

**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE DEPRIMIDO EN EL INTERCAMBIADOR SAN FRANCISCO DEL MUNICIPIO
DE PIEDECUESTA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

PEDRO PABLO PICO VELANDIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MAESTRÍA EN GEOTÉCNIA
BUCARAMANGA**

2016

**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE DEPRIMIDO EN EL INTERCAMBIADOR SAN FRANCISCO DEL MUNICIPIO
DE PIEDECUESTA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

PEDRO PABLO PICO VELANDIA

**Trabajo de Grado modalidad profundización para optar al título de
Magister en Geotecnia**

Director

WILFREDO DEL TORO

MSc. Geotecnia

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MAESTRÍA EN GEOTÉCNIA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A mi madre Rosa Adelia

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido transitar por esta etapa de la vida.

A mi padre Francisco

Por los ejemplos de perseverancia, constancia y fortaleza que lo caracterizaron y que me infundió, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A los ingenieros Guillermo A. Valencia Pinzón, Clara I. Guerra Durán y Jairo

Rafael Gamboa

Por darme la oportunidad de vincularme al campo de la Geotecnia y por brindarme tiempo y apoyo durante la etapa de estudios y desarrollo del presente proyecto.

A mis amigos

Que me acompañaron en todas las experiencias buenas y malas de mi vida universitaria, y gracias a su apoyo y compañía me fue posible superar los obstáculos encontrados.

PEDRO PABLO PICO VELANDIA

AGRADECIMIENTOS

El Autor expresa su más sincero agradecimiento a:

La Universidad Industrial de Santander por brindarnos la oportunidad de formarnos como personas profesionales.

A la escuela de ingeniería civil que han colaborado activamente durante nuestra formación para poder llevar a cabo este objetivo.

A todos los miembros del claustro de profesores de la Maestría en Geotecnia de la Universidad Industrial de Santander, y, en especial al Ing., M. S c Wilfredo Del Toro por su asesoría continua durante la elaboración del proyecto.

A mi codirector Jairo Rafael Gamboa por su asesoría e información brindada para el desarrollo del presente proyecto.

A todos mis familiares por todo su esfuerzo y apoyo recibido para hacer de sueño una realidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	21
1. JUSTIFICACIÓN.....	22
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1 TOMOGRAFÍAS GEO ELÉCTRICAS.....	24
3.1.1 Programa de inversión de datos 2-D, RES2DINV.....	26
3.2 REFRACCIÓN SÍSMICA.....	27
3.3 ANCLAJES ACTIVOS O PRETENSIONADOS.....	28
3.4 PILOTES.....	30
3.4.1 Pilotes de hormigón (concreto).....	30
3.4.2 Pilotes prefabricados o hincados.....	30
3.4.2 Pilotes Hormigonados in situ o pre-excavados.....	31
3.5 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CIMENTACIONES.....	32
3.6 COMPORTAMIENTO DE PILOTES CARGADOS LATERALMENTE.....	33
3.7 INFORMACIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO PHASE 2.....	34
4. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	36
4.1 UBICACIÓN.....	36
4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	38

4.3 GEOMORFOLOGÍA.....	40
4.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	40
4.5 GEOLOGÍA REGIONAL.....	41
4.5.1 Formación Girón (Jg)	41
4.5.2 Formación Jordán (Jj)	42
4.5.3 Depósitos cuaternarios (Q)	42
4.4 GEOLOGÍA LOCAL	43
4.4.1 Depósitos de flujo de Escombros (Qfe)	43
5. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA	45
5.1 INFORMACIÓN EXISTENTE.....	45
5.2 PERFORACIONES.....	47
5.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CON SONDEOS	49
5.4 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	51
5.5 PERFILES LITOLÓGICOS Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	52
5.6 PERFILES GEOTÉCNICOS	58
5.7 REGISTRO FOTOGRÁFICO PERFORACIONES.....	66
5.8 ESTUDIOS CON GEOFÍSICA	71
5.9 REGISTRO FOTOGRÁFICO GEOFÍSICA.....	72
5.10 FOTOGRAFÍAS AÉREAS ANTIGUAS	73
5.11 RESULTADOS TOMOGRAFÍA REALIZADA.....	75
5.12 RESULTADOS LÍNEA SÍSMICA.....	78
5.13 PARÁMETROS SÍSMICOS Y DINÁMICOS.....	81
5.14 MODELOS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICOS.....	82

6. ANÁLISIS SÍSMICO.....	85
6.1 PARÁMETROS SÍSMICOS	85
6.2 ONDA CORTANTE Vs30.....	85
7. ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	89
7.1 ANÁLISIS ENSAYO SPT	89
7.2 N. CORREGIDO	92
7.3 ÁNGULO DE FRICCIÓN.....	94
7.4 ENSAYO DE CORTE DIRECTO	98
7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD SUELOS	99
7.6 PARÁMETROS DEL SUELO PARA CADA ESTRATO	100
7.7 CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS.....	102
7.8 ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES.....	103
7.8.1 Muro en concreto Reforzado.....	106
7.8.2 Perfilado o Terraceo	107
7.8.3 Pantalla de Pilotes tangentes.....	107
7.8.4 Pantalla anclada	112
7.8.5 Diseño de anclajes.....	112
7.8.6 Chequeo Presiones de tierra Pantalla.	118
7.8.7 Características de la pantalla anclada	122
7.8.8 Proceso constructivo.....	123
8. CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA.....	132
ANEXOS.....	134

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características generales del municipio.....	37
Tabla 2. Características de los sondeos realizados.....	47
Tabla 3. PERFIL CON PROPIEDADES SONDEO 1	53
Tabla 4. PERFIL CON PROPIEDADES SONDEO 2	54
Tabla 5. PERFIL CON PROPIEDADES SONDEO 3	55
Tabla 6. PERFIL CON PROPIEDADES SONDEO 4	56
Tabla 7. PERFIL CON PROPIEDADES SONDEO 5	57
Tabla 8. PERFIL CON PROPIEDADES SONDEO 6	58
Tabla 9. Descripción de la roca en función del RQD.	59
Tabla 10. Estratos definidos, Vp y Vs (m/s)	81
Tabla 11. Parámetros dinámicos y Elásticos del Suelo f (Vp y Vs).....	82
Tabla 12. Vs30 Función del SPT	86
Tabla 13. PERFIL DEL SUELO CCP-14 Y NSR-10.....	87
Tabla 14. Corrección del valor de N obtenido de SPT (Skempton).....	93
Tabla 15. Correlaciones para N1 (45) con ángulo de fricción equivalente	94
Tabla 16. Parámetros del Suelo en función de la Clasificación	95
Tabla 17. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 1	96
Tabla 18. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 2.....	97
Tabla 19. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 4.....	97
Tabla 20. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 5.....	98
Tabla 21. Resultados ensayos corte directo.	98
Tabla 22. Valores de módulo de elasticidad en función del SPT.	100
Tabla 23. Parámetros suelo superior relleno	101
Tabla 24. Parámetros suelo superior flujo de escombros Qfe	101
Tabla 25. Parámetros suelo estrato blando lodoso.....	101

Tabla 26. Parámetros suelo estrato residual y roca fracturada Jj	102
Tabla 27. Factores de seguridad Directos TÍTULO H	103
Tabla 28. Factores de Seguridad Análisis estabilidad 1	105
Tabla 29. Factores de seguridad análisis solución con pilotes tangentes.....	109
Tabla 30. Esfuerzo de Adherencia unitario último para anclajes CCP-14.....	114
Tabla 31. Diseño de bulbo para Qfe	115
Tabla 32. Diseño de bulbo para Jj	115
Tabla 33. Factores de seguridad análisis solución con pilotes tangentes.....	117
Tabla 34. Características de anclajes por filas.....	122

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Equipo Geoeléctrica usado. Terrameter SAS – 1000	25
Figura 2. Arreglo típico para Tomografías 2D	25
Figura 3. Etapas seguidas en el proceso de Inversión	26
Figura 4. Representación de la adquisición sísmica por Refracción.....	28
Figura 5. Pilotes prefabricados con refuerzo ordinario.....	31
Figura 6. Pilotes de concreto colados in situ (I ademados-II no ademados).....	32
Figura 7. Variación de la deflexión, momento y fuerza cortante en pilotes, cortos o rígidos - largos o elásticos.....	34
Figura 8. Ubicación del Municipio General	36
Figura 9. Ubicación del Municipio Detallada	37
Figura 10. Ubicación área de estudio	38
Figura 11. Planta Nuevo Intercambiador	39

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Parte de un Anclaje Activo.....	29
Ilustración 2. Parte de un Anclaje Activo.....	29
Ilustración3. Geología Regional, Plancha 120	41
Ilustración 4. Geología Local	44
Ilustración 5. Localización Sondeos Iniciales	45
Ilustración 6. Sondeo 4	46
Ilustración 7. Sondeo 4A.....	46
Ilustración 8. Ubicación de las perforaciones.....	48
Ilustración 9. Esquema Ensayo SPT.....	50
Ilustración 10. Esquema muestreador SPT	50
Ilustración 11. Esquema de una barrena	51
Ilustración 12. Perfil geotécnico sondeo 1	60
Ilustración 13. Perfil geotécnico sondeo 2	61
Ilustración 14. Perfil geotécnico sondeo 3	62
Ilustración 15. Perfil geotécnico sondeo 4	63
Ilustración 16. Perfil geotécnico sondeo 5	64
Ilustración 17. Perfil geotécnico sondeo 6	65
Ilustración 18. Fotografía Sondeo 1	66
Ilustración 19. Fotografía Sondeo 1	66
Ilustración 20. Fotografía Sondeo 1	67
Ilustración 21. Fotografía Sondeo 2	67
Ilustración 22. Fotografía Sondeo 2	68
Ilustración 23. Fotografía Sondeo 3.....	68
Ilustración 24. Fotografía Sondeo 3.....	69
Ilustración 25. Fotografía Sondeo 4.....	69

Ilustración 26. Fotografía Sondeo 5	70
Ilustración 27. Fotografía Sondeo 6	70
Ilustración 28. Ubicación Línea Sísmica y Geoeléctrica	71
Ilustración 29. Ubicación de línea Geoeléctrica	72
Ilustración 30. Instalación de Electroodos.....	72
Ilustración 31. Fotografía 1964	73
Ilustración 32. Fotografía 1984	74
Ilustración 33. Fotografía 2004	74
Ilustración 34. Fotografía 2009	75
Ilustración 35. Proceso de generación de la Tomografía.....	76
Ilustración 36. Resultado e Interpretación de la Tomografía.....	77
Ilustración 37. Equipo Línea Sísmica.....	79
Ilustración 38. Tomografía sísmica Intercambiador San Francisco.....	80
Ilustración 39. Ubicación de los perfiles	83
Ilustración 40. Perfil 1 Crítico	84
Ilustración 41. Perfil 2 Vista frontal talud.....	84
Ilustración 42. Correlación velocidad de onda “s” varios autores.....	87
Ilustración 43. Perfil de diseño Sondeo 1	90
Ilustración 44. Perfil de diseño Sondeo 2.....	91
Ilustración 45. Perfil de diseño Sondeo 4.....	91
Ilustración 46. Perfil de diseño Sondeo 5.....	92
Ilustración 47. Módulo Elástico Vs Profundidad.....	99
Ilustración 48. Perfil Crítico, Análisis de estabilidad estático.	104
Ilustración 49. Perfil Crítico, Análisis de estabilidad dinámico.	105
Ilustración 51. Esquema de muro de retención en U aporcado planteado en planta.....	107
Ilustración 52. Análisis de estabilidad con telón de Pilotes ESTÁTICO.	108
Ilustración 53. Análisis de estabilidad con telón de Pilotes DINÁMICO.	109
Ilustración 54. Análisis de deformaciones Pilotes.	110
Ilustración 55. Análisis de deformaciones Pilotes y anclaje.	111

Ilustración 56. Análisis de deformaciones Pilotes y anclaje (2 filas).	112
Ilustración 57. Nomenclatura Muros anclados Fuente: CCP-14	115
Ilustración 58. Análisis de estabilidad con pantalla anclada ESTÁTICO.....	116
Ilustración 59. Análisis de estabilidad con pantalla anclada DINÁMICO.....	117
Ilustración 60. Análisis esfuerzo deformación pantalla	118
Ilustración 61. Diagramas Presiones Pantallas.....	120
Ilustración 62. Excavación 0.00-2.00 (Def max=0.00cm).....	123
Ilustración 63. Excavación 0.00-2.00 Tensionamiento (Def max=0.70cm)	123
Ilustración 64. Excavación 2.00-4.00 Tensionamiento (Def max=2.20cm)	124
Ilustración 65. Excavación 4.00-6.00 (Def max=4.20cm).....	124
Ilustración 66. Excavación 6.00-8.00 (Def max=5.50cm).....	124
Ilustración 67. Fotografía Sondeo 4 Excavación 8.00-10.50 (Def max=6.00cm) .	125
Ilustración 68. Zonas con mayor deformación	125
Ilustración 69. Máximos esfuerzos verticales efectivos.....	125
Ilustración 70. Esquema procedimiento constructivo	126
Ilustración 71. Esquema Perfil 1, pantalla anclada.	127
Ilustración 72. Esquema Perfil 2, vista frontal pantalla anclada	128

LISTA DE ANEXOS¹

Pág.

Anexo A. Perfiles Geotécnicos

Anexo B. Ensayos de Laboratorio

¹ Los anexos se encuentran en el CD - ROM

GLOSARIO

Anclaje Activo o pretensionado: Elemento empotrado en suelo o roca capaz de soportar tensión, usado con frecuencia para sostener pantallas de concreto en la estabilización de taludes.

Carga Axial: es una carga vertical aplicada sobre el eje de un elemento.

Carga Lateral: es una carga horizontal aplicada a un elemento.

Pilotes: Elementos usados como cimentación o contención normalmente de concreto, acero o madera capaces de soportar cargas axiales y laterales.

Freático: es el nivel o altura hasta donde está el agua.

Pantalla anclada “tieback”: Elemento estructural principalmente usado como contención sostenido por anclas pretensionadas o activas.

Torón: conjunto de cables usualmente usados en anclajes.

Phase 2: Programa computacional usado en la realización de análisis de esfuerzo - deformación y estabilidad de problemas geotécnicos.

Slide: Programa computacional usado para realizar análisis de estabilidad por método de equilibrio límite.

Hormigón: es una mezcla de arena + grava + cemento + agua, es el mismo concreto.

NSR- 10: Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente

CCP-14: Código colombiano de diseño sísmico de puentes 2014.

RESUMEN

TITULO: ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE DEPRIMIDO EN EL INTERCAMBIADOR SAN FRANCISCO DEL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.*

AUTOR: PICO VELANDIA, Pedro Pablo**

PALABRAS CLAVE: pantalla anclada “tieback”, talud, deformación, cargas, contención, suelo, muros, Phase 2, Slide V6, excavación.

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo se muestran los estudios geotécnicos de varias alternativas y el diseño geotécnico de la mejor propuesta, esto para garantizar la estabilidad durante la fase constructiva o excavación solicitada en el deprimido del nuevo Intercambiador San Francisco, Municipio de Piedecuesta.

El sector estudiado corresponde al talud generado en la zona oriental frente al barrio San Francisco, que por las condiciones geológicas y geotécnicas determinadas con la revisión de estudios podría generar un movimiento del suelo que afectaría directamente las viviendas adyacentes.

Inicialmente se hace una descripción de la geología regional y Local de la zona, se muestra la localización, se estudia la información geotécnica existente y los resultados de la exploración geotécnica adicional realizada como geofísica y perforaciones mecánicas. Con los resultados de la exploración geotécnica y ensayos de laboratorio realizados a las muestras recuperadas se elabora un modelo Geológico-Geotécnico. El perfil definido permite estudiar varias alternativas que dentro de la lógica se puedan aplicar como solución al problema; las alternativas incluyen muro de contención en concreto reforzado en voladizo, muro en concreto reforzado en U con cimentación superficial, pantalla o telón de pilotes tangentes empotrados en roca, y pantalla anclada o tieback. La evaluación principalmente incluye análisis de estabilidad por equilibrio límite y proceso o facilidad constructiva; con estos factores se define como mejor solución el uso de pantalla con anclajes pretensionados a la cual se le hace diseño geotécnico completo que incluye diseño de anclajes activos, análisis de estabilidad por equilibrio límite, análisis de estabilidad por deformaciones y proceso constructivo.

Gran parte del análisis se hace teniendo en cuenta herramientas tecnológicas como el Software Slide v6 para equilibrio límite, y el programa de elementos finitos Phase 2 para analizar esfuerzo deformación en la interacción suelo estructura.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Maestría en Geotecnia, Director: Wilfredo Del Toro

ABSTRACT

TITLE: GEOTECHNICAL STUDIES OF ALTERNATIVES FOR CONSTRUCTION OF DEPRESSED IN THE INTERCHANGE OF SAN FRANCISCO, PIEDECUESTA MUNICIPALITY, DEPARTMENT SANTANDER.*

AUTHORS: PICO VELANDIA, Pedro Pablo**

KEY WORDS: anchored screen or "tieback", slope, deformation, loads, containment, flooring, walls, Phase 2, Slide V6, excavation.

DESCRIPTION

The current work shows geotechnical studies of different alternatives and the geotechnical design of the best proposal, this to guarantee stability during the constructive phase or excavation applied in the tunnel of the new interchange of San Francisco, Piedecuesta municipality.

The studied sector corresponds to the hill generated in the oriental zone in front of the San Francisco neighborhood, which, because of the determined geological and geotechnical conditions with the revision of studies could generate a movement of the ground that would directly affect adjacent homes.

At the beginning, a description of the local and regional geology of the studied zone show the localization, and study the geotechnical information and the result of the additional geotechnical exploration done as geophysics and mechanical perforations. With the results of the geotechnical exploration and lab tests applied to the recovered samples a geological-geotechnical pattern was made.

The defined profile allows different alternatives to be studied that, with logic, a solution can be applied to the generated problem; the alternatives include a retaining wall reinforced with a concrete cantilever wall, reinforced concrete in a U formation with a shallow foundation, screen or backdrop tangents embedded in rock piles, or an anchored screen or tieback. The evaluation mainly includes an analysis of limited equilibrium stability, and ease of construction or process. With these factors the best solution is defined as using a screen with anchorage pretensions, which completes the geotechnical design that includes active anchorage designs, stability analysis by equilibrium limit, stability analysis of deformations, and construction process.

Much of the analysis is done taking into account technological tools such as Software Slide v6 to measure the equilibrium limit, and the Phase 2 program to measure the finite elements, as well as to analyze the effort in the soil deformation structure interaction.

* Project of degree

** Faculty of Engineerings Physicist - mechanics, School of Civil Engineering. Masters in Geotechnics, Director: Wilfredo del Toro

INTRODUCCIÓN

Se presenta el siguiente estudio geotécnico con el fin de determinar las propiedades y parámetros del suelo, tipo de cimentación, estructuras de contención o estabilización y análisis de la mejor solución para estabilizar el talud oriental generado en la excavación del intercambiador San Francisco en el Municipio de Piedecuesta, Departamento de Santander.

Dentro del presente se realiza un análisis completo de las características geológicas, geomorfológicas y físicomecánicas del suelo del área seleccionada, considerando diferentes situaciones como niveles freáticos, sismo o las diferentes cargas impuestas por las edificaciones vecinas, en especial del Barrio San Francisco.

El análisis parte de reconocimiento visual, exploración de campo mediante perforaciones, Tomografía con línea sísmica y con geoelectrica, ensayos de laboratorio a muestras de suelo. Se determinan las propiedades del suelo mediante diferentes metodologías aprobadas mundialmente expuestas en normativas como el CÓDIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES 2014, LA NORMA COLOMBIANA DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE NSR-10 Y EL MANUAL DE CIMENACIONES DEL INVÍAS. Finalmente se hace un análisis de las soluciones y se determina cual podría funcionar mejor.

En el presente trabajo de grado se muestran las actividades realizadas como reconocimiento de campo, exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y análisis geotécnico de posibles soluciones en base a los parámetros y las condiciones del suelo.

1. JUSTIFICACIÓN

Se ha planeado construir un nuevo intercambiador en el Sector San Francisco del Municipio de Piedecuesta el cual consiste en la excavación y construcción de una estructura enterrada o deprimido para la circulación de Vehículos. El principal problema, desde el punto de vista geotécnico, está en los posibles deslizamientos o fenómenos por remoción en masa que se generen durante el periodo de ejecución de movimientos de tierra, afectando la Zona oriental del Intercambiador Junto al Barrio San Francisco, y también a la Vía Bucaramanga Bogotá la cual es atravesada por el deprimido mencionado.

Se ha realizado una exploración geotécnica preliminar donde se ha detectado una zona de debilidad en el suelo a una profundidad de diez metros, suficiente para afectar la estabilidad de los taludes y generar una superficie de falla, además lubricada por las aguas sub superficiales que circulan actualmente, debido a la existencia de quebradas antiguas cubiertas con materiales provenientes de flujos de escombros del macizo de Bucaramanga, depositados en el proceso de formación del relieve actual.

Se busca estudiar alternativas de solución para realizar la excavación y desarrollar el proyecto con las mínimas dificultades garantizando la estabilidad de las obras tanto en el proceso constructivo como en el periodo de operación.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Estudiar alternativas de solución y realizar diseño geotécnico de la más adecuada para la construcción del deprimido en el intercambiador sector San Francisco del Municipio de Piedecuesta, Departamento de Santander.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar toda la información existente referente al tema como Geología, Geomorfología y estudios geotécnicos anteriores en la Zona.
- Complementar la exploración geotécnica mediante perforaciones, una línea de refracción sísmica y una línea de prospección geoeléctrica para determinar el perfil litológico del sector, así como los parámetros del suelo.
- Elaborar modelos geotécnicos para comprobación usando métodos computacionales como SLIDE, GEO 5, y programas de elementos finitos como PLAXIS 2D O PHASE 2.
- Análisis e interpretación de resultados, determinación de la mejor solución y realización del diseño desde el punto de vista Geotécnico de la alternativa más adecuada.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 TOMOGRAFÍAS GEO ELÉCTRICAS

El método de tomografía eléctrica (TE) en dos dimensiones es una técnica de investigación de resistividad (res) de áreas con anomalías complejas (resistivas o conductivas), donde los empleos de otras técnicas no permiten obtener información de detalle en 2D a profundidades someras y moderadamente profundas. La TE consiste en obtener una serie de medidas de res aparente con un microdispositivo tetraelectródico determinado y con una separación constante entre electrodos denominada “a”, y variar (aumentar) las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor por múltiplos de un valor denominado “n”, de tal forma que el resultado final será una sección de resistividades aparentes a varios niveles “n” en profundidad. Estos datos necesariamente deben ser tratados por algoritmos matemáticos para llegar a obtener una imagen de res-profundidad verdadera, proceso denominado inversión².

La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

El resultado obtenido mediante la técnica de TE es una imagen geoelectrica o sección de alta resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades verdaderas del subsuelo, resultado que puede ser, en la mayoría de los casos, correlacionado y constatado con las observaciones de

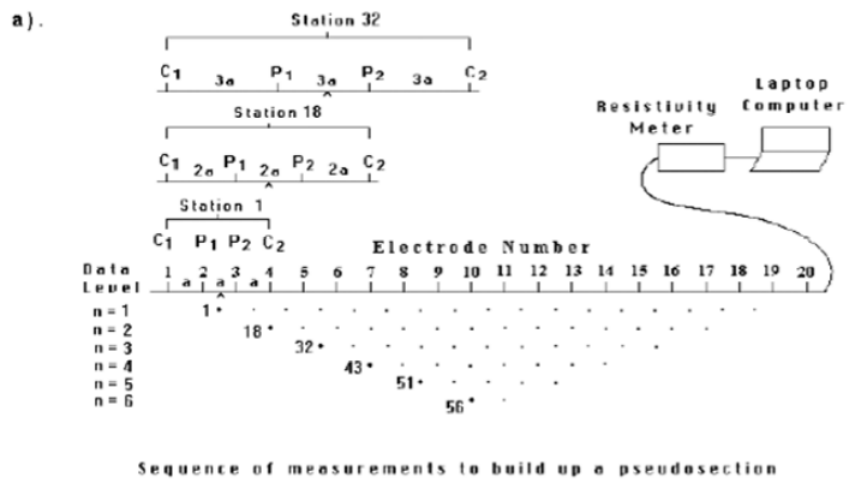
² INVIAS Manual Cimentaciones

campo, información geológica, perforaciones, calicatas mecánicas, geoquímica, hidrogeología, edafología, etc.; resultados con cuya interpretación se llega a las conclusiones del diagnóstico.

Figura 1. Equipo Geoeléctrico usado. Terrameter SAS – 1000



Figura 2. Arreglo típico para Tomografías 2D



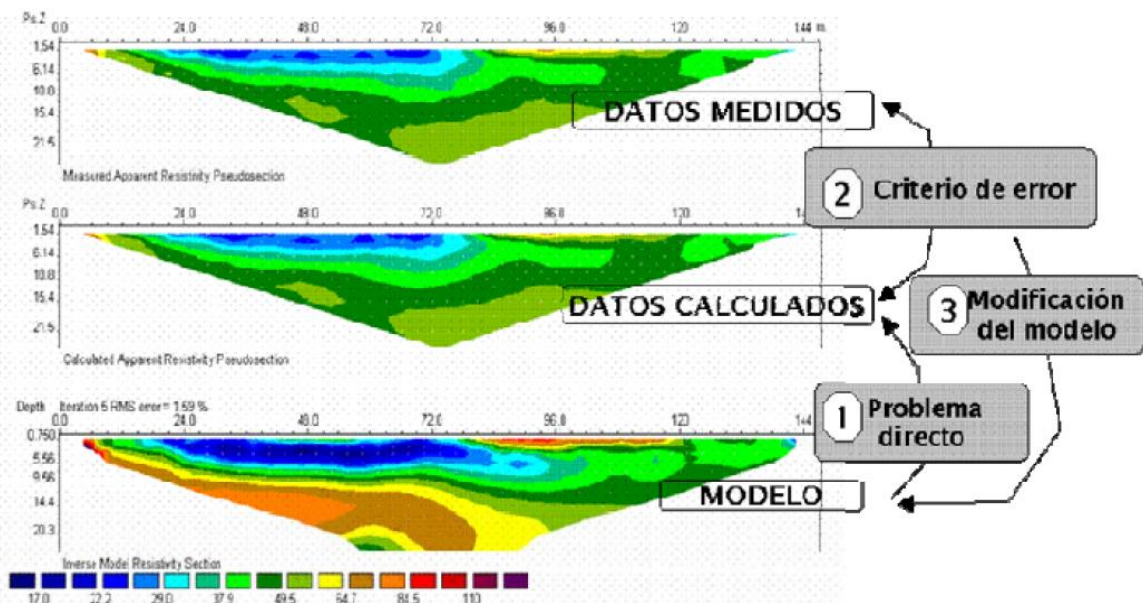
Fuente: UPCOMMONS [en línea] disponible en: www.upcommons.upc.edu

El procedimiento de generación de una tomografía eléctrica mediante inversión, parte de los datos de resistividad aparente medidos, representados en forma de seudo perfil. A continuación, se genera un modelo hipotético de resistividades

verdaderas del subsuelo, y resolviendo lo que se define como “cálculo del problema directo”, se llega al modelo de resistividades aparentes que se derivaría del mismo. Estas resistividades aparentes se comparan con las realmente medidas, y se calcula el error cometido. A través de este error se modifica el modelo hipotético real de resistividades verdaderas, y se repite el proceso anterior. De este modo, tras una serie de iteraciones, se consigue un modelo de resistividades verdaderas del subsuelo que da explicación a las resistividades aparentes medidas.

En el esquema de pseudo secciones que se incluye a continuación se detalla el procedimiento de inversión seguido para la obtención de una Tomografía Eléctrica.

Figura 3. Etapas seguidas en el proceso de Inversión



3.1.1 Programa de inversión de datos 2-D, RES2DINV. El programa utilizado para la inversión de los datos ha sido el RES2DINV (Loke, 2002). El programa determina de forma automática un modelo bidimensional de resistividades reales del subsuelo a partir de un conjunto de datos que constituyen una pseudosección de resistividades aparentes. El modelo bidimensional utilizado por el programa

consiste en un conjunto de bloques rectangulares, la situación de los cuales se corresponde con la distribución de los puntos de medida en la pseudosección. Para realizar el cálculo de los valores de resistividad se utiliza una subrutina de modelización directa, así como una técnica de optimización no lineal de mínimos cuadrados para la rutina de inversión (Loke y Barker 1996). Durante el proceso de inversión se adopta como criterio de convergencia el valor del error cuadrático medio (RMS) entre los datos experimentales y la respuesta del modelo actualizado en cada iteración. Si el valor del RMS o su disminución relativa se sitúan por debajo de un valor predefinido se dice que la inversión ha convergido y el proceso se considera terminado.

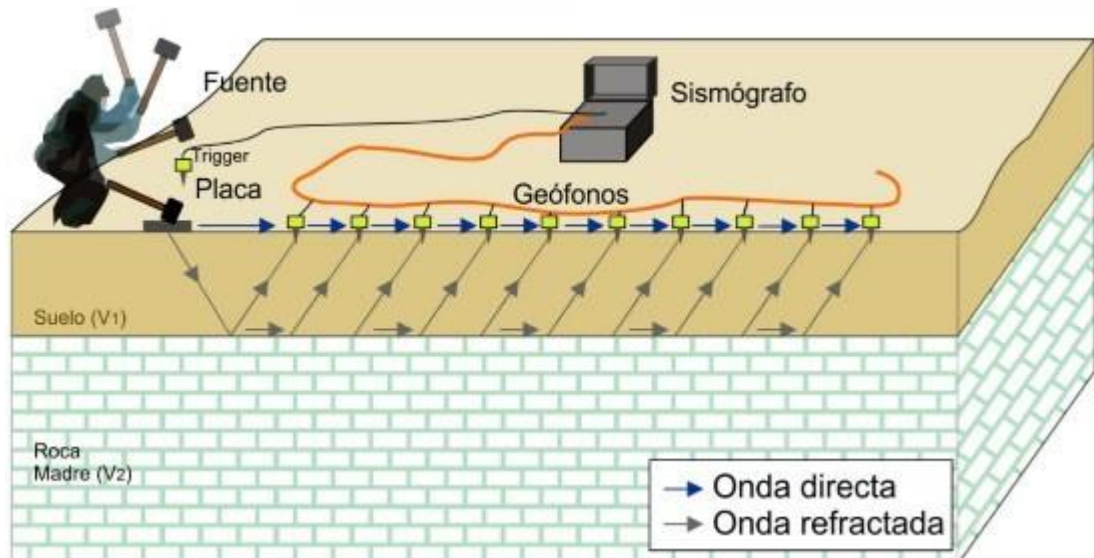
3.2 REFRACCIÓN SÍSMICA

El ensayo de refracción se basa en el registro de los frentes de onda, generados por una fuente artificial de energía, leyendo en los registros los tiempos de los primeros arribos. Estos pueden deberse a la onda directa o bien a aquellas ondas que se refractan en el subsuelo con ángulo crítico, viajan por la interfaz con la velocidad del medio infrayacente y retornan hacia la superficie como ondas frontales (head waves).

El instrumental necesario para emplear este método consiste básicamente en alguna fuente de energía (martillo, explosivo, vibrador, cañón de aire, etc.), receptores o sismómetros (geófonos en tierra) y un sismógrafo donde acondicionar, grabar y graficar la información. Los registros de cada geófono tienen información de los movimientos del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas. El objetivo es determinar espesores de las capas del subsuelo, sus buzamientos y las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en cada una de ellas.

