

**EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICANDO MÉTODOS
DETERMINÍSTICOS Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL TALUD UBICADO EN EL
BARRIO JUAN XXIII, PAMPLONA-NORTE DE SANTANDER.**

CLAUDIA GISSEEL PÉREZ RINCÓN

ONAR JAVIER VANEGAS DÍAZ

Autor(es)

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

PAMPLONA, 2019

**EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES APLICANDO MÉTODOS
DETERMINÍSTICOS Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL TALUD UBICADO EN EL
BARRIO JUAN XXIII, PAMPLONA-NORTE DE SANTANDER.**

CLAUDIA GISSEEL PÉREZ RINCÓN

ONAR JAVIER VANEGAS DÍAZ

Autor(es)

**Presentado al programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la
Universidad de Pamplona, para optar al título de Ingeniero Civil**

Director

Geólogo. JANER RAFAEL CANTILLO ROMERO

Codirector

Ing. Civil DEAN ANDERSON MONTAÑEZ TORRES

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

PAMPLONA, 2019

DEDICATORIAS

Dedico la presente tesis a mi familia, que sin su apoyo no hubiera llegado al término de la misma. Con quienes he tenido el placer de disfrutar momentos gratos, y han sido mi motor para seguir.

A mi padre (Sebastián Vanegas Mejía), quien con su amor, esfuerzo y respeto cada día me anima a seguir adelante en mi crecimiento personal y profesional.

A mi madre (Luz Mary Díaz Martínez), tú que me enseñaste que el orden y la disciplina van de la mano, a nunca descansar sin justa razón.

A mi tía y abuela (Acela Tovar y Mary Luz Martínez), quienes con su amor y dedicación han cuidado de mí durante todos estos años.

A mis hermanos, quienes me alentaron a no desmayar en situaciones difíciles durante toda mía carrera.

De igual manera la dedico a toda la extensa gama de familiares que tengo y a quienes quiero mucho y dirijo mis más sinceros agradecimientos, no caigo en nombres porque no me alcanzaría las hojas. Gracias.

ONAR JAVIER VANEGAS DÍAZ

A mi mamá, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntas, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi abuela Jo, porque nunca me faltó ese apoyo incondicional de ella y siempre quiso que yo me educara para que tuviera un buen futuro.

A mi padre por ser mi ejemplo a seguir, por ser ese hombre incansable que lucha día a día, por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida

A mi familia y todas las personas que fueron participes de este proceso y me brindaron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible, especialmente a madri, padri, mi tío Adrián, mi tía Bety, mis primas Kelly y Lili, ustedes fueron los responsables al realizar su pequeño aporte, que el día de hoy yo haya logrado culminar mi paso por la universidad.

A mi novio Juan Camilo. En el camino encuentras personas que iluminan tu vida, que con su apoyo alcanzas de mejor manera tus metas, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia me ayudo a concluir esta meta.

A mi hermanita Jenniferth, por ser mi motivación para salir adelante, ojalá algún día yo me convierta en su fuerza para que pueda seguir avanzando en su camino.

A mis amigas Silvia y Thalía, y demás amigos y familiares que de una u otra forma contribuyeron en esta formación.

En primer lugar, agradecerle a Dios por todo el amor, la sabiduría que nos brinda cada día.

Agradecemos a la Universidad de Pamplona por guiarnos siempre con conocimiento y sabiduría a lo largo de nuestra carrera universitaria, y por instaurar objetivamente la base fundamental de nuestro desarrollo ético y profesional.

A nuestro director de tesis el geólogo Janer Rafael Cantillo, por permitirnos desarrollar esta investigación, por ser un apoyo constante y haber creído en nosotros, convirtiéndose en un amigo y compañero en el momento de resolver inquietudes en el transcurso de este proceso, sin las cuales no se habría podido llevar a cabo la culminación de esta investigación.

Agradecemos a nuestros compañeros y amigos que con su apoyo nos ayudaron en el proceso de la recolección de datos en campo.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1.Objetivos	13
1.2 Objetivo General	13
1.3 Objetivos específicos.....	13
2.Desarrollo de la Investigación	14
2.1 Antecedentes de la investigación	14
2.2 Bases teóricas	18
2.2.1 Análisis de la Estabilidad del Talud.	18
2.2.1.1 Métodos de cálculo.	18
2.2.1.1.1 Método de Spencer.	20
2.2.1.1.2 Método de Morgenstern y Price.....	21
2.2.2 Tipología de inestabilidades.	21
2.2.3 Factor de seguridad.....	23
2.3 Alcance y Limitaciones.....	23
2.4 Recopilación de datos.....	24
2.4.1 Recopilación bibliográfica.....	25
2.4.2 Reconocimiento de la zona, delimitación del área de estudio y levantamiento topográfico.....	25
2.4.3 Levantamiento topográfico.....	26
2.4.4 Exploración geotécnica, geofísica y análisis estructural.	27
2.4.4.1 Exploración geotécnica.	27
2.4.4.2 Exploración geofísica.....	30
2.4.4.3 Sondeo eléctrico vertical (SEV).....	33
2.4.4.4 Análisis estructural.....	34
2.5 Procesamiento y análisis de datos.	38
2.5.1 Topografía	38
2.5.2 Información geotécnica.	39
2.5.2.1 Ensayos de laboratorio.....	40
2.5.3 Información geofísica.....	47

2.5.4 Sondeo eléctrico vertical (SEV)	48
2.5.4.1 Sondeo Eléctrico Vertical N°1 – Línea Sísmica N°2.	49
2.5.4.2 Sondeo Eléctrico Vertical N°2 – Línea Sísmica N°1.	49
2.5.4.3 Sondeo Eléctrico Vertical N°3 – Línea Sísmica N°3.	50
2.5.4.4 Sondeo Eléctrico Vertical N°4 – Línea Sísmica N°4 y N°5.	51
2.5.4.5 Sondeo Eléctrico Vertical N°5 – Línea Sísmica N°6	52
2.5.6 Análisis Estructural.....	53
2.6 Modelamiento de la estabilidad del talud.....	60
3. Resultados de la investigación	62
3.1 Interpretación y análisis de los resultados.....	62
4. Conclusiones y recomendaciones	66
Referencias.....	68

Lista de Anexos

Anexo 1 Ensayos de Laboratorio	71
Anexo 2. Datos de correlación de parámetros del suelo	89
Anexo 3. Análisis Estructural.....	98
Anexo 4. Factores de Seguridad.....	108
Anexo 5. Registro Fotográfico, Ensayos de refracción sísmica.....	144
Anexo 6. Registro Fotográfico, Recolección de muestras de suelo	145
Anexo 7. Registro Fotográfico, Ensayos de laboratorio	146
Anexo 8. Registro Fotográfico, Ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical	147
Anexo 9. Toma de medidas de dimensiones del pavimento	148
Anexo 10. Toma de medidas de las estructuras	149
Anexo 11. Tipos de cubierta	150

Lista de tablas

Tabla 1 Métodos de estabilidad de taludes.	19
Tabla 2 Clasificación de los deslizamientos	22
Tabla 3 Datos de Apiques	28
Tabla 4 Número de Viviendas.	36
Tabla 5 Área de las calles.	37
Tabla 6 Resultados de Humedad natural del suelo.	40
Tabla 7 Resultados Límites de Atterberg.....	41
Tabla 8 Clasificación de los Suelos.	43
Tabla 9 Promedio de Materiales presentes en la zona.	44
Tabla 10 Parámetros del Suelo.	45
Tabla 11. Perfil estratigráfico Apique N°1	46
Tabla 12 Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°1.	49
Tabla 13 Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°2.	50
Tabla 14 Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°3.	50
Tabla 15 Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°4.	51
Tabla 16 Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°5.	52
Tabla 17. Pesos de las estructuras de 1, 2 y 3 niveles.....	57
Tabla 18 Áreas de Manzanas.	57
Tabla 19. Peso promedio de cada Manzana.....	58
Tabla 20 Área y peso promedio del pavimento.	59
Tabla 21. Factores de Seguridad, Perfil N°1.	62
Tabla 22 Factores de Seguridad, Perfil N°2.	63
Tabla 23 Factores de Seguridad, Perfil N°3.	64
Tabla 24 Perfil estratigráfico Apique N°2	89
Tabla 25. Perfil estratigráfico Apique N°3	92
Tabla 26. Perfil estratigráfico Apique N°4	93
Tabla 27. Perfil estratigráfico Apique N°5	94
Tabla 28. Perfil estratigráfico Apique N°6	95
Tabla 29. Perfil estratigráfico Apique N°7	96

