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	96364.63	1837.18	3573.02	52.20	1.00000	110320.58	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	108028.06	4961.63	4090.34	56.55	1.00000	120852.79	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	120591.22	2958.72	4186.47	60.90	1.00000	133842.33	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	132573.20	4547.32	4566.45	65.25	1.00000	145310.91	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	141909.92	8219.84	5803.48	69.60	1.00000	151799.26	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	151334.71	5243.93	5841.31	73.95	1.00000	160818.26	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	160818.26	4683.61	5815.59	78.30	1.00000	170236.32	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	167678.46	7783.50	6061.70	82.65	1.00000	175470.88	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	173256.62	7647.60	6214.54	87.00	1.00000	179621.66	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	179621.66	5159.79	6156.98	91.35	1.00000	185799.96	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	182872.94	8631.22	6324.51	95.70	1.00000	187419.45	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	185329.63	7773.07	6374.89	100.05	1.00000	188646.82	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	188646.82	5366.36	6282.45	104.40	1.00000	191858.69	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	7412.40	15272.43	187348.98	10278.73	6415.04	108.75	1.00000	188346.33	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	184473.61	9692.60	6422.40	113.09	1.00000	183591.48	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	183233.74	5848.09	6286.03	117.44	1.00000	182143.71	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	180348.92	7152.64	6043.88	121.79	1.00000	178545.21	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	178546.17	4958.74	5865.68	126.14	1.00000	176764.79	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	176836.96	4791.07	5792.77	130.49	0.59938	104898.13	1161677	5168
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	101704.35	8094.44	5742.23	134.84	1.00000	97789.65	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	97789.65	4660.83	5591.71	139.19	1.00000	93947.42	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	93799.87	4577.24	5372.64	143.54	1.00000	89992.30	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	89989.79	4219.06	5207.58	147.89	1.00000	86271.72	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	86339.62	3943.78	5041.15	152.24	1.00000	82763.07	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	82906.57	3679.39	4890.40	156.59	1.00000	79507.12	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	79380.16	3811.96	4733.39	160.94	1.00000	75968.75	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	75272.83	4266.72	4582.56	165.29	1.00000	71478.64	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	68880.74	5691.31	4237.17	169.64	1.00000	63849.96	0	0
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	63136.66	3610.25	4009.72	173.99	1.00000	57918.51	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	57145.64	3376.67	3765.21	178.34	0.66191	34265.36	256978	1143
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	34179.14	2358.92	3530.51	182.69	1.00000	29107.36	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	28660.46	2424.58	3267.07	187.04	1.00000	23575.22	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	23575.22	1659.39	3023.74	191.39	1.00000	18985.40	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	18772.51	1581.25	2765.13	195.74	1.00000	14453.33	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	14326.10	1174.76	2504.48	200.09	1.00000	10436.15	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	10344.57	816.77	2241.15	204.44	1.00000	6988.39	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	6927.87	450.66	1967.55	208.79	1.00000	4201.44	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4168.43	255.30	1837.82	213.14	1.00000	1856.17	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1847.55	73.23	1712.20	217.49	1.00000	0.00	0	0

# EJEMPLO 9

FILA 1 D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=280 ft

FILA 2 D=6.56 ft B= 6.56 ft S/D=2 X=310 ft

c	417.7	psf
fi	20	°
Fila	D	B
1	6.5616798	9.84252
2	6.5616798	6.56168

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88
X fila 2	310	ee	0.2059077	x= X-Xcrest	177.88

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$$

$$T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$$

### CONVERSION A LB Y FT

c	417.7	psf	
fi	0.3490656	rad	
D	B	S	S/D
6.56168	9.8425197	16.4042	2.5
6.56168	6.5616798	13.1234	2

X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61
Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12
ang B	28.9917			DX	217.49
X fila 1	280	ee	0.4215179	x= X-Xcrest	147.88
X fila 2	310	ee	0.2059077	x= X-Xcrest	177.88

$$T_i = W \cos a + P_{i-1} \sin(a_i - a) - u L$$

$$T = (cL + (W \cos a - uL) \tan \phi) / FS$$

### DATOS DOVELAS

$$P_i^L = W_i \text{sen } \alpha_i - \frac{c_i L_i}{FS} + (W_i \cos \alpha_i - u_i L_i) \frac{\tan \phi_i}{FS} + k_i \eta D_{i-1}^L$$

Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	FS	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN
0	0	0	0	0									1.083	0		
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.79	1733.14	986.32	0.00	358.99	3723.61	4.35	1.00000	-1990.47	0	0	
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-1953.48	99.61	3241.44	8.70	1.00000	-555.60	0	0	
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-555.38	-391.80	0.00	13.05	1.00000	6936.40	0	0	
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	6678.48	130.00	2607.47	17.40	1.00000	13471.92	0	0	
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	13471.92	-335.56	0.00	21.75	1.00000	25037.86	0	0	
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	24475.67	621.95	2580.52	26.10	1.00000	34863.21	0	0	
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	34556.38	557.70	2672.02	30.45	1.00000	46243.25	0	0	
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	45679.44	1144.31	2887.46	34.80	1.00000	58308.83	0	0	
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	57324.62	2021.31	3210.37	39.15	1.00000	70062.05	0	0	
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	69776.73	1439.93	3289.10	43.50	1.00000	83366.96	0	0	
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	81503.83	3662.62	3803.02	47.85	1.00000	94334.85	0	0	
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	94334.85	1837.18	3825.46	52.20	1.00000	108038.35	0	0	
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	105648.57	4911.47	4379.33	56.55	1.00000	118184.31	0	0	
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	117910.64	2952.09	4482.25	60.90	1.00000	130865.97	0	0	
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	129541.25	4516.04	4889.08	65.25	1.00000	141956.34	0	0	
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	138421.87	8137.63	6213.51	69.60	1.00000	147901.19	0	0	
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	147417.08	5230.31	6254.00	73.95	1.00000	156487.93	0	0	
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	156487.93	4683.61	6226.47	78.30	1.00000	165495.11	0	0	
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	162844.49	7706.39	6489.96	82.65	1.00000	170208.64	0	0	
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	167917.68	7575.00	6653.60	87.00	1.00000	173843.66	0	0	
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	173843.66	5159.79	6591.98	91.35	1.00000	179666.96	0	0	
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	176569.66	8522.95	6771.34	95.70	1.00000	180669.33	0	0	
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	178519.70	7690.25	6825.28	100.05	1.00000	181386.50	0	0	
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	181386.50	5366.36	6726.32	104.40	1.00000	184154.50	0	0	
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.97	7412.40	15272.43	179549.81	10089.20	6868.27	108.75	1.00000	180093.94	0	0	
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	176152.05	9512.98	6876.15	113.09	1.00000	174816.16	0	0	
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	174451.69	5828.45	6730.15	117.44	1.00000	172917.55	0	0	
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	171098.77	7052.03	6470.89	121.79	1.00000	168868.05	0	0	
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	168869.03	4958.80	6280.10	126.14	1.00000	166673.22	0	0	
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	166746.09	4795.86	6202.03	130.49	1.00000	164511.45	0	0	
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	159191.20	9946.57	6147.92	134.84	1.00000	154870.80	0	0	
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	154870.80	4660.83	5986.77	139.19	1.00000	150633.51	0	0	
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	150380.35	4679.65	5752.22	143.54	1.00000	146193.19	0	0	
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	146188.83	4220.87	5575.51	147.89	0.64523	91689.41	850796	3785	
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	91766.70	3938.81	5397.31	152.24	1.00000	87833.98	0	0	
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	87997.13	3669.10	5235.91	156.59	1.00000	84252.17	0	0	
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	84108.21	3820.68	5067.81	160.94	1.00000	80362.38	0	0	
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	79576.41	4311.39	4906.32	165.29	1.00000	75458.46	0	0	
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	72548.79	5835.96	4536.53	169.64	1.00000	67218.65	0	0	
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	66417.38	3651.66	4293.01	173.99	1.00000	60915.93	0	0	
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	60049.07	3420.27	4031.23	178.34	0.66191	36011.09	270277	1202	
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	35914.15	2363.95	3779.94	182.69	1.00000	30592.94	0	0	
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	30092.29	2449.23	3497.89	187.04	1.00000	24776.23	0	0	
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	24776.23	1659.39	3237.37	191.39	1.00000	19972.78	0	0	
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	19733.81	1593.43	2960.48	195.74	1.00000	15219.27	0	0	
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	15076.21	1182.26	2681.43	200.09	1.00000	11009.32	0	0	
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	10906.17	822.36	2399.48	204.44	1.00000	7391.64	0	0	
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7323.29	454.54	2106.56	208.79	1.00000	4457.85	0	0	
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4420.45	257.55	1967.67	213.14	1.00000	1978.35	0	0	
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1968.51	73.87	1833.17	217.49	1.00000	0.00	0	0	