El método se hace efectivo siempre que se encuentren medios con impedancias acústicas ($Z=\rho \cdot V$) que varían fuertemente, con la condición esencial dada por la ley de Snell ($n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$) donde $n_1 = C/v$ - de que el segundo medio sea de mayor velocidad sísmica que el primero. Otra de las limitaciones de este método es determinar la velocidad de ondas primarias o de compresión (V_p) en relación con la dificultad para evaluar la velocidad de ondas secundarias o de corte (V_s).

Figura 4. Representación de la adquisición sísmica por Refracción



Fuente: GEOCONSULT [en línea] disponible en: www.geoconsult.es

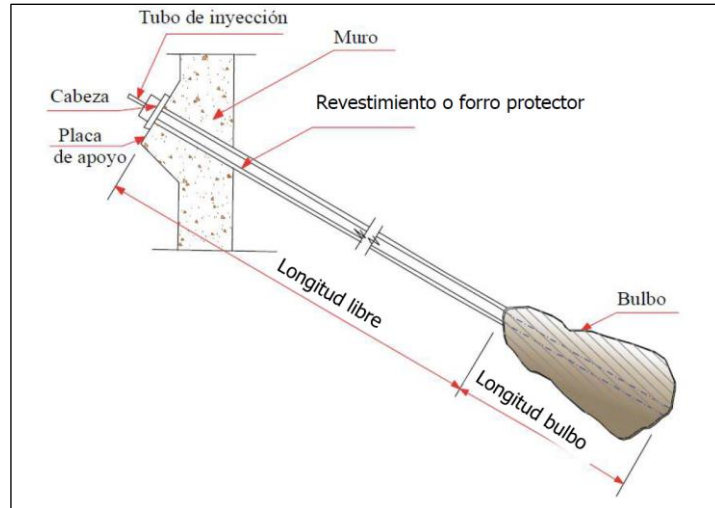
3.3 ANCLAJES ACTIVOS O PRETENSIONADOS

Un ancla activa o pretensionada es un elemento estructural instalado en suelo o en roca que se utiliza para transmitir una carga de tracción aplicada en el suelo principalmente mediante el uso de tendones inyectados.

Se les llama generalmente como “TIEBACKS” para anclas de estructuras de contención, o “TIEDOWNS” para cargas de levantamiento.

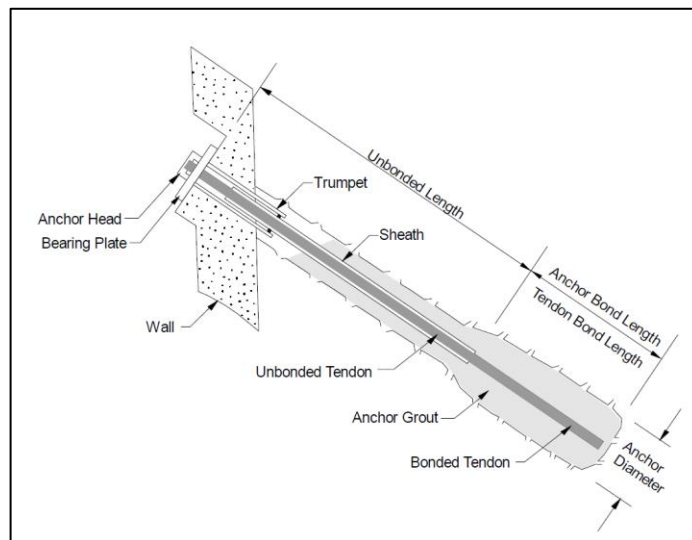
Como se muestra en la siguiente ilustración, básicamente el anclaje se conforma de varios tendones, en toda su longitud, Una Zona libre, Bulbo o anclaje y Muro.

Ilustración 1. Parte de un Anclaje Activo



Fuente: FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION Publicación-IF-99-015

Ilustración 2. Parte de un Anclaje Activo



Fuente: FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION Publicación-IF-99-015

3.4 PILOTES

Se denomina pilote a un elemento constructivo utilizado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando este se encuentra a una profundidad tal que hace inviable técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas. Los pilotes permiten también resistir cargas laterales funcionando como obras de contención, se pueden utilizar en excavaciones verticales muy profundas o como remediación ante algunos fenómenos de remoción en masa³.

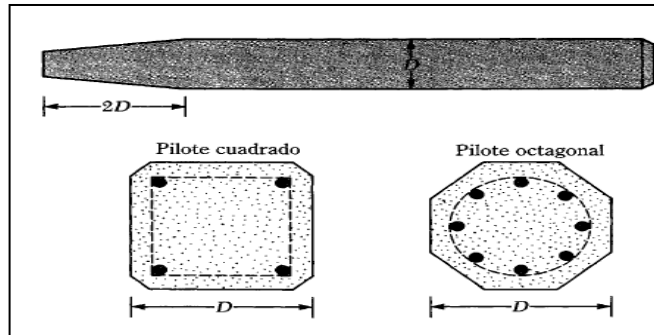
3.4.1 Pilotes de hormigón (concreto). Pertenecen a la categoría de cimentaciones profundas, pueden estar contruidos con hormigón armado ordinario o con hormigón pretensado. Los pilotes de hormigón armado convencional se utilizan para trabajar a la compresión; los de hormigón pretensado funcionan bien a la tracción, y sirven para tablestacas y cuando deben quedar sumergidos bajo agua.

Los pilotes fabricados de este material se dividen en:

3.4.2 Pilotes prefabricados o hincados. Estos pilotes se clavan en el terreno por medio de golpes, que efectúa un martinete o con una pala metálica equipada para la hincada del pilote que llevan un refuerzo ordinario, para que el pilote resista el momento flexionante generado por su manipulación y transporte.

³ BRAJA M. DAS Principios de ingeniería geotécnica

Figura 5. Pilotes prefabricados con refuerzo ordinario



Fuente: Principio de ingeniería de cimentaciones (BRAJA. DAS)

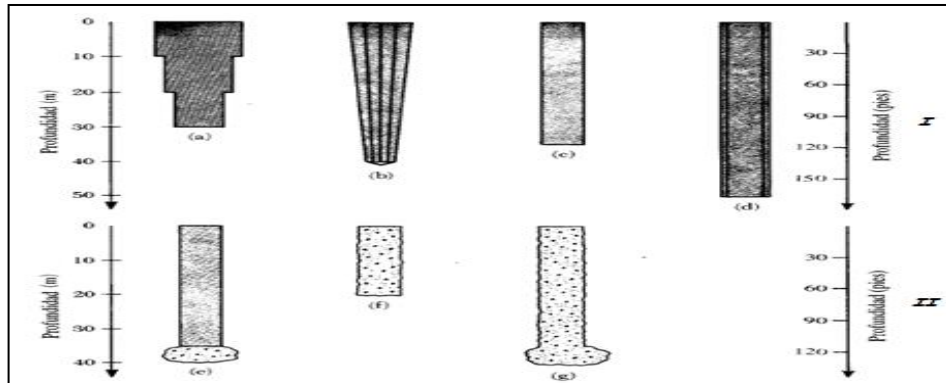
Su sección suele ser cuadrada y sus dimensiones normalmente son de 30 cm x 30 cm o 45 cm x 45 cm. También se construyen con secciones octagonales en casos especiales. Están compuestos por dos armaduras: una longitudinal con 4 diámetros de 25 mm y otra transversal compuesta por estribos de varilla de sección 8 mm como mínimo.

La cabeza del pilote se refuerza uniendo los cercos con una separación de 5 cm en una longitud que oscila en 1 m, la punta va reforzada con una pieza metálica especial para permitir la hincada.

3.4.2 Pilotes Hormigonados in situ o pre-excavados. Los Pilotes hormigonados in situ son un tipo de pilotes ejecutados en obra, tal como su nombre lo indica, en el sitio, en el lugar.

Se construyen perforando un agujero en el terreno y llenándolo con concreto. Varios tipos de pilotes de concreto colados in situ se usan actualmente en la construcción y la mayor parte fueron patentados por sus fabricantes. Esta clase de pilotes puede dividirse en ademados y no ademados según si usan o no pedestal.

Figura 6. Pilotes de concreto colados in situ (I ademados-II no ademados)



Fuente: Principio de ingeniería de cimentaciones (BRAJA. DAS)

3.5 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CIMENTACIONES

Cimentaciones con pilotes o pilas: la colocación de pilotes y pilas se ajustará al proyecto correspondiente, verificando que la profundidad de desplante, el número y el espaciamiento de estos elementos correspondan a lo señalado en los planos estructurales. Los procedimientos para la instalación de pilotes y pilas deberán garantizar la integridad de estos elementos y que no se ocasione daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical y horizontal del suelo. Cada pilote, sus tramos y las juntas entre estos, en su caso, deberán diseñarse y construirse de tal modo que resistan las fuerzas de compresión, tensión y los momentos flexionantes que resulten del análisis.⁴

Los pilotes de diámetro menor de 40 cm deberán revisarse por pandeo verificando que la fuerza axial a la que se encontrarán sometidos, no rebasará la fuerza crítica p_c definida por:

$$p_c = \left(\frac{N^2 \pi^2 EI}{4L^2} + 4KDL^2 \pi^2 \right) / FS$$

⁴ Extraído de la NSR10 h.8.4. procedimientos constructivos para cimentaciones. 15-08-2016.

En donde,

K coeficiente de reacción horizontal del suelo;

D diámetro del pilote;

E módulo de elasticidad del pilote;

I momento de inercia del pilote;

N número entero, determinado por tanteo, que genere el menor valor de *P_c*

L longitud del pilote;

FS se tomará igual a 3.0.

Pilas o pilotes fundidos en el sitio: para este tipo de cimentaciones profundas, el estudio geotécnico deberá definir si la perforación previa será estable en forma natural o si por el contrario se requerirá estabilizarla con lodo bentonítico o polimérico, con entibado o encamisado. Antes de fundirlo, se procederá a la inspección directa o indirecta del fondo de la perforación para verificar que las características del estrato de apoyo son satisfactorias y que todos los materiales derrumbados han sido removidos. La fundida se realizará por procedimientos que eviten la segregación del concreto y la contaminación del mismo con el lodo estabilizador de la perforación o con derrumbes de las paredes de la excavación. Se llevará un registro de la localización de los pilotes o pilas, las dimensiones relevantes de las perforaciones, las fechas de perforación y de fundida, la profundidad y los espesores de los estratos y las características del material de apoyo.

3.6 COMPORTAMIENTO DE PILOTES CARGADOS LATERALMENTE

En el diseño de cualquier tipo de cimentación, así como en el cálculo de los pilotes que son cargados por una fuerza horizontal se debe garantizar que el conjunto de suelo-pilote va a hacer capaz de resistir las cargas a las que es sometida la cimentación. Igualmente se debe mantener los desplazamientos dentro de límites

razonables garantizando de esta forma una excelente funcionalidad de la estructura en conjunto.

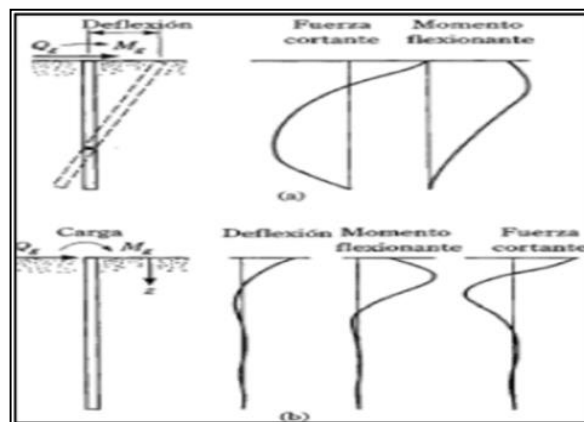
El grado de distribución de la reacción del suelo depende de:

- a) La rigidez del pilote
- b) La rigidez del suelo
- c) La restricción en los extremos del pilote

De forma general se han clasificado el estudio de pilotes cargados lateralmente en dos tipos principales:

- Pilotes cortos o rígidos
- Pilotes largos o elásticos

Figura 7. Variación de la deflexión, momento y fuerza cortante en pilotes, cortos o rígidos - largos o elásticos



Fuente: Principio de ingeniería de cimentaciones (BRAJA.DAS)

3.7 INFORMACIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO PHASE 2

Phase 2 es un potente software de elementos finitos 2D de la casa Rocscience, usado para aplicaciones de suelo y roca. Phase 2 se puede utilizar para una

amplia gama de proyectos de ingeniería y diseño incluyendo procedimientos de excavación, estabilidad de taludes, filtración de aguas subterráneas, análisis probabilístico, consolidación y comportamiento dinámico.

Los modelos complejos, de múltiples etapas pueden ser fácilmente creados y analizados rápidamente (túneles en roca débil, casas de máquinas subterráneas, minas a cielo abierto y laderas, taludes, pantallas ancladas, y mucho más.

Phase ofrece una amplia gama de opciones de modelado. Elementos de revestimiento como concreto proyectado, hormigón, sistemas de fijación de acero, muros, pilotes, revestimientos de múltiples capas de material compuesto, geotextiles, anclajes activos y pasivos.

Los análisis realizados con Phase 2 utilizan parámetros de resistencia de Hoek-Brown, Mohr-Coulomb, Cam-Clay entre otros, incluyendo modelado de juntas o diaclasas. El software permite importar y exportar de archivos tipo dwg, o de otros programas de la misma casa como Slide.

El programa permite realizar análisis de flujo de aguas fácilmente, dicha opción está integrada con las demás herramientas, no se necesita de otros programas para realizar este análisis⁵.

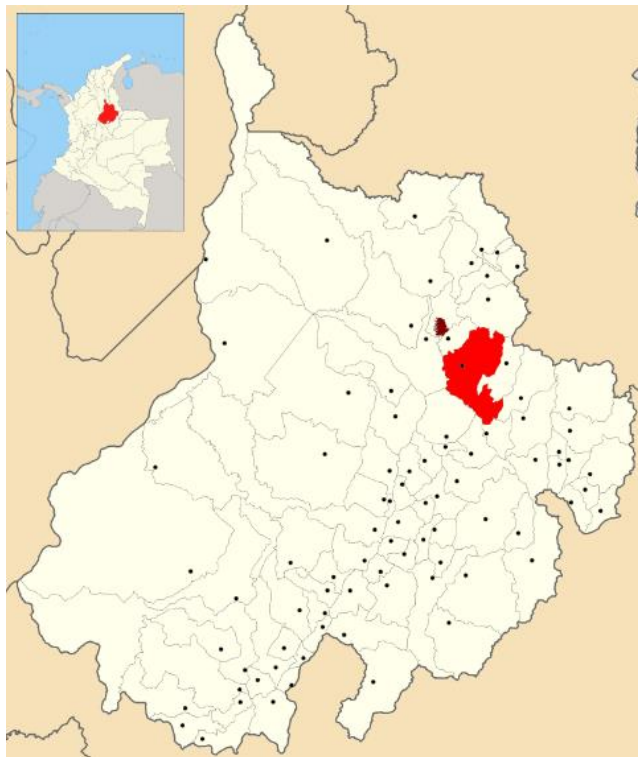
⁵ ROCSCIENCE [en línea] disponible en: www.rocscience.com/rocscienceproducts/phase2

4. GENERALIDADES DEL PROYECTO

4.1 UBICACIÓN

Piedecuesta se encuentra a 17 km de Bucaramanga, formando parte de su área metropolitana. Su extensión territorial es de 344 kilómetros cuadrados; se observa una alterada geografía que nos ofrece un sinnúmero de valles, mesetas, montañas y colinas, accidentes territoriales que nos presentan una variada climatología, pasando del radiante sol de pescadero a la neblina del páramo de Juan Rodríguez.

Figura 8. Ubicación del Municipio General



Fuente: WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE Piedecuesta [en línea] disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Piedecuesta>

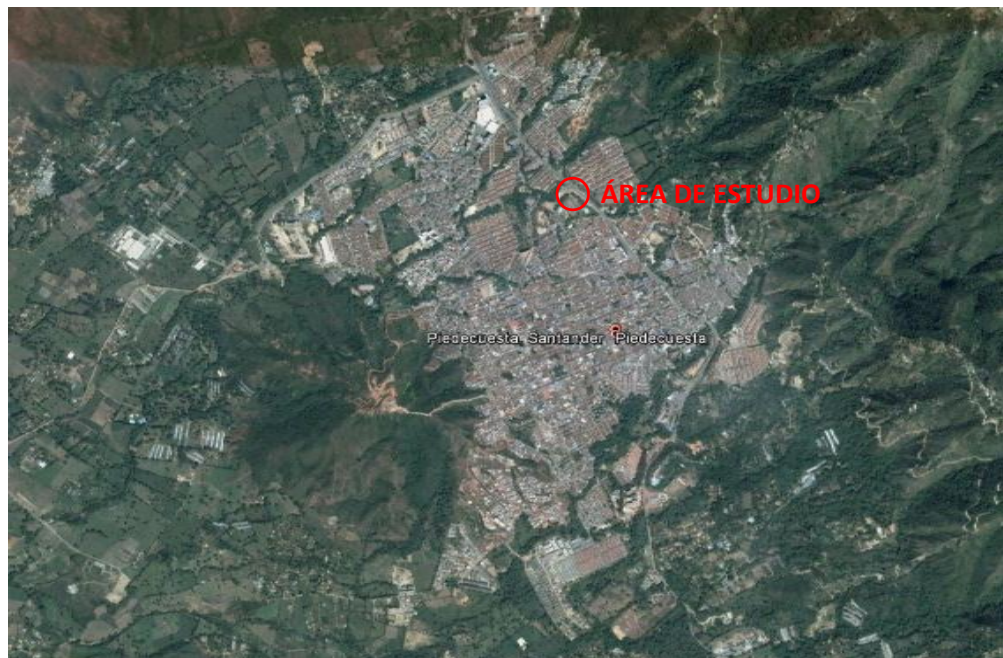
El municipio limita por el norte con Toná y Floridablanca. Por el sur con Guaca, Cepita, Aratocha y Los Santos. Por el oriente Santa Bárbara. Por el occidente con Girón.

Tabla 1. Características generales del municipio

Extensión Total	344
Temperatura	23.0 °C
Altitud	1005 m.s.n.m.
Distancia a Bucaramanga	17 Km
Población	129000

El sitio donde se proyecta el intercambiador es en el sector de San Francisco, PR 80+150 de la vía San Gil – Bucaramanga, ruta 45A 07. El intercambiador abarca gran área, pero en este proyecto se va a hacer un enfoque a la excavación ubicada en el costado Oriental frente al barrio San Francisco.

Figura 9. Ubicación del Municipio Detallada



Fuente: GOOGLE Maps Piedecuesta Santander [en línea] disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/Piedecuesta,+Santander>

Figura 10. Ubicación área de estudio



Fuente: GOOGLE Maps Piedecuesta Santander [en línea] disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/Piedecuesta,+Santander>

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

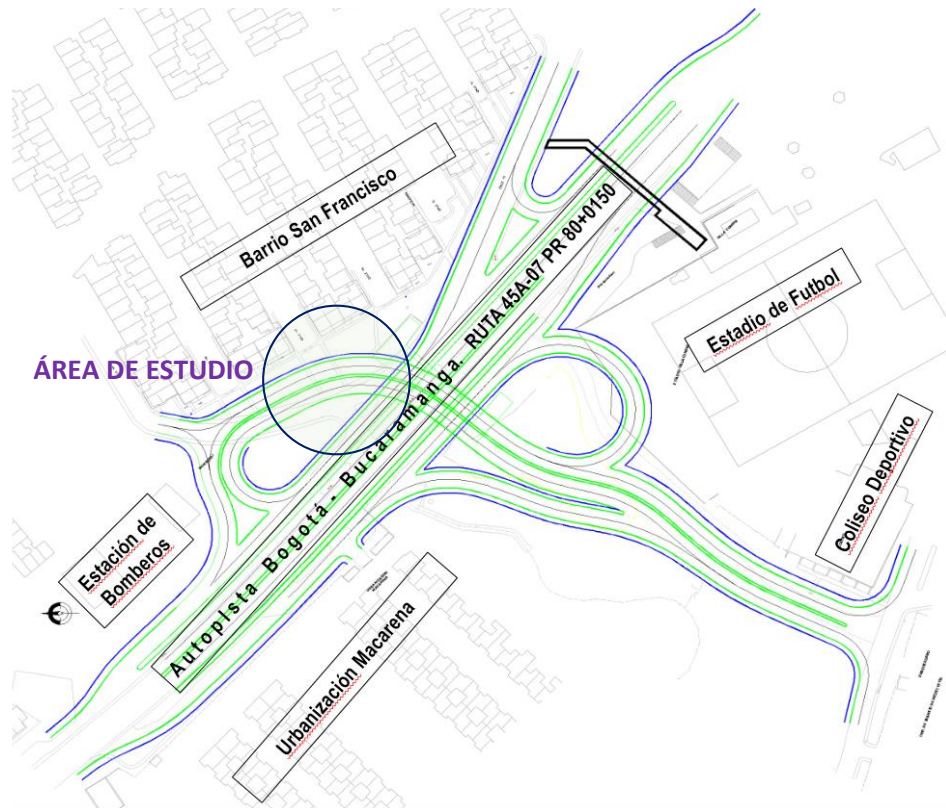
Se ha planeado construir un nuevo intercambiador en el Sector San Francisco del Municipio de Piedecuesta el cual consiste en la excavación y construcción de una estructura enterrada o deprimido para la circulación de Vehículos. El principal problema, desde el punto de vista geotécnico, está en los posibles deslizamientos o fenómenos por remoción en masa que se generen durante el periodo de ejecución de movimientos de tierra, afectando la Zona oriental del Intercambiador Junto al Barrio San Francisco, y también a la Vía Bucaramanga Bogotá la cual es atravesada por el deprimido mencionado.

Se ha realizado una exploración geotécnica preliminar donde se ha detectado una zona de debilidad en el suelo a una profundidad de diez metros, suficiente para afectar la estabilidad de los taludes y generar una superficie de falla, además

lubricada por las aguas sub superficiales que circulan actualmente, debido a la existencia de quebradas antiguas cubiertas con materiales provenientes de flujos de escombros del macizo de Bucaramanga, depositados en el proceso de formación del relieve actual.

En el presente informe se muestran los estudios de alternativas de solución para realizar la excavación y desarrollar el proyecto con las mínimas dificultades garantizando la estabilidad de las obras tanto en el proceso constructivo como en el periodo de operación.

Figura 11. Planta Nuevo Intercambiador



Fuente: Consorcio San Francisco

4.3 GEOMORFOLOGÍA

Debido a la presencia de la falla de Bucaramanga se encuentran afloramientos de roca totalmente fracturada y cizallada principalmente de la Formación Jordán (Jj) y de la Formación Girón (Jg), dichos afloramientos se pueden apreciar en los taludes superiores de la Autopista entre Bucaramanga y Piedecuesta.

En el sitio de estudio la roca se encuentra cubierta por suelos residuales y depósitos recientes como flujo de escombros sueltos. En la parte Oriental de Piedecuesta se encuentran pendientes fuertes que conforman grandes crestas montañosas con laderas empinadas y espejos de falla. Mientras que la zona Urbana está compuesta por un valle creado por los depósitos recientes. Sin embargo, debido a la presencia de diferentes quebradas se han formado cárcavas y surcos de gran profundidad que tienen grandes pendientes y pueden generar fenómenos de remoción en masa.

4.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se encuentra afectada estructuralmente por el sistema de la Falla de Bucaramanga, la cual es producto del ambiente tectónico compresivo regional, resultado del choque entre las placas del Caribe y suramericana, movimiento que genera desplazamientos rumbo-deslizantes en el noroeste de suramericana.

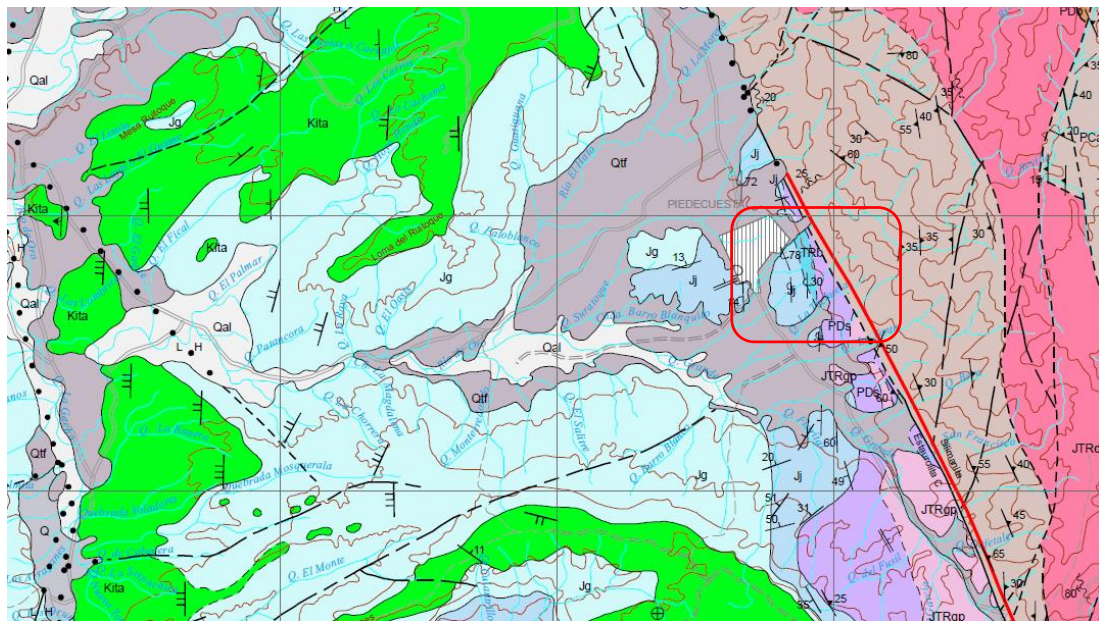
Esta región, que comprende el Macizo de Santander, y donde predomina un sistema de falla-miento en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noroeste, en esta región se destaca principalmente de noroccidente a suroriente la falla de Bucaramanga.

4.5 GEOLOGÍA REGIONAL

Para el análisis geotécnico es importante analizar las formaciones cercanas que puedan influenciar el sitio de estudio. La geología Regional hace una descripción de las formaciones más cercanas al sitio, parte de la información geológica es obtenida del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (Plancha 120).

Luego de realizar una exploración geotécnica basada en perforaciones o extracción de muestras in situ se hace un análisis de cuál de las formaciones hace presencia local e influye directamente en la estabilidad de las estructuras a establecer.

Ilustración3. Geología Regional, Plancha 120



Fuente: SGC Plancha geológica No. 120 [en línea] disponible en: <http://www.sgc.gov.co/Geologia/Mapa-geologicode-Colombia.aspx>.

4.5.1 Formación Girón (Jg) Compuesta principalmente por areniscas conglomeráticas, conglomerados de color gris amarillento a pardo rojizo, masivos y lenticulares; limolita pardo rojiza. Inicialmente llamada “Girón Series”, se

encuentran abundantes afloramientos, especialmente al oeste de Bucaramanga. Dentro de la serie se incluía rocas que ahora pertenecen a la Formación bocas, Jordán y Tambor. La serie fue considerada del cretáceo inferior. Las formaciones Bocas y Tambor infrayacen y superyacen respectivamente.

Se estableció un espesor total de la formación en 135.3m.

4.5.2 Formación Jordán (Jj) Del Jurásico, la formación Jordán fue primeramente reconocida por Cediél (1968) en su estudio de la formación Girón en el área de Bucaramanga. La sección tipo está a 1km al oeste del pueblo de Jordán, sobre la pendiente norte del cañón del río Chicamocha. Según Cediél el Jordán incluye dos facies, separada por una Zona Transicional de aproximadamente 10m que no indica interrupción de la deposición.

Facies Superior: (+-200m) Limolita de color uniforme marrón rojizo y arenisca de grano muy fino, bien estratificada en capas de 30-80 cm de espesor.

Facies Superior: (+-100m) Principalmente arenisca de grano grueso, gris verdoso, en capas de hasta 1,0m de grueso y unas pocas shale gris verdoso hasta de 2,0m de espesor, algunas capas gruesas con estratificación cruzada contienen zonas conglomeráticas con guijos de hasta 2cm de diámetro. La base de la sección no está expuesta, pero en otras partes el Jordán suprayace rocas metamórficas, filíticas y esquistosas.

4.5.3 Depósitos cuaternarios (Q) En la región estudiada predominan los depósitos aluviales antiguos, y recientes. Principalmente Piedecuesta está conformada por Flujo de escombros recientes, dejados sobre los macizos presentes.

4.4 GEOLOGÍA LOCAL

4.4.1 Depósitos de flujo de Escombros (Qfe) Son depósitos de piedemonte de origen aluvio torrencial y aluvio gravitacional, provenientes principalmente de la denudación de los materiales alterados que componen el Macizo de Santander, los cuales son transportados a lo largo de los cauces de corrientes de agua que nacen en éste. De acuerdo con las características granulométricas, geométricas y composicionales, estos depósitos provienen de flujos torrenciales de detritos y en parte, flujos de escombros.

Se presentan sobre el piedemonte oriental del Área Metropolitana, entre el casco urbano de Floridablanca y Piedecuesta, donde se reconocen materiales cuyo depósito, al pie de la ladera montañosa, forma abanicos y conos de deyección coalescentes con pendiente de 2,5° a 3,5° y superficie suavemente ondulada, con drenaje paralelo a subparalelo. Se destaca los depósitos donde se localizan los perímetros urbanos de Floridablanca y Piedecuesta.

Están constituidos esencialmente por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas del macizo, tamaño grava y bloque, principalmente neises y granodiorita, esporádicamente anfibolitas y esquistos, en matriz areno-limosa. Estos depósitos sedimentarios se han venido acumulando mediante repetidos episodios de descargas torrenciales, probablemente violentas, por lo que los espesores y sus proporciones granulométricas y volumétricas son muy variados. Se pueden encontrar eventos clasto soportado, con predominio de bloques y gravas, como también matriz soportados, con predominio de arena; el tamaño máximo de estos bloques puede sobrepasar 1 m de diámetro.

La matriz intersticial es de arena media a gruesa en alrededor de un 80% (aproximadamente un 20% de finos limo-arcillosos), principalmente cuarzo, feldespatos y partículas de rocas moderadamente meteorizadas, muscovita en

laminillas y algunos máficos; los depósitos presentan coloración blancuzca, rojiza y ocre, dependiendo del grado de oxidación y baja humedad.

En general los materiales que conforman los depósitos de flujos de escombros se encuentran en condición medianamente suelta. De acuerdo con lo observado en el área de estudio, éstos depósitos descansan, principalmente, sobre rocas de las formaciones Girón, Jordán y Silgará; su espesor medio se estima en alrededor de 10 a 15 m.