Tabla 30. Perfil estratigráfico Apique N°8	97
Tabla 31 Peso vigas ejes literales y numéricos	98
Tabla 32 Peso columnas.....	98
Tabla 33. Peso de las estructuras	101
Tabla 34. Altura y carga promedio de Manzana N°1	104
Tabla 35. Altura y carga promedio de Manzana N°2	104
Tabla 36. Altura y carga promedio de Manzana N°3	104
Tabla 37. Altura y carga promedio de Manzana N°4	104
Tabla 38. Altura y carga promedio de Manzana N°5	105
Tabla 39. Altura y carga promedio de Manzana N°6	105
Tabla 40. Altura y carga promedio de Manzana N°7	105
Tabla 41. Altura y carga promedio de Manzana N°8	105
Tabla 42. Altura y carga promedio de Manzana N°9	106
Tabla 43. Altura y carga promedio de Manzana N°10	106
Tabla 44. Altura y carga promedio de Manzana N°11	106
Tabla 45. Altura y carga promedio de Manzana N°12	106
Tabla 46. Altura y carga promedio de Manzana N°12	107
Tabla 47 Carga estructura de pavimento.	107

Lista de Figuras

Figura 1. Método de Spencer	20
Figura 2 Tipos de deslizamientos	22
Figura 3 Esquema Metodológico de la investigación	24
Figura 4. Zona de estudio.....	26
Figura 5. Referencia de coordenadas	28
Figura 6. Distribución de apiques.	29
Figura 7. Distribución en campo de los geófonos en el ensayo de refracción sísmica.....	31
Figura 8. Distribución de líneas o tendidos sísmicos.....	33
Figura 9. Distribución de los ensayos de Sondeo Eléctrico Vertical.....	34
Figura 10. Modelo Tipo de Viviendas.	35
Figura 11. Distribución de Manzanas.	35
Figura 12. Áreas de calles con pavimento rígido.....	37
Figura 13. Modelo Digital de Superficie 2D.	39
Figura 14. Picados.....	47
Figura 15. Modelo inicial, línea sísmica N°1	48
Figura 16. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV 1 – Línea 2	49
Figura 17. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV N°2 – Línea N°1	49
Figura 18. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV N°3 – Línea N°3	50
Figura 19. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV 4 – Línea 4-5.....	51
Figura 20. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV 5 – Línea 6.....	52
Figura 21. Placa aligerada.....	53
Figura 22. Planta arquitectónica.	54
Figura 23. Planta de entrepiso típica.....	55
Figura 24. Distribución en Planta de columnas.	56
Figura 25. Ubicación de perfiles.	60
Figura 26. Modelo Conceptual del perfil N°3	61
Figura 27. Análisis de estabilidad del perfil n3 en condición saturada con sismo	65
Figura 28. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°1 Estrato 1	71
Figura 29. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°1 Estrato 2	72

Figura 30. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°2 Estrato 1	73
Figura 31. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°2 Estrato 2	74
Figura 32. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°2 Estrato 3	75
Figura 33. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°3 Estrato 1	76
Figura 34. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°3 Estrato 2	77
Figura 35. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°4 Estrato 1	78
Figura 36. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°4 Estrato 2	79
Figura 37. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°5 Estrato 1	80
Figura 38. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°5 Estrato 2	81
Figura 39. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°6 Estrato 1	83
Figura 40. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°6 Estrato 2	83
Figura 41. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°6 Estrato 3	84
Figura 42. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°7 Estrato 1	85
Figura 43. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°7 Estrato 2	86
Figura 44. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°8 Estrato 1	87
Figura 45. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°8 Estrato 2	88
Figura 46. Datos de correlación de parámetros del suelo	90
Figura 47. Modelación estructural, ETABS 2016	103
Figura 48. FS Perfil N°1, con cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada con sismo. ..	108
Figura 49. FS Perfil N°1, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo.	109
Figura 50. FS Perfil N°1, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada sin sismo	110
Figura 51. FS Perfil N°1, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada con sismo. ...	111
Figura 52. FS Perfil N°1, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo.	112
Figura 53. FS Perfil N°1, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada sin sismo.	113
Figura 54. FS Perfil N°1, con cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.	114
Figura 55. FS Perfil N°1, con cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.	115
Figura 56. FS Perfil N°1, con cargas. Spencer. Condición no saturada sin sismo.	116
Figura 57. FS Perfil N°1, sin cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.	117
Figura 58. FS Perfil N°1, sin cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.	118
Figura 59. FS Perfil N°1, sin cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo.	119
Figura 60. FS Perfil N°2, con cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada con sismo	120

Figura 61. FS Perfil N°2, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo.	121
Figura 62.FS Perfil N°2, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada sin sismo.	122
Figura 63.FS Perfil N°2, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada sin sismo.	123
Figura 64.FS Perfil N°2, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada sin sismo	124
Figura 65 FS Perfil N°2, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo	125
Figura 66.FS Perfil N°2, con cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo	126
Figura 67.FS Perfil N°2, con cargas. Spencer. Condición saturada con sismo	127
Figura 68. FS Perfil N°2, con cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo	128
Figura 69. FS Perfil N°2, sin cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo	129
Figura 70.FS Perfil N°2, sin cargas. Spencer. Condición saturada con sismo	130
Figura 71. FS Perfil N°2, sin cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo	131
Figura 72. FS Perfil N°3, con cargas. Morgenstern – Price. Condición no saturada con sismo	132
Figura 73. FS Perfil N°3, con cargas. Morgenstern – Price. Condición saturada con sismo	133
Figura 74.FS Perfil N°3, con cargas. Morgenstern – Price. Condición saturada sin sismo.....	134
Figura 75. FS Perfil N°3, sin cargas. Morgenstern – Price. Condición no saturada con sismo..	135
Figura 76. FS Perfil N°3, sin cargas. Morgenstern – Price. Condición no saturada con sismo..	136
Figura 77. FS Perfil N°3, sin cargas. Morgenstern – Price. Condición saturada sin sismo.....	137
Figura 78. FS Perfil N°3, con cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.	138
Figura 79. FS Perfil N°3, con cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.	139
Figura 80. FS Perfil N°3, con cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo.	140
Figura 81. FS Perfil N°3, sin cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.	141
Figura 82. FS Perfil N°3, sin cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.	142
Figura 83. FS Perfil N°3, sin cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo.	143
Figura 84. Ensayo de refracción sísmica	144
Figura 85. Recolección de muestra de suelo.....	145
Figura 86. Ensayos de Laboratorio	146
Figura 87. Ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical SEV	147
Figura 88. Toma de Medida del Pavimento Rígido.....	148
Figura 89. Toma de Medida de la Estructura.....	149
Figura 90.Tipo de Cubierta en la Zona	150

Introducción

Los deslizamientos son movimientos en masa en los que se desprenden materiales a causa de una inestabilidad en el talud, como resultado de esto se presentan desde daños significativos hasta catástrofes de gran magnitud. Estos procesos geológicos son de gran importancia y por esta razón, lo ideal es identificar el problema con anterioridad para así, tomar medidas de control y prevención en la zona posiblemente afectada. El área de investigación está situada en la parte alta del barrio JUAN XXIII (Pamplona-Norte de Santander), donde se encuentra un conjunto de viviendas con cargas que además de los procesos de infiltración, topografía, sismicidad, meteorización, éstas son un factor que contribuye a desestabilizar la ladera.

Para realizar una correcta evaluación de la situación actual de la zona de estudio, la investigación contempló un análisis de estabilidad del talud en el que se cimienta un número de edificaciones y estructuras, haciéndose una recopilación de información geotécnica y geofísica que sirvió para realizar el modelo conceptual y con los datos de entrada, es decir, los parámetros del suelo se continua con hacer el modelamiento en el software Geoslope. Inicialmente al momento de modelar para obtener los factores de seguridad se incluyen solo los parámetros de entrada y para obtener estos mismos, pero teniendo en cuenta las cargas, se adicionan los pesos promedio calculados de las estructuras existentes en la zona. De esta manera se hace un análisis comparativo para determinar la incidencia en la estabilidad del talud en cuanto a las cargas que se ejercen sobre el suelo.

1. Objetivos

1.2 Objetivo General

Evaluar la Estabilidad de talud aplicando métodos determinísticos y análisis estructural en el Talud ubicado en el Barrio Juan XXIII, Pamplona-Norte de Santander

1.3 Objetivos específicos

- Elaborar una evaluación geotécnica a través de estudios en la zona, tales como: levantamientos topográficos, exploración sísmica y geotécnica.
- Realizar un análisis estructural para un sistema de mampostería confinada, y determinar las cargas externas aplicadas sobre el talud producto de las viviendas y demás estructuras existentes.

2. Desarrollo de la Investigación

2.1 Antecedentes de la investigación

A continuación, se presenta una síntesis de una serie de investigaciones realizadas anteriormente y relacionados con éste estudio, con el fin de esclarecer el objeto de la investigación. Los antecedentes se dividen en los 4 ámbitos siguientes: internacional, nacional, regional y local.