## EJEMPLO 10

FILA 1 D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=260 ft

FILA 2 D=6.56 ft B=9.84 ft S/D=2.5 X=300 ft

c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \text{seno}(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{FS}$ $T_i = \frac{c_i L_i}{FS} + [w_i \cos \alpha_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - u_i L_i] \frac{\tan \phi}{FS}$
fi	20	°	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	
Fila	D	B	ang B	28.9917			DX	217.49	
1	6.5616798	9.84252	X fila 1	260	ee	0.565258	x= X-Xcrest	127.88	
2	6.5616798	9.84252	X fila 2	300	ee	0.2777778	x= X-Xcrest	167.88	

CONVERSION A LB Y FT									
c	417.7	psf	X pata	338.65	Y pata	86.78	Xdov der	349.61	Ti f=Wcos a+Pi-1sin(a-ai)-uL
fi	0.3490656	rad	Xcresta	199.51	Ycresta	9.68	X dov izq	132.12	T= (cL+(Wcosa-uL)tan fi)/FS
D	B	S	S/D	ang B			DX	%DX	
6.56168	9.8425197	16.4042	2.5	X fila 1	260	ee	0.565258	127.88	58.8
6.56168	9.8425197	16.4042	2.5	X fila 2	300	ee	0.2777778	167.88	77.2

DATOS DOVELAS													FS	1.097	
Dovela i No.	Wi Lbf	a i (°)	Li ft	u i Lbf/ft2	ki	Wi sen a Lbf	Wcos a-uL Lbf	k * Pi-1 LbF	Ti f LbF	T Lbf	Xi-Xcrest ft	n	Pi Lbf	F pila Lbf	F pila KN