Ilustración 4. Geología Local



Fuente: INGEOMINAS 2010

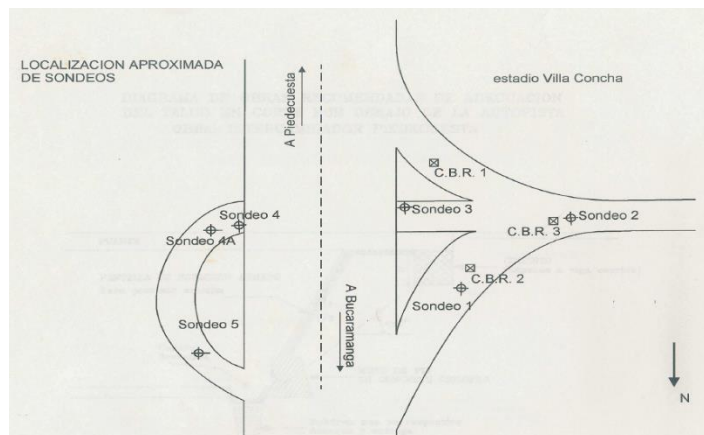
5. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

5.1 INFORMACIÓN EXISTENTE

Se cuenta inicialmente con información de los diseños originales, en ellos, se menciona un programa de exploración geotécnica en el cual se ejecutan sondeos a percusión (SPT), con profundidades relativamente superficiales; para el área los sectores estudiados fueron planteadas dos perforaciones que no permiten identificar los suelos incompetentes en el costado Oriental del Intercambiador.

Las perforaciones corresponden al Sondeo 4 y Sondeo 4^a cuyas profundidades fueron de 4,00m y 8,00m. Las perforaciones fueron realizadas en Marzo de 1996.

Ilustración 5. Localización Sondeos Iniciales



Fuente: Consorcio San Francisco

Ilustración 6. Sondeo 4

PROF. (Mts)	PROF MUESTRA	PENETRACIÓN			N	PERF	CLASIF. SUCS
		6"	12"	18"			
0.00	0,0 - 0,5	3	2	5	7	[Color gris]	Arena limosa gris y amarillo, SM
	0,5 - 1,0	5	7	11	18		
1.00	1,0 - 1,5	10	14	11	25	[Color naranja]	Arena arcillosa pardo y gris SC
	1,5 - 2,0	9	9	11	20		
2.00	2,0 - 2,5	12	31	17	48		
	2,5 - 3,0	27	35	50	85		
3.00	3,0 - 3,5	67	66	R	R	[Color blanco]	Fin exploración
	3,5 - 4,0	R					
4.00	4,0 - 4,5						
	4,5 - 5,0						
5.00	5,0 - 5,5						
	5,5 - 6,0						
6.00	6,0 - 6,5						
	6,5 - 7,0						
7.00	7,0 - 7,5						
	7,5 - 8,0						
8.00	8,0 - 8,5						
	8,5 - 9,0						
9.00	9,0 - 9,5						
	9,5 - 10,0						
10.00							

Fuente: Consorcio San Francisco

Ilustración 7. Sondeo 4A

PROF. (Mts)	PROF MUESTRA	PENETRACIÓN			N	PERF	CLASIF. SUCS
		6"	12"	18"			
0.00	0,0 - 0,5	10	9	12	21	[Color naranja]	Arena arcillosa con gravas color marrón, SC
	0,5 - 1,0	16	15	11	26		
1.00	1,0 - 1,5	10	13	16	29		
	1,5 - 2,0	19	18	19	37		
2.00	2,0 - 2,5	30	28	41	69		
	2,5 - 3,0						
3.00	3,0 - 3,5						
	3,5 - 4,0						
4.00	4,0 - 4,5						
	4,5 - 5,0						
5.00	5,0 - 5,5	43	52	54	106	[Color blanco]	Fin exploración
	5,5 - 6,0						
6.00	6,0 - 6,5						
	6,5 - 7,0						
7.00	7,0 - 7,5						
	7,5 - 8,0	65	72	68	140		
8.00	8,0 - 8,5						
	8,5 - 9,0						
9.00	9,0 - 9,5						
	9,5 - 10,0						
10.00							

Fuente: Consorcio San Francisco

Durante la fase de construcción se contempló una revisión de estudios y diseños donde, Inicialmente, se realizaron tres perforaciones en el sector, dichas perforaciones permitieron identificar una zona de debilidad o estrato incompetente a unos 10,0m de profundidad en el costado oriental del intercambiador, junto al barrio San Francisco.

Pero debido a la incertidumbre que generan las perforaciones mencionadas, especialmente el Sondeo 1, y a la importancia de realizar un buen trabajo en el sector oriental del intercambiador San Francisco, se propone ampliar la exploración geotécnica para el sector con perforaciones adicionales y con geofísica; de esta forma se puede elaborar un modelo Geotécnico – Geológico más preciso. Luego se realizaron tres perforaciones más como complemento en la misma zona.

5.2 PERFORACIONES

Las perforaciones que se plantearon tienen la intención de determinar el espesor de los materiales, la resistencia en diferentes sitios. Adicionalmente con el método SPT, correlaciones y ensayos de laboratorio es posible calcular varios parámetros para comparar con resultados de ensayos de laboratorio y realizar modelación geotécnica y analizar las diferentes condiciones.

El método de perforación utilizado fue ROTO-PERCUSIÓN con recuperación continua de muestra cada metro. Con la perforación se busca encontrar estratos competentes.

Se realizan seis (6) perforaciones distribuidas en el área crítica, en el costado oriental del intercambiador, se siguen las recomendaciones del CCP-2014 NSR-10 Y MANUAL DE CIMENTACIONES DEL INVÍAS

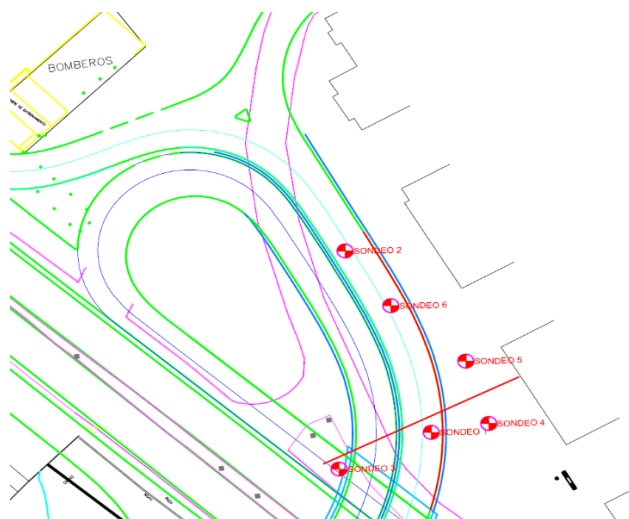
Tabla 2. Características de los sondeos realizados

SONDEO	PROF TOTAL	NIVEL FREÁTICO	COTA EJECUSIÓN	COORD. E	COORD. N
S1	14.40	9.90	1020.7	1113525	1265610
S2	9.0	NO	1020.5	1113510	1265646
S3	15.0	8.0	1019.5	1113509	1265603

SONDEO	PROF TOTAL	NIVEL FREÁTICO	COTA EJECUCIÓN	COORD. E	COORD. N
S4	15.2	NO	1021	1113529	1265607
S5	16.9	5.50	1020	1113531	1265625
S6	9	NO	1020.5	1113518	1265636

Particularmente en la perforación No. 1 se encontró un estrato de suelo muy débil a una profundidad de 9.90m, y con un espesor aproximado de 1,0m. El sector donde se realizó la perforación se hará una excavación de aproximadamente 8.0m, la zona débil existente puede ser un estrato no competente que se convierte en una potencial superficie de falla cuando se realice la excavación para el deprimido, desestabilizando parte del barrio San Francisco, afectando directamente las viviendas existentes adyacentes al intercambiador.

Ilustración 8. Ubicación de las perforaciones



5.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CON SONDEOS

Se hace una visita de reconocimiento, análisis geológico y geomorfológico de la zona predefinida detallando las formaciones locales y geología estructural que puedan afectar el funcionamiento de las obras.

Se realiza perforación de acuerdo a profundidad preestablecida de exploración o hasta encontrar macizo rocoso recuperando muestras cada metro y distribuidas como se mostró anteriormente en el presente informe.

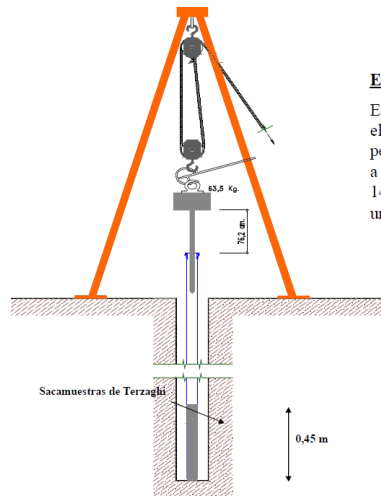
Se escogieron las muestras representativas de cada uno de los estratos, cada metro y se clasificaron en el laboratorio; los resultados se presentan como anexos.

La siguiente es la forma como se ejecutaron las perforaciones que en este documento se muestran, por consiguiente, dichos pasos fueron:

- Selección del punto de perforación de acuerdo con las características de la zona y sitio establecido para el puente.
- Adecuación del área a trabajar para ser instalado el equipo de perforación mecánico, con tubería de diámetro NQ, HQ o AW.
- Montaje del equipo de perforación en el sitio establecido.
- Se penetra inicialmente con SPT y luego Rotación cuando se presente Rechazo, se extraen muestras del subsuelo para realizar la descripción de las mismas, registrando el número de golpes necesarios para penetrar el suelo, recuperación y RQD cuando aplique.
- Se realiza el archivo fotográfico, para así poder especificar claramente las abreviaciones que allí se presentan.
- Conservación de las muestras en papel aluminio y vinipel, etiquetándolas.
- Se guardan las muestras en las cajas de transporte.
- Se recoge el equipo de perforación y se limpia el sector dejándolo en el estado que se encontraba.

- Se llevan las muestras al laboratorio.
- Luego se procede a realizar los distintos ensayos y caracterización geológica de los materiales para obtener las características de los suelos y sus propiedades.

Ilustración 9. Esquema Ensayo SPT



ENSAYO DE CAMPO

Ensayo normal de penetración:

Es el número de golpes necesario para que el sacamuestras normalizado de Terzaghi penetre en el terreno virgen 30 cm cuando a la cañería se la golpea con un martillo de 140 lb (63,5 kg) que se deja caer desde una altura de 30 pulgadas (76,2 cm)

Ilustración 10. Esquema muestreador SPT

MUESTREADOR TERZAGHI Norma ASTM 1586

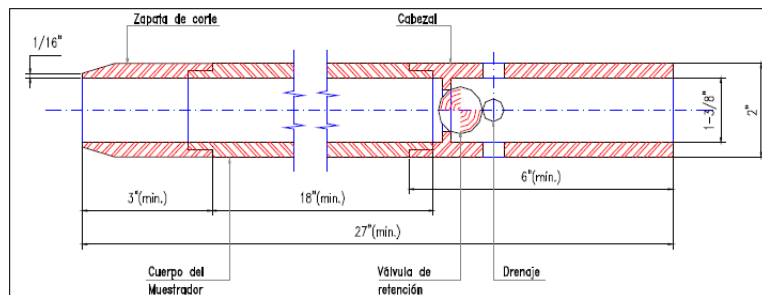
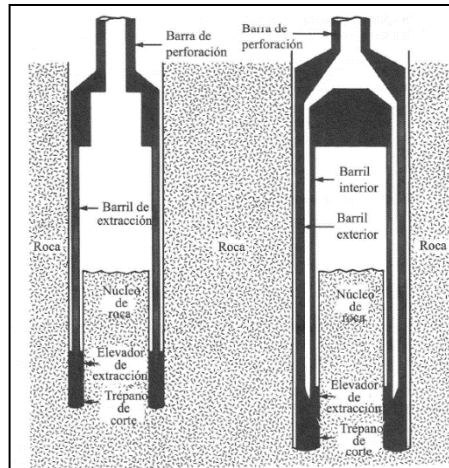


Ilustración 11. Esquema de una barrena



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica BRAJA DAS

5.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Es necesario caracterizar el material recuperado en campo, por lo que es necesario hacer un análisis en laboratorio realizando diferentes ensayos mostrados a continuación:

GRAULOMETRÍA: I.N.V E 123-13

LÍMITES DE CONSISTENCIA: I.N.V E 125-07 y I.N.V E 126-13

HUMEDAD NATURAL: I.N.V E 122-13

COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA

CORTE DIRECTO EN SUELO

El procedimiento para realizar cada ensayo se encuentra en la norma mencionada.

La finalidad de realizar ensayos de laboratorio es obtener diferentes parámetros para describir el perfil litológico y para poder calcular otros parámetros de

resistencia como ángulo de fricción, cohesión y con ellos predecir asentamientos, determinar capacidad de soporte, hacer análisis de estabilidad etc. Es importante relacionar la información obtenida en campo y en laboratorio para obtener un modelo que se adapte más a la realidad.

La caracterización adecuada de los materiales permite determinar la composición de los materiales.

5.5 PERFILES LITOLÓGICOS Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Se muestran en un perfil los resultados de laboratorio y caracterización de los materiales obtenidos en campo mediante perforaciones o apiques. Los informes individuales de cada ensayo se muestran en los anexos. Los procedimientos de ensayo se describen en cada norma.

Sondeo 1

Tabla 3. Perfil con propiedades Sondeo 1

PROFUNDIDAD (m)		No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	DESCRIPCIÓN MUESTRA ANALIZADA EN LABORATORIO	S.U.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	% PASA 200	% RECUPERACION	% RQD
DE	HASTA		0-6"	6"-9"	9"-12"										
0,00	0,45	1	6	6	6	12	Arena arcillosa suelta, color amarillo naranja.	SC	14,49	28,9	20	8,9	24	55	N.A.
0,45	0,90		8	6	6	12									
0,90	1,35	2	7	8	10	18	Grava arcillosa con arenas de densidad media, color pardo arcilla.	GC	9,03	27,3	19,7	7,6	20	60	
1,35	1,80		10	11	12	23									
1,80	2,25	3	11	11	13	24	Arena arcillosa con gravas de densidad media, color pardo anaranjado.	SC	11,11	30	19,7	10,3	26,1	60	
2,25	2,70		12	14	13	27									
2,70	3,15	4	13	14	14	28	Arena arcillosa densa, color amarillo naranja.	SC	11,38	35,1	19,7	15,4	38,3	60	
3,15	3,60		15	13	16	29									
3,60	4,05	5	8	8	5	13	Arena arcillosa con gravas de densidad media, color pardo arcilla.	SC	18,87	32,2	21,8	10,5	24,6	58	
4,05	4,50		5	6	6	12									
4,50	4,95	6	6	6	7	13	Arena arcillosa de densidad media, color rojo beige.	SC	11,32	29,6	17,9	11,7	25,8	65	
4,95	5,40		7	5	6	11									
5,40	5,85	7	6	8	8	16	Arena arcillosa de densidad media, color pardo verdoso.	SC	12,84	33,1	19,5	13,5	28,1	72	
5,85	6,30		9	9	10	19									
6,30	6,75	8	10	10	12	22	Arena arcillosa con gravas, densidad media, color pardo arcilla.	SC	19,14	36,7	20,8	15,9	27,1	30	
6,75	7,20		13	14	14	28									
7,20	7,65	9	14	16	16	32	Arena arcillosa densa, color pardo arcilla.	SC	19,4	33,7	19,6	14,1	36,6	80	
7,65	8,10		15	14	17	31									
8,10	8,55	10	17	18	18	36	Arena arcillosa con grava, densa, color pardo anaranjado.	SC	19,82	38,9	21,8	17,1	33,2	75	
8,55	9,00		20	21	23	44									
9,00	9,45	11	23	23	22	45	Grava mal gradada ligeramente limosa, densa, con arenas, color pardo anaranjado.	GP-GM	13,49	19,6	1,7	2,8	8,1	73	
9,45	9,90		24	23	24	47									
9,90	10,35	-	1	1	1	2	No se recupera.	-	-	-	-	-	-	0	
10,35	10,80		1	1	1	2									
10,80	11,25	12	20	23	24	47	Grava bien gradada ligeramente arcillosa, densa, con arenas, color pardo arcilla.	GW-GC	14,04	23,5	18,8	4,6	6,6	71	
11,25	11,70		25	23	23	46									
11,70	12,15	13	24	25	30	55	Arena limosa con grava, muy densa, color rojo oliva.	SM	15,18	26,8	23,7	3,1	17,4	48	
12,15	12,60		30	32	32	64									
12,60	13,05	14	35	35	40	75	Arena arcillosa muy densa, color rojo violeta.	SC	11,53	28,6	19,4	9,1	41,3	44	
13,05	13,50		42	42	43	85									
13,50	13,95	15	42	42	42	84	Arena arcillosa con grava, muy densa, color rojo violeta.	SC	14,31	29,6	18,4	11,2	41,4	55	
13,95	14,40		43	45	45	90									

Sondeo 2

Tabla 4. Perfil con propiedades sondeo 2

PROFUNDIDAD (m)		No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	DESCRIPCIÓN MUESTRA ANALIZADA EN LABORATORIO	S.U.C.S.	HUMEDAD NATURAL (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO	% PASA 200	% RECUPERACIÓN	% ROD																																																																																																																																																															
DE	HASTA		0 - 5'	5' - 10'	10' - 15'																																																																																																																																																																									
0,00	0,50	1	6	6	12	18	Arena arcillosa con grava, densidad media, color pardo anaranjado.	SC	11,13	21,5	20,7	8,7	23,9	60	N.A																																																																																																																																																															
0,50	1,00		12	15	16	31										1,00	1,50	2	15	15	12	27	Arena arcillosa ligeramente limosa, densidad media, color pardo anaranjado.	SC-SM	5,69	23,4	18,9	4,5	30,1	62	1,50	2,00	21	30	31	61	2,00	2,50	3	21	25	26	51	Arena arcillosa ligeramente limosa con grava, muy densa, color pardo anaranjado.	SC-SM	6,36	23,6	17,4	6,2	23	74	2,50	3,00	38	35	45	80	3,00	3,50	4	10	14	19	33	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,73	32,3	20,3	12,9	72,8	35	3,50	4,00	21	25	20	45	4,00	4,50	5	11	12	16	28	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,44	39	24,4	14,5	68,7	34	4,50	5,00	20	20	25	45	5,00	5,50	6	10	21	21	42	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	22,97	31,1	24,4	8,7	77,5	50	5,50	6,00	21	21	20	41	6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44	6,50	7,00	20	20	22	42	7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5
1,00	1,50	2	15	15	12	27	Arena arcillosa ligeramente limosa, densidad media, color pardo anaranjado.	SC-SM	5,69	23,4	18,9	4,5	30,1	62																																																																																																																																																																
1,50	2,00		21	30	31	61										2,00	2,50	3	21	25	26	51	Arena arcillosa ligeramente limosa con grava, muy densa, color pardo anaranjado.	SC-SM	6,36	23,6	17,4	6,2	23	74	2,50	3,00	38	35	45	80	3,00	3,50	4	10	14	19	33	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,73	32,3	20,3	12,9	72,8	35	3,50	4,00	21	25	20	45	4,00	4,50	5	11	12	16	28	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,44	39	24,4	14,5	68,7	34	4,50	5,00	20	20	25	45	5,00	5,50	6	10	21	21	42	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	22,97	31,1	24,4	8,7	77,5	50	5,50	6,00	21	21	20	41	6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44	6,50	7,00	20	20	22	42	7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108												
2,00	2,50	3	21	25	26	51	Arena arcillosa ligeramente limosa con grava, muy densa, color pardo anaranjado.	SC-SM	6,36	23,6	17,4	6,2	23	74																																																																																																																																																																
2,50	3,00		38	35	45	80										3,00	3,50	4	10	14	19	33	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,73	32,3	20,3	12,9	72,8	35	3,50	4,00	21	25	20	45	4,00	4,50	5	11	12	16	28	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,44	39	24,4	14,5	68,7	34	4,50	5,00	20	20	25	45	5,00	5,50	6	10	21	21	42	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	22,97	31,1	24,4	8,7	77,5	50	5,50	6,00	21	21	20	41	6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44	6,50	7,00	20	20	22	42	7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108																																	
3,00	3,50	4	10	14	19	33	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,73	32,3	20,3	12,9	72,8	35																																																																																																																																																																
3,50	4,00		21	25	20	45										4,00	4,50	5	11	12	16	28	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,44	39	24,4	14,5	68,7	34	4,50	5,00	20	20	25	45	5,00	5,50	6	10	21	21	42	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	22,97	31,1	24,4	8,7	77,5	50	5,50	6,00	21	21	20	41	6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44	6,50	7,00	20	20	22	42	7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108																																																						
4,00	4,50	5	11	12	16	28	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	20,44	39	24,4	14,5	68,7	34																																																																																																																																																																
4,50	5,00		20	20	25	45										5,00	5,50	6	10	21	21	42	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	22,97	31,1	24,4	8,7	77,5	50	5,50	6,00	21	21	20	41	6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44	6,50	7,00	20	20	22	42	7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108																																																																											
5,00	5,50	6	10	21	21	42	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	22,97	31,1	24,4	8,7	77,5	50																																																																																																																																																																
5,50	6,00		21	21	20	41										6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44	6,50	7,00	20	20	22	42	7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108																																																																																																
6,00	6,50	7	10	20	20	40	Arcilla de baja plasticidad, dura, color rojo violeta.	CL	18,48	32,3	21,9	10,4	86,9	44																																																																																																																																																																
6,50	7,00		20	20	22	42										7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34	7,50	8,00	34	45	50	95	8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108																																																																																																																					
7,00	7,50	8	21	29	34	63	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, dura, color rojo violeta.	CL	17,81	29,6	20,5	9,1	62,9	34																																																																																																																																																																
7,50	8,00		34	45	50	95										8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36	8,50	9,00	50	50	58	108																																																																																																																																										
8,00	8,50	9	34	49	48	97	Arcilla arenosa inorgánica de plasticidad baja, muy dura, color rojo violeta.	CL	15,48	29,5	20,5	9,1	73,9	36																																																																																																																																																																
8,50	9,00		50	50	58	108																																																																																																																																																																								

Sondeo 3

Tabla 5. Perfil con propiedades sondeo 3

PROFUNDIDAD (m)		No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	DESCRIPCIÓN MUESTRA ANALIZADA EN LABORATORIO	S.U.C.S.	HUMEDAD NATURAL (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO	% PASA 200	% RECUPERACIÓN	% ROD
DE	HASTA		0 - 6"	6" - 9"	9" - 12"										
0,00	0,50	1	3	3	3	6	Muestra compuesta por arenas bien gradadas ligeramente limosas y con gravas (Suelo aluvial). Color gris	SW-SM	6,08	NL	NP	-	11	70	N.A
0,50	1,00		5	5	6	11									
1,00	1,50	2	5	7	8	15	Muestra compuesta por arena limosa con gravas (Suelo aluvial). Color gris.	SM	10,1	24,1	21,5	2,6	21,9	80	
1,50	2,00		20	30	51	81									
2,00	2,50	3	BARRENA NQ			Muestra compuesta por arenas mal gradadas y núcleos de roca de 20cm y 10 cm. (suelo aluvial). Color gris	SP	13,11	NL	NP	-	3,1	35		
2,50	3,00														
3,00	3,50														
3,50	4,00														
4,00	4,50														
4,50	5,00														
5,00	5,50	4	40	50	RECHAZO		Muestra compuesta por gravas mal gradadas con arenas y fragmentos de roca de 22cm. (Suelo aluvial). Color gris.	GP	14,5	NL	NP	-	0,9	28	
5,50	6,00		BARRENA NQ												
6,00	6,50														
6,50	7,00														
7,00	7,50	5	50	RECHAZO REBOTE		Muestra compuesta por arenas mal gradadas ligeramente limosas y con gravas. (Fragmentos de roca). Color rojo rubí.	SP-SM	2,88	NL	NP	-	11,7	25		
7,50	8,00		BARRENA NQ												
8,00	8,50														
8,50	9,00														
9,00	9,50														
9,50	10,00														
10,00	10,50	6	50	RECHAZO REBOTE		Muestra compuesta por gravas bien gradadas ligeramente limosas y con arenas (fragmentos de roca). Color rojo rubí.	GW-GM	3,17	NL	NP	-	5,4	25		
10,50	11,00		BARRENA NQ												
11,00	11,50														
11,50	12,00														
12,00	12,50														
12,50	13,00														
13,00	13,50	7	50	RECHAZO REBOTE		Muestra compuesta por gravas bien gradadas ligeramente limosas y con arenas (fragmentos de roca). Color rojo rubí.	GW-GM	4,74	NL	NP	-	5,3	28		
13,50	14,00		BARRENA NQ												
14,00	14,50														
14,50	15,00		50	RECHAZO REBOTE											

Sondeo 4

Tabla 6. Perfil con propiedades sondeo 4

PROFUNDIDAD (m)		No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	DESCRIPCIÓN MUESTRA ANALIZADA EN LABORATORIO	S.U.C.S.	HUMEDAD NATURAL (%)	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	% PASA 200	% RECUPERACION	% ROD
DE	HASTA		0 - 5"	5 - 10"	10 - 15"										
0,00	0,45	1	3	8	13	21	Muestra compuesta por arenas arcillosas, humedad media, compacidad relativa media a densa, color marrón. Muestra contiene algo de materia orgánica.	SC	16,57	32,92	21,71	11,23	36,5	70	
0,45	0,90		15	12	11	23									
0,90	1,35		6	4	3	7									
1,35	1,80		8	7	10	17									
1,80	2,25		10	14	11	25									
2,25	2,70		8	7	6	13									
2,70	3,15		6	8	16	24									
3,15	3,60		18	20	39	59									
3,60	4,30	2	BARRENA HQ			39	Muestra compuesta por arenas bien gradadas ligeramente limosas, compacidad relativa densa, humedad baja, color marrón, muestra contiene materia orgánica.	SP-SM	7,88	-	-	-	10	25	
4,30	4,75		12	19	20										
4,75	5,20	3	BARRENA HQ			34	Muestra compuesta por arenas arcillosas, humedad media, compacidad relativa media a densa, color marrón. Muestra contiene algo de materia orgánica.	SC	21,29	34,39	21,37	13,02	23,5	30	
5,20	6,25		BARRENA HQ												
6,25	6,70		12	16	18										
6,70	7,15	4	BARRENA HQ			34	Muestra compuesta por arenas arcillosas, humedad media, compacidad relativa densa, color marrón. Muestra contiene algo de materia orgánica.	SC	21,29	38,52	20,38	18,14	34	20	
7,15	7,60		BARRENA HQ												
7,60	8,20		40	RECHAZO											
8,20	8,65		BARRENA HQ												
8,65	9,10		BARRENA HQ												
9,10	9,70		44	RECHAZO											
9,70	10,15		BARRENA HQ												
10,15	10,60		BARRENA HQ												
10,60	11,20	BARRENA HQ													
11,20	11,65	5	42	RECHAZO		34	Muestra compuesta por arenas limosas, humedad media, compacidad relativa densa, color gris amarillento.	SM	15,66	-	-	-	-	10	
11,65	12,10		BARRENA HQ												
12,10	12,70		BARRENA HQ												
12,70	13,15	6	44	RECHAZO		34	Muestra compuesta por gravas arcillosas con arenas, humedad media, compacidad relativa densa. Muestra proviene de fragmentos de roca y suelo residual, color rojizo.	GC	13,67	31,06	18,35	12,71	31,8	45	
13,15	13,60		BARRENA HQ												
13,60	14,05		BARRENA HQ												
14,05	14,20		BARRENA HQ												
14,20	14,65	7	44	RECHAZO		34	Muestra compuesta por arenas arcillosas ligeramente limosas, humedad media, compacidad relativa densa a muy densa, color rojizo.	SC-SM	17,62	23,24	16,32	6,93	20,1	35	
14,65	15,10		BARRENA HQ												
15,10	15,20		BARRENA HQ												

N.A

Sondeo 5

Tabla 7. Perfil con propiedades sondeo 5

PROFUNDIDAD (m)		No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	DESCRIPCIÓN MUESTRA ANALIZADA EN LABORATORIO	S.U.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	% PASA 200	% RECUPERACION	% ROD
DE	HASTA		0 - 6"	6" - 12"	12" - 18"										
0,00	0,45	1	2	3	4	7	Muestra compuesta por arenas arcillosas, compacidad relativa de media a densa, humedad media, plasticidad media, color marrón. Muestra contiene fragmentos de roca y materia orgánica.	SC	12,26	38,71	22,5	16,21	42,5	85	
0,45	0,90		5	3	8	11									
0,90	1,35		10	9	8	17									
1,35	1,80		6	12	13	25									
1,80	2,25		11	11	12	23									
2,25	2,70		15	19	26	45									
2,70	3,15		12	15	18	33									
3,15	3,60		16	19	20	39									
3,60	4,05	2	BARRENA HQ				Muestra compuesta por arenas arcillosas, compacidad relativa de media a densa, humedad media, plasticidad media, color marrón. Muestra contiene fragmentos de roca y materia orgánica.	SC	13,87	33,27	21,21	12,06	39,2	45	
4,05	4,30		7	9	8	17									
4,30	4,75		8	6	4	10									
4,75	5,20		2	1	1	2									
5,20	5,65		1	1	1	2									
5,65	6,10		2	1	2	3									
6,10	6,55		2	1	1	2									
6,55	7,00		4	13	17	30									
7,00	7,45	20	24	40	64										
7,45	7,90	3	BARRENA HQ				Muestra compuesta por arenas mal gradadas, plasticidad baja, ligeramente limosas, con algo de material orgánico, compacidad relativa densa, color gris.	SP-SM	15,73	-	-	-	-	15	
7,90	8,35		BARRENA HQ												
8,35	8,80		BARRENA HQ												
8,80	9,40		40	RECHAZO											
9,40	9,85		BARRENA HQ												
9,85	10,30		44	RECHAZO											
10,30	10,90		BARRENA HQ												
10,90	11,35		BARRENA HQ												
11,35	11,80		BARRENA HQ												
11,80	12,40		40	RECHAZO											
12,40	12,85	BARRENA HQ													
12,85	13,30	BARRENA HQ													
13,30	15,90	4	42	RECHAZO			Muestra compuesta por arenas mal gradadas, plasticidad baja, ligeramente limosas, humedad alta, provenientes de suelo residual. color rojizo.	SP-SM	18,61	-	-	-	-	12	
15,90	16,00		BARRENA HQ												
16,00	16,90	BARRENA HQ													

Sondeo 6

Tabla 8. Perfil con propiedades sondeo 6

PROFUNDIDAD (m)		No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	DESCRIPCIÓN MUESTRA ANALIZADA EN LABORATORIO	S.U.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO	% PASA 200	% RECUPERACIÓN	% RQD
DE	HASTA		0 - 6"	6" - 9"	9" - 12"										
0,00	0,45	1	1	2	6	8	Muestra compuesta por arenas arcillosas, compacidad relativa de media a densa, humedad media, plasticidad media, color marrón. Muestra contiene fragmentos de roca y materia orgánica.	SC	7,56	31,9	19,44	12,49	36,9	78	N.A
0,45	0,90		6	13	15	28									
0,90	1,35		8	10	13	23									
1,35	1,80		13	14	19	33									
1,80	2,25		18	23	20	43									
2,25	2,70		19	23	40	63									
2,70	3,15		BARRENA HQ												
3,15	3,40		BARRENA HQ												
3,40	3,85		10	12	14	26									
3,85	4,30	2	BARRENA HQ				Muestra compuesta por arenas limosas, compacidad relativa de media a densa, humedad media, plasticidad media, color marrón. Muestra contiene fragmentos de roca y materia orgánica.	SM	20	30,4	17,22	13,18	10	20	N.A
4,30	4,75		BARRENA HQ												
4,75	5,35		16	18	21	39									
5,35	5,80		BARRENA HQ												
5,80	6,25		BARRENA HQ												
6,25	6,70		BARRENA HQ												
6,70	7,30		BARRENA HQ												
7,30	7,75	13	34	40	74										
7,75	8,20	3	BARRENA HQ				Muestra compuesta por fragmentos de roca de color rojizo. Macizo rocoso muy fracturado. SPT PRESENTA RECHAZO.	-	-	-	-	-	-	-	-
8,20	8,65		BARRENA HQ												
8,65	9,10		BARRENA HQ												

5.6 PERFILES GEOTÉCNICOS

Para la caracterización del macizo rocoso se usa el criterio basado en el RQD, el cual se calcula como se indica a continuación.