Pacheco Zapata Arturo en el año 2006 en la ciudad de Lima-Perú, analizó el problema y presentó alternativas de solución y el diseño de ingeniería para un tramo de 500 m de los taludes de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro, efectuando el análisis para condiciones estáticas y dinámicas, analizando las alternativas de solución para los distintos problemas y tratando de minimizar los costos de la obra de mejoramiento.

Torres Chung César en el año 2007 en la ciudad de Lima-Perú, realizó una investigación denominada “Valoración del Riesgo en Deslizamientos” que tuvo como objetivo, estudiar y evaluar las metodologías para cuantificar el grado de riesgo a deslizamientos en taludes de suelos y rocas en el Perú, aplicando nuevos conceptos a los análisis de estabilidad de taludes.

A partir de la metodología planteada, se logró la realización de una comparación de los valores calculados mediante el método de la simulación Monte Carlo aplicando el método de equilibrio límite de Morgenstern Price, y los análisis determinísticos aplicando el método de la Serie de Taylor, empleando el método de Bishop Simplificado y siguiendo el mismo procedimiento de cálculo.

León Castro & González Olhmeir, efectuaron en el año 2013, en Tijuana, Baja California un Análisis Cuantitativo de la Estabilidad en Taludes y laderas. El objetivo de éste estudio fue dar a conocer información actualizada sobre el análisis de la estabilidad en taludes y laderas, con énfasis en los métodos de cálculo más utilizados, su aplicación y resultados obtenido. En el desarrollo metodológico, los investigadores hicieron uso de los siguientes métodos: métodos basados en el equilibrio límite de la masa de suelo que desliza y métodos que consideran las deformaciones del terreno.

Coliente Tlaxcalteca realizó un proyecto de investigación en el año 2010 en México D.F, el cual tuvo como título: Inestabilidad en laderas y taludes. El objetivo planteado fue hacer una guía que sirva como base para el estudio y análisis de los distintos tipos de deslizamientos que se generan en suelos y en rocas. Considerando los estudios de campo y de laboratorio que son necesarios para determinar las propiedades mecánicas que intervienen en el análisis de estabilidad de una ladera o un talud.

Así mismo, Mendoza Loayza Joel (2016) en Lima-Perú, empleando el análisis de equilibrio límite en condiciones estáticas y pseudoestáticas, realizó los cálculos de factores de seguridad y determinó los parámetros de diseño de taludes de suelos de más de 100 metros de altura. Para llevar a cabo los objetivos planteados, el investigador realizó un estudio de parámetros geotécnicos e hidrológicos de la zona de análisis.

Morales Salas Hernán y Valiente Olivo Mario en el año 2017 en Cartagena D.T Y C. llevaron a cabo una Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes, en la Institución Social Jardín Infantil Lipaya, casco urbano Barranquilla. En el proceso metodológico se llevaron a cabo procesos tales como: topografía, geología y geomorfología, hidrología, geotecnia y sismicidad

para luego hacer la modelación y análisis de estabilidad de taludes mediante el software SLIDE ®V.5.

Escobar Toro Luis y Valencia Gonzalez Yamile, en la ciudad de Medellín en el año 2012 analizaron la estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín - Bogotá en el tramo de vía entre marinilla y santuario, en Medellín, en la que hace una caracterización geotécnica de muestras para la determinación de los diferentes parámetros del suelo y luego utiliza diversos métodos de estabilidad tales como método del círculo de rotura y método de dovelas, para cumplir con el objetivo que fue, evaluar la estabilidad para diferentes inclinaciones, de dos taludes de suelos de origen tropical, aplicando métodos probabilísticos, estimando el factor de seguridad y probabilidad de falla.

De la misma manera, Prada Chavez Oscar y Serrano Plata Efrín 2009 en la ciudad de Bucaramanga, hacen un estudio completo de la variación de las propiedades geotécnicas y analizan la estabilidad del terreno que conforma el embalse de Bucaramanga y determinan los posibles efectos que puede generar su inundación y desembalse. Para cumplir los objetivos los autores llevaron a cabo procedimientos muy parecidos a los proyectos antes mencionados, en la que se determinan las características del suelo para después hacer el modelamiento a través de un software y de ésta manera determinar el factor de seguridad del talud.

Giraldo Fernández Katerine y Tejeda Muñoz Alejandro en el año 2016 en la ciudad de Cali, elaboraron un Análisis de estabilidad de taludes bajo condiciones de infiltración por lluvia. En este trabajo se estableció el siguiente objetivo general: Estudiar la relación lluvia-infiltración como agente detonante de inestabilidad de taludes, para el movimiento en masa ocurrido en el mes de noviembre de 1987 en el sector de Los Mangos del barrio Brisas de Mayo. Para llevar a cabo el debido procedimiento en la realización de este estudio, los autores pusieron en práctica las diversas

técnicas para la recolección de datos en campo y de laboratorio, y luego, ya obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio hacer el debido análisis, para posteriormente, llevar a cabo la modelación mediante el método de equilibrio límite y obtener las debidas conclusiones y recomendaciones.

López Salazar Jose en 2012 en Armenia, realiza un Estudio Geotécnico para el Diseño de Cimentaciones Plan De Vivienda Sector La Flora Municipio de Santa Rosa de Cabal— Departamento de Risaralda. El autor realiza un análisis geotécnico y un análisis de estabilidad de taludes respectivamente, llevando a cabo las siguientes actividades: Exploración manual del subsuelo, realización de ensayos de laboratorio, definición del perfil stratigráfico del subsuelo y caracterización de los parámetros geomecánicos. Además, define conceptos acerca de criterios de estabilidad, tales como factor de seguridad, superficie de falla y realiza el análisis mediante el programa GEOSLOPE 2010, el cual, mediante el método de equilibrio límite (sin tener en cuenta las deformaciones del terreno) y el método del elemento infinito, comúnmente aceptados en la práctica profesional, plantea el equilibrio de fuerzas.

Gutierrez Herrera Juan y Velez Villamizar Maickol (2016) en Ocaña, analizan la estabilidad de taludes por medio de un método no determinístico, en el cual el software slope/w con ayuda del método Montecarlo asocia el factor de seguridad a una probabilidad de falla. Se realizaron 12160 simulaciones de taludes delimitados por su altura, ángulo de inclinación, altura piezométrica y parámetros resistentes del suelo. Dichos cálculos y análisis se realizaron a través del software slope/w con el método de Morgenstern-price y en la metodología utilizada se realizan análisis probabilísticos, análisis de sensibilidad, generación de bases de datos.

Jimenez Martinez Juan y Amesquita Gonzalez Breiner en el año 2017 en Pamplona, elaboraron una Evaluación de estabilidad de un talud en la zona Norte de Pamplona entre los

barrios Juan XXIII y San Luis, aplicando métodos determinísticos para diagnosticar posibles fenómenos de remoción en masa. El objetivo principal fue, Estimar por métodos determinísticos, el posible fenómeno de remoción en masa, en el talud de la zona nororiental, barrios Juan XXIII y San Luis, del municipio de Pamplona Departamento Norte de Santander.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Análisis de la Estabilidad del Talud.

Según (Pacheco Zapata, 2006) “El análisis de estabilidad se basa en determinar el factor de seguridad que posee el talud en estudio. Este factor se halla comparando los esfuerzos a los que está sometido el talud y los esfuerzos que éste puede soportar”

2.2.1.1 Métodos de cálculo.

Los métodos disponibles para el análisis del comportamiento de las laderas son:

- Los métodos de límite de equilibrio
- Los métodos numéricos
- Los métodos dinámicos

En este trabajo se utilizan métodos de límite de equilibrio que “se basa en la formulación de un material de suelo con elasticidad infinita, el cual no se deforma alcanzando la ruptura inmediatamente; para realizar el equilibrio límite se necesita tomar una masa de suelo que se encuentra definida por una superficie de corte a la cual se le realiza un análisis estático. En otras palabras, se obtienen las ecuaciones de equilibrio de fuerzas verticales, horizontales y momento

aplicado sobre un punto, donde se planteará un deslizamiento rotacional de la masa”. (Giraldo Fernández & Tejeda Muñoz, 2016).

En la tabla 1 se encuentra una breve descripción de los métodos de análisis de estabilidad de taludes, los supuestos, el equilibrio y los diferentes tipos de superficies de fallas que contemplan.

Tabla 1
Métodos de estabilidad de taludes.