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1994.14	60.36	8.79	0.00	0.78	1733.14	986.32	0.00	358.99	3676.11	4.35	1.00000	-1942.97	0	0
2	5506.18	57.41	8.08	320.65	0.98	4639.32	375.91	-1907.30	100.50	3200.09	8.70	1.00000	-468.07	0	0
3	8898.26	57.35	8.06	729.03	1.00	7491.78	-1075.81	-467.89	-391.76	0.00	13.05	1.00000	7023.89	0	0
4	11963.17	51.80	7.03	1096.51	0.96	9400.91	-313.50	6765.64	133.08	2574.22	17.40	1.00000	13592.33	0	0
5	14718.29	51.80	7.03	1425.29	1.00	11565.94	-921.95	13592.33	-335.56	0.00	21.75	1.00000	25158.27	0	0
6	17372.22	48.29	6.54	1741.41	0.98	12968.05	175.85	24599.98	624.63	2547.61	26.10	1.00000	35020.43	0	0
7	19684.51	46.84	6.36	2014.84	0.99	14358.89	652.39	34716.01	559.14	2637.94	30.45	1.00000	46436.96	0	0
8	21996.81	44.86	6.14	2288.27	0.99	15516.86	1548.36	45877.65	1146.74	2850.63	34.80	1.00000	58543.88	0	0
9	23754.32	42.17	5.87	2519.71	0.98	15947.81	2816.37	57567.48	2025.32	3169.42	39.15	1.00000	70345.86	0	0
10	25478.51	41.49	5.81	2748.96	1.00	16879.33	3122.03	70062.97	1441.16	3247.15	43.50	1.00000	83695.16	0	0
11	27020.98	38.00	5.52	2955.51	0.98	16634.04	4980.85	81846.57	3669.90	3754.51	47.85	1.00000	94726.09	0	0
12	28474.74	38.00	5.52	3150.98	1.00	17528.97	5047.61	94726.09	1837.18	3776.67	52.20	1.00000	108478.39	0	0
13	29838.51	34.53	5.28	3335.20	0.98	16915.07	6970.33	106106.96	4921.14	4323.47	56.55	1.00000	118698.56	0	0
14	31068.90	34.14	5.26	3502.75	1.00	17437.58	7304.72	118427.16	2953.37	4425.08	60.90	1.00000	131439.67	0	0
15	32216.53	32.49	5.16	3596.45	0.99	17304.17	8628.61	130125.41	4522.07	4826.72	65.25	1.00000	142602.86	0	0
16	32754.17	28.63	4.96	3218.58	0.98	15692.82	12800.16	139093.46	8153.47	6134.25	69.60	1.00000	148652.03	0	0
17	32560.41	28.08	4.93	3200.52	1.00	15324.85	12950.04	148171.57	5232.93	6174.23	73.95	1.00000	157322.20	0	0
18	32366.65	28.08	4.93	3182.45	1.00	15233.66	12868.14	157322.20	4683.61	6147.05	78.30	1.00000	166408.80	0	0
19	32161.66	25.52	4.82	3163.19	0.98	13854.12	13778.43	163775.42	7721.25	6407.18	82.65	1.00000	171222.35	0	0
20	31747.03	23.34	4.74	3121.54	0.99	12579.58	14359.79	168945.57	7588.98	6568.74	87.00	1.00000	174956.41	0	0
21	31332.39	23.34	4.74	3079.89	1.00	12415.28	14176.42	174956.41	5159.79	6507.89	91.35	1.00000	180863.80	0	0
22	30898.57	20.60	4.65	3036.19	0.98	10871.01	14814.18	177782.98	8543.80	6684.97	95.70	1.00000	181969.03	0	0
23	30280.72	18.67	4.59	2972.83	0.99	9692.08	15038.44	179830.23	7706.20	6738.23	100.05	1.00000	182784.08	0	0
24	29662.86	18.67	4.59	2909.48	1.00	9494.32	14743.98	182784.08	5366.36	6640.52	104.40	1.00000	185637.88	0	0
25	29033.40	14.79	4.50	2844.88	0.98	7412.40	15272.43	181049.90	10125.69	6780.66	108.75	1.00000	181681.63	0	0
26	28118.75	11.36	4.44	2749.83	0.98	5540.27	15367.18	177751.56	9547.54	6788.45	113.09	1.00000	176503.38	0	0
27	27204.10	11.01	4.43	2654.78	1.00	5196.00	14938.94	176140.04	5832.23	6644.30	117.44	1.00000	174691.74	0	0
28	26253.78	9.29	4.41	2657.72	0.99	4240.17	14194.77	172876.74	7071.38	6388.35	121.79	1.00000	170728.56	0	0
29	25285.99	9.30	4.41	2569.80	1.00	4084.29	13627.09	170729.53	4958.78	6199.99	126.14	1.00000	168613.83	0	0
30	24368.20	9.37	4.41	2415.57	1.00	3967.39	13393.74	168686.61	4794.94	6122.92	130.49	0.59938	99815.10	1108110	4929
31	23431.93	4.47	4.36	2309.27	0.97	1827.52	13285.01	96623.63	7936.51	6069.51	134.84	1.00000	92381.65	0	0
32	22431.35	4.47	4.36	2190.53	1.00	1749.49	12805.53	92381.65	4660.83	5910.41	139.19	1.00000	88220.73	0	0
33	21426.46	4.19	4.36	2123.08	1.00	1565.06	12109.54	88074.34	4566.89	5678.85	143.54	1.00000	83960.55	0	0
34	20416.95	4.18	4.36	2012.82	1.00	1489.51	11583.78	83958.07	4218.86	5504.39	147.89	1.00000	79943.19	0	0
35	19407.43	4.33	4.36	1902.56	1.00	1464.59	11052.64	80009.72	3949.58	5328.47	152.24	1.00000	76145.85	0	0
36	18402.10	4.65	4.36	1780.73	1.00	1490.96	10570.25	76285.46	3692.81	5169.13	156.59	1.00000	72607.29	0	0
37	17396.78	4.36	4.36	1667.52	1.00	1321.99	10072.07	72484.79	3799.29	5003.17	160.94	1.00000	68803.61	0	0
38	16389.27	2.76	4.35	1554.60	0.99	788.37	9600.27	68138.92	4193.86	4843.74	165.29	1.00000	64083.56	0	0
39	15297.16	-2.97	4.36	1556.01	0.96	-793.61	8499.08	61639.93	5422.54	4478.67	169.64	0.84915	47864.56	158580	705
40	14121.42	-4.91	4.37	1444.57	0.99	-1208.43	7762.88	47300.93	3413.77	4238.25	173.99	1.00000	41854.24	0	0
41	12870.23	-7.20	4.38	1324.27	0.99	-1612.94	6962.70	41265.80	3143.01	3979.81	178.34	1.00000	35673.05	0	0
42	11573.43	-7.65	4.39	1198.59	1.00	-1541.27	6209.84	35578.23	2362.98	3731.73	182.69	1.00000	30305.23	0	0
43	10201.53	-10.27	4.42	1064.10	0.98	-1818.17	5334.28	29815.22	2444.46	3453.28	187.04	1.00000	24543.77	0	0
44	8787.08	-10.27	4.42	924.60	1.00	-1566.08	4559.14	24543.77	1659.39	3196.08	191.39	1.00000	19781.62	0	0
45	7348.79	-12.21	4.45	782.30	0.99	-1554.06	3701.02	19547.80	1591.07	2922.72	195.74	1.00000	15071.03	0	0
46	5829.19	-13.75	4.48	630.44	0.99	-1385.46	2838.98	14931.10	1180.81	2647.23	200.09	1.00000	10898.41	0	0
47	4229.55	-15.29	4.51	469.17	0.99	-1115.04	1964.29	10797.55	821.28	2368.88	204.44	1.00000	7313.63	0	0
48	2625.25	-16.80	4.54	321.31	0.99	-758.89	1053.19	7246.84	453.79	2079.69	208.79	1.00000	4408.26	0	0
49	1520.36	-18.18	4.58	184.40	0.99	-474.44	600.18	4371.73	257.11	1942.57	213.14	1.00000	1954.72	0	0
50	415.47	-19.01	4.60	47.48	1.00	-135.35	174.34	1945.13	73.75	1809.78	217.49	1.00000	0.00	0	0