El siguiente método de clasificación fue propuesto por Deere en 1964, con base en el Índice de Calidad de las rocas – RQD (Rock Quality Designation), basado en

el porcentaje de la recuperación del testigo de una perforación, el cual depende indirectamente del número de fracturas y grado de alteración del macizo.

Tabla 9. Descripción de la roca en función del RQD.

Descripción de la calidad geotécnica de la roca	Rango de valores RQD
Muy mala	0-25
Mala	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Excelente	>90

Con base en los anteriores perfiles mostrados y en la información geológica se realiza un perfil estratigráfico general para cada perforación identificando unidades geológicas y características del suelo.

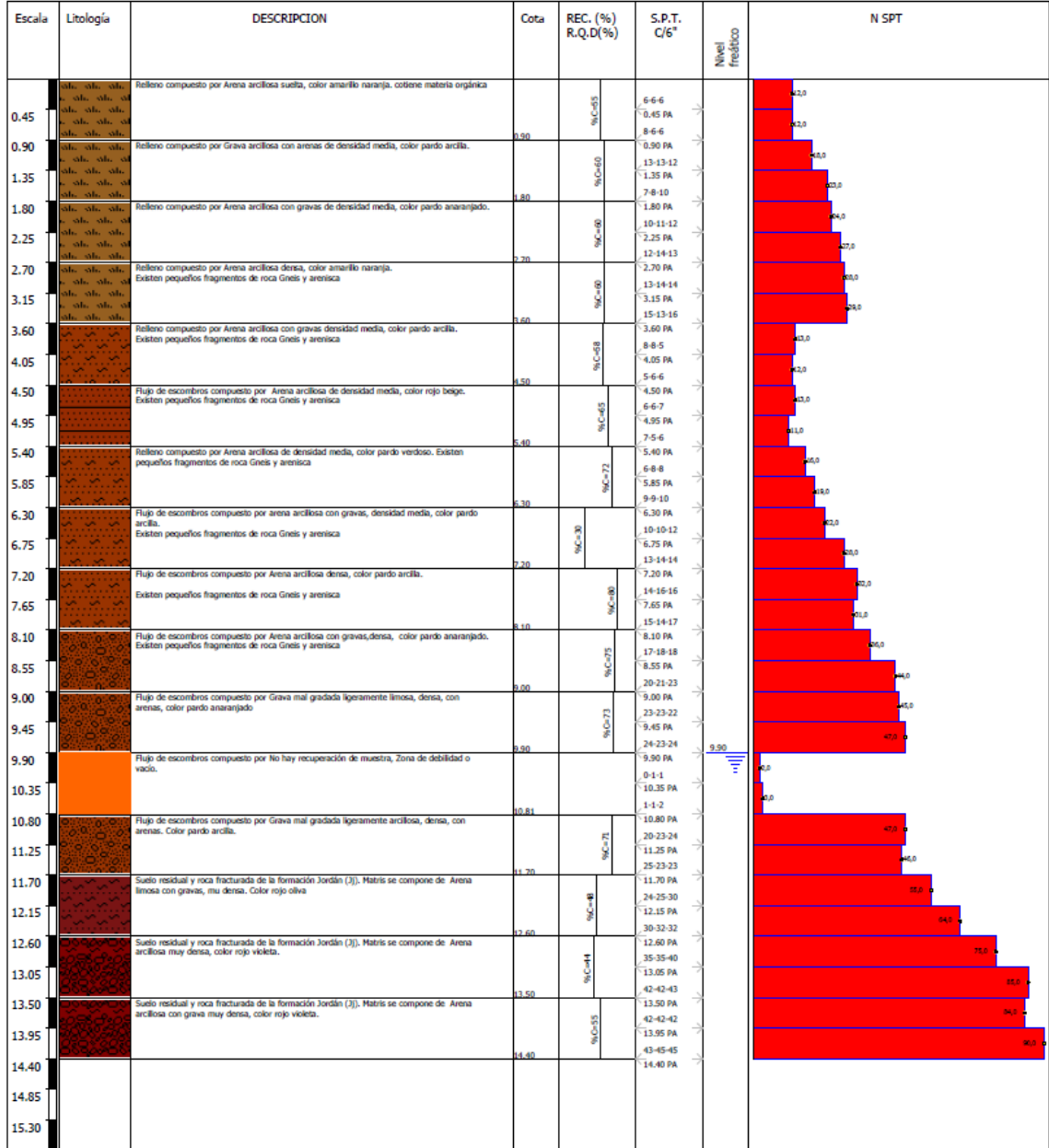
De acuerdo a las características del macizo rocoso y a la descripción en función del RQD se considera como de muy mala calidad en todos los sitios donde se realizaron perforaciones.

En los sondeos 1, 3 y 5 se encontró nivel freático, a las profundidades mencionadas anteriormente en el subcapítulo de perforaciones.

En la mayoría de los casos se encontró macizo rocoso (Limolitas rojas) de la formación Jordán o suelo residual de mismo (Limos duros rojos).

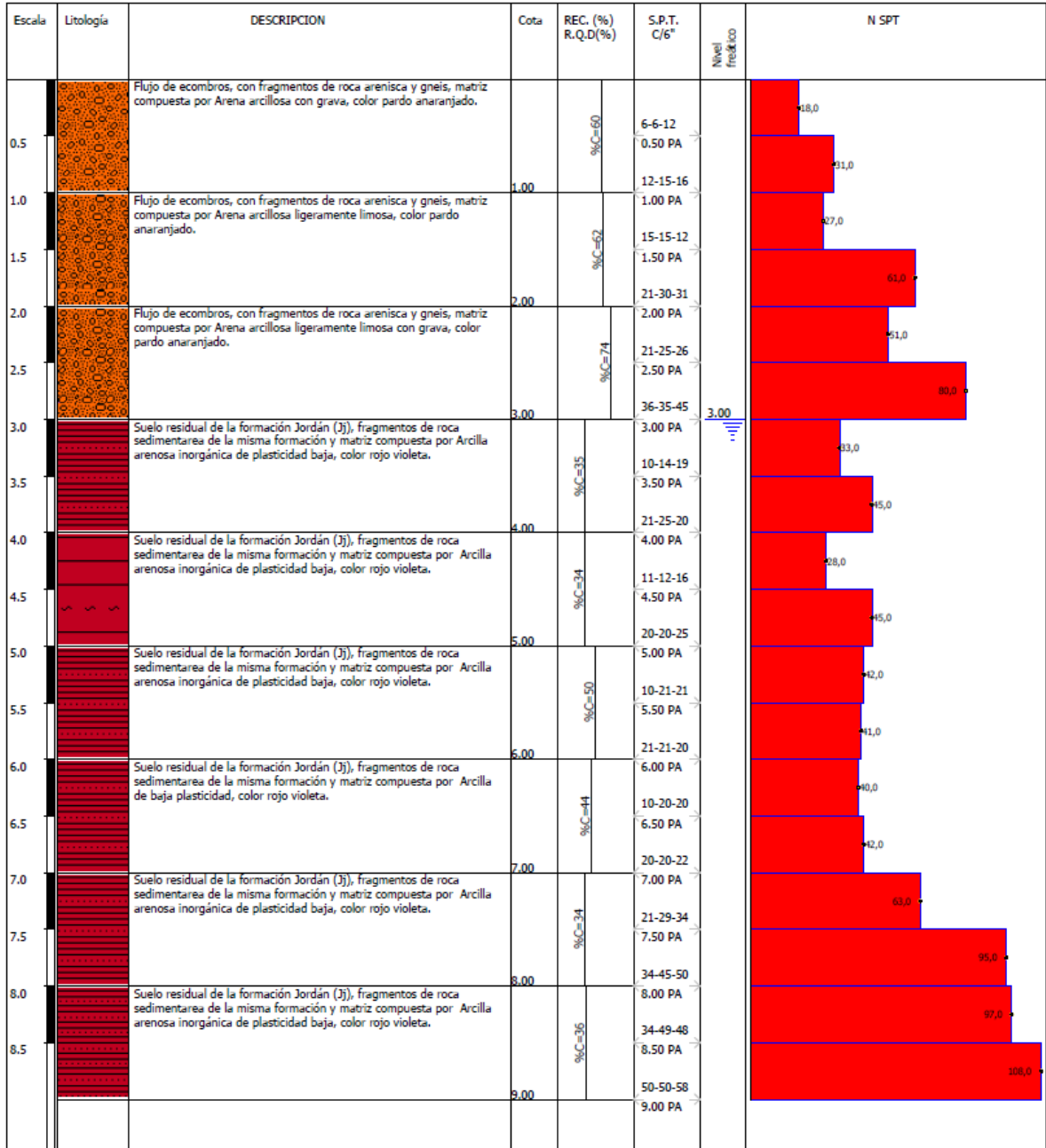
Perfil Geotécnico Sondeo 1

Ilustración 12. Perfil geotécnico sondeo 1



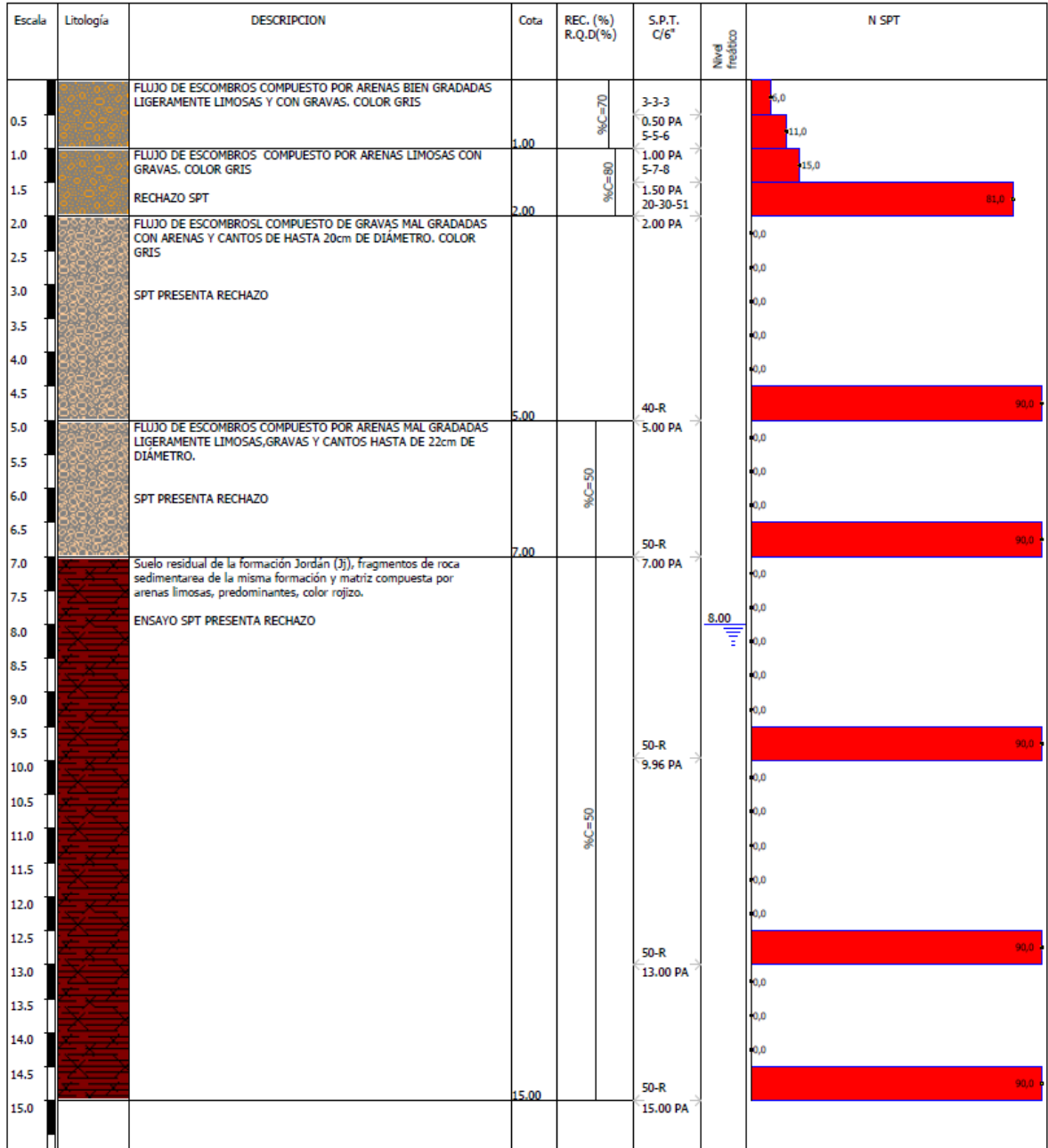
Perfil Geotécnico Sondeo 2

Ilustración 13. Perfil geotécnico sondeo 2



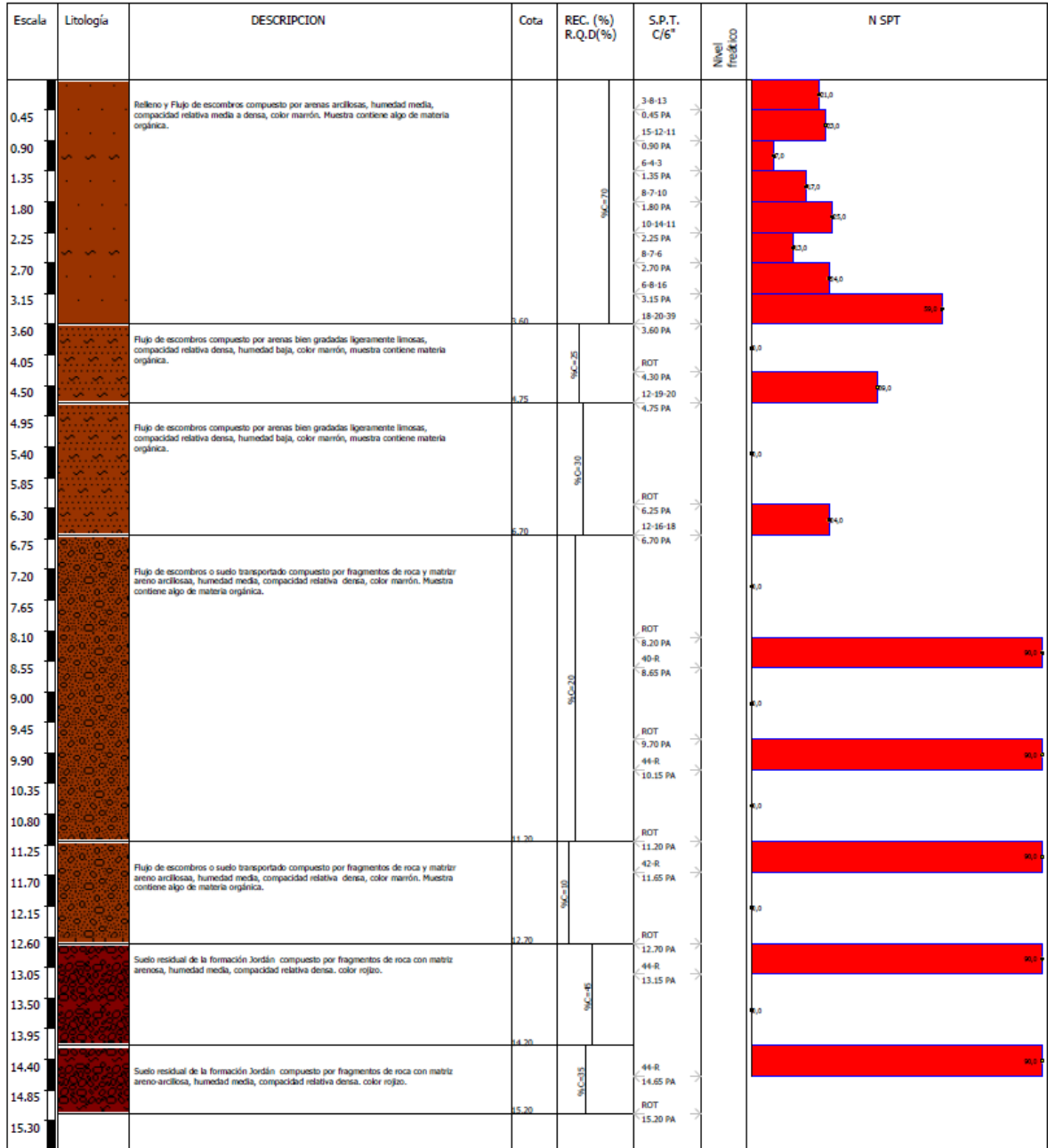
Perfil Geotécnico Sondeo 3

Ilustración 14. Perfil geotécnico sondeo 3



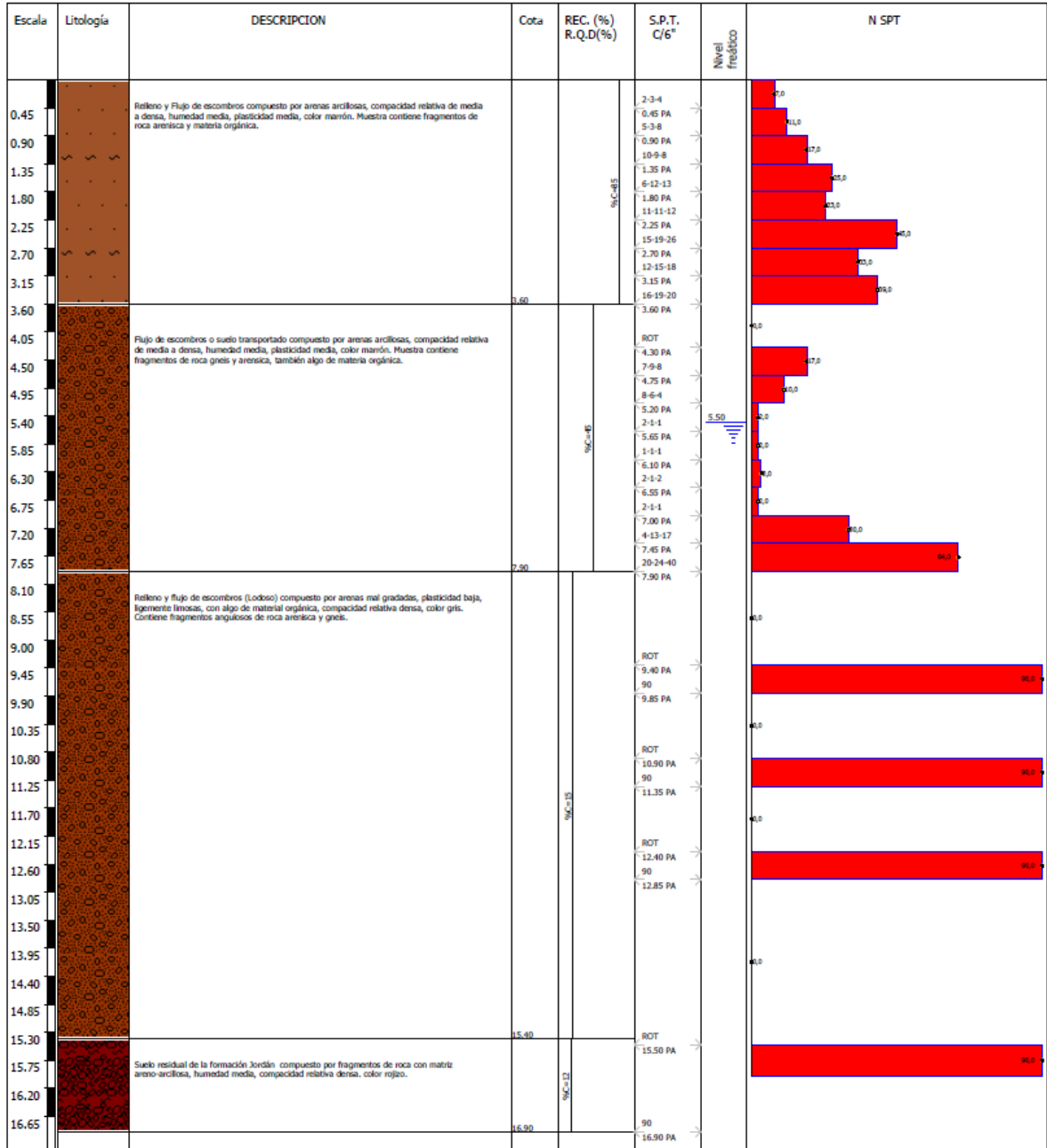
Perfil Geotécnico Sondeo 4

Ilustración 15. Perfil geotécnico sondeo 4



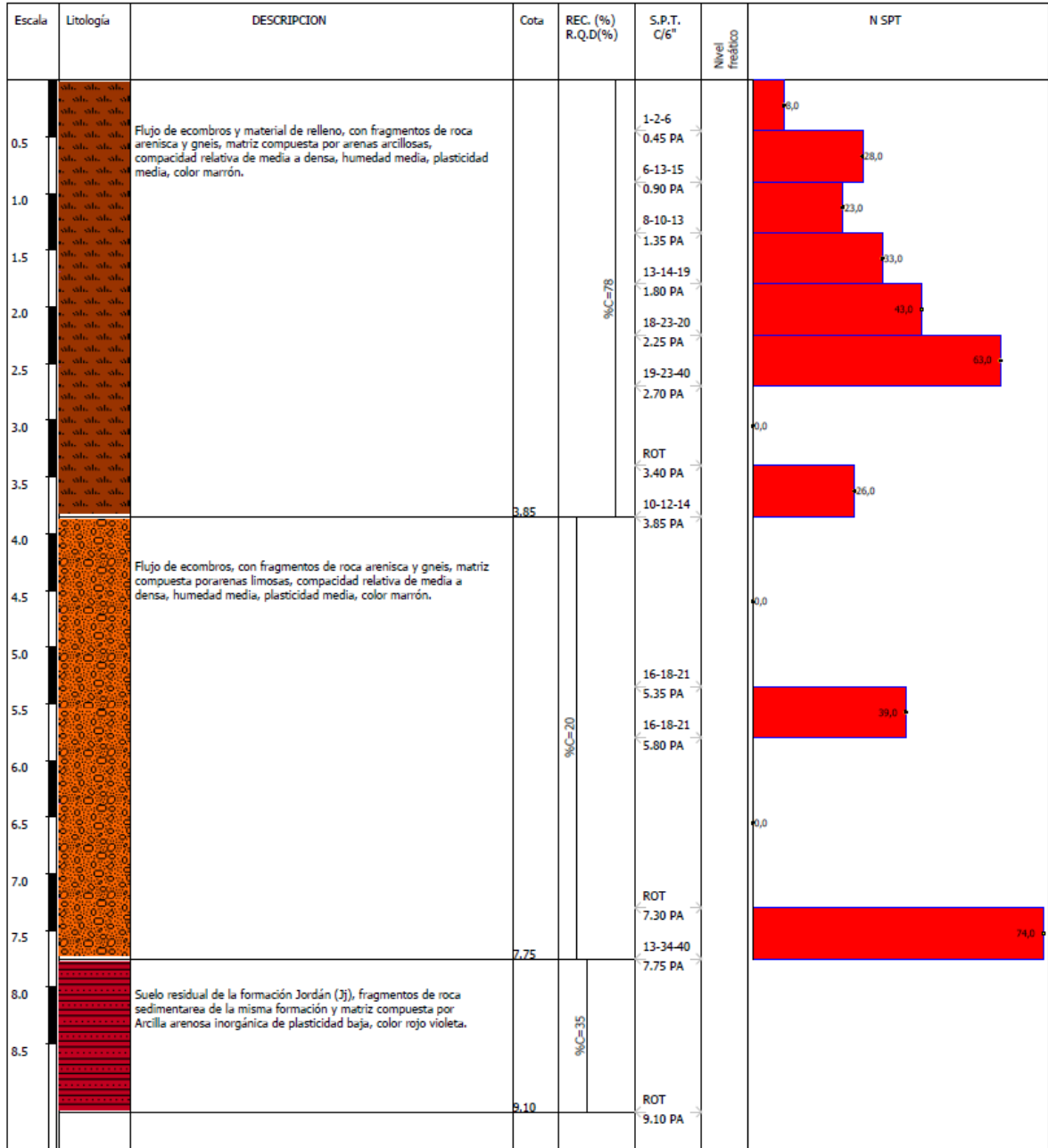
Perfil Geotécnico Sondeo 5

Ilustración 16. Perfil geotécnico sondeo 5



Perfil Geotécnico Sondeo 6

Ilustración 17. Perfil geotécnico sondeo 6



5.7 REGISTRO FOTOGRÁFICO PERFORACIONES

Se muestra un registro fotográfico de las perforaciones realizadas, mencionadas anteriormente.

Ilustración 18. Fotografía Sondeo 1



Ilustración 19. Fotografía Sondeo 1



Ilustración 20. Fotografía Sondeo 1



Ilustración 21. Fotografía Sondeo 2



Ilustración 22. Fotografía Sondeo 2



Ilustración 23. Fotografía Sondeo 3



Ilustración 24. Fotografía Sondeo 3



Ilustración 25. Fotografía Sondeo 4



Ilustración 26. Fotografía Sondeo 5



Ilustración 27. Fotografía Sondeo 6

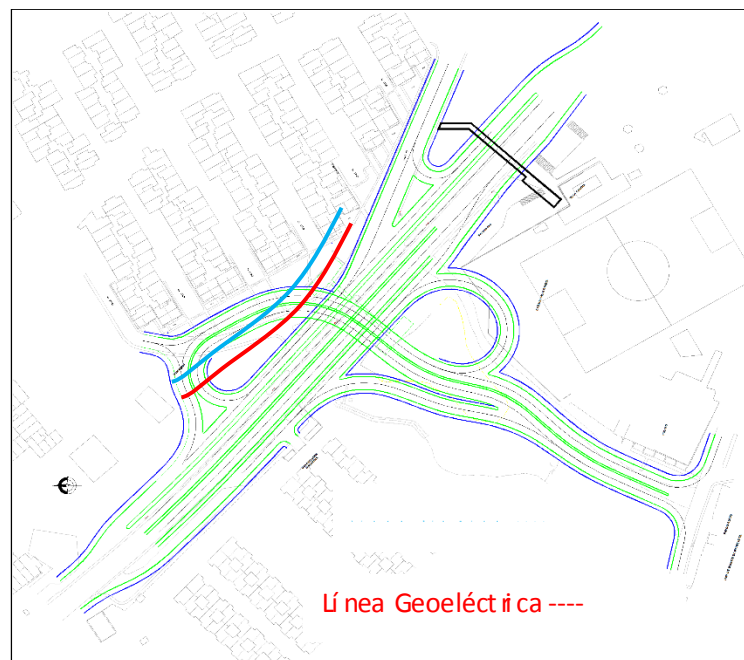


5.8 ESTUDIOS CON GEOFÍSICA

Se plantea la realización de una tomografía con refracción sísmica y con geoelectrica. La primera para determinar la profundidad de la roca y para determinar algunas propiedades elásticas del suelo necesarias para realizar cálculos más adelante. La segunda para determinar los niveles de Humedad del suelo y poder verificar la existencia de estratos saturados y débiles formados por depósitos recientes por donde pueda circular agua.

Las dos líneas se realizaron de manera paralela entre sí, y perpendiculares a la posible zona de falla presente en el sector determinada con perforaciones.

Ilustración 28. Ubicación Línea Sísmica y Geoelectrica



5.9 REGISTRO FOTOGRÁFICO GEOFÍSICA

Ilustración 29. Ubicación de línea Geoelectrica



Ilustración 30. Instalación de Electroodos

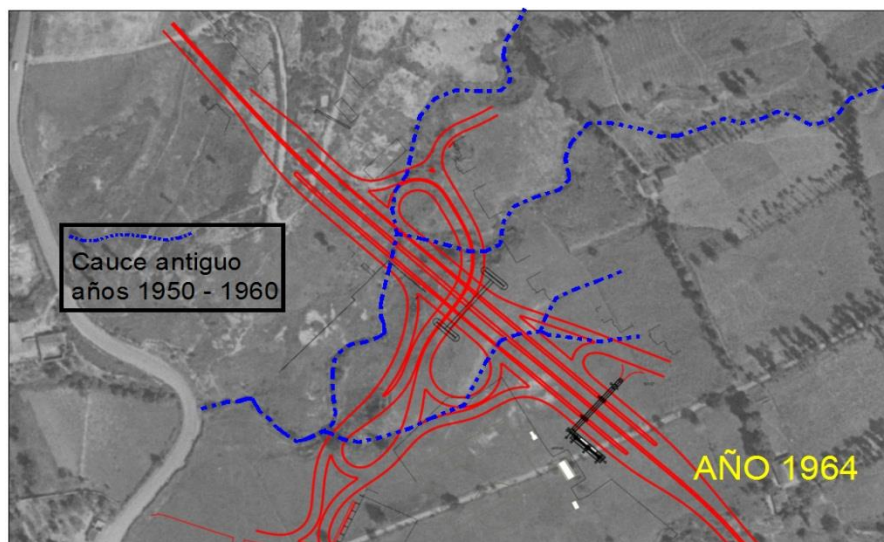


5.10 FOTOGRAFÍAS AÉREAS ANTIGUAS

Como complemento a la exploración geotécnica y en base a las teorías que mencionan la existencia de un cauce antiguo y posibles flujos de agua subterráneos se obtuvieron fotografías aéreas antiguas del sector, que confirman la existencia de antiguas quebradas, cubiertas con materiales no consolidados como flujo de escombros, materia orgánica, basura, escombros etc.

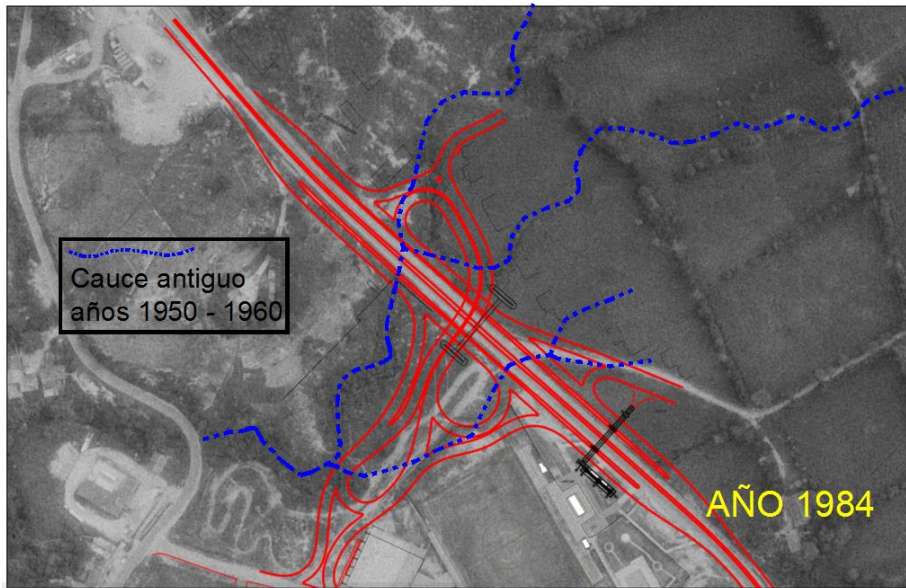
La secuencia de fotografías que a continuación se muestran, dejan ver el crecimiento urbano de la Ciudad de Piedecuesta, y la desaparición de quebradas antiguas, cubiertas posiblemente por suelos no consolidados e inadecuados.