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado.	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.
Elementos finitos	Cualquier forma de la superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Elementos finitos	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas.	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Fuente: (Díaz, 2001)

2.2.1.1.1 Método de Spencer.

“El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación. La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas θ ”. (Suarez Díaz J, 2001)

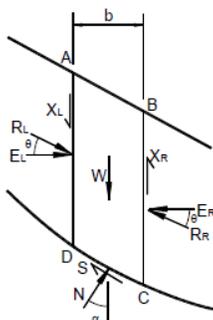


Figura 1. Método de Spencer
Fuente: (Suarez Díaz J 2001)

“Para resolver las ecuaciones F y θ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error. Una vez se obtienen los valores de F y θ se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de

geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad”. (Duncan y Wright, 2005).

2.2.1.1.2 Método de Morgenstern y Price.

“El método de Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas. Esta función puede considerarse constante, como en el caso del método de Spencer, o puede considerarse otro tipo de función. Sin embargo, esta suposición de funciones diferentes tiene muy poco efecto sobre el cálculo de factor de seguridad cuando se satisface el equilibrio estático y hay muy poca diferencia entre los resultados del método de Spencer y el de Morgenstern y Price. El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo”. (Suarez Díaz J, 2001).

2.2.2 Tipología de inestabilidades.

“Al realizar un análisis sobre los fenómenos de inestabilidades de taludes, es necesario primero realizar una clasificación de los diversos comportamientos que provocan movimientos en el talud y ocasiona la desestabilización. Los deslizamientos pueden ocurrir como: caídas, basculamientos, separaciones laterales, deslizamientos o flujos”. (Valiente, Sobrecases y Díaz, 2015)

Tabla 2
Clasificación de los deslizamientos

Tipo	Mecanismo	Material desplazado
Caídas,	Desprendimiento de material que se desplaza por el aire, brinca o rueda	Rocas, Suelos
Volcamientos	Masas que rotan en un punto sin desprenderse.	Rocas, detritos
Deslizamientos	La masa se desplaza sobre una superficie de falla por cortante sin desintegrarse apreciablemente	Rocas, Suelos
Flujos, avalanchas y deslizamientos por flujo	La masa se mueve grandes distancias la mayor parte del trayecto en forma viscosa	Rocas, detritos, tierras, Lodos, turba
Creep (Reptación)	La masa se deforma muy lentamente sin fallar.	Rocas, suelo.

Fuente: (Montero Olarte , 2017)

La figura 2 contiene los distintos tipos de deslizamientos que se presentan en taludes:

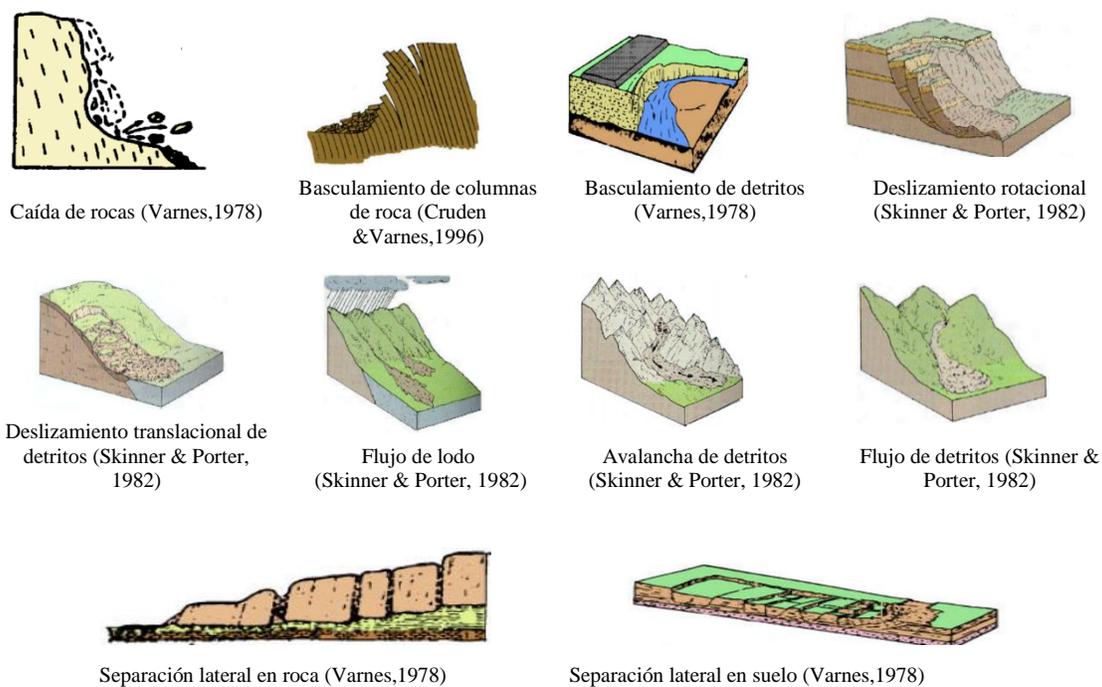


Figura 2 Tipos de deslizamientos
Fuente: Valiente, Sobrecases y Díaz (2015)

2.2.3 Factor de seguridad.

El Factor de Seguridad es empleado para conocer cuál es el elemento de amenaza al que está expuesto el talud y por esto, la norma NSR-10 establece valores de factores de seguridad básicos mínimos directos FSBM en taludes. La norma plantea que con un FSBM < 1.5 se considera el talud propenso a deslizamiento y si es mayor de este valor se diagnostica un talud en buen estado.

2.3 Alcance y Limitaciones

En el presente trabajo se realiza un análisis de estabilidad para evaluar las condiciones que presenta el talud ubicado en la parte alta del barrio JUAN XXIII, empleando el método de equilibrio límite, en el cual se tienen en cuenta las viviendas y demás estructuras situadas en la superficie de dicha ladera que le aportan una considerada carga. Este análisis se hizo por el método de Spencer y el de Morgenstern - Price, el cual se desarrolló mediante las condiciones: saturadas sin sismo, saturada con sismo, no saturadas con sismos, éstas requieren como datos iniciales los siguientes parámetros mecánicos del suelo: el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ), la cohesión (C_u), el peso unitario seco (γ_d) y el saturado del suelo (γ_w). La obtención de los dos primeros se hizo por medio de correlaciones haciendo una comparación de manera estadística (Ver anexo 2). De esta manera, se determina el factor de seguridad utilizando el software Geoslope para las posibles superficies de falla que más se ajusten a las condiciones actuales del talud en estudio y se establecen conclusiones y recomendaciones.

2.4 Recopilación de datos

Para el desarrollo de esta investigación, se hizo necesaria la recolección de cierta cantidad de datos iniciales en trabajos de campo (ensayos de refracción sísmica y sondeo eléctrico vertical SEV, apiques o excavaciones realizados de forma distribuida en toda la zona) y laboratorios de suelos, para luego procesar toda esa información de manera objetiva a través de correlación de variables, análisis de contenido y generalización (toda la información recolectada y su procesamiento se puede observar detalladamente en el Anexo 1). El tipo de investigación utilizada en este estudio es investigación de campo, debido a que se recolectan los datos directamente de la zona de análisis.

El esquema metodológico utilizado se dividió en 6 fases importantes en las que se determinó los pasos a seguir para el cumplimiento de los objetivos del proyecto de investigación, estos se muestran en el siguiente gráfico:

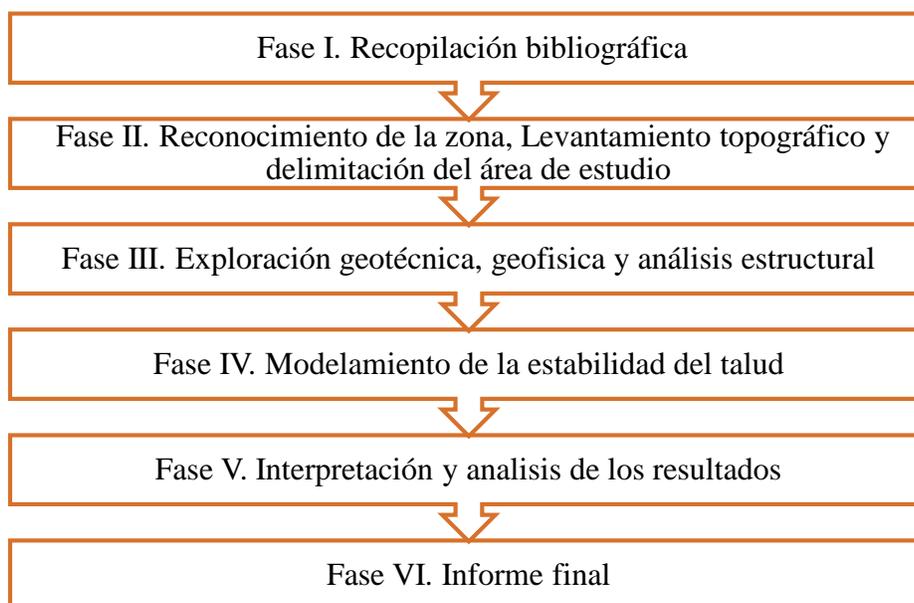


Figura 3 Esquema Metodológico de la investigación

Para la ejecución del proyecto se requirió de la toma de una variedad de datos en la que se usaron distintos métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de dichos datos y así cumplir a cabalidad las primeras 3 fases contempladas en la metodología.