ANEXO F. Resultados ALLPILE 7

# 1. PILA 1 L=20 metros

\*\*\*\*\*  
ALLPILE 7  
LATERAL ANALYSIS SUMMARY OUTPUT  
Copyright by CivilTech Software 2005  
www.civiltechsoftware.com  
\*\*\*\*\*

Licensed to  
Date: 6/24/2014 File: H:\PROYECTO GRAMALOTE\UIS  
GRAMALOTE\ALLPILE\GRAMALOTE 04.L\_20.alp

Title 1:  
Title 2:

PILE PROFILES:  
Pile Length, L= 20.0 -m  
Top Height, H= 0.000 -m  
Slope Angle, As= 0  
Batter Angle, Ab= 0.00

Distributed Load:

Depth	Press.	Width
-m	-kN/m2	-m
0	0	2
15	200.67	2

FACTORS AND CONDITIONS:  
Load Factor for Vertical Loads: 1.0 1.0  
Load Factor for Lateral Loads: 1.0  
Loads Supported by Pile Cap: 0 %  
Shear Condition: Static

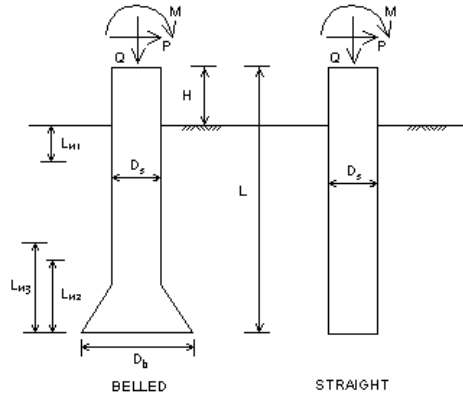
SINGLE PILE:  
Deduction factor due to Group Effect, R= 1.00  
Vertical Load= 200.00 -kN  
Shear= 10.00 -kN  
Moment= 0.00 -kN-m

Results:  
Top Deflection, yt= 2.09000-cm  
Max. Moment, M= 5360.00-kN-m  
Top Deflection Slope, St= -0.00125  
  
Top Deflection, 2.0900-cm, OK with the Allowable Deflection= 5.00-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

# LATERAL ANALYSIS

Figure 2



**Loads:**  
 Load Factor for Vertical Loads= 1.0  
 Load Factor for Lateral Loads= 1.0  
 Loads Supported by Pile Cap= 0 %  
 Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 200.0 -kN  
 Shear Load, P= 10.0 -kN  
 Moment, M= 0.0 -kN-m

**Profile:**  
 Pile Length, L= 20.0 -m  
 Top Height, H= 0.000 -m  
 Slope Angle, As= 0  
 Batter Angle, Ab= 0

Free Head Condition  
 Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Soil Data:							Pile Data:						
Depth	Gamma	Phi	C	K	e50 or Dr	Nspt	Depth	Width	Area	Per.	I	E	Weight
-m	-kN/m3		-kN/m2	-MN/m3	%		-m	-cm	-cm2	-cm	-cm4	-MP	-kN/m
0.000	7.8	20	20	12.4	1.71	3	0.0	200	31415.9	628.3	78539816.0	0.0683	74.079
3	7.8	20	20	12.4	1.71	3	20.0						
15	10.5	0.0	4349.1	109.9	0.08	11							

Single Pile Lateral Analysis:  
 Top Deflection, yt= 2.09000-cm  
 Max. Moment, M= 5360.00-kN-m  
 Top Deflection Slope, St= -0.00125  
 OK! Top Deflection, 2.0900-cm is less than the Allowable Deflection= 5.00-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.  
 The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.