Ilustración 31. Fotografía 1964



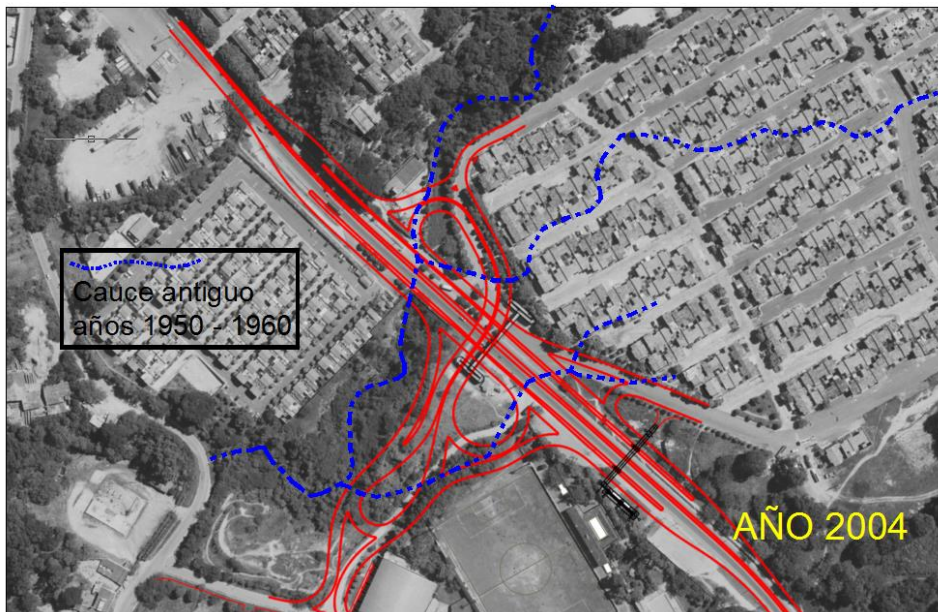
Fuente: Consorcio San Francisco

Ilustración 32. Fotografía 1984



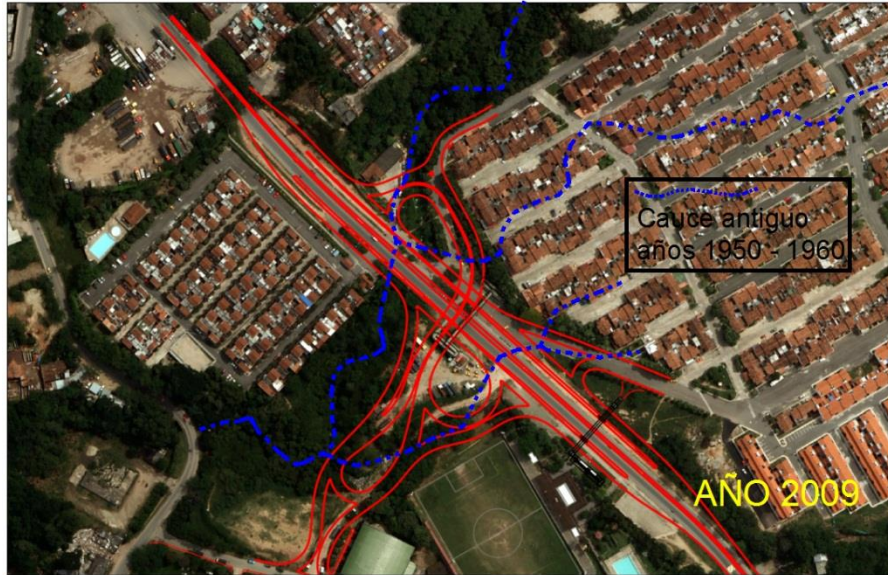
Fuente: Consorcio San Francisco

Ilustración 33. Fotografía 2004



Fuente: Consorcio San Francisco

Ilustración 34. Fotografía 2009



Fuente: Consorcio San Francisco

5.11 RESULTADOS TOMOGRAFÍA REALIZADA

Se hace una interpretación de la información obtenida en la realización de la tomografía. Para esto se tiene en cuenta la información encontrada en los sondeos existentes, Geología local, nuevos sondeos realizados e imágenes aéreas antiguas. A continuación, se muestra la secuencia de obtención de datos a partir de la información obtenida en campo.

Ilustración 35. Proceso de generación de la Tomografía

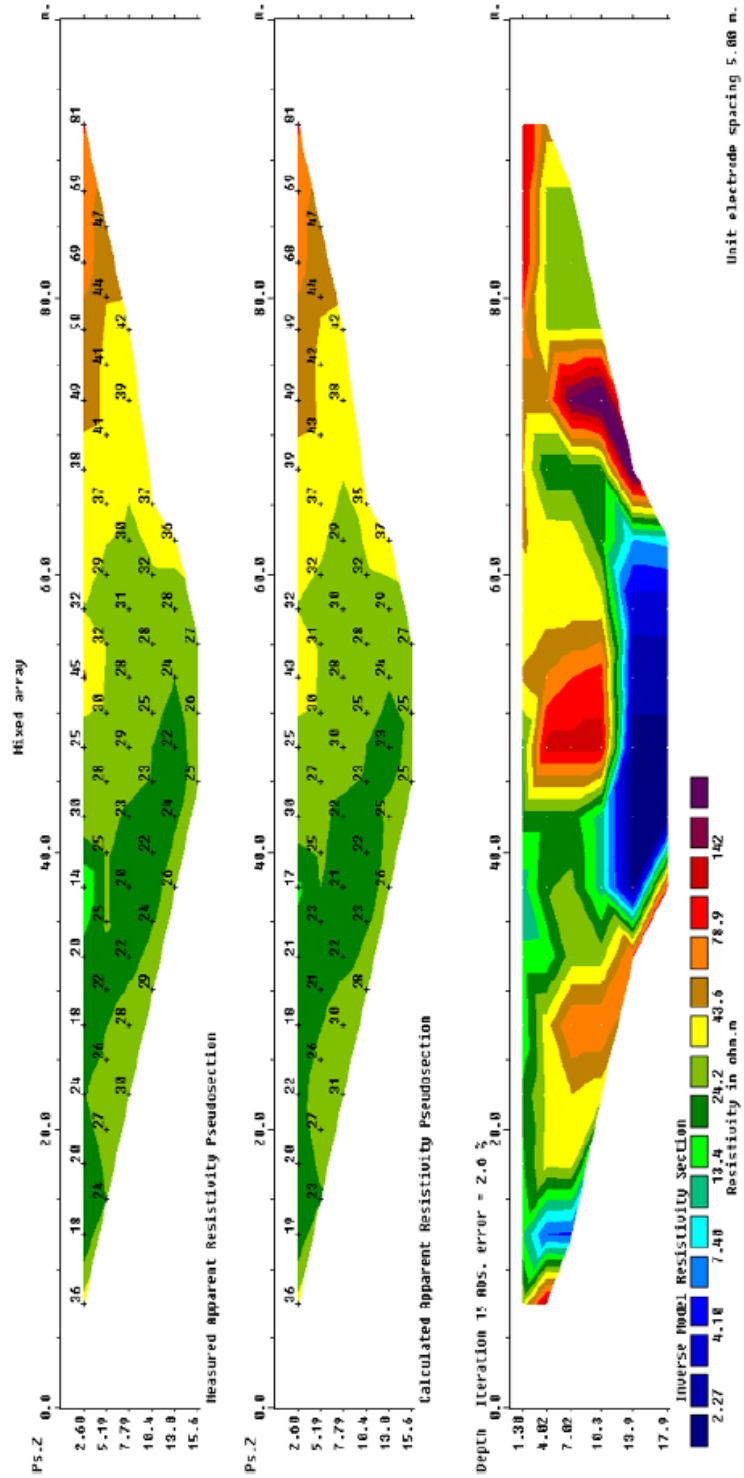
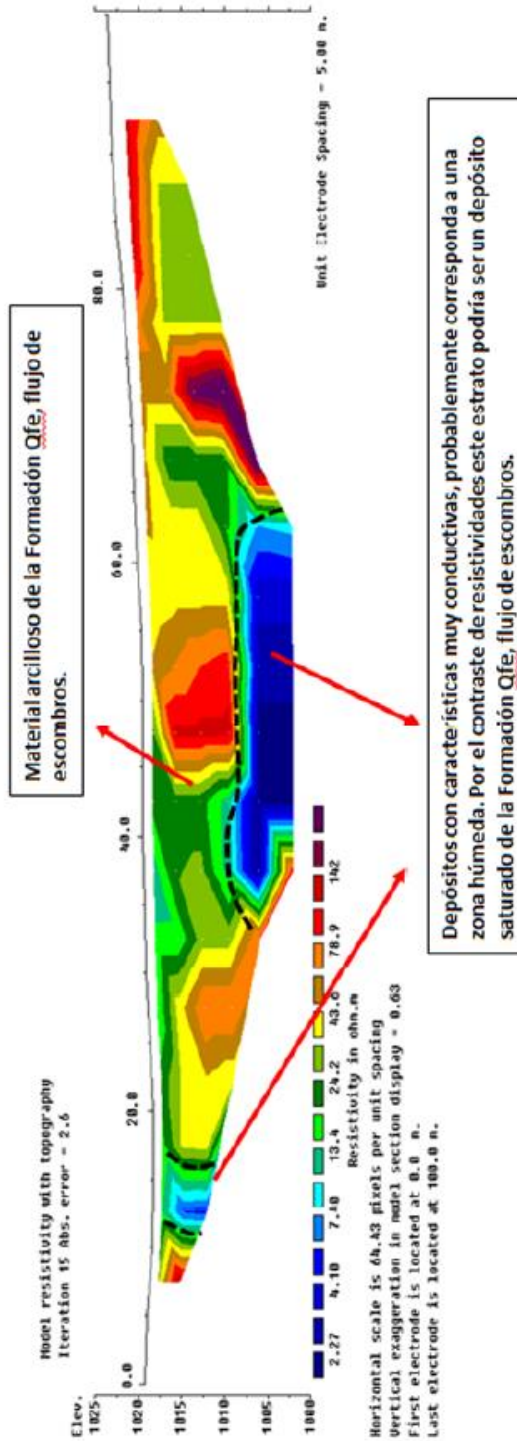


Ilustración 36. Resultado e Interpretación de la Tomografía



Se observa una zona con resistividades entre 20 Ωm y 150 Ωm , la cual podría correlacionarse con materiales arcillosos pertenecientes a flujo de escombros.

La tomografía 1 muestra un estrato con resistividades entre 2 Ωm y 15 Ωm , la cual podría correlacionarse con zonas de características muy conductivas, probablemente corresponda a una zona muy húmeda o saturada, por el contraste de resistividades este estrato podría ser un depósito saturado de flujo de escombros.

5.12 RESULTADOS LÍNEA SÍSMICA

Al igual que la tomografía geoelectrica se hace una interpretación de la información obtenida en la realización de la exploración, en este caso la línea sísmica permite medir velocidades de onda P. Para la interpretación se tiene en cuenta la información encontrada en los sondeos existentes, Geología local, nuevos sondeos realizados e imágenes aéreas antiguas. Se siguen los siguientes pasos para determinar el perfil.

Diseño: En esta etapa se planifica el levantamiento sísmico donde es importante el aprestamiento de información para conocer la viabilidad de la longitud del tendido sísmico la cual me garantizará la profundidad necesaria o requerida por el cliente. Se realiza geología de superficie para entender el entorno y las velocidades que se puedan esperar durante el procesamiento; se considera el tipo de estructuras geológicas del subsuelo.

Adquisición: Una vez realizado el diseño, se hace el trabajo de campo. Se verifica la posición de las líneas en campo y se realiza el tendido sísmico. Se toma registro de muestras geológicas, de suelos, si hay presencia de ríos, ruido

ambiental y registro fotográfico, entre otros, para la realización de un buen procesamiento.

Procesamiento: Se hace un pre-procesamiento mediante el software USB-Seismograph de la compañía PASI donde se determinan los primeros arribos y se hace uso de filtrado si es necesario para la eliminación de algún ruido obtenido en el registro de velocidades. Posteriormente, se realiza este procedimiento en el programa Pickwin de la compañía Geometrics, para obtener las tomografías sísmicas.

Interpretación: En esta última etapa, se miran las velocidades obtenidas, las cuales se agrupan y se correlacionan con la información geológica obtenida en campo.

Ilustración 37. Equipo Línea Sísmica

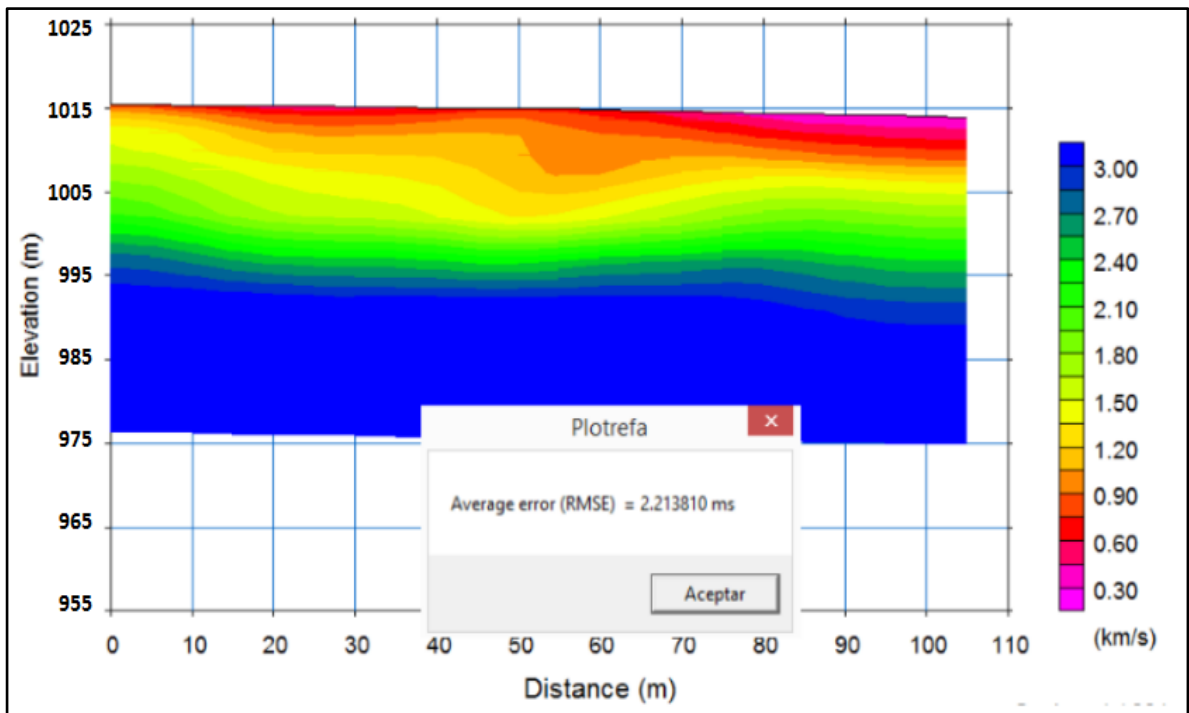


Sismógrafo 16S24-U con interface usb

- 2 x cable de geófonos, 12 salidas, 10 m de espaciamento

- 24 x geófonos
- 1 x martillo 18 lbs
- 1 x trigger (activador de señal)
- 1 x placa de aluminio
- 1 x Computador portátil

Ilustración 38. Tomografía sísmica Intercambiador San Francisco



El resultado de la tomografía a partir del procesamiento de la primera línea nos permite concluir que se presentan tres mantos de materiales, superficialmente con velocidades de onda cercana a los 300m/s se encuentran los rellenos recientes no consolidados seguidos de estratos un poco más rígidos correspondientes a flujo de escombros y suelos residuales de la formación Jordán. Finalmente aparece el macizo rocoso fracturado de la formación Jordán con Velocidades de onda entre 2000 m/s y 2500 m/s.

5.13 PARÁMETROS SÍSMICOS Y DINÁMICOS

Teniendo en cuenta la información obtenida de la línea sísmica es posible calcular algunos parámetros para cada uno de los estratos, dichos parámetros servirán para la elaboración de un modelo analítico.

Mediante la línea sísmica se definieron tres estratos con espesores variables, no fue posible detectar la zona de debilidad debido a que la refracción sísmica funciona siempre y cuando existan estratos más duros proporcionales a la profundidad.

Tabla 10. Estratos definidos, Vp y Vs (m/s)

ESTRATO	VELOCIDAD DE ONDA P m/s	VELOCIDAD DE ONDA S m/s	ESPESOR [m]
1	700	350	4 a 6
2	1800	900	6 a 10
3	2500	1250	>10

Con base en las velocidades de onda es posible calcular el módulo de elasticidad para posteriormente realizar análisis de deformaciones. Se usa la siguiente correlación para el cálculo:

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$E = \frac{\rho V_p^2 (1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

Tabla 11. Parámetros dinámicos y Elásticos del Suelo f (Vp y Vs)

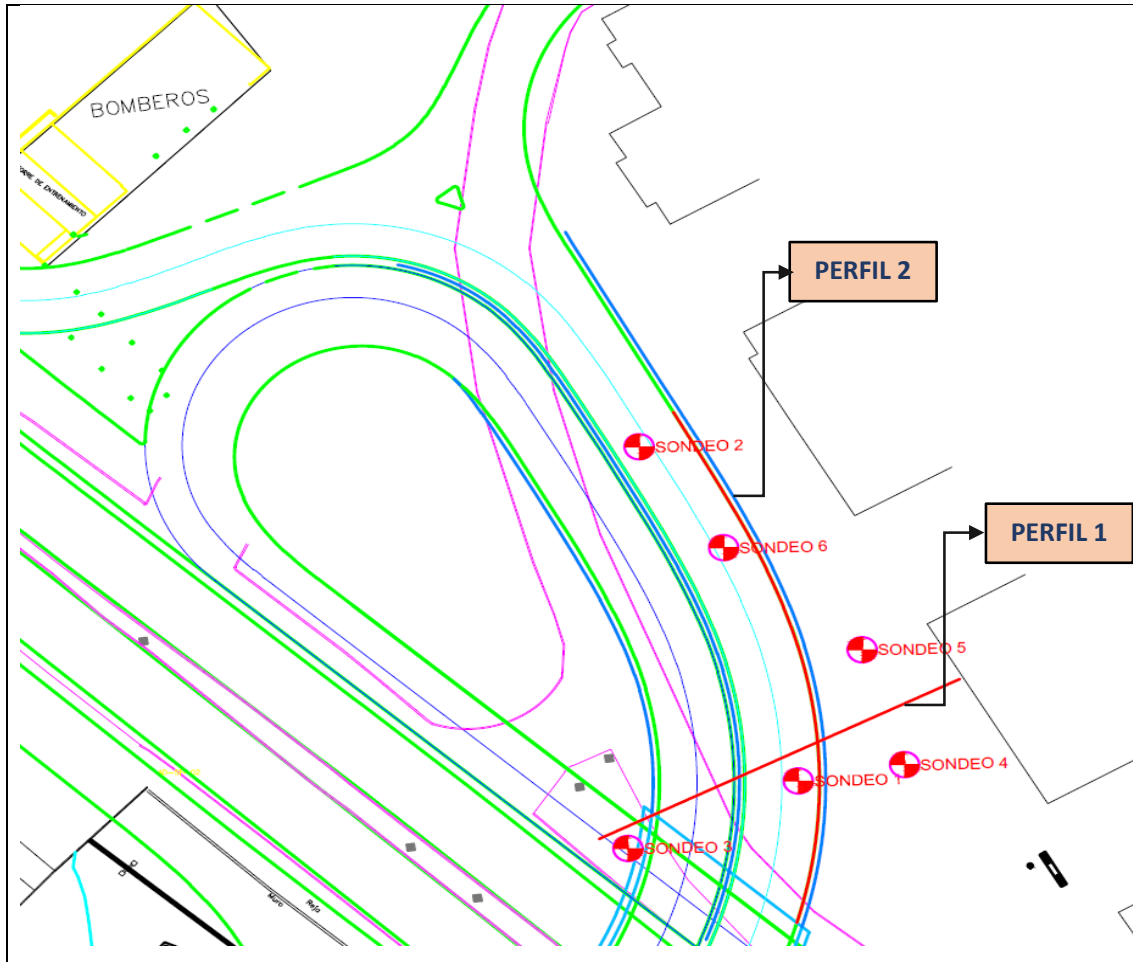
ESTRATO	VELOCIDAD DE ONDA P m/s	VELOCIDAD DE ONDA s m/s	Poisson V	Densidad ρ [KN/m ³]	E [N/m ²]	E [MPa]
1	700	350	0,35	17	5037577	50
2	1800	900	0,35	17	33309692	333
3	2500	1250	0,30	19	88214286	882

Los parámetros calculados serán verificados con respecto a los resultados del ensayo SPT, ya que debido a la variabilidad de resistencia y a la presencia de estratos débiles con la profundidad pudieron ocurrir errores en los resultados de la línea sísmica.

5.14 MODELOS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICOS

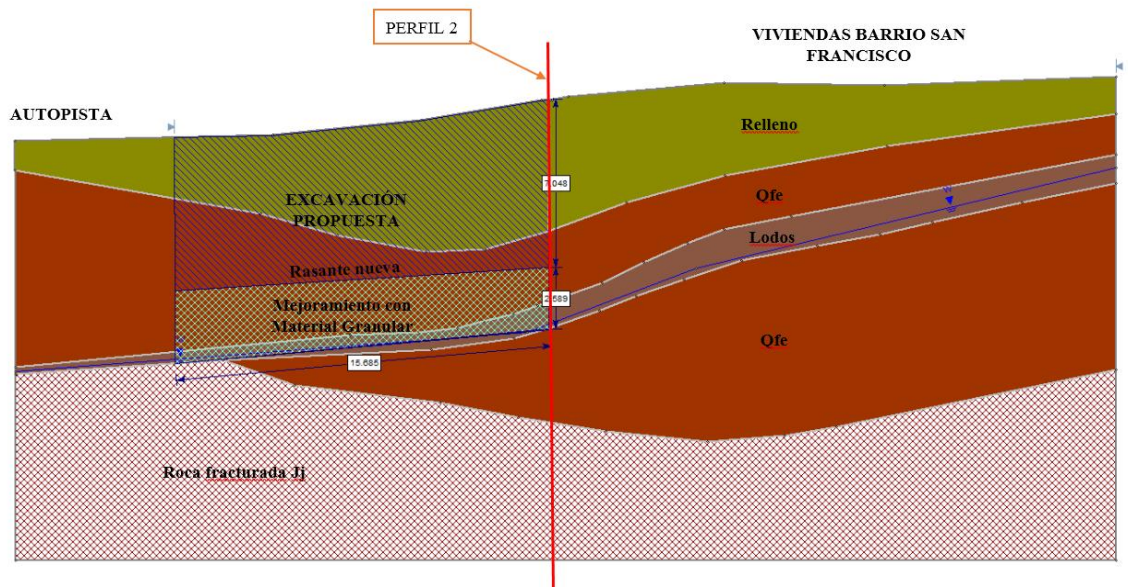
Para realizar análisis de estabilidad por equilibrio límite, análisis de deformaciones y diseño de obras de estabilidad es necesario definir un modelo Geológico – Geotécnico con base en los resultados de la exploración realizada. Para el caso del Deprimido del Intercambiador San Francisco en su costado Oriental o Zona crítica se toman dos secciones transversal y Longitudinal al Talud generado con la excavación.

Ilustración 39. Ubicación de los perfiles



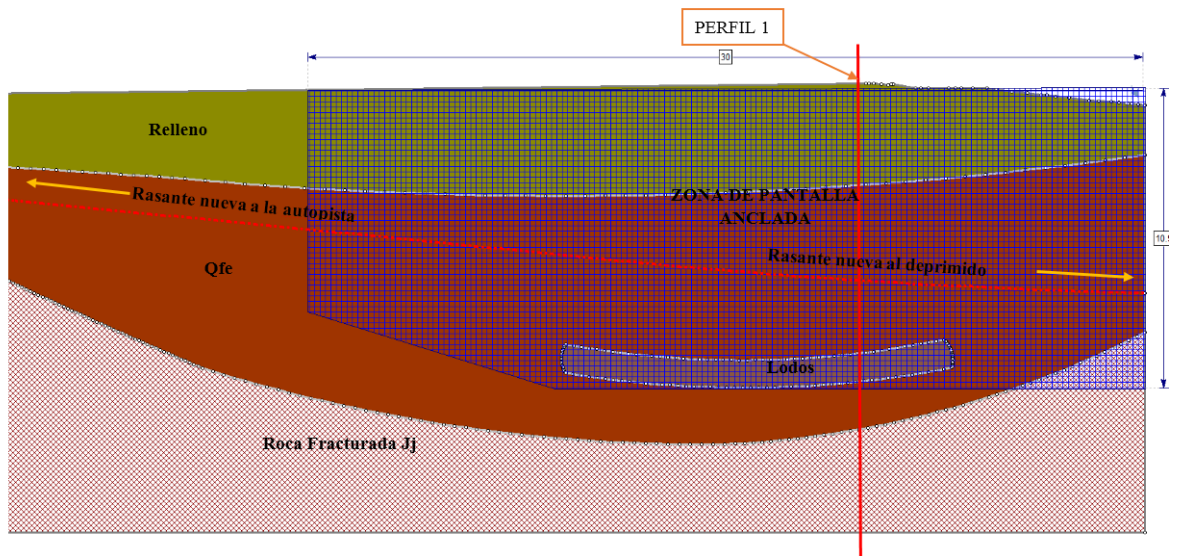
PERFIL 1: Se traza perpendicular al sitio de mayor altura de corte y donde se ha detectado un nivel o estrato lodoso muy blando y saturado. El perfil 1 será usado para análisis de estabilidad y diseño de las soluciones que se planteen.

Ilustración 40. Perfil 1 Crítico



PERFIL 2: Se traza paralelo al eje de la vía, este perfil permite tener una vista frontal del talud generado.

Ilustración 41. Perfil 2 Vista frontal talud



6. ANÁLISIS SÍSMICO

6.1 PARÁMETROS SÍSMICOS

Los parámetros sísmicos son calculados de acuerdo a recomendaciones dadas por el CÓDIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES (Capítulo 3) y la NSR-10 (Título A.) usando el procedimiento General descrito en CCP-14.

NIVEL DE AMENAZA: (ALTA) para Piedecuesta, Título A NSR-10

Para el análisis de la acción sísmica se recomienda utilizar el espectro elástico de diseño de la Norma NSR-10 O CCP-14, definido mediante los siguientes parámetros el cual está definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5% del crítico.

PGA (Aceleración pico Efectiva) = 0.25

6.2 ONDA CORTANTE Vs30

La velocidad de onda cortante se tiene cuenta en el suelo de cimentación o apoyo de las estructuras que se propongan, de acuerdo a la información y modelo geológico – geotécnico, se tiene que el suelo competente es la roca fracturada perteneciente a la formación Jordán Jj.

Dicha formación se caracteriza por ser un macizo rocoso muy fracturado con RQD<25%, en el cual el ensayo SPT no penetra N>50 golpes/pie.

La velocidad de onda de los estratos superiores y suelos donde es posible penetrar con ensayo SPT se puede correlacionar usando el NSPT. Para el macizo rocoso se determinó mediante ensayo de refracción sísmica descrito anteriormente.

La forma como se pueden corregir los golpes del ensayo SPT (NCampo) se muestra en el siguiente capítulo del presente informe.

Se siguen las especificaciones dadas en la tabla 3.10.3.1-1 del CCP-14.

Para realizar la correlación se tiene en cuenta el perfil de la perforación No. 1, ya que esta muestra todos los estratos incluyendo los más críticos. La correlación se realiza utilizando el software Novo spt, y con diferentes autores cuyas propuestas tienen que ver con estratos, arenosos, limosos y gravosos.

Las velocidades de onda y los estratos identificados son los siguientes:

Tabla 12. Vs30 Función del SPT

ESTRATO	Profundidad [m]	VELOCIDAD DE ONDA s m/s	Poisson V	ESPESOR [m]	Densidad ρ [KN/m ³]
1	0 a 4	300	0,40	4 a 6	17
2	4 a 10	250	0,38	6 a 10	17
3	10 a 11	80	0,40	7 a 10	18
4	>11	>400	0,30	>10	19

Esta información corrobora el modelo geológico – Geotécnico planteado anteriormente.

Ilustración 42. Correlación velocidad de onda “s” varios autores.

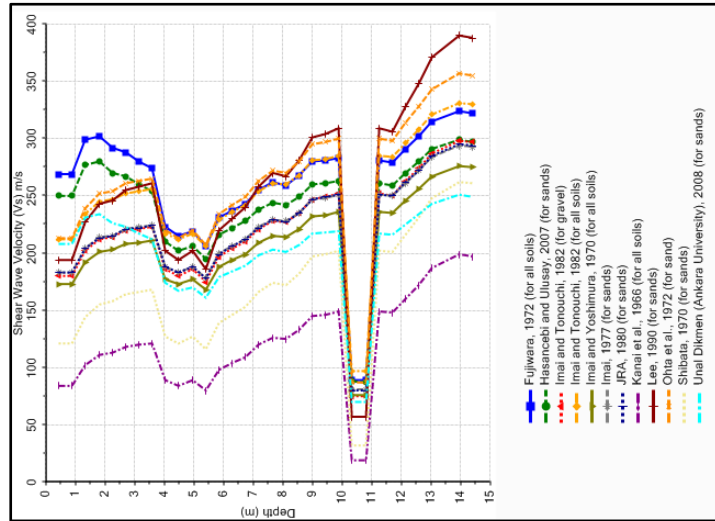


Tabla 13. Perfil del suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$ $\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_{ul} \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$ $50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_{ul} \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$ $IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_{ul}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente: Norma Colombiana de construcción sismo resistente NSR-10

De acuerdo al artículo H.5.2.5 y la tabla H.5.2.- 1, el valor mínimo para análisis seudostático es:

$$\mathbf{KST / a_{max}=0,8}$$

$$\mathbf{KST =0,8 * 0.25 = 0.2g}$$

7. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

7.1 ANÁLISIS ENSAYO SPT

Aprovechando los resultados del ensayo SPT y teniendo en cuenta el valor N de campo se hace una corrección de acuerdo a metodologías colombianas, en este caso siguiendo la sugerencia de MANUAL DE CIMENTACIONES DEL INVÍAS, con E_{Ncorr} se busca realizar correlaciones para obtener valores aproximados del ángulo de fricción, velocidades de onda y módulo de elasticidad para los estratos que tengan información del ensayo como el suelo residual.

A continuación, se muestran los perfiles más representativos, teniendo en cuenta que el perfil general es similar en todos los sectores donde se realizaron perforaciones. Para determinar la velocidad de onda y más adelante para verificación de módulos de elasticidad se usó el perfil del sondeo 1. Para obtener parámetros de resistencia se usan los perfiles de los sondeos 1, sondeo 2, sondeo 4 y sondeo 5.