2.4.1 Recopilación bibliográfica.

Se hizo necesaria una previa consulta bibliográfica para recopilar información sobre metodologías empleadas para el análisis de estabilidad de Taludes; así mismo se obtuvo artículos e informes desde los ámbitos internacional, nacional, regional y local donde se aplicaron los métodos determinísticos, en los que se tiene en cuenta la mayoría de los factores que pueden afectar la estabilidad y de esta manera adquirir criterios básicos relacionados con los fenómenos de remoción en masa para realizar el respectivo análisis y tener toda la información necesaria para el desarrollo de este proyecto de investigación situado en la parte alta del barrio Juan XXIII Pamplona-Norte de Santander.

2.4.2 Reconocimiento de la zona, delimitación del área de estudio y levantamiento topográfico.

El área de estudio se encuentra localizada en la parte alta del barrio Juan XXIII, ésta es una zona de alta pendiente y la mayor parte de la superficie está urbanizada. El polígono de color naranja que se muestra en la figura 4 representa el área de estudio, obtenida a partir de la

herramienta Google Earth, el cual realizando tal delimitación de la zona se obtuvo un valor de área que corresponde a 81,100 m²



Figura 4. Zona de estudio.
Fuente: Herramienta empleada, Google Earth

2.4.3 Levantamiento topográfico.

El levantamiento topográfico fue elaborado y suministrado por Jimenez & Amesquita, en la cual emplearon la técnica de fotogrametría mediante el uso de Drone de referencia DJI Phantom 3 Profesional, ésta consiste en la captura de imágenes aéreas a lo largo de una ruta de vuelo que es ajustada a unos parámetros previamente definidos, es decir, el área de estudio (Barrio JUAN XXIII parte alta) y la elevación máxima permitida. “El sistema del Drone se compone de dos elementos principales: una plataforma aérea y un centro de control en tierra, enlazados a través de una señal de radiocomunicación. La plataforma aérea está equipada generalmente con un sistema de

navegación o piloto automático que permite la navegación autónoma, siguiendo una ruta de vuelo predefinida por el usuario desde la estación de control en tierra. Esta navegación autónoma es posible por medio de la integración de un sistema inercial y un sistema GPS en la plataforma aérea, que permiten conocer la postura y posición de ésta durante el vuelo. Esta información es enviada en tiempo real a la estación de control desde donde se realiza el seguimiento de la plataforma”. (Cáseres, Escalante, y Porras, 2016).

2.4.4 Exploración geotécnica, geofísica y análisis estructural.

2.4.4.1 Exploración geotécnica.

Para llevar a cabo la investigación del subsuelo se realizaron 8 apiques distribuidos en toda la zona de estudio (Ver figura 5), siguiendo los lineamientos de la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. La realización de estos apiques permitió una exploración directa del perfil del suelo, un examen visual de todos los estratos presentes, determinar la profundidad en la que se encontraba el nivel freático, cabe resaltar que solo se presentó nivel freático en el apique N°2 a una profundidad de 1.70 m, y extraer muestras de suelo para posteriormente llevar a cabo todos los ensayos de laboratorios planteados (Ver resultados de ensayos en Anexo 1). La capa vegetal en promedio que posee la ladera es de 30 cm.

En la tabla 3 se presentan las coordenadas, profundidades y número de estratos encontrados en las excavaciones ejecutadas.

Tabla 3
 Datos de Apiques

Apique	Coordenadas		Profundidad	Ancho	Largo	Número de estratos
	Norte	Este				
N° 1	1308559,374	1158172,43	2,1 m	1,00	1,50	2
N° 2	1308621,656	1158032,576	2,30 m	1,5 m	1,2 m	3
N° 3	1308554,874	1157931,45	1,90 m	1,5 m	1,0 m	2
N° 4	1308597,721	1158002,53	2,30 m	1,5 m	1,5 m	2
N° 5	1308537,476	1158124,39	2,5 m	1,8 m	1,2 m	2
N° 6	1308418,268	1158232,13	2,30 m	1,5 m	1,5 m	3
N° 7	1308404,292	1158221,102	2,20 m	1,0 m	1,3 m	2
N° 8	1308298,263	1158241,88	1,50 m	1,0 m	1,0 m	2

Nota: las coordenadas mostradas en la tabla 3, se encuentran referenciadas a partir de la figura 5.

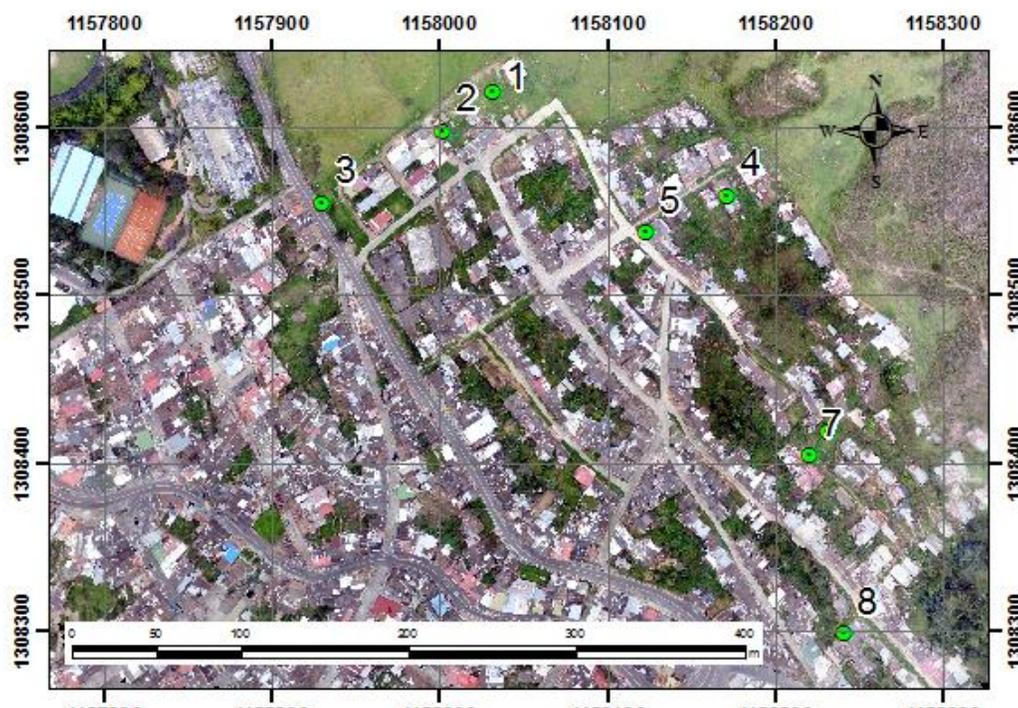


Figura 5. Referencia de coordenadas



Figura 6. Distribución de apiques.
Fuente: Herramienta empleada, Google Earth

Con las muestras de suelo que se extrajeron de las excavaciones realizadas se ejecutaron los laboratorios de humedad, granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica y relaciones gravimétricas y volumétricas, para determinar las propiedades y características del tipo de suelo. Para llevar a cabo el procedimiento adecuado de cada ensayo se siguieron los lineamientos de las normas INVIAS (Instituto Nacional de Vías) y ASTM (American Society for Testing and Materials).

- Contenido de humedad (INV E-122)
- Granulometría (INV E-123)
- límites de Atterberg (INV E-125 Y 126)
- Gravedad específica (INV E-128)
- Relaciones gravimétricas y volumétricas (ASTM D854-06)

Los ensayos se ejecutaron en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Universidad de Pamplona, las evidencias fotográficas se plasman en el Anexo 7.

- Fricción interna del suelo ϕ (grados) y Cohesión (KN/m³)

Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción necesarios para la modelación en el software Geoslope, se determinaron efectuando un promedio de los tipos de suelos comunes a través de métodos estadísticos, comparando los resultados obtenidos en este estudio con las investigaciones elaboradas por Jimenez & Amesquita, 2017 y Albarracín Rodríguez Rodrigo, 2018. Ver anexo 2

2.4.4.2 Exploración geofísica.

Esta fase del proyecto comprende la realización del método de refracción sísmica el cual consiste en medir el tiempo de propagación de las ondas transcurrido entre el sitio donde se efectúa el disparo y la llegada de las ondas elásticas a los diferentes puntos de observación ubicados en la superficie.