**PILE DEFLECTION & FORCE vs DEPTH**  
Single Pile, Khead=2, Kbc=1

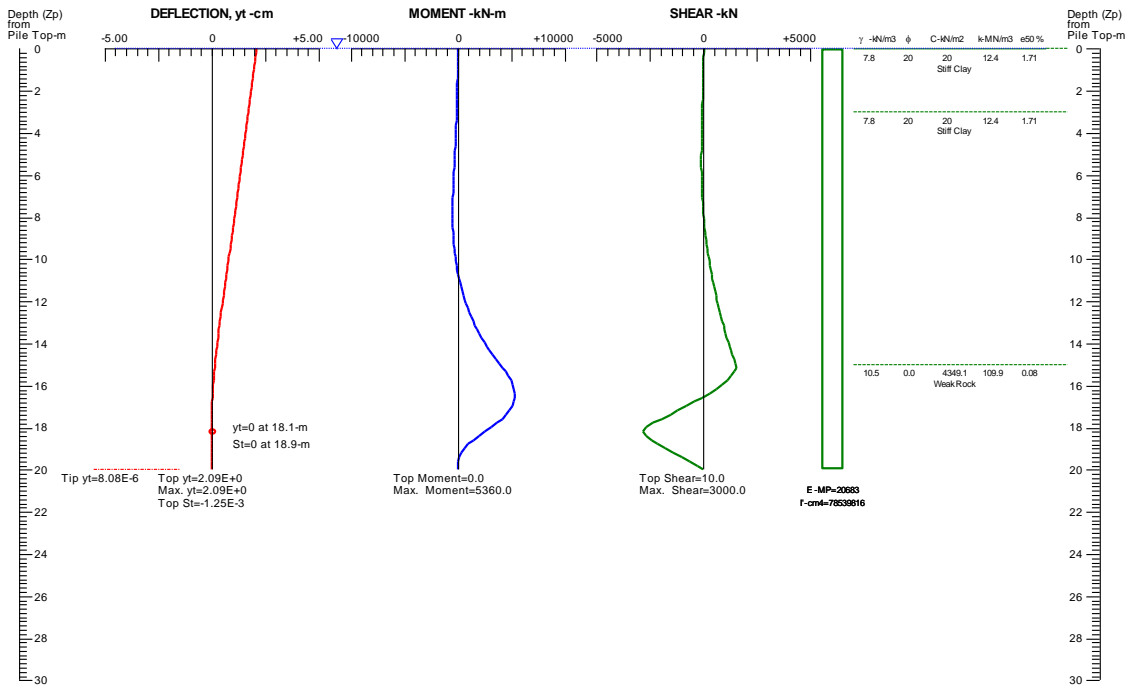


Figure 2

## 2. PILA 1 L=20 metros

```
*****
                ALLPILE 7
          LATERAL ANALYSIS SUMMARY OUTPUT
    Copyright by CivilTech Software 2005
                www.civiltechsoftware.com
*****
Licensed to
Date: 6/24/2014  File: H:\PROYECTO GRAMALOTE\UIS
GRAMALOTE\ALLPILE\GRAMALOTE 04_15m.alp
```

Title 1:  
Title 2:

PILE PROFILES:  
 Pile Length, L= 14.5 -m  
 Top Height, H= 0.000 -m  
 Slope Angle, As= 0  
 Batter Angle, Ab= 0.00

Distributed Load:

Depth	Press.	Width
-m	-kN/m2	-m
0	0	2
10	301	2

FACTORS AND CONDITIONS:  
 Load Factor for Vertical Loads: 1.0 1.0  
 Load Factor for Lateral Loads: 1.0  
 Loads Supported by Pile Cap: 0 %  
 Shear Condition: Static

SINGLE PILE:  
 Deduction factor due to Group Effect, R= 1.00  
 Vertical Load= 200.00 -kN  
 Shear= 10.00 -kN  
 Moment= 0.00 -kN-m