Ilustración 43. Perfil de diseño Sondeo 1

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅
	Inicial	Final	Media	1	2	3	
1	0,00	0,45	0,23	6	6	6	12
1	0,45	0,90	0,68	8	6	6	12
1	0,90	1,35	1,13	7	8	10	18
1	1,35	1,80	1,58	10	11	12	23
1	1,80	2,25	2,03	11	11	13	24
1	2,25	2,70	2,48	12	14	13	27
1	2,70	3,15	2,93	13	14	14	28
1	3,15	3,60	3,38	15	13	16	29
1	3,60	4,05	3,83	8	8	5	13
1	4,05	4,50	4,28	5	6	6	12
1	4,50	4,95	4,73	6	6	7	13
1	4,95	5,40	5,18	7	5	6	11
1	5,40	5,85	5,63	6	8	8	16
1	5,85	6,30	6,08	9	9	10	19
1	6,30	6,75	6,53	10	10	12	22
1	6,75	7,20	6,98	13	14	14	28
1	7,20	7,65	7,43	14	16	16	32
1	7,65	8,10	7,88	15	14	17	31
1	8,10	8,55	8,33	17	18	18	36
1	8,55	9,00	8,78	20	21	23	44
1	9,00	9,45	9,23	23	23	22	45
1	9,45	9,90	9,68	24	23	24	47
1	9,90	10,35	10,13	1	1	1	1
1	10,35	10,80	10,58	1	1	1	1
1	10,80	11,25	11,03	20	23	24	47
1	11,25	11,70	11,48	25	23	23	46
1	11,70	12,15	11,93	24	25	30	55
1	12,15	12,60	12,38	30	32	32	64
1	12,60	13,05	12,83	35	35	40	75
1	13,05	13,50	13,28	42	42	43	85
1	13,50	13,95	13,73	42	42	42	84
1	13,95	14,40	14,18	43	45	45	90

Ilustración 44. Perfil de diseño Sondeo 2

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅
	Inicial	Final	Media	1	2	3	
2	0,00	0,50	0,25	6	6	12	18
2	0,50	1,00	0,75	12	15	16	31
2	1,00	1,50	1,25	15	15	12	27
2	1,50	2,00	1,75	21	30	31	61
2	2,00	2,50	2,25	21	25	26	51
2	2,50	3,00	2,75	36	35	45	80
2	3,00	3,50	3,25	10	14	19	33
2	3,50	4,00	3,75	21	25	20	45
2	4,00	4,50	4,25	11	12	16	28
2	4,50	5,00	4,75	20	20	25	45
2	5,00	5,50	5,25	10	21	21	42
2	5,50	6,00	5,75	21	21	20	41
2	6,00	6,50	6,25	10	20	20	40
2	6,50	7,00	6,75	20	20	22	42
2	7,00	7,50	7,25	21	29	34	63
2	7,50	8,00	7,75	34	45	50	95
2	8,00	8,50	8,25	34	49	48	97
2	8,50	9,00	8,75	50	50	58	108

Ilustración 45. Perfil de diseño Sondeo 4

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅
	Inicial	Final	Media	1	2	3	
4	0,00	0,45	0,23	6	6	12	18
4	0,45	0,90	0,68	12	15	16	31
4	0,90	1,35	1,13	15	15	12	27
4	1,35	1,80	1,58	21	30	31	61
4	1,80	2,25	2,03	21	25	26	51
4	2,25	2,70	2,48	36	35	45	80
4	2,70	3,15	2,93	10	14	19	33
4	3,15	3,60	3,38	21	25	20	45
4	4,30	4,75	4,53	11	12	16	28
4	8,20	8,65	8,43	20	20	25	45
4	9,70	10,15	9,93	10	21	21	42
4	11,20	11,65	11,43	21	21	20	41
4	12,70	13,15	12,93	10	20	20	40

Ilustración 46. Perfil de diseño Sondeo 5

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅
	Inicial	Final	Media	1	2	3	
5	0,00	0,45	0,23	2	3	4	7
5	0,45	0,90	0,68	5	3	8	11
5	0,90	1,35	1,13	10	9	8	17
5	1,35	1,80	1,58	6	12	13	25
5	1,80	2,25	2,03	11	11	12	23
5	2,25	2,70	2,48	15	19	26	45
5	2,70	3,15	2,93	12	15	16	31
5	3,15	3,60	3,38	16	19	20	39
5	4,30	4,75	4,53	7	9	8	17
5	4,75	5,20	4,98	8	6	4	10
5	5,20	5,65	5,43	2	1	1	2
5	5,65	6,10	5,88	1	1	1	2
5	6,10	6,55	6,33	2	1	2	3
5	6,55	7,00	6,78	2	1	1	2
5	7,00	7,45	7,23	4	13	17	30
5	7,45	7,90	7,68	20	24	40	64

7.2 N. CORREGIDO

Bowles (1986) propone:

$$N_{corr} = N_{campo} * C_n * C_e * C_r * C_s * C_B$$

C_e (n1) = Factor por pérdida de energía del marillo.

C_r (n2) = Factor por longitud de la varilla

C_s (n3) = Factor por revestimiento interno del tomamuestras

C_B (n4) = Factor por diámetro de perforación

C_n (n5) = Factor de corrección por confinamiento efectivo.

Tabla 14. Corrección del valor de N obtenido de SPT (Skempton)

FACTOR	EQUIPO VARIABLE	TÉRMINO	CORRECCIÓN
Relación de energía.	Martillo donut Martillo de seguridad Martillo automático	$C_E = E_R / 60$	0,5 a 1,0 0,7 a 1,2 0,8 a 1,5
Diámetro del sondeo.	65 a 115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1,00 1,05 1,15
Método de muestreo	Muestreo estándar Muestreo no estándar.	C_S	1,00 1,1 a 1,3
Longitud de varillas	3 a 4 m 4 a 6 m 6 a 10 m 10 a >30 m	C_R	0,75 0,85 0,95 1,00

Fuente: Manual de Cimentaciones INVIAS.

Generalmente se considera que para martillo anular (cilíndrico) $e = 45\%$ y para martillo de seguridad $e = 70\%-100\%$. En Estados Unidos es usual considerar $e = 60\%$, mientras que para Japón el valor representativo es $e = 72\%$.

Para Colombia se recomienda tomar un 45% de la energía de esta forma obtenemos en N_1 (45).

$$C_n (n5) = 1 - (k \cdot \log R_s)$$

$R_s =$ Parámetro de estandarización para un esfuerzo vertical de referencia equivalente a 1 kg/cm^2

$k = 1.41$ para $\sigma_v' < 1$ y $k = 0.92$ para $\sigma_v' \geq 1$, siempre $C_n \leq 2$

7.3 ÁNGULO DE FRICCIÓN

De acuerdo a la corrección por energía que se realice al N de campo se plantean varias correlaciones ajustadas para Colombia, la información es tomada de la reciente edición del MANUAL DE CIMENTACIONES DEL INVÍAS:

Tabla 15. Correlaciones para N1 (45) con ángulo de fricción equivalente

AUTOR	ECUACIÓN PROPUESTA PARA DETERMINAR ϕ'_{eq} EN COLOMBIA CON N_{145}
Peck	$\phi'_{eq} = 28,5 + 0,25N_{145}$
Peck, Hanson y Thornburn	$\phi'_{eq} = 26,25(2 - e^{(\frac{N_{145}}{62})})$
Kishida	$\phi'_{eq} = 15 + (12,5 * N_{145})^{0,5}$
Schmertmann	$\phi'_{eq} = \tan^{-1} [(N_{145}/43,3)^{0,34}]$
Japan National Railway (JNR)	$\phi'_{eq} = 27 + 0,1875 * N_{145}$
Japan Road Bureau (JRB)	$\phi'_{eq} = 15 + (9,375 * N_{145})^{0,5}$

Fuente: Manual de Cimentaciones INVÍAS.

La **cohesión** determinada para cada material dependiendo de la clasificación a partir de los ensayos de laboratorio y con ayuda de la siguiente tabla. Las condiciones de diseño para este caso son drenadas debido a la composición granular de los materiales y a la alta pendiente del sector.

Tabla 16. Parámetros del Suelo en función de la Clasificación

Tabla 1-2 Valores estimativos propuestos por Grundbau Taschenbuch (1980) – Tomada de Oteo (1989)

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITE DE ATTERBERG				PESO ESPECIFICO		HDAD. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD (2)		RESISTENCIA AL CORTE			PERM.
	<0,06 mm	<2,0 mm	w _L %	w _P %	I _P %	γ t/m ³	γ _{sum} t/m ³	w %	D. seca t/m ³	w _{PN} %	E _s = E _o (σ _{ul}) ⁿ E, kp/cm ²	α	φ' (°)	c' t/m ²	φ' _r	K m/s	
Grava	<5	<60	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,05	5 2	1,70 1,90	8 5	400 900	0,60 0,40	34 42	—	32 35	2.10 ⁻³ 1.10 ⁻²	
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,10 2,30	1,15 1,35	7 3	2,00 2,25	7 4	400 1100	0,70 0,50	35 45	—	32 35	1.10 ⁻² 1.10 ⁻⁴	
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8 15	<60	20 45	16 25	4 25	2,10 2,40	1,15 1,45	9 3	2,10 2,35	7 3	400 1200	0,70 0,50	35 43	1 0	32 35	1.10 ⁻³ 1.10 ⁻⁴	
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20 40	<60	20 50	16 25	4 30	2,00 2,25	1,05 1,30	13 5	1,90 2,20	10 5	150 400	0,90 0,70	28 35	3 0,5	22 30	1.10 ⁻⁴ 1.10 ⁻¹¹	
Arena uniforme	a) Fina		<5	100	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	22 8	1,60 1,75	15 10	150 300	0,75 0,60	32 40	—	30 32	2.10 ⁻⁴ 1.10 ⁻⁵
	b) Gruesa		<5	100	—	—	1,60 1,90	0,95 1,10	16 6	1,60 1,75	13 8	250 700	0,70 0,55	34 42	—	30 34	5.10 ⁻³ 2.10 ⁻⁴
Arena bien graduada y arena con grava	<5	60	—	—	—	1,80 2,10	1,00 1,20	11 5	1,90 2,15	10 6	200 600	0,70 0,55	33 41	—	32 34	5.10 ⁻⁴ 2.10 ⁻³	
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8 15	>60	20 45	16 25	4 25	1,90 2,25	1,05 1,30	15 4	2,00 2,20	13 7	150 500	0,80 0,65	32 40	1 0	30 32	1.10 ⁻³ 1.10 ⁻⁷	
Arena con finos que alteran la estructura granular	20 40	>60	20 50	16 30	4 30	1,80 2,15	0,90 1,10	20 8	1,70 2,00	18 12	50 250	0,90 0,75	25 32	5 1	22 30	1.10 ⁻⁷ 1.10 ⁻¹⁰	
Limo poco plástico	>50	>80	25 35	20 28	4 11	1,75 2,10	0,95 1,10	28 15	1,60 1,80	22 15	40 110	0,80 0,60	28 35	2 0,5	25 30	1.10 ⁻³ 1.10 ⁻⁸	
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35 50	22 25	7 20	1,70 2,00	0,85 1,05	35 20	1,55 1,75	23 16	30 70	0,90 0,70	25 33	3 1	22 29	2.10 ⁻⁴ 1.10 ⁻⁸	
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25 35	15 22	7 16	1,90 2,20	0,95 1,20	28 14	1,65 1,85	20 14	20 50	1,00 0,90	24 32	6 1,5	20 28	1.10 ⁻⁷ 2.10 ⁻⁹	
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40 50	18 25	16 28	1,80 2,10	0,85 1,10	38 18	1,55 1,75	23 17	10 30	1,00 0,95	20 30	8 2	10 20	5.10 ⁻⁴ 1.10 ⁻¹⁰	
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60 85	20 35	33 55	1,65 2,00	0,70 1,00	55 20	1,45 1,65	27 20	6 20	1,00 1,00	17 27	10 3	6 15	1.10 ⁻⁴ 1.10 ⁻¹¹	
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45 70	30 45	10 30	1,55 1,90	0,55 0,90	60 30	1,45 1,70	27 18	5 20	1,00 0,85	20 26	7 2	15 22	1.10 ⁻⁸ 1.10 ⁻¹¹	
Turba	—	—	—	—	—	1,04 1,30	0,04 0,30	800 100	—	—	3 8	1,00 1,00	25 30	1,5 0,5	—	1.10 ⁻³ 1.10 ⁻⁴	
Fango	—	—	100 250	30 80	50 170	1,25 1,60	0,25 0,60	200 50	—	—	4 15	1,00 0,90	22 28	2 0,5	—	1.10 ⁻⁷ 1.10 ⁻⁸	

(1) Según el Grundbau-Taschenbuch, 3.ª ed. 1.ª Parte, 1980.
(2) α_u = 0,1 kp/cm²

Fuente: Curso aplicado de cimentaciones, cuarta edición (OTEO MAZO, 1989)

A continuación, se presenta tabla (programada en Excel) para el cálculo de las propiedades del suelo con los procedimientos anteriormente mencionados.

Tabla 17. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 1

Sondeo	Profundidad(m)			No. Golpes/Pie			N ₄₅	Nc	Φ° e					
	Inicial	Final	Media	1	2	3			JAPON	Kishida	Peck	JRB	Shiou & Fukui	JNR
1	0,00	0,45	0,23	6	6	6	12	11	26,73	31,8	25,2	31,0	29,1	28,7
1	0,45	0,90	0,68	8	6	6	12	10	26,18	31,8	24,7	30,6	28,9	28,4
1	0,90	1,35	1,13	7	8	10	18	15	28,69	33,0	26,9	32,4	29,8	30,2
1	1,35	1,80	1,58	10	11	12	23	19	30,41	34,0	28,3	33,8	30,6	31,4
1	1,80	2,25	2,03	11	11	13	24	19	30,41	34,3	28,3	33,8	30,6	31,5
1	2,25	2,70	2,48	12	14	13	27	20	30,81	34,5	28,7	34,2	30,8	31,8
1	2,70	3,15	2,93	13	14	14	28	19	30,41	34,3	28,3	33,8	30,6	31,5
1	3,15	3,60	3,38	15	13	16	29	19	30,41	34,3	28,3	33,8	30,6	31,5
1	3,60	4,05	3,83	8	8	5	13	8	25,00	31,0	23,7	29,9	28,5	27,6
1	4,05	4,50	4,28	5	6	6	12	8	25,00	31,0	23,7	29,9	28,5	27,6
1	4,50	4,95	4,73	6	6	7	13	8	25,00	31,0	23,7	29,9	28,5	27,6
1	4,95	5,40	5,18	7	5	6	11	7	24,35	30,5	23,1	29,5	28,3	27,2
1	5,40	5,85	5,63	6	8	8	16	10	26,18	31,5	24,7	30,6	28,9	28,4
1	5,85	6,30	6,08	9	9	10	19	13	27,75	32,5	26,0	31,7	29,4	29,5
1	6,30	6,75	6,53	10	10	12	22	15	28,69	33,0	26,9	32,4	29,8	30,2
1	6,75	7,20	6,98	13	14	14	28	19	30,41	34,3	28,3	33,8	30,6	31,5
1	7,20	7,65	7,43	14	16	16	32	22	31,58	35,0	29,4	34,9	31,1	32,4
1	7,65	8,10	7,88	15	14	17	31	21	31,20	34,8	29,0	34,6	30,9	32,1
1	8,10	8,55	8,33	17	18	18	36	24	32,32	35,8	30,0	35,6	31,5	33,0
1	8,55	9,00	8,78	20	21	23	44	29	34,04	37,3	31,5	37,4	32,4	34,5
1	9,00	9,45	9,23	23	23	22	45	30	34,36	37,5	31,8	37,8	32,6	34,8
1	9,45	9,90	9,68	24	23	24	47	31	34,69	37,8	32,0	38,2	32,8	35,1
1	9,90	10,35	10,13	1	0,5	1	1	0	15,00	28,5	15,0	27,0	27,0	22,5
1	10,35	10,80	10,58	1	1	1	1	0	15,00	28,5	15,0	27,0	27,0	22,5
1	10,80	11,25	11,03	20	23	24	47	32	35,00	38,0	32,3	38,5	33,0	35,4
1	11,25	11,70	11,48	25	23	23	46	31	34,69	37,8	32,0	38,2	32,8	35,1
1	11,70	12,15	11,93	24	25	30	55	36	36,21	39,3	33,4	40,0	33,8	36,5
1	12,15	12,60	12,38	30	32	32	64	41	37,64	40,8	34,6	41,8	34,7	37,9
1	12,60	13,05	12,83	35	35	40	75	48	39,49	43,0	36,2	44,3	36,0	39,8
1	13,05	13,50	13,28	42	42	43	85	54	40,98	44,5	37,5	46,4	37,1	41,3
1	13,50	13,95	13,73	42	42	42	84	52	40,50	44,0	37,1	45,7	36,8	40,8
1	13,95	14,40	14,18	43	45	45	90	55	41,22	45,0	37,7	46,8	37,3	41,6

Tabla 18. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 2

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅	Nc		Φ e					
	Inicial	Final	Media	1	2	3		USA	JAPON	Kishida	Peck	JRB	Shiou & Fukui	JNR	Promedio
2	0,00	0,50	0,25	6	6	12	18	20	16	29,14	33,5	27,2	32,8	30,0	30,5
2	0,50	1,00	0,75	12	15	16	31	33	27	33,37	36,8	30,9	36,7	32,1	34,0
2	1,00	1,50	1,25	15	15	12	27	27	23	31,96	35,3	29,7	35,3	31,3	32,7
2	1,50	2,00	1,75	21	30	31	61	58	48	39,49	43,0	36,2	44,3	36,0	39,8
2	2,00	2,50	2,25	21	25	26	51	46	39	37,08	40,0	34,1	41,0	34,3	37,3
2	2,50	3,00	2,75	36	35	45	80	68	56	41,46	45,5	37,9	47,2	37,5	41,9
2	3,00	3,50	3,25	10	14	19	33	27	22	31,58	35,3	29,4	34,9	31,1	32,4
2	3,50	4,00	3,75	21	25	20	45	36	30	34,36	37,5	31,8	37,8	32,6	34,8
2	4,00	4,50	4,25	11	12	16	28	26	21	31,20	35,0	29,0	34,6	30,9	32,1
2	4,50	5,00	4,75	20	20	25	45	41	34	35,62	38,8	32,9	39,2	33,4	36,0
2	5,00	5,50	5,25	10	21	21	42	38	31	34,69	38,0	32,0	38,2	32,8	35,1
2	5,50	6,00	5,75	21	21	20	41	36	30	34,36	37,5	31,8	37,8	32,6	34,8
2	6,00	6,50	6,25	10	20	20	40	40	33	35,31	38,5	32,6	38,9	33,2	35,7
2	6,50	7,00	6,75	20	20	22	42	42	35	35,92	39,0	33,1	39,6	33,6	36,2
2	7,00	7,50	7,25	21	29	34	63	62	52	40,50	44,0	37,1	45,7	36,8	40,8
2	7,50	8,00	7,75	34	45	50	95	93	77	46,02	51,8	41,9	54,7	41,4	47,2
2	8,00	8,50	8,25	34	49	48	97	96	80	46,62	52,5	42,4	55,8	42,0	47,9
2	8,50	9,00	8,75	50	50	58	108	106	88	48,17	55,0	43,7	58,7	43,5	49,8

Tabla 19. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 4

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅	Nc		Φ e					
	Inicial	Final	Media	1	2	3		USA	JAPON	Kishida	Peck	JRB	Shiou & Fukui	JNR	Promedio
4	0,00	0,45	0,23	6	6	12	18	20	16	29,14	33,5	27,2	32,8	30,0	30,5
4	0,45	0,90	0,68	12	15	16	31	34	28	33,71	37,0	31,2	37,1	32,3	34,2
4	0,90	1,35	1,13	15	15	12	27	28	24	32,32	35,5	30,0	35,6	31,5	33,0
4	1,35	1,80	1,58	21	30	31	61	62	52	40,50	44,0	37,1	45,7	36,8	40,8
4	1,80	2,25	2,03	21	25	26	51	51	42	37,91	41,3	34,8	42,1	34,9	38,2
4	2,25	2,70	2,48	36	35	45	80	75	63	43,06	47,3	39,3	49,7	38,8	43,6
4	2,70	3,15	2,93	10	14	19	33	29	24	32,32	35,8	30,0	35,6	31,5	33,0
4	3,15	3,60	3,38	21	25	20	45	37	31	34,69	37,8	32,0	38,2	32,8	35,1
4	4,30	4,75	4,53	11	12	16	28	26	21	31,20	35,0	29,0	34,6	30,9	32,1
4	8,20	8,65	8,43	20	20	25	45	33	27	33,37	36,8	30,9	36,7	32,1	34,0
4	9,70	10,15	9,93	10	21	21	42	28	23	31,96	35,5	29,7	35,3	31,3	32,7
4	11,20	11,65	11,43	21	21	20	41	25	21	31,20	34,8	29,0	34,6	30,9	32,1
4	12,70	13,15	12,93	10	20	20	40	24	20	30,81	34,5	28,7	34,2	30,8	31,8

Tabla 20. Cálculo ángulo de fricción Sondeo 5

Sondeo	Profundidad(m)			o. Golpes/P			N ₄₅	Nc		Φ' e					
	Inicial	Final	Media	1	2	3		USA	JAPON	Kishida	Peck	JRB	Shiou & Fukui	JNR	Promedio
5	0,00	0,45	0,23	2	3	4	7	7	6	23,66	30,3	22,5	29,2	28,1	26,7
5	0,45	0,90	0,68	5	3	8	11	12	10	26,18	31,5	24,7	30,6	28,9	28,4
5	0,90	1,35	1,13	10	9	8	17	17	14	28,23	32,8	26,5	32,0	29,6	29,8
5	1,35	1,80	1,58	6	12	13	25	24	20	30,81	34,5	28,7	34,2	30,8	31,8
5	1,80	2,25	2,03	11	11	12	23	22	18	30,00	34,0	28,0	33,5	30,4	31,2
5	2,25	2,70	2,48	15	19	26	45	40	33	35,31	38,5	32,6	38,9	33,2	35,7
5	2,70	3,15	2,93	12	15	16	31	26	21	31,20	35,0	29,0	34,6	30,9	32,1
5	3,15	3,60	3,38	16	19	20	39	31	25	32,68	36,3	30,3	36,0	31,7	33,4
5	4,30	4,75	4,53	7	9	8	17	13	11	26,73	31,8	25,2	31,0	29,1	28,7
5	4,75	5,20	4,98	8	6	4	10	7	6	23,66	30,3	22,5	29,2	28,1	26,7
5	5,20	5,65	5,43	2	1	1	2	1	1	18,54	28,8	18,1	27,4	27,2	24,0
5	5,65	6,10	5,88	1	1	1	2	1	1	18,54	28,8	18,1	27,4	27,2	24,0
5	6,10	6,55	6,33	2	1	2	3	2	2	20,00	29,0	19,3	27,7	27,4	24,7
5	6,55	7,00	6,78	2	1	1	2	1	1	18,54	28,8	18,1	27,4	27,2	24,0
5	7,00	7,45	7,23	4	13	17	30	25	21	31,20	34,8	29,0	34,6	30,9	32,1
5	7,45	7,90	7,68	20	24	40	64	52	43	38,18	41,5	35,1	42,5	35,1	38,5

7.4 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Se ejecutaron ensayos de resistencia al corte en condiciones drenadas en muestras semi-alteradas siguiendo las normas E-154 del Instituto Nacional de Vías, INVIAS, y ASTM D3080 para determinar los parámetros de Resistencia que indican las condiciones mecánicas del suelo, los resultados se comparan con los obtenidos mediante correlaciones para obtener los parámetros definitivos.

Dentro de la exploración se realizaron cuatro apiques en diferentes sitios tratando de evaluar los diferentes materiales que componen la zona. Los resultados son los siguientes:

Tabla 21. Resultados ensayos corte directo.

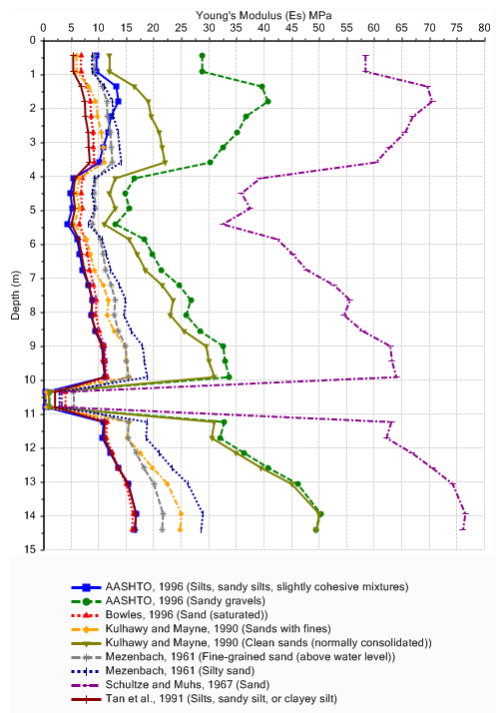
Apique	Tipo Suelo	Ángulo de Fricción ϕ'	Cohesión C' [Kg/cm ²]	Densidad natural [gr/cm ³]	Densidad Húmeda [gr/cm ³]
1	Qfe	26,5	0,66	1,66	1,85
2	Qfe	31,3	0,7	1,614	1,85
3	Relleno	30,3	0,62	1,48	1,68
4	Residual Jj	34,3	0,66	1,62	1,91

7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD SUELOS

El módulo de elasticidad se puede determinar mediante correlaciones usando los resultados del ensayo de línea sísmica, o mediante correlaciones usando los resultados del ensayo SPT. Para este proyecto se descartan los resultados obtenidos geofísica, ya que el perfil sísmico arroja tres capas de suelos con incremento de resistencia en función de la profundidad, sin detectar que existen estratos de menor resistencia intermedios. Por el contrario, con las perforaciones se detectan cuatro estratos claramente, mostrando todas las variaciones de resistencia que hay con respecto a la profundidad.

Los autores de las correlaciones están enfocados a suelos arenosos y limosos. Para determinar el módulo se toma la media entre las gráficas.

Ilustración 47. Módulo Elástico Vs Profundidad.



La siguiente tabla muestra los valores de módulo de elasticidad de encontrado en función del SPT.

Tabla 22. Valores de módulo de elasticidad en función del SPT.

ESTRATO	Profundidad [m]	VELOCIDAD DE ONDA s m/s	Poisson V	ESPESOR [m]	Densidad ρ [KN/m ³]	E [MPa]
1	0 a 4	300	0,35	4 a 6	17	15
2	4 a 10	250	0,35	6 a 10	17	20
3	10 a 11	80	0,40	7 a 10	18	2
4	>11	>400	0,30	>10	19	100

7.6 PARÁMETROS DEL SUELO PARA CADA ESTRATO

Se definen los parámetros del suelo en base a los trabajos de campo y Laboratorio realizados.

En el caso del ángulo de fricción y cohesión se obtuvo un valor estimado mediante ensayo de SPT y sus correlaciones, también se obtuvieron algunos valores mediante realización de ensayo de corte directo.

Los parámetros elásticos del suelo se determinaron anteriormente empleando la metodología basada en SPT.

Tabla 23. Parámetros suelo superior relleno

Estrato 1 (Relleno)		
ANGULO DE FRICCIÓN	ϕ°	31
COHESIÓN	C^{\prime} (Kpa)	15
PESO ESP. SECO	Y_s KN/m ³	16,5
PESO ESP. HUMD.	Y_h KN/m ³	19,5
MÓDULO DE DEORM.	Mpa	15
M. POISSON	-	0,35
Kp=	-	3,12
Ka=	-	0,32
ko=	-	0,48

Tabla 24. Parámetros suelo superior flujo de escombros Qfe

Estrato 2 (Relleno Qfe)		
ANGULO DE FRICCIÓN	ϕ°	36
COHESIÓN	C^{\prime} (Kpa)	20
PESO ESP. SECO	Y_s KN/m ³	17
PESO ESP. HUMD.	Y_h KN/m ³	20
MÓDULO DE DEORM.	Mpa	20
M. POISSON	-	0,35
Kp=	-	3,85
Ka=	-	0,26
ko=	-	0,41

Tabla 25. Parámetros suelo estrato blando lodoso

Estrato 3 (Arenas Lodosa)		
ANGULO DE FRICCIÓN	ϕ°	10
COHESIÓN	C^{\prime} (Kpa)	0
PESO ESP. SECO	Y_s KN/m ³	14
PESO ESP. HUMD.	Y_h KN/m ³	17
MÓDULO DE DEORM.	Mpa	2
M. POISSON	-	0,45
Kp=	-	1,42
Ka=	-	0,70
ko=	-	0,83

Tabla 26. Parámetros suelo estrato residual y roca fracturada Jj

Estrato 4 (Residual y roca Jj)		
ANGULO DE FRICCIÓN	ϕ°	42
COHESIÓN	C^{\prime} (Kpa)	80
PESO ESP. SECO	γ_s KN/m ³	19
PESO ESP. HUMD.	γ_h KN/m ³	22
MÓDULO DE DEORM.	Mpa	100
M. POISSON	-	0,3
Kp=	-	5,04
Ka=	-	0,20
ko=	-	0,33

7.7 CONSIDERACIONES DE ANÁLISIS

Para garantizar la estabilidad global de las obras, se realiza análisis determinístico con metodologías de Equilibrio límite, se usa el Software Slide 6.0 de Rocscience. El análisis se realiza para las condiciones actuales e intervenidas, considerando análisis estático y sísmico.

Adicionalmente se hace una verificación de deformaciones usando elementos finitos en el programa PHASE 2.

Los parámetros básicos para el modelo son los siguientes, además de los parámetros del suelo mencionados anteriormente.

Perfil de suelo: C

Aceleración horizontal en roca a_{max} : 0.25g.

Valores de KST/ a_{max} mínimos para análisis Seudoestático de Taludes: 0.8

Parámetro sísmico seudoestático para construcciones permanentes: 0.2g

Parámetro sísmico pseudoestático para construcción temporal: 0.1g

Factor de seguridad mínimo estático: 1.50

Factor de seguridad mínimo dinámico: 1.05

Se asume una carga distribuida sobre el talud generado de 2,4 Ton/m² uniformemente distribuida debido a las cargas vehiculares, estructura de pavimento, y viviendas, esto según recomendaciones del ingeniero estructural, la NSR-10 Y CCP-14.

Los factores de seguridad admisibles son tomados de la NSR-10 como se muestra a continuación.

Tabla 27. Factores de seguridad Directos.

Condición	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Fuente: Título H Norma Colombiana de construcciones sísmo resistentes NSR-10

7.8 ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

Para determinar qué obra se va a diseñar se realiza un análisis de posibles soluciones que se acoplen al problema generado con la excavación propuesta en el Talud Oriental del Intercambiador San Francisco en Piedecuesta. Para el

análisis se tiene en cuenta el perfil crítico mencionado anteriormente y definido como el perfil Geotécnico – Geológico del sector.

Ya se ha definido el problema anteriormente en el presente informe, sin embargo a continuación se muestra un análisis de estabilidad considerando la excavación de 7.0m planteada sin ninguna obra de estabilidad, para calcular el factor de seguridad que tendría el talud generado. Se asumen para este análisis unas cargas por viviendas y por estructuras cercanas de 24KN/m2.

Ilustración 48. Perfil Crítico, Análisis de estabilidad estático.