“El método de refracción sísmica es el estudio del subsuelo, para la determinación de las condiciones (meteorización, fracturación, alteración) y competencia de la roca, como también para detección de fallas geológicas. Este método mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación” (Geodatos, 2015)

Los datos geofísicos se obtuvieron a partir de la extensión de 6 tendidos sísmicos o líneas de refracción (ver distribución de las líneas sísmicas en la zona de estudio en la figura 7) a partir

del uso de sismógrafos y geófonos con el fin de evaluar los espesores de los diferentes depósitos de suelo. Estas líneas sísmicas cuentan con una longitud que varía entre 48 y 84 metros cada una con 24 geófonos conectados a ella, separados cada 2 o 3 metros, la obtención de los datos sísmicos se realizó a partir de la generación de golpes con un mazo de 16 libras (de cabeza forjada en acero y mango de madera) sobre una platina de metal. La evidencia fotográfica de la realización de este ensayo se muestra en el anexo 5.

La figura 7 indica un ejemplo de la ubicación en campo de un sismógrafo de doce canales que muestra el camino de las ondas sísmicas directas y refractadas. El sistema de toma de datos consta de cuatro partes principales: la fuente de energía o sistema de arranque, cables de señal, los geófonos y el equipo registrador (sismógrafo).

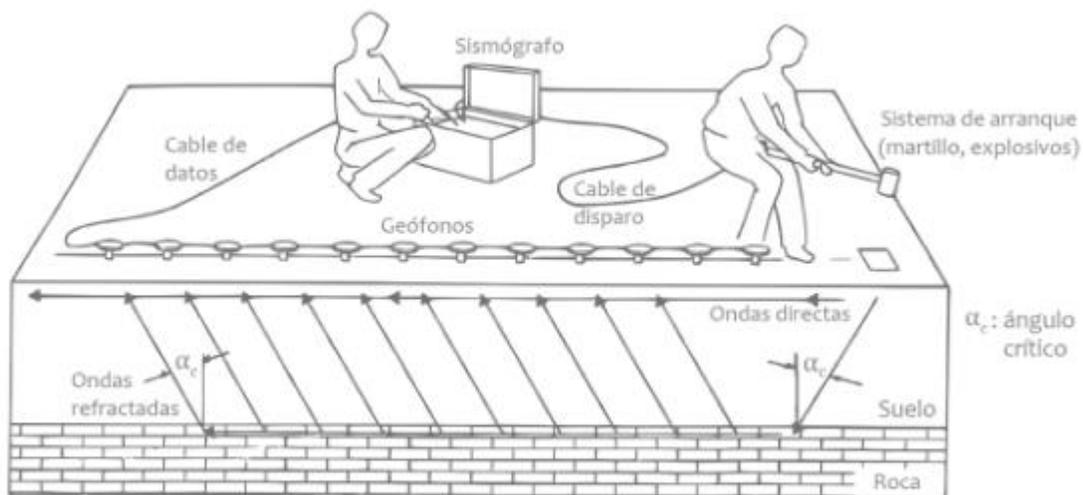


Figura 7. Distribución en campo de los geófonos en el ensayo de refracción sísmica
Fuente: Tomado de Aristizabal Arias & Mendoza Alfonso (2017)

Para la realización del ensayo de refracción sísmica se requirió del uso de los siguientes equipos de medición: (Rosales Climent Cristina Isabel, 2001)

- *Fuente de energía o sistema de arranque:* Se requirió del uso de un mazo de 16 libras que

aportó la energía necesaria para la generación de las ondas sísmicas mediante una serie repetitiva de impactos aplicados sobre una platina metálica.

- *Sensores (Geófonos)*: Las ondas refractadas son captadas mediante una serie de geófonos dispuestos sobre el tendido de refracción sísmica ubicados cada 2 a 3 metros, es necesario que los geófonos trabajen con frecuencias de vibraciones entre 8 y 40 Hz. Estos sensores se encargan de convertir la energía mecánica (impacto producido para generar la onda) en energía eléctrica la cual es transferida hasta el equipo geode.
- *Sismógrafo Geode ultra-lite*: Este equipo recibe la energía eléctrica generada en los geófonos y las transmite hasta el convertidor.
- *Cables sísmicos (cable de datos y cable de disparo)*: Se usan para conectar los geófonos entre sí y con el Geode
- *Tigger*: Se conecta a la fuente que genera el impulso sísmico hasta el geode.
- *Convertidor*: Convierte las señales eléctricas del geode en energía mecánica.
- *Batería*: Brinda la energía eléctrica que requieren para funcionamiento.
- *Computador portátil*: Se utilizó para almacenar los registros obtenidos que posteriormente fueron procesados.

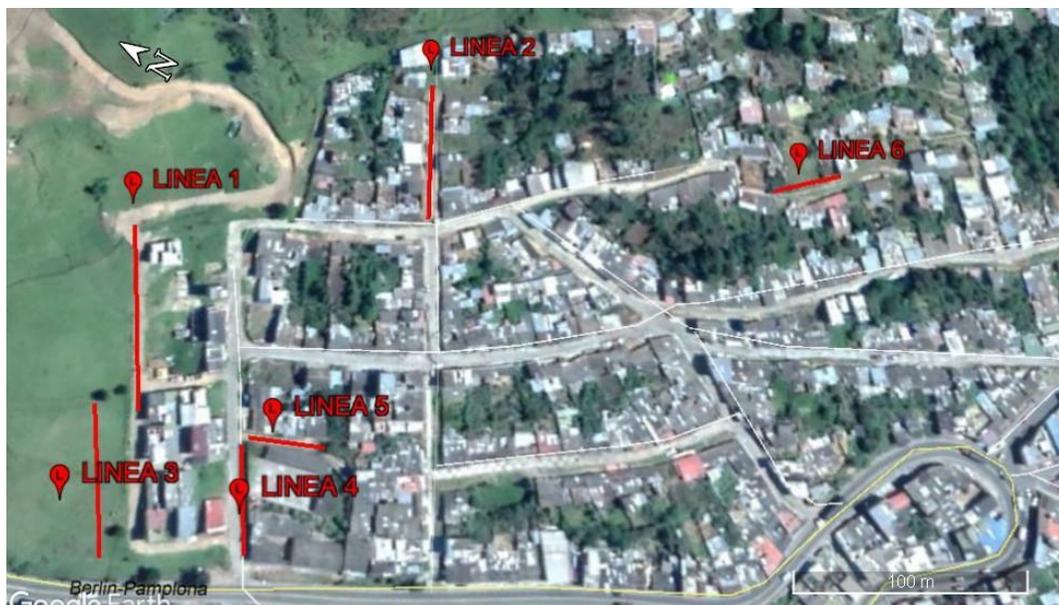


Figura 8. Distribución de líneas o tendidos sísmicos.
Fuente: Herramienta empleada, Google Earth

2.4.4.3 Sondeo eléctrico vertical (SEV).

La finalidad del sondeo eléctrico vertical (SEV) es “averiguar la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Se utiliza sobre todo para detectar y establecer los límites de capas horizontales de suelo, la profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos ya que a mayor distancia de separación entre los electrodos A Y B la profundidad del sondeo aumenta”. (Daniel Eduardo Arias, 2011).

Los sondeos eléctricos verticales se hicieron de forma perpendicular a las líneas de refracción sísmicas realizadas. En total se hicieron 5 sondeos con longitudes entre 30 a 50 metros, cada uno con la configuración electródica de Wenner.

“Con las mediciones de resistividad obtenidas a partir del método Wenner, el cual posee un gran poder resolutivo ante la presencia de cambios geológicos verticales, serán sometidas a una

inversión y a ciertas correcciones que permiten obtener la distribución geo-eléctrica real del subsuelo. Los sondeos eléctricos verticales al ser tratados permiten la obtención de un modelo de resistividades, las cuales están en función de la profundidad permeada; dicho método permite visualizar la distribución de las capas geoelectrica, al asumir que estas se encuentran dispuestas en el subsuelo de manera homogénea”. (Marín Herrera & Avendaño Hernández, 2017)



Figura 9. Distribución de los ensayos de Sondeo Eléctrico Vertical.
Fuente: Herramienta empleada, Google Earth

2.4.4.4 Análisis estructural.

Las acciones en las que se hacen modificaciones en los elementos que conforman la superficie de la tierra, repercuten directamente en la estabilidad del talud. Es necesario conocer el peso promedio de las viviendas cimentadas en el talud del área de estudio barrio Juan XXIII parte alta, más la carga del pavimento rígido presente para determinar si dichas cargas son agente un desestabilizador importante.