Results:  
 Top Deflection, yt= 2.56000-cm  
 Max. Moment, M= 7400.00-kN-m  
 Top Deflection Slope, St= -0.00237

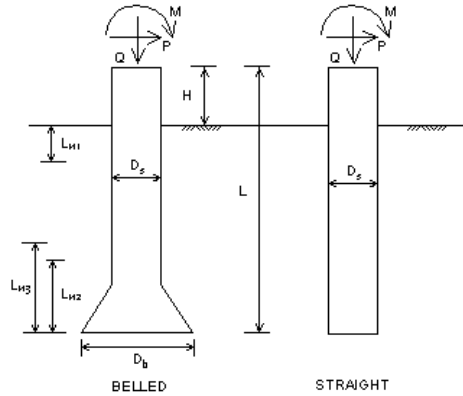
Top Deflection, 2.5600-cm, OK with the Allowable Deflection= 5.00-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

---

# LATERAL ANALYSIS

Figure 2



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Loads:**  
 Load Factor for Vertical Loads= 1.0  
 Load Factor for Lateral Loads= 1.0  
 Loads Supported by Pile Cap= 0 %  
 Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 200.0 -kN  
 Shear Load, P= 10.0 -kN  
 Moment, M= 0.0 -kN-m

**Profile:**  
 Pile Length, L= 14.5 -m  
 Top Height, H= 0.000 -m  
 Slope Angle, As= 0  
 Batter Angle, Ab= 0

Free Head Condition  
 Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

**Soil Data:**

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	7.8	20	20	12.4	1.71	3
3	7.8	20	20	12.4	1.71	3
10	10.4	0.0	4149.6	103.6	0.09	10

**Pile Data:**

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	200	31415.9	628.3	78539816.0	0.0683	74.079
14.5						

Single Pile Lateral Analysis:

Top Deflection, yt= 2.56000-cm  
 Max. Moment, M= 7400.00-kN-m  
 Top Deflection Slope, St= -0.00237  
 OK! Top Deflection, 2.5600-cm is less than the Allowable Deflection= 5.00-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.  
 The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.