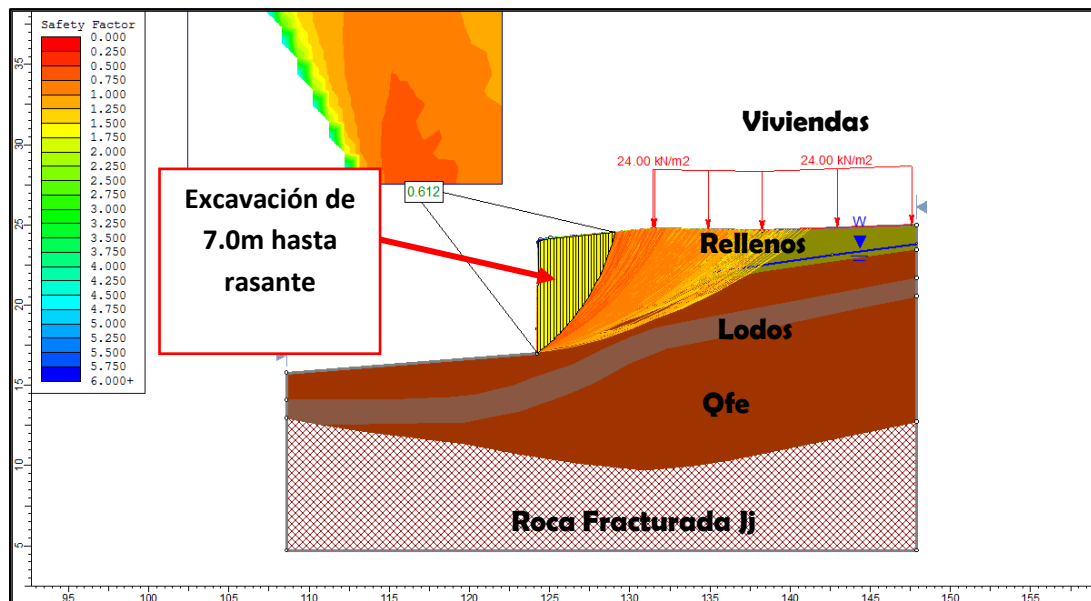
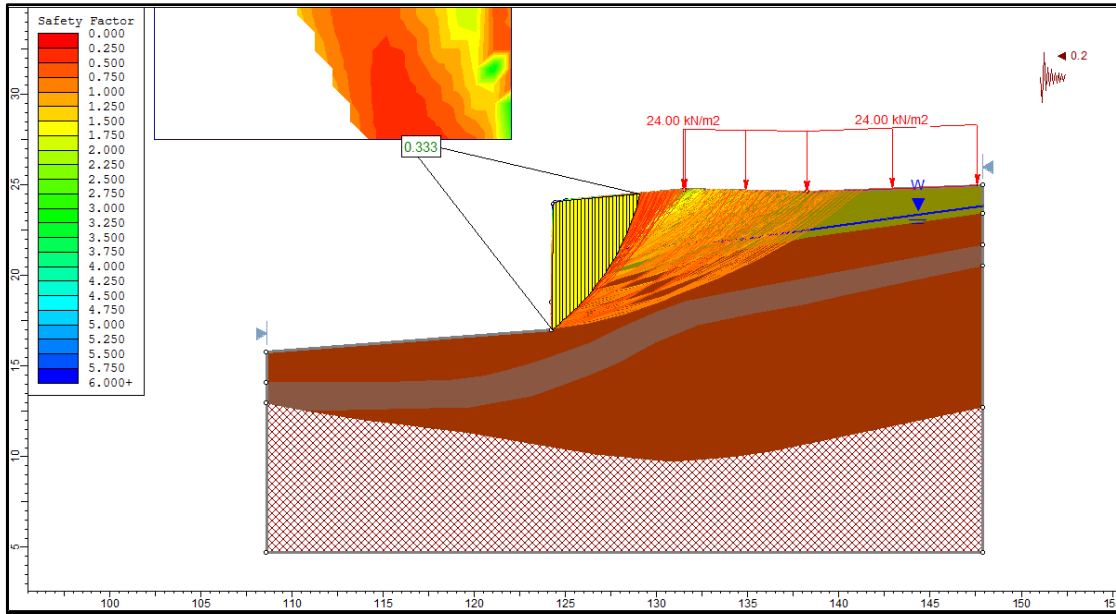


Ilustración 49. Perfil Crítico, Análisis de estabilidad dinámica.



Se obtuvieron los siguientes factores de seguridad para el análisis, que evidentemente reflejan problemas de estabilidad en el costado oriental al momento de realizar la excavación.

Tabla 28. Factores de Seguridad Análisis estabilidad 1

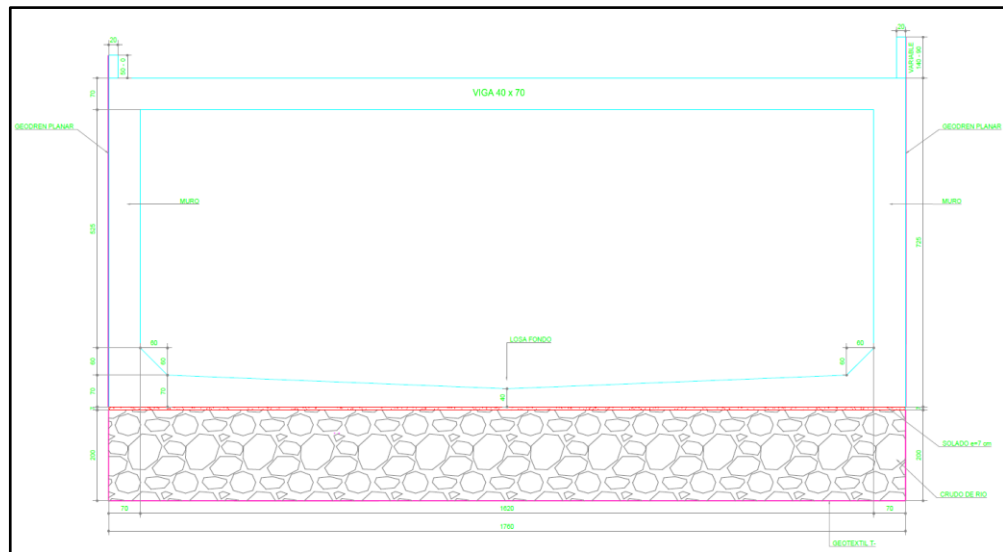
Análisis estabilidad Condiciones actuales Ladera				CUMPLE
MÉTODO	Fellenius	Bishop	Spencer	
F.S. ESTÁTICO	0,612	0,449	0,46	NO
F.S. DINÁMICO	0,459	0,336	0,33	NO

En base a los resultados anteriores, ahora se deberá plantear una solución que involucre el proceso constructivo, de tal forma que desde el momento en que se inicie la excavación se deberá realizar la estabilización, de otra forma se afectarían las viviendas y las vías aledañas al talud generado en el costado Oriental del deprimido.

7.8.1 Muro en concreto Reforzado Se descarta esta solución; la construcción de un muro en concreto reforzado involucra la excavación total del terreno para su construcción, y como se demostró anteriormente, cualquier corte genera un movimiento que afecta las viviendas existentes.

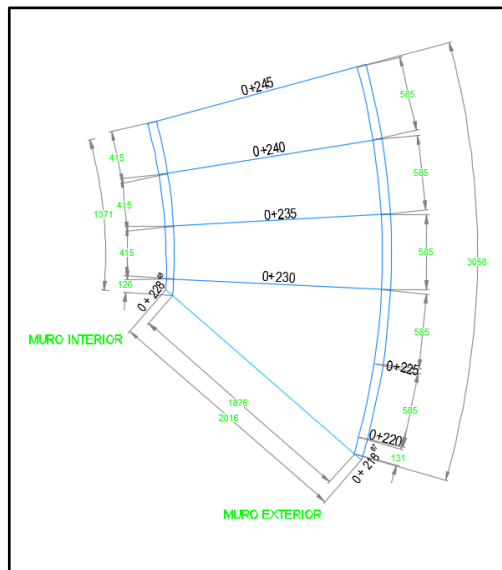
Se ideó la construcción de un muro en L o en U con respecto al talud paralelo o talud interno en la calzada, pero se generaría inestabilidad en el talud externo debido a la excavación.

Ilustración 50. Esquema de muro de retención en U aporricado planteado en perfil.



Fuente: Consorcio San Francisco

Ilustración 50. Esquema de muro de retención en U aporticado planteado en planta.



Fuente: Consorcio San Francisco

7.8.2 Perfilado o Terraceo Los suelos encontrados en el talud externo u oriental del deprimido, junto al barrio San Francisco están compuestos por rellenos, flujo de escombros, macizo rocoso fracturado y un estrato de suelo muy blando y lodos entre los estratos, esto significa, que cualquier corte que se realice induce un movimiento rotacional del suelo. Además, existen limitaciones en la pendiente del talud, debido a la cercanía con las casas del barrio San Francisco.

7.8.3 Pantalla de Pilotes tangentes La solución de una pantalla con pilotes tangentes puede ser buena debido a que el proceso constructivo permite realizar una excavación mientras el suelo está estabilizado, también, al ser tangentes se evita que el suelo blando que existe fluya y se generen asentamientos. Para esto se requiere de equipo especializado, pero vale la pena, es posible que se requieran anclajes en la parte superior del telón de pilotes, amarrados con una viga cabezal.

A continuación, el análisis de la solución.

El primer análisis se hace por el método de equilibrio límite, para esto se asume que los pilotes deberán quedar empotrados en la roca fracturada ya que deberán soportar fuerzas que generan flexión, para reducir el empotramiento se puede optar por adicionar anclajes en la parte superior de la estructura.

Inicialmente se trabaja con un diámetro de pilote de 40cm, $L=17.0\text{m}$, con resistencia al cortante individual de 40Ton (Estructural), en formación tangente.

Ilustración 51. Análisis de estabilidad con telón de Pilotes ESTÁTICO.

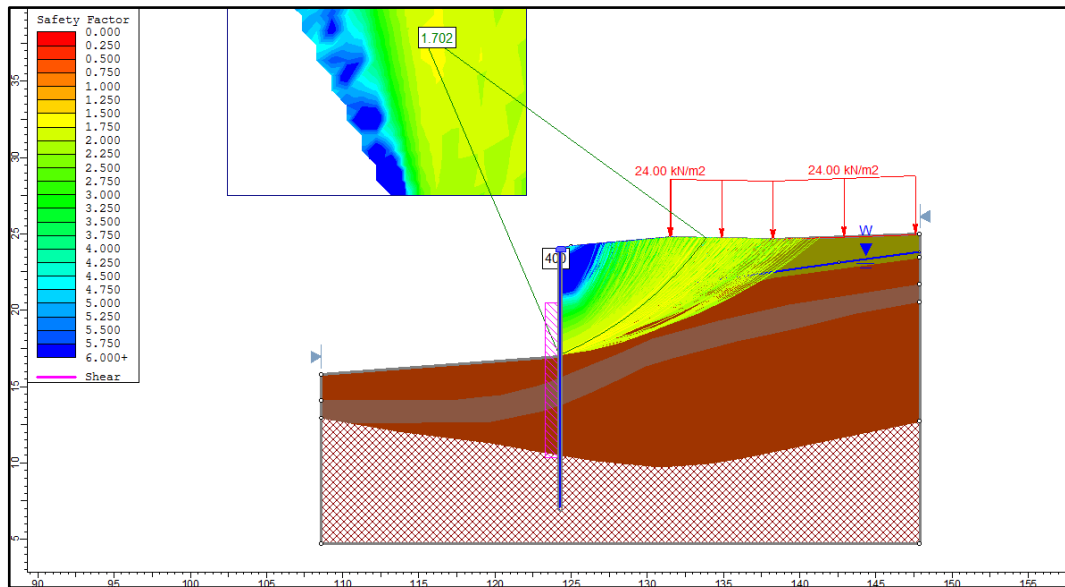


Ilustración 52. Análisis de estabilidad con telón de Pilotes DINÁMICO.

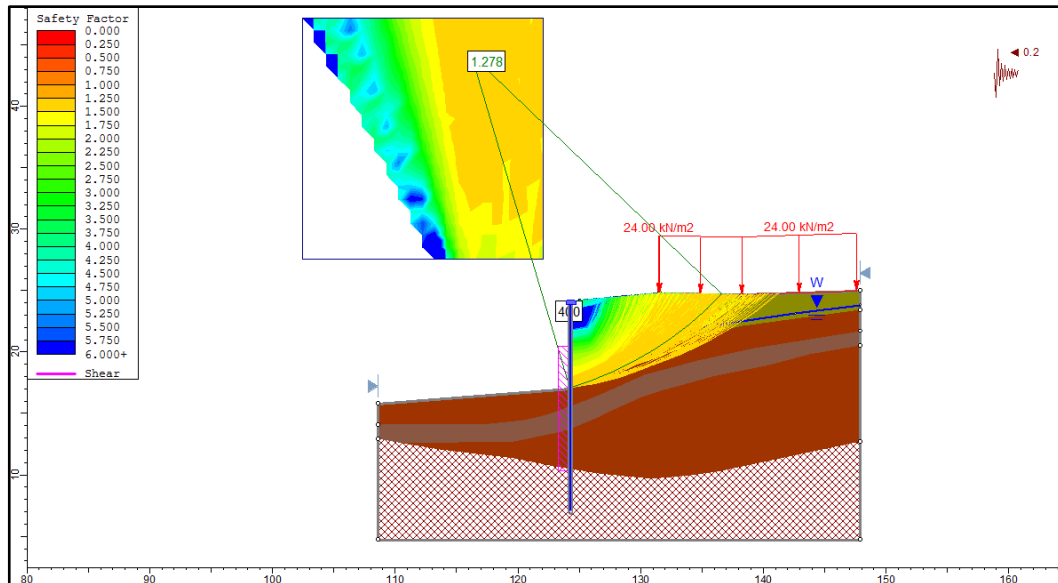


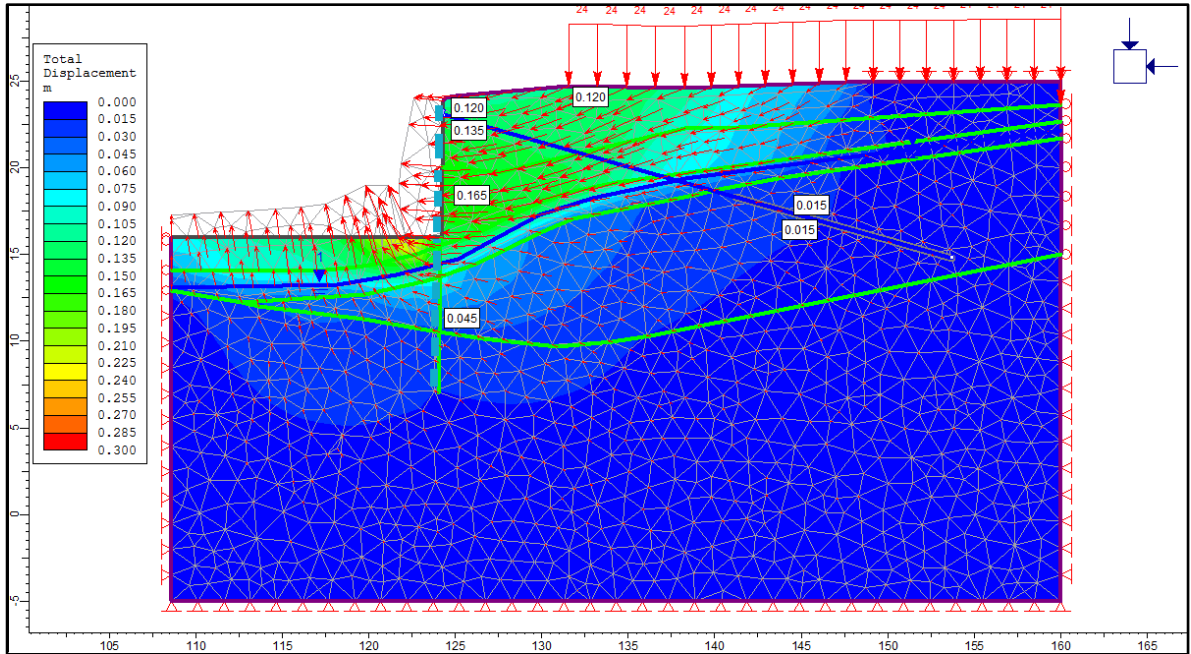
Tabla 29. Factores de seguridad análisis solución con pilotes tangentes

Análisis estabilidad TELÓN PILOTES				CUMPLE
MÉTODO	Fellenius	Bishop	Spencer	
F.S. ESTÁTICO	1,702	1,773	1,727	SI
F.S. DINÁMICO	1,278	1,323	1,28	SI

El análisis por equilibrio límite es satisfactorio, pero deberá realizarse análisis por método de elementos finitos para analizar las deformaciones de los elementos y su afectación al talud.

Para el análisis de deformaciones se usa el Software Phase 2 de Rocscience.

Ilustración 54. Análisis de deformaciones Pilotes y anclaje.



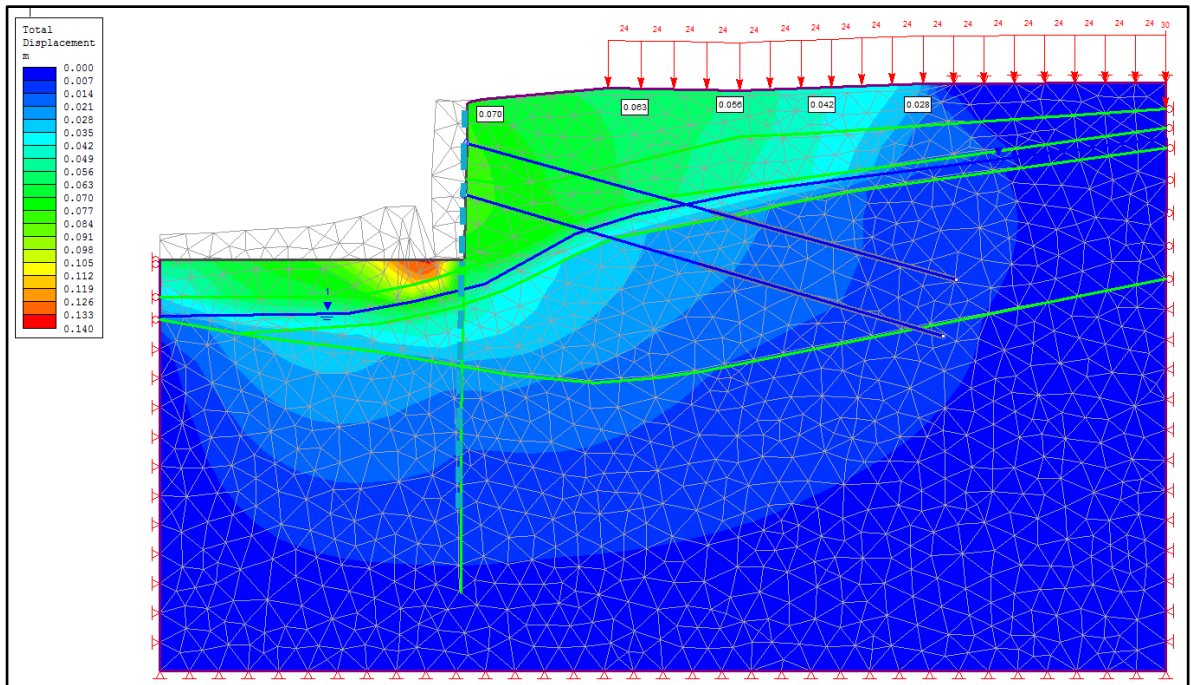
Se encuentran deformaciones de 12cm y 18cm para el talud, esto generaría daños a las viviendas vecinas.

Teniendo en cuenta los análisis por deformaciones se plantean varias alternativas, aumentando la longitud de los pilotes, tensión en los anclajes, dos filas de anclajes etc. Finalmente se obtiene una solución con esta alternativa de la siguiente manera:

Pilotes de 60cm, $L=20\text{m}$ con dos filas de anclajes activos separados 1.80m horizontalmente y 2.0m verticalmente.

Longitud Total= 30.0m; Tensión de diseño= 30.0 Ton; Longitud Libre= 17.0m; Longitud Bulbo= 13.0m; ángulo de inclinación= 15°

Ilustración 55. Análisis de deformaciones Pilotes y anclaje (2 filas).



Se obtienen deformaciones de aproximadamente 4,0cm en las viviendas.

7.8.4 Pantalla anclada La solución mostrada anteriormente que corresponde a pilotes y anclajes podría resultar costosa, otra alternativa muy válida es la construcción de una pantalla anclada. Esta al igual que el telón de pilotes, también permite estabilizar el talud a medida que se hace la excavación.

Para realizar análisis de la pantalla se deberá hacer diseño del bulbo, determinar la longitud libre y determinar la separación de los elementos.

7.8.5 Diseño de anclajes Los anclajes se diseñan de acuerdo a especificaciones presentadas por el CCP-14 mediante la ecuación Mencionada en el capítulo 11 para Muros anclados; la ecuación es tomada además de la publicación FHWA-IF-99-015, Geotechnical Engineering Circular No. 4, Anchor and Anchor Systems:

$$T = \tau_a \cdot \pi \cdot d_h \cdot L_b \quad l_b = \frac{T}{\pi \tau_a d_h} \cdot xFS$$

Donde:

τ_a = es el esfuerzo de trabajo del bulbo a lo largo de la interface entre el suelo y la lechada de cemento.

d_h = diámetro de la perforación.

L_b = longitud del bulbo.

T = es la carga de tensionamiento o capacidad del anclaje.

Los valores del esfuerzo de trabajo del bulbo se consideran normalmente como el 50% o menos que la resistencia última, es decir un Factor de seguridad de 2,0 mínimo.

Los valores de esfuerzo de adherencia unitario último asumido para anclajes se determina en base a la clasificación del suelo de anclaje y la siguiente tabla suministrada por el CÓDIGO DE DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES CCP-14

En este caso se determina que el suelo donde se ancla el bulbo corresponde a flujo de escombros y roca fracturada de la formación Jordán, por lo tanto, los valores se toman de la Tabla C11.9.4.2-3 CCP-14, estos valores son corroborados con otros valores suministrados por la Norma Española de Anclajes y la publicación: **GROUND ANCHORS AND ANCHORED SYSTEMS, Publication No. FHWA-IF-99-015.**

Entonces, se establecen dos longitudes de Bulbo dependiendo del estrato donde quede empotrado el anclaje.

Tabla 30. Esfuerzo de Adherencia unitario último para anclajes CCP-14

Tipo de anclaje/suelo (presión de inyección de mortero)	Compacidad del suelo o resistencia ensayo SPT ⁽¹⁾	τ_n (MPa)
Anclajes inyectados a gravedad (< 0,35 MPa)		
Arena o mezclas de arena y grava	Medianamente densas a densas: 11-50	0,07 a 0,14
Anclajes inyectados a presión (0,35 MPa-2,8 MPa)		
Arena fina a media	Medianamente densa a densa: 11-50	0,08 a 0,38
Arena media a gruesa con grava	Medianamente densa: 11-30 Densa a muy densa: 30-50+	0,11 a 0,67 0,25 a 0,95
Arenas limosas	-	0,17 a 0,40
Grava arenosa	Medianamente densa a densa: 11-40 Densa a muy densa: 40-50+	0,21 a 1,4 0,28 a 1,4
Till glacial	Denso: 31-50	0,30 a 0,52

Tipo de roca	τ_n (MPa)
Granito o basalto	1,7 a 3,1
Caliza dolomítica	1,4 a 2,1
Caliza blanda	1,0 a 1,4
Pizarras y lutitas duras	0,80 a 1,4
Areniscas	0,80 a 1,7
Areniscas meteorizadas	0,70 a 0,80
Lutitas blandas	0,20 a 0,80

Fuente: Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes CCP-2014

Para los suelos compuestos por flujos de escombros Q_{fe} se establece un valor de 0.20Mpa

Se realizaron diseños de anclaje para una carga admisible de 30 Ton. La longitud libre se establece de acuerdo a la superficie de falla que se genere y siguiendo las demás especificaciones dadas en el esquema del capítulo C11.9.1 DEL CCP-14.

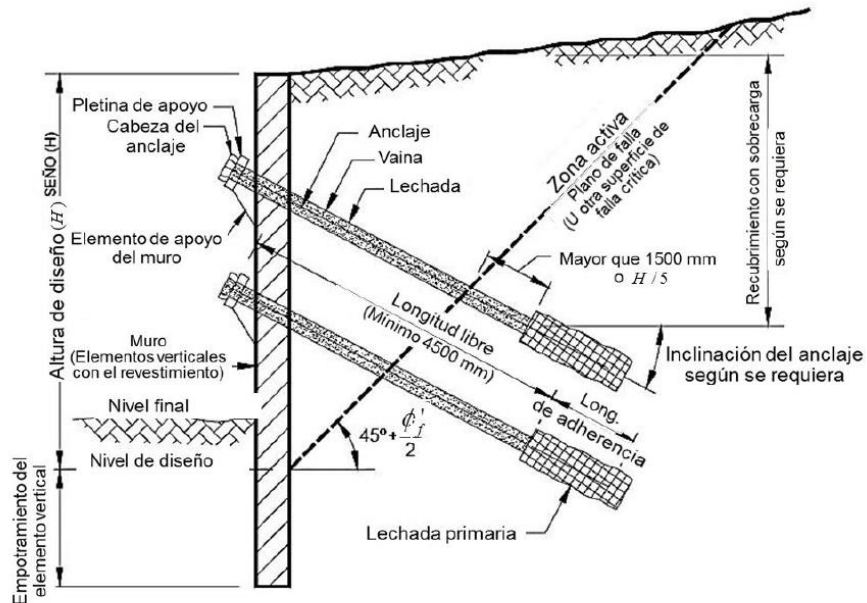
Tabla 31. Diseño de bulbo para Qfe

LONGITUD DEL BULBO EMPOTRADO			
Fuerza de tensión de Diseño	T	30,0	Ton
Factor de Seguridad	FS	2,0	
Diámetro del hueco	d_h	3,0	pulgadas
Esfuerzo Cortante Permitido	τ_a	0,20	Mpa
Longitud de bulbo mínima	l_b	12,5	m

Tabla 32. Diseño de bulbo para Jj

LONGITUD DEL BULBO EMPOTRADO			
Fuerza de tensión de Diseño	T	30,0	Ton
Factor de Seguridad	FS	2,0	
Diámetro del hueco	d_h	3,0	pulgadas
Esfuerzo Cortante Permitido	τ_a	0,30	Mpa
Longitud de bulbo mínima	l_b	8,4	m

Ilustración 56. Nomenclatura Muros anclados



Fuente: Norma Colombiana de diseño sísmico de puentes CCP-2014

Se realiza análisis nuevamente por equilibrio límite para analizar una distribución tentativa y longitudes probables de los anclajes de acuerdo a la profundidad de los estratos y las superficies de falla detectadas anteriormente en otros análisis.

Las consideraciones para el análisis de estabilidad son las mismas que se han mencionado antes.

Luego se realiza análisis por deformaciones y se chequea proceso constructivo en caso de que la sea la mejor solución definida.

Ilustración 57. Análisis de estabilidad con pantalla anclada ESTÁTICO

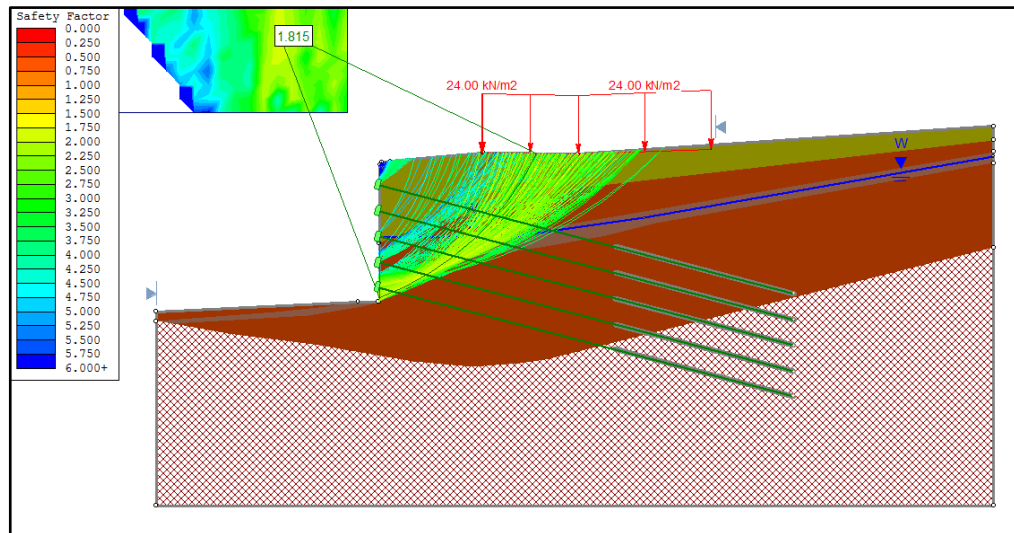


Ilustración 58. Análisis de estabilidad con pantalla anclada DINÁMICO

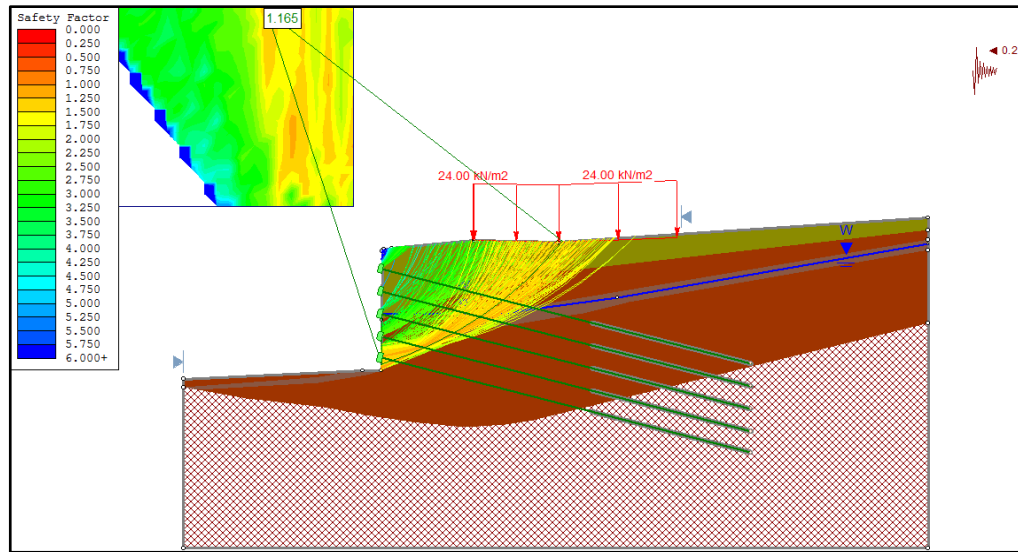
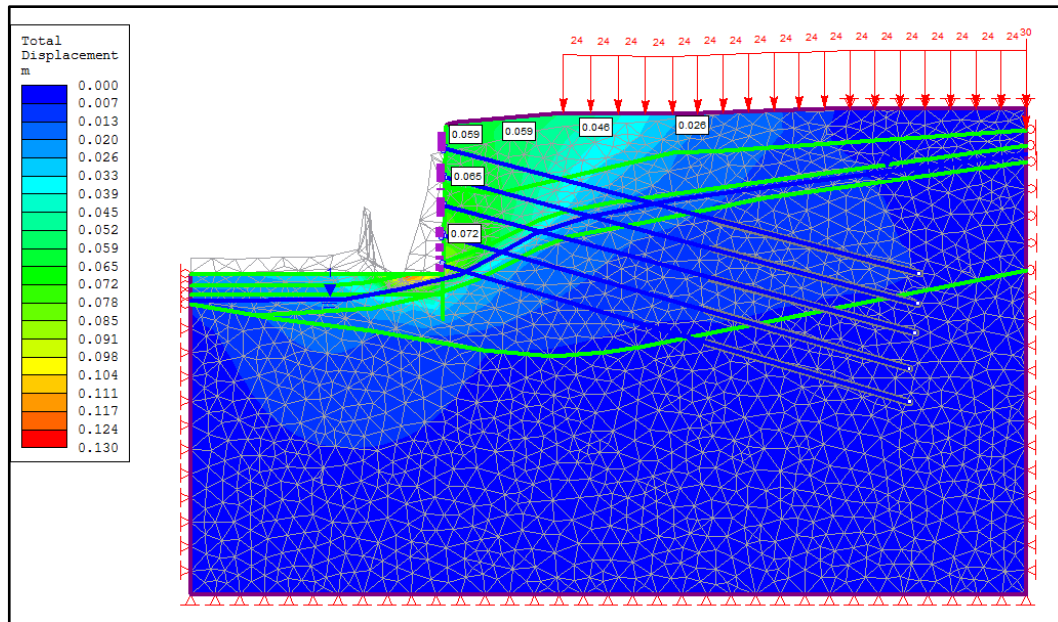


Tabla 33. Factores de seguridad análisis solución con pilotes tangentes

Análisis estabilidad PANTALLA ANCLADA				CUMPLE
MÉTODO	Fellenius	Bishop	Spencer	
F.S. ESTÁTICO	1,815	1,699	1,955	SI
F.S. DINÁMICO	1,165	1,225	1,254	SI

Ilustración 59. Análisis esfuerzo deformación pantalla



Se encuentran deformaciones máximas en la corona del talud de 5,9cm, y en la zona de las viviendas de 4.0 a 5.0cm, indicando que la solución de pantalla anclada es viable.