Mediante un recuento realizado durante 3 días en la zona de estudio, se recopiló la información basada en registrar el número de niveles de las viviendas construidas en el lugar, por lo que se encontraron viviendas de 1,2 y 3 niveles, agrupándolas según el número de manzana establecido (ver figura 11). Para el procesamiento y la obtención de la carga promedio se opta por establecer 3 modelos de vivienda tipo (ver figura 10) con dimensiones 6m * 14m y una altura de entre piso de 2,6m para cada nivel.



Figura 10. Modelo Tipo de Viviendas.
Fuente: Software empleado, SketchUp Pro



Figura 11. Distribución de Manzanas.
Fuente: Herramienta empleada, Google Earth

La zona se delimita por 13 manzanas y según el conteo de viviendas realizado se obtiene el número total de éstas para 1 2 y 3 niveles, como se muestra en la tabla N°4.

Tabla 4
Número de Viviendas.

N° de Manzana	Totalidad de viviendas		
	N° de Niveles		
	1 Nivel	2 Niveles	3 Niveles
1	15	8	6
2	22	3	2
3	23	1	1
4	16	2	2
5	18	7	0
6	1	1	1
7	26	5	1
8	26	1	0
9	29	13	5
10	13	13	7
11	26	8	8
12	0	9	7
13	1	3	3

Para la obtención de la carga del pavimento rígido presente en el área de estudio se hicieron mediciones de largo, ancho y espesor directamente en la zona estableciendo un número de áreas para cada calle (ver figura 12) para luego corroborar estas distancias haciendo uso de la herramienta Google Earth.

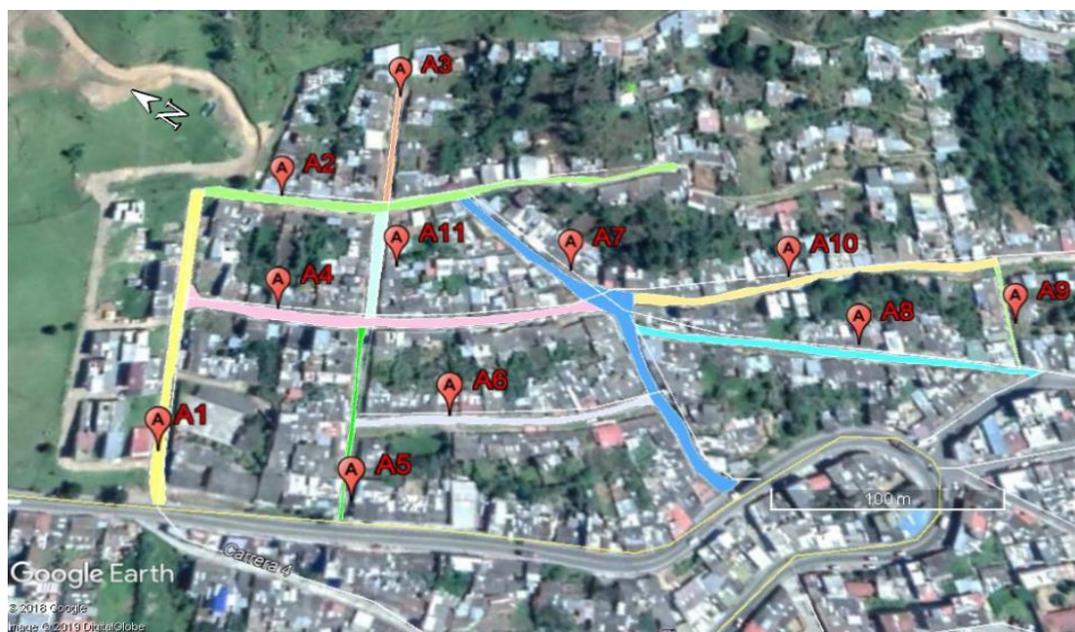


Figura 12. Áreas de calles con pavimento rígido.
Fuente: Herramienta empleada, Google Earth

Tabla 5
Área de las calles.

Área de pavimento				
	Long (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Área (m ²)
A1	152	5,5	0,18	838 m ²
A2	206	4,7	0,18	969 m ²
A3	64	2,5	0,18	161 m ²
A4	185	4,7	0,18	869 m ²
A5	92	1,8	0,18	165 m ²
A6	107	3,7	0,18	394 m ²
A7	182	5,6	0,18	1020 m ²
A8	161	3,8	0,18	597 m ²
A9	47	1,8	0,18	83 m ²
A10	185	3,8	0,18	665 m ²
A11	55	6,5	0,18	349 m ²
Total				6110 m²

En el siguiente título se indica el procesamiento para establecer las cargas de cada una de las viviendas de 1,2 y 3 niveles y se presenta la carga promedio calculada del pavimento rígido (ver

memoria de cálculo en Anexo 3). Además, se muestran los resultados obtenidos de los demás ensayos realizados en campo y laboratorio.

2.5 Procesamiento y análisis de datos.

Para realizar el modelamiento por medio del Software Geoslope y conseguir el factor de seguridad del talud, se requieren los siguientes datos de entrada: espesores de capas o estratos, tipos de suelos, parámetros estructurales y cargas estructurales. Estos se obtienen a partir de los siguientes procedimientos efectuados en cada una de las fases planteadas (ver fases en figura 3).

2.5.1 Topografía

El levantamiento topográfico fue elaborado y suministrado por (Jimenez & Amesquita, 2017) quienes llevaron a cabo el procedimiento mediante el uso de un Drone de referencia DJI Phantom 3 Profesional el cual se obtuvo capturas fotográficas aéreas de la zona de estudio y a partir de éstas se genera una ortofotografía de alta resolución, basados en el principio de fotogrametría, el cual según IGAC (2018) “La fotogrametría es la ciencia o técnica cuyo objetivo es el conocimiento de las dimensiones y posición de objetos en el espacio, a través de la medida o medidas realizadas a partir de la intersección de dos o más fotografías, o de una fotografía y el modelo digital del terreno correspondiente al lugar representado, el cual ha de ser realizado anteriormente por intersección de dos o más fotografías.” El objetivo de la “fotogrametría es el conocimiento de las dimensiones y la posición de objetos en el espacio, a través de la medida o medidas realizadas a partir de la intersección de dos o más fotografías, o de una fotografía y el modelo digital del terreno correspondiente al lugar representado, el cual ha de ser realizado anteriormente por intersección de dos o más fotografías, donde la más utilizada es la aérea, esta consiste en la utilización de fotogramas aéreos de eje vertical tomados desde un dron que

sobrevuela la zona de estudio, recubriendo el territorio con fotogramas que se solapan tanto longitudinal como transversalmente. Esta se aplica para la elaboración de planos y/o mapas para el desarrollo de proyectos de ingeniería.” (Tecnoceano, 2015)



*Figura 13. Modelo Digital de Superficie 2D.
Fuente: (Jimenez & Amesquita, 2017)*

2.5.2 Información geotécnica.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio de suelos, se procedió a organizar toda la información recolectada y plasmarla en una columna estratigráfica de suelos en donde se visualiza el espesor de cada estrato, las propiedades geomecánicas y los parámetros estructurales del suelo (ver anexo 1 donde se plasman todos los cálculos de los ensayos en cada apique con su respectivo perfil estratigráfico).

2.5.2.1 Ensayos de laboratorio.

Los resultados de los ensayos de laboratorio para la caracterización del suelo se presentan a continuación:

- Ensayo de Humedad natural.

Tabla 6
Resultados de Humedad natural del suelo.

Muestra N°	Apique / Estrato	Clasificación U.S.C.S	Contenido de humedad (%)
1	A1 / E1	SP	22,14
2	A1 / E2	SP-SC	2,96
3	A2 / A1	SC	26,53
4	A2 / E2	SP-SM	20,60
5	A2 / E3	SP-SC	37,17
6	A3 / E1	SP	27,90
7	A3 / E2	SP-SC	14,55
8	A4 / E1	SC	21,28
9	A4 / E2	SP	19,36
10	A5 / E1	SP-SC	29,37
11	A5 / E2	SC	17,74
12	A6 / E1	SP	19,63
13	A6 / E2	SP	19,71
14	A6 / E3	SP	18,29
15	A7 / E1	SP	15,96
16	A7 / E2	SP	21,98
17	A8 / E1	SP	18,77
18	A8 / E2	SP-SC	22,58

En la tabla 6 se evidencia que hay mayor contenido de humedad con un porcentaje de

37,17% en la muestra número 5 que corresponde al apique 2 en el estrato 3, este dato es cierto al tener en cuenta que en este apique hubo presencia de nivel freático, el cual tiene un alto grado de saturación.

➤ Ensayo de Límites de Atterberg.

Tabla 7

Resultados Límites de Atterberg.