**PILE DEFLECTION & FORCE vs DEPTH**  
Single Pile, Khead=2, Kbc=1

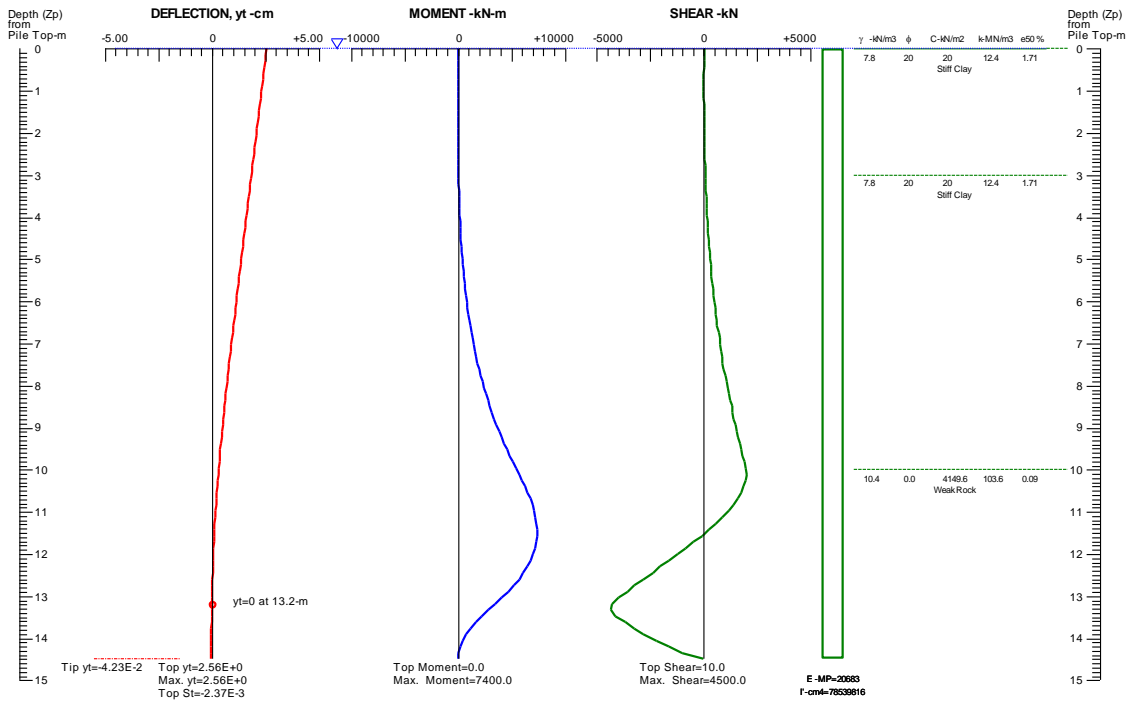


Figure 2

ANEXO G. Resultados diseño estructural RAM ELEMENTS

## Resultados de Diseño

### Columnas de Hormigón Armado

#### DATOS GENERALES:

Norma de Diseño : ACI 318-2005

**Estados de carga considerados en el diseño:**

U1 : 1.2CM

Riesgo sísmico : Riesgo Bajo

**Materiales**

Hormigón, f'c	: 0.03 [KN/mm <sup>2</sup> ]	Acero, fy	: 0.41 [KN/mm <sup>2</sup> ]
Tipo de concreto	: Normal	Acero, fyt	: 0.41 [KN/mm <sup>2</sup> ]
Módulo de elasticidad	: 24.86 [KN/mm <sup>2</sup> ]	Tipo de empalmes	: Tangencial
Peso unitario	: 23.53 [KN/m <sup>3</sup> ]	Cuantía mínima adoptada	: 0.010
Recubrimiento epóxico	: No	Cuantía máxima adoptada	: 0.080

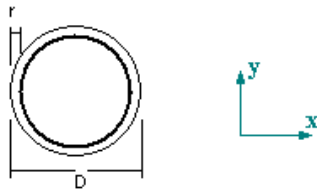
Estatus general : Bien

#### DATOS COLUMNA : 1

**Geometría**

Tipo de sección : Circular  
 Posición de la columna : Centro  
 Distancia entre niveles : 15.00 [m]  
 Diametro : 2000.00 [mm]

**Armadura**



Longitudinal : 90-25mm  
 Recubrimiento libre : 150.00 [mm]  
 As provista : 44190.00 [mm<sup>2</sup>]  
 Cuantía provista : 0.014  
 Número de barras : 90  
 Transversal : 150 16mm c/ 100.00mm  
 Separación inicial (Sini) : 0.00 [mm]

**Parámetros de diseño**

Esbitez	Eje yy	Eje xx
Lu[mm]	15000.00	15000.00
K	1.00	1.00
Klu/r	30.00	30.00
Cm	0.00	0.00
Pc[KN]	214076.40	214076.40
Sway	Si	Si

**Solicitaciones**

Estado	Ubicación	Pu [KN]	Muxx [KN*m]	Muyy [KN*m]	Vx [KN]	Vy [KN]	Carga transversal	
							xx	yy
U1	Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	No	No
	Inferior	0.00	12000.00	0.00	0.00	-4080.00	No	No



**RESULTADOS COLUMNA : 1**

Estatus de la columna : **Bien**

**Compresión biaxial**

Estado gobernante : U1  
 Esfuerzos en barras :  $f_s < 0$   
 Longitud de empalme : 630.00 [mm]  
 Separación libre en empalme : 7.35 [mm]

Estado	Pos.	Pu [KN]	Mcxx [KN*m]	Mcyy [KN*m]	$\delta_{nsxx}$	$\delta_{nsyy}$	Cmxx	Cmyy
U1	Sup.	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.600	1.000
	Inf.	0.00	12000.00	0.00	1.00	1.00	0.600	1.000

Estado	Pos.	$\phi^*M_{nxx}$ [KN*m]	$\phi^*M_{nyy}$ [KN*m]	$M_c/(\phi^*M_n)$	$P_u/(\phi^*P_n)$	Asreq/Asprov	Relación de resistencia
U1	Sup.	12145.29	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00 
	Inf.	12145.29	0.00	0.99	0.00	0.99	0.99 

**Corte**

S adoptado : 100.00 [mm]      S calculado : 100.44 [mm]  
 Sini adoptado : 0.00 [mm]      Sini calculado : 50.22 [mm]

Estado Gob.	Pos.	Vu [KN]	Vc [KN]	Vs [KN]	$\phi^*V_n$ [KN]	$V_u/(\phi^*V_n)$
U1	Sup.	0.00	2790.79	2660.81	4088.70	1.00
	Inf.	4080.00	2790.79	2660.81	4088.70	1.00