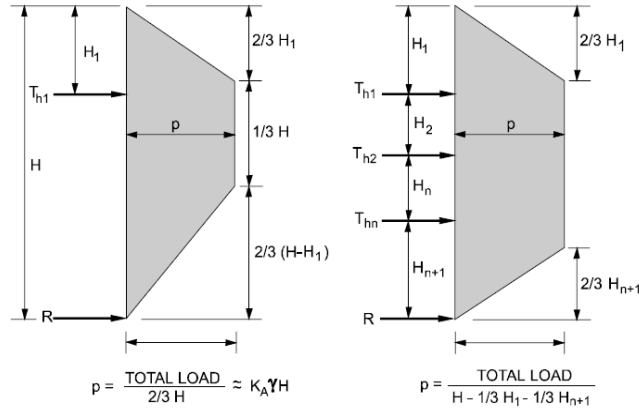
Comparando la alternativa de pantalla anclada y telón de pilotes con anclajes se decide implementar la pantalla anclada, debido a que es mucho más fácil de construir y puede representar un menor costo que los pilotes.

Siendo la pantalla anclada la solución elegida, entonces se definen detalles geotécnicos de diseño pendientes, como el chequeo por presiones de tierras sugerido por el CCP-14 y proceso constructivo.

7.8.6 Chequeo Presiones de tierra Pantalla. Para muros con más de dos filas o de anclajes la distribución de presiones cambia de acuerdo a las recomendaciones dadas por AASTHO Y CCP-14. Se recomienda considerar una distribución trapezoidal (Sabatini), con las presiones de tierra se chequea la longitud del

anclaje, la resistencia del anclaje y la estabilidad local de la pantalla. En este caso se considera una falla por presión activa o cuña activa de Rankine.

Se chequea la distribución de anclajes ya determinada mediante cálculos anteriores.



TOTAL LOAD = $0.65 K_A \gamma H^2$

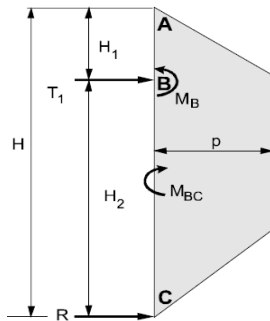
H_1 = Distance from ground surface to uppermost ground anchor

H_{n+1} = Distance from base of excavation to lowermost ground anchor

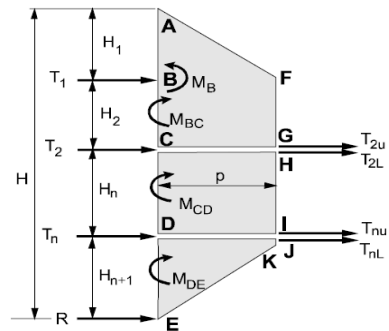
T_{hi} = Horizontal load in ground anchor i

R = Reaction force to be resisted by subgrade (i.e., below base of excavation)

p = Maximum ordinate of diagram



(a) Walls with one level of ground anchors



(b) Walls with multiple levels of ground anchors

Graficas de Referencia

Valores de Transferencia de Carga para Diseño Preliminar
Anclas con Lechada en Suelo

Soil type	Relative density/Consistency (SPT range) ⁽¹⁾	Estimated ultimate transfer load (kN/m)
Sand and Gravel	Loose (4-10)	145
	Medium dense (11-30)	220
	Dense (31-50)	290
Sand	Loose (4-10)	100
	Medium dense (11-30)	145
	Dense (31-50)	190
Sand and Silt	Loose (4-10)	70
	Medium dense (11-30)	100
	Dense (31-50)	130
Silt-clay mixture with low plasticity or fine micaceous sand or silt mixtures	Stiff (10-20)	30
	Hard (21-40)	60

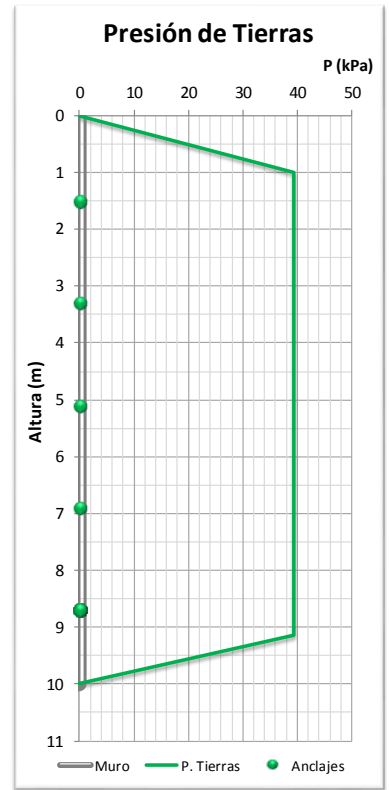
Tomado del Paper: GROUND ANCHORS AND ANCHORED SYSTEMS, Publication No. FHWA-IF-99-015.

Valores de Transferencia de Carga para Diseño Preliminar
Anclas con Lechada en Roca

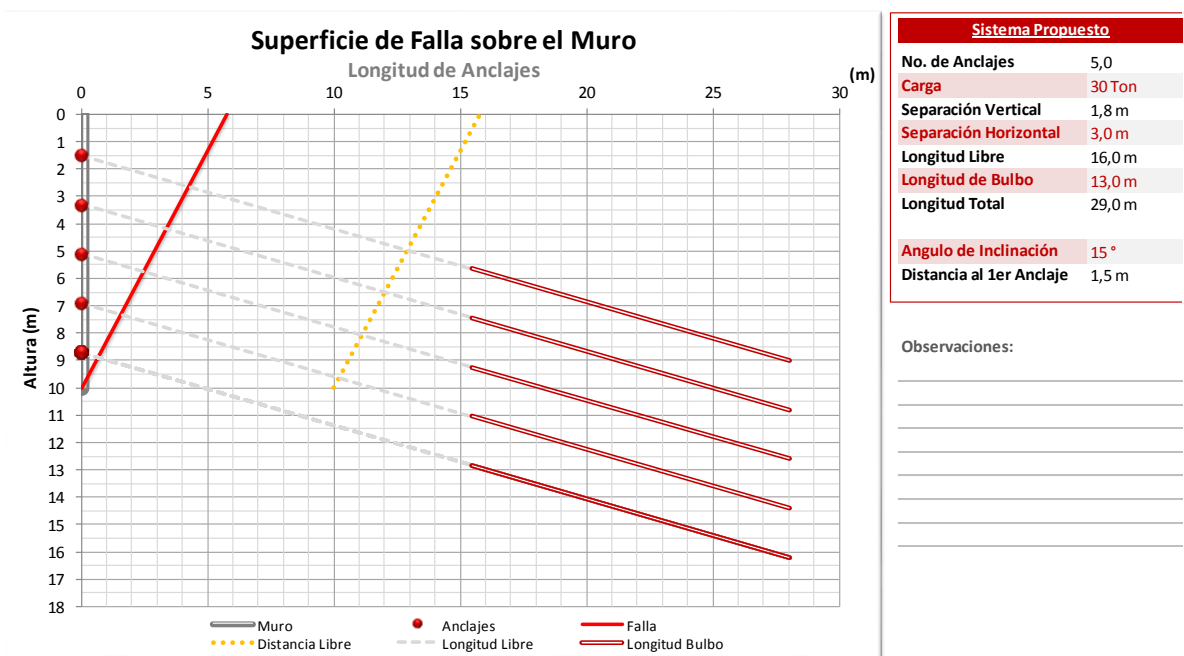
Rock type	Estimated ultimate transfer load (kN/m)
Granite or Basalt	730
Dolomitic Limestone	580
Soft Limestone	440
Sandstone	440
Slates and Hard Shales	360
Soft Shales	150

Tomado del Paper: GROUND ANCHORS AND ANCHORED SYSTEMS, Publication No. FHWA-IF-99-015.

Gráfico de Distribución de Tierras para el Sistema Propuesto



Cuña de Falla para el Sistema Propuesto



Sistema Propuesto	
No. de Anclajes	5,0
Carga	30 Ton
Separación Vertical	1,8 m
Separación Horizontal	3,0 m
Longitud Libre	16,0 m
Longitud de Bulbo	13,0 m
Longitud Total	29,0 m
Angulo de Inclinación	15°
Distancia al 1er Anclaje	1,5 m

Observaciones:

7.8.7 Características de la pantalla anclada Para el talud oriental generado por la excavación del deprimido se plantea la construcción de una pantalla anclada de 30m de longitud con cinco filas de anclaje o cinco niveles de excavación o hasta atravesar depósito lodoso, aproximadamente a 10,0m de profundidad o a 2,0m más, debajo de la rasante propuesta para el deprimido.

Los dos metros (2m) adicionales excavados se deberán remplazar con crudo de río recubierto con geotextil no tejido.

Las dimensiones de los anclajes (Bulbo, longitud libre), la separación vertical y la separación horizontal se determinaron anteriormente mediante cálculo analítico, equilibrio límite y elementos finitos.

Las características definidas para cada fila son las siguientes:

Tabla 34. Características de anclajes por filas

Nivel	Número de anclajes	Tensionamiento [Ton]	Torones por anclaje	Longitud de perforación [m]	Longitud de Bulbo [m]	Longitud libre [m]
N-2,0	10	30	3 de 1/2"	30	13	17
N-4,0	10	30	3 de 1/2"	30	13	17
N-6,0	10	30	3 de 1/2"	30	13	17
N-8,0	10	30	3 de 1/2"	30	9	21
N-10,5	6	30	3 de 1/2"	30	9	21

En todas las filas los anclajes deberán ir separados 3.0m horizontalmente y 1.8m verticalmente, se recomienda el uso de dados de 0.9 * 0.9 sobre la pantalla para prevenir efecto de punzonamiento por esfuerzos cortantes. Distancia primer anclaje a corona pantalla 1.5m.

7.8.8 Proceso constructivo Para garantizar la estabilidad de la obra es importante plantear un adecuado proceso constructivo de la pantalla anclada, el proceso será definido mediante el uso de Software de elemento Finitos PHASE 2. Se localizan puntos de control de deformaciones en los sitios más importantes.

Ilustración 61. Excavación 0.00-2.00 (Def max=0.00cm)

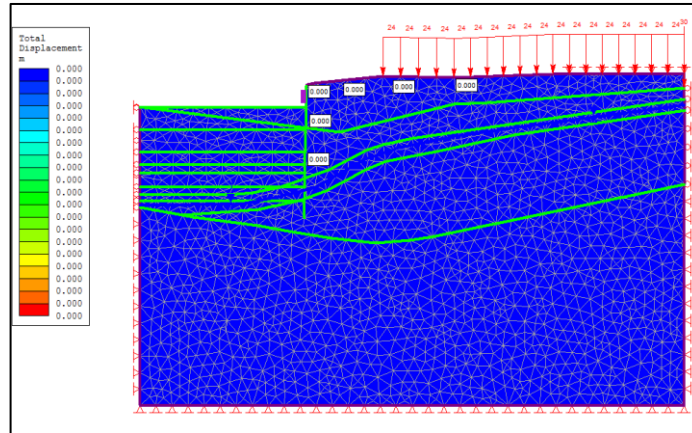


Ilustración 62. Excavación 0.00-2.00 Tensionamiento (Def max=0.70cm)

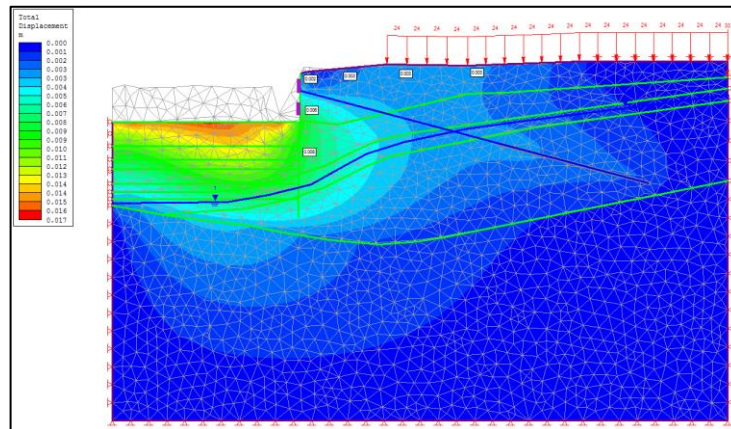


Ilustración 63. Excavación 2.00-4.00 Tensionamiento (Def max=2.20cm)

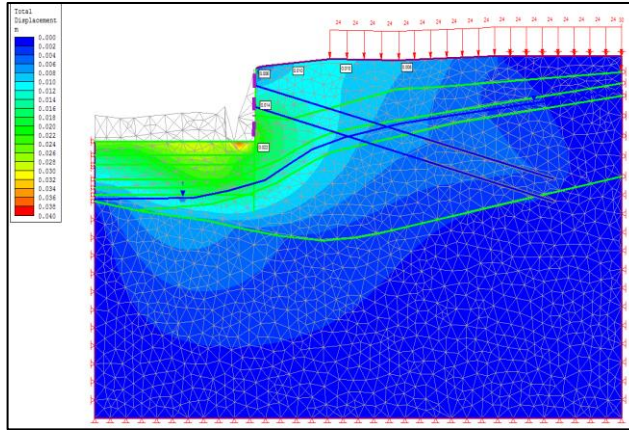


Ilustración 64. Excavación 4.00-6.00 (Def max=4.20cm)

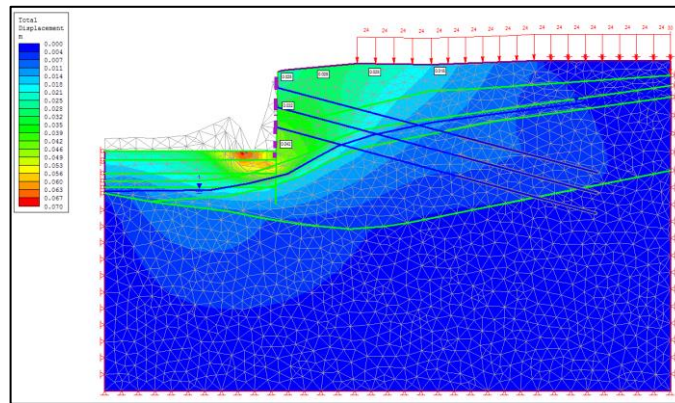


Ilustración 65. Excavación 6.00-8.00 (Def max=5.50cm)

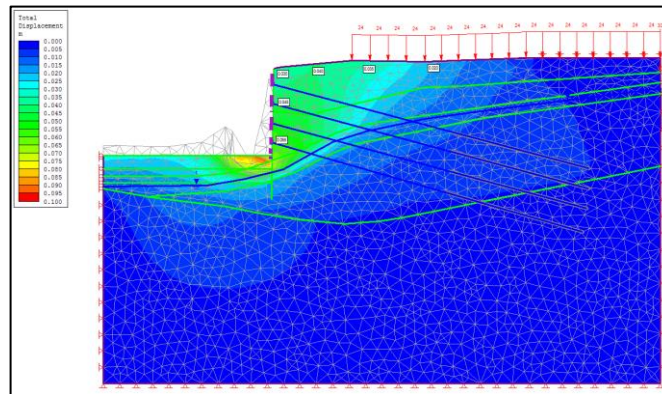


Ilustración 66. Fotografía Sondeo 4 Excavación 8.00-10.50 (Def max=6.00cm)

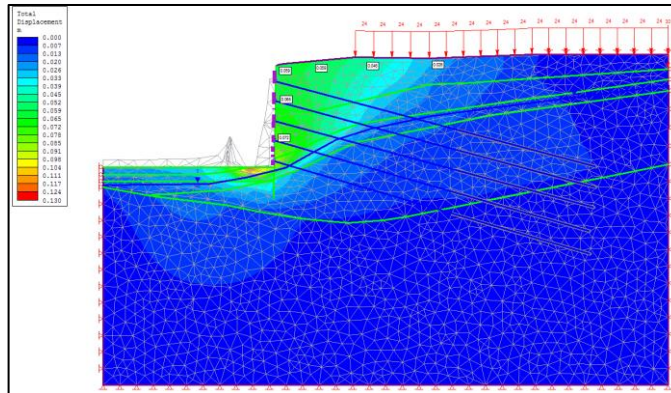


Ilustración 67. Zonas con mayor deformación

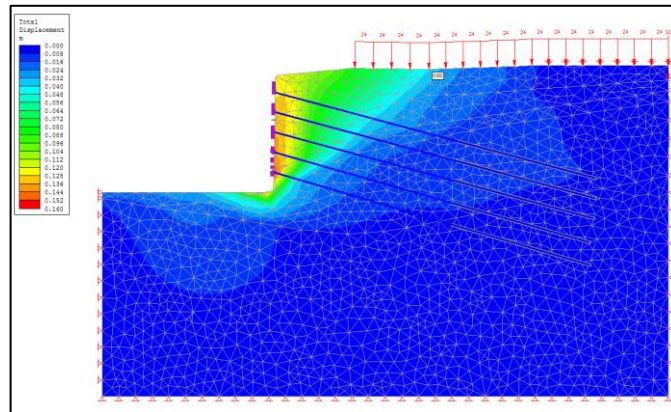
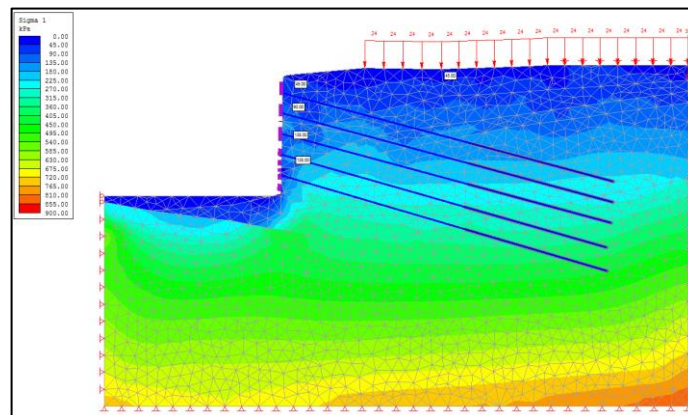


Ilustración 68. Máximos esfuerzos verticales efectivos



De acuerdo al análisis por deformaciones se obtiene que el proceso constructivo por filas o por niveles es adecuado, se adapta al problema que se busca solucionar desde el comienzo.

Es posible que el nivel freático suba constantemente debido a que la zona crítica es el lecho de una quebrada, se plantea la construcción de subdrenes horizontales de al menos 20m de longitud, $D= 4''$ construidos en dos filas entre las cotas 1014 y 1020.

Ilustración 69. Esquema procedimiento constructivo

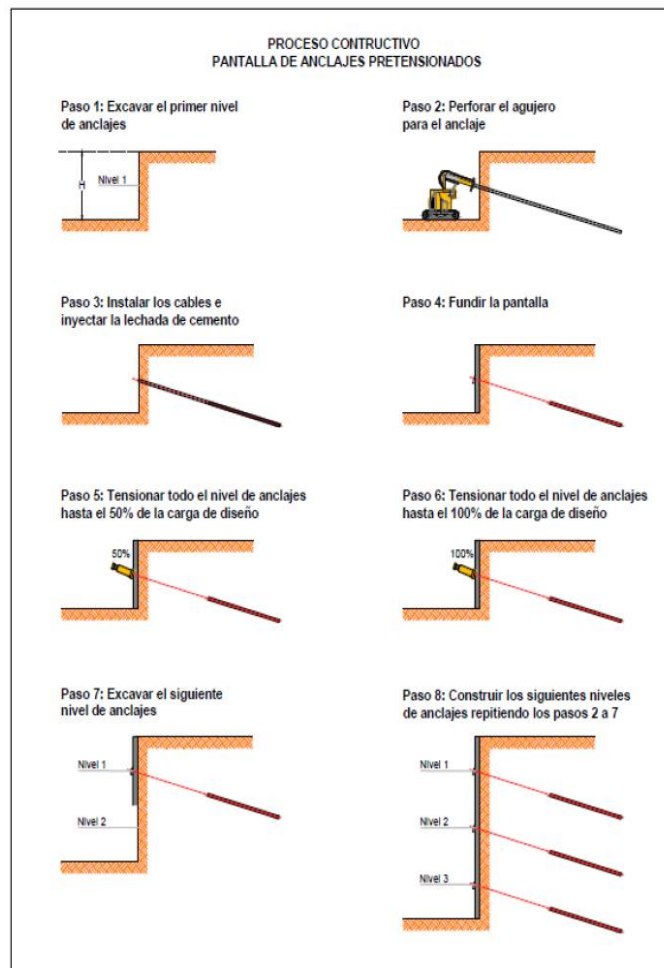


Ilustración 70. Esquema Perfil 1, pantalla anclada.

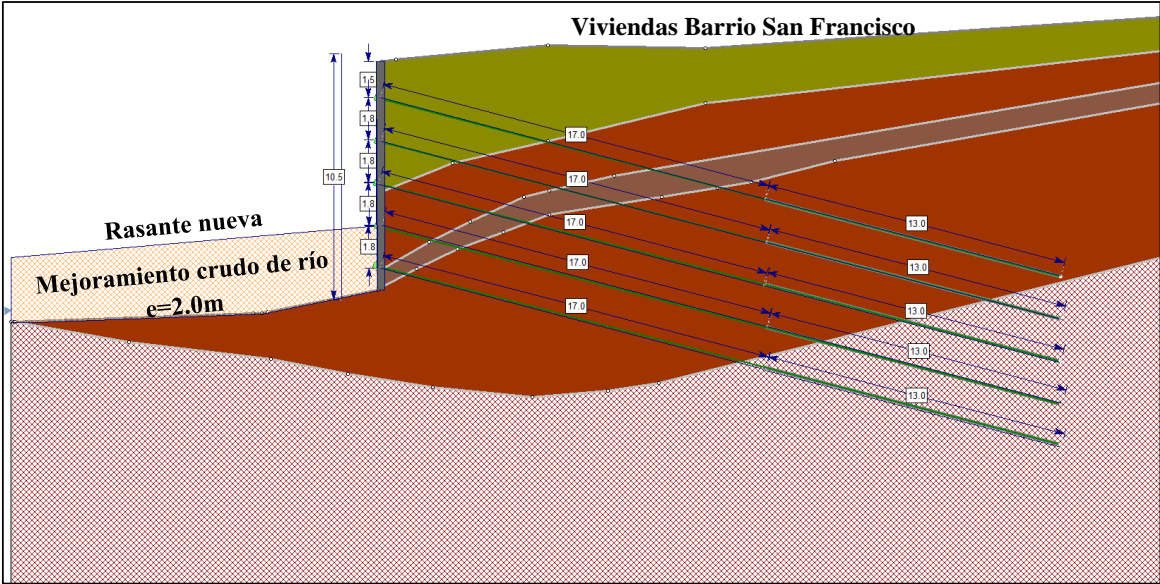
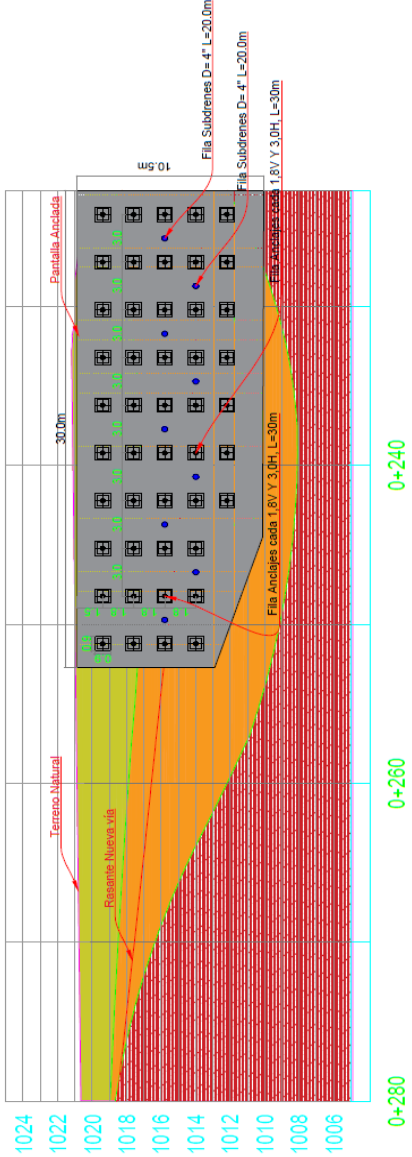


Ilustración 71. Esquema Perfil 2, vista frontal pantalla anclada



8. CONCLUSIONES

La zona estudiada está compuesta superficialmente por suelos antrópicos de basuras y escombros de hasta 4.0 m. seguidos por una capa de suelos transportados y flujo de escombros Qfe asociados a causes antiguos de hasta 7 m. Entre ambos estratos mencionados existe una capa de 1.0m de espesor, muy débil, fluida, compuesta por arenas lodosas con materia orgánica, y finalmente se encuentra el estrato rocoso fracturado perteneciente a la formación Jordán a profundidades variables.

Se realizaron seis sondeos a roto-percusión con la finalidad de ampliar la exploración geotécnica realizada en el diseño original del deprimido en el costado oriental. Especialmente en los sondeos 1 y 5 se encontró un estrato muy blando asociado a material orgánico. En base a esto se amplió la exploración con la realización de una línea sísmica y una tomografía geoelectrica.

La tomografía geoelectrica muestra un estrato con resistividades entre 2 Ω m y 15 Ω m, la cual podría correlacionarse con zonas de características muy conductivas, probablemente corresponda a una zona muy húmeda o saturada, por el contraste de resistividades este estrato podría ser un depósito saturado de flujo de escombros o estrato lodoso antrópico.

La línea sísmica confirma la presencia de un material rocoso a profundidad variable a lo largo del eje del talud oriental. La roca se encuentra a una profundidad de 11.0m en la parte más crítica que a su vez coincide con la presencia de un estrato lodoso saturado.

Las perforaciones permitieron la recuperación continua de muestra, que fue ensayada en laboratorio, lo suficiente para realizar el perfil litológico. Adicional se obtienen muestras inalteradas para realizar ensayos con corte directo que permiten establecer propiedades mecánicas del suelo existente. Con los perfiles realizados y con los resultados de la exploración geofísica es posible elaborar un perfil general en el sector más crítico, obteniéndose cuatro estratos principales para el diseño de la solución.

Se analizaron cuatro alternativas posibles, de las cuales se descartaron los muros en concreto convencionales y el perfilado o terraceo, debido a que por la insuficiencia de resistencia mecánica de los suelos no es posible realizar una excavación hasta la rasante del deprimido, esto se demostró mediante análisis con equilibrio límite.

Las otras soluciones planteadas fueron telón de pilotes tangentes y pantalla anclada; ambas soluciones arrojaron factores de seguridad global adecuados y deformaciones permisibles, pero por procedimiento constructivo, por facilidad de uso de equipos y por bajo costo constructivo se decide optar por la pantalla anclada, de la cual finalmente se hace diseño.

El diseño de la pantalla anclada involucró diseño del bulbo al arrancamiento, longitud libre de acuerdo a la superficie probable de falla y estratos geológicos encontrados, análisis de estabilidad global por equilibrio límite y análisis de deformaciones incluyendo el proceso constructivo para garantizar estabilidad de las viviendas aledañas.

Es importante que la pantalla anclada en su base tenga contacto con el estrato rocoso Jj o suelo competente, que los anclajes tengan una longitud mínima de 30m y que se haga un reemplazo de material de 2,0m a partir de la rasante de la

vía propuesta en el deprimido. Además de las consideraciones que se muestran en el diseño del presente documento.

El municipio de Piedecuesta corresponde a una zona de amenaza sísmica alta con un coeficiente $A_a=0.25g$, teniendo en cuenta que el suelo de cimentación o anclaje será el flujo de escombros consolidado o el macizo rocoso se considera el tipo de perfil como C (Título A NSR-10).

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, (Título C Y H), Bogotá D.D., 2010. Enero 2010 ley 400 de 1997.

BOWLES,J. Foundation Analysis and Design. Ed. Mc Graw Hill International. Singapure, 1988.

BRAJA M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Ed. Thomson S.A., México, 2001.

BRAJA M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Ed. Thomson S.A., México, 2001.

BRAJA, Das. Principió de ingeniería de cimentaciones. Thompson Learning.

BURT Look Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. 2007

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, U.S Departament of transportation, Publicación No. FHWA-I-F-99-015, Washington, 1995.

LOKE, M. H.. Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite diffrence and finite-element methods. Geotomo Software, Malasia. 2002

LOKE, M. H. Y BARKER, R. D., Rapid least-squares inversion of pparent resistivity pseudosections by quasi-Nexton method. Geophysical Prospecting, 1996 v.44, p. 131-152.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías; Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, Bogotá, 2014.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías; Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras, Bogotá, 2012.

OTEO MAZO, Carlos; SERRA GESTA, Jesús; RODRÍGUEZ ORTIZ, Jose María. Curso aplicado de cimentaciones. Cuarta edición. Madrid. 1989

POULOS DAVIS, Pile foundation Analysis and design.

RODRÍGUEZ Manuel Arlande, Geofísica aplicada a la obra civil, Método geoelectrico y sísmica de refracción, Ingenieros Consultores, Valencia, España.

RUWAN RAJAPAKSE, CCM, CCE, PE. Pile Design and Construction Rules of Thumb.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Plancha geológica No.120, escala 1:1'000.000. [en línea] 2014 <http://www.sgc.gov.co/Geologia/Mapa-geologicode-Colombia.aspx>.

SUÁREZ CHACÓN, Vinicio A. y Kowalsky, Mervyn J. Diseño sísmico de pilas con pilotes pre-barrenados incluyendo la interacción: suelo-estructura.

ANEXOS

Anexo A. Perfiles Geotécnicos

Anexo B. Ensayos de Laboratorio