Muestra N°	Apique / Estrato	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	A1 / E1	37.66	28.50	9.16
2	A1 / E2	37.64	28.61	9.03
3	A2 / A1	40.54	35.18	5.36
4	A2 / E2	43.72	39.31	4.41
5	A2 / E3	47.19	41.14	6,05
6	A3 / E1	30.22	28.25	1.97
7	A3 / E2	27.04	18.33	8.71
8	A4 / E1	36.11	22.05	14.06
9	A4 / E2	36.22	24.64	11.58
10	A5 / E1	37.08	26.79	10.30
11	A5 / E2	37.87	8.89	28.98
12	A6 / E1	25.00	23.72	1,28
13	A6 / E2	25.92	17.62	8.29
14	A6 / E3	27.07	22.67	4.40
15	A7 / E1	27.05	19.41	7.64
16	A7 / E2	34.73	32.35	2,38
17	A8 / E1	37.34	31.32	6,02
18	A8 / E2	32.97	24.52	8.45

Según la tabla 7 se observa que la muestra de suelo N°5 que corresponde al apique 2 estrato 3 (en este apique se encontró nivel freático a una profundidad de 1,80 m) presenta el porcentaje más alto de limite líquido por lo tanto un límite plástico bajo, ya que a mayor contenido de agua menor es el contenido de plasticidad en el suelo. La muestra de suelo N° 12 presenta el menor

valor de limite líquido con un porcentaje de 25%, esta condición lleva a que se presente el índice de plasticidad más bajo respecto a todos los datos del ensayo de límites de consistencia obtenidos.

➤ Ensayo de Gravedad específica.

Tabla 8
Resultado de ensayo de Gravedad Específica

Muestra N°	Gravedad Específica	Apique / Estrato	Clasificación U.S.C.S
1	2,68	A1 / E1	SP
2	2,68	A1 / E2	SP-SC
3	2,69	A2 / A1	SC
4	2,69	A2 / E2	SP-SM
5	2,62	A2 / E3	SP-SC
6	2,95	A3 / E1	SP
7	2,94	A3 / E2	SP-SC
8	2,73	A4 / E1	SC
9	2,72	A4 / E2	SP
10	2,74	A5 / E1	SP-SC
11	2,72	A5 / E2	SC
12	2,67	A6 / E1	SP
13	2,71	A6 / E2	SP
14	2,70	A6 / E3	SP
15	2,69	A7 / E1	SP
16	2,68	A7 / E2	SP
17	2,66	A8 / E1	SP
18	2,66	A8 / E2	SP-SC

Los ensayos se realizaron para las 18 muestras de suelo obtenidas en la zona de estudio. En la Tabla 8, se observa que el mayor valor de gravedad específica es de 2,95 en la muestra N°6 que corresponde a una arena mal gradada, así mismo, se presentan valores mínimos de 2,66 en arenas mal gradadas y arena mal gradada-arena arcillosa

➤ Análisis granulométrico.

En la tabla 8 se presenta los resultados obtenidos del análisis granulométrico y su respectiva clasificación de suelos de acuerdo a las especificaciones planteadas por el sistema unificado de suelos (U.S.C.S).

Tabla 9
Clasificación de los Suelos.

Apique / Estrato	%Gravas	%Arenas	%Finos	Clasificación U.S.C.S	Nombre
A1 / E1	1,97	90,67	7,36	SP	Arena mal gradada
A1 / E2	0,28	83,86	15,87	SP-SC	Arena mal gradada-Arena arcillosa
A2 / A1	1,04	73,59	23,58	SC	Arena arcillosa
A2 / E2	13,38	80,50	6,12	SP-SM	Arena mal gradada-Arena limosa
A2 / E3	16,35	75,36	8,29	SP-SC	Arena mal gradada-Arena arcillosa
A3 / E1	0,24	94,32	5,43	SP	Arena mal gradada
A3 / E2	0	93,66	6,34	SP-SC	Arena mal gradada-Arena arcillosa
A4 / E1	0,32	86,46	13,21	SC	Arena arcillosa
A4 / E2	6,83	91,31	1,86	SP	Arena mal gradada
A5 / E1	22,76	75,85	1,39	SP-SC	Arena mal gradada-Arena arcillosa
A5 / E2	0,20	88,89	10,91	SC	Arena arcillosa
A6 / E1	56,04	41,87	2,09	SP	Arena mal gradada
A6 / E2	0,26	98,70	1,04	SP	Arena mal gradada
A6 / E3	1,15	88,17	10,67	SP	Arena mal gradada
A7 / E1	0,18	98,85	0,97	SP	Arena mal gradada
A7 / E2	15,81	71,58	12,61	SP	Arena mal gradada
A8 / E1	4,95	82,68	12,38	SP	Arena mal gradada
A8 / E2	4	86,49	9,51	SP-SC	Arena mal gradada-Arena arcillosa

Tabla 10
Promedio de Materiales presentes en la zona.

	Promedio % Grava	Promedio % Arena	Promedio % Fino	N° de repeticiones	% presente en la zona
SP	3,51	93,91	2,58	9	50%
SC	8,68	83,87	7,45	5	27,78%
SP-SC	0,52	82,48	17	3	16,67%
SP-SM	13,38	80,5	6,12	1	5,56%
Σ				18	100%

Al realizar un análisis de resultados obtenidos según cada tipo de suelo en todas las muestras estudiadas, se observa según la tabla 10 que en la zona de estudio predomina el suelo de grano fino con un 100%, puesto que al realizar el tamizado por la malla número 200 pasa más del 50% del suelo. A partir de esto se obtienen los diversos tipos de arenas en la zona, estas se mencionan a continuación: arenas pobremente gradadas “SP” con una presencia del 50%, éste es el tipo de suelo que prevalece en la zona, seguido de esto, se encuentran arenas arcillosas con símbolo SC que representa un porcentaje de 27,78%, también hay presencia de un tipo de suelo con símbolo doble SP-SC que corresponde a Arena mal gradada-Arena arcillosa con aproximadamente 17% de presencia en la zona, por ultimo con un porcentaje de 5,56% se encuentra una Arena mal gradada-Arena limosa. De acuerdo a lo anterior se afirma que el tipo de suelo representativo en la zona de estudio barrio Juan XXIII son las arenas limo arcillosas y arenas mal gradadas.

Tabla 11
Parámetros del Suelo.

Apique/Estrato	Parámetros del suelo			
	Yseco (KN/m ³)	Ysat (KN/m ³)	Cohesión (C) (KN/m ²)	Ángulo de Fricción Φ
A1 / E1	12,2	16,7	35,15	23,55
A1 / E2	12,2	17,5	15,55	20,5
A2 / A1	12,4	15,8	26,99	23,5
A2 / E2	12,4	17,0	16,11	18,45
A2 / E3	12,3	16,9	15,55	20,5
A3 / E1	12,4	17,1	32,18	17,20
A3 / E2	12,5	16,5	25,07	18,63
A4 / E1	12,3	17,0	27,35	34,28
A4 / E2	12,2	17,6	23,1	22,45
A5 / E1	12,4	16,0	15,16	27,35
A5 / E2	12,3	17,1	19,23	23,1
A6 / E1	12,3	17,1	32,84	23,50
A6 / E2	12,4	16,4	31,56	26,01
A6 / E3	12,4	17,2	34,12	28,58
A7 / E1	12,3	16,8	35,15	23,56
A7 / E2	12,2	16,5	37,6	25,78
A8 / E1	12,2	17,1	36,34	22,65
A8 / E2	12,3	16,6	15,55	20,5

Tabla 12.
Perfil estratigráfico Apique N°1

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 1
Nivel Freático: No Dimensión de apique: Largo = 1.00 m Ancho = 1.50 m Profundidad final = 2,00 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,30		Relleno no controlado, con basura, raíces, pastos, con presencia de escombros				N/A	
0,30 – 1,10		Arena mal gradada con partículas gruesas y color café claro a gris	37.66	28.50	7,36	SP (Arena mal gradada)	$\gamma_d = 12,2 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 16,7 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 35,15 Kpa
1,10 – 2,00		Arena arcillosa mal gradada de baja plasticidad, color café oscuro	28.61	37.64	15,87	SP – SC (Arena mal gradada- Arena arcillosa)	$\gamma_d = 12,2 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 17,5 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 15,55 Kpa

2.5.3 Información geofísica

Unos de los principios para el procesamiento de refracción sísmica es el de reciprocidad en el que se tiene en cuenta que el mismo tiempo que tarda la onda en ir es el mismo tiempo que debe tardar en regresar. La idea principal de este ensayo es conocer mediante un medio establecido la velocidad homogénea para todas las capas teniendo en cuenta la distancia y el tiempo en que llegan las ondas y los cambios de pendiente que indican cambios de medio, es decir, cambios de estrato.

Las líneas sísmicas realizadas se procesaron con el paquete “SeisImager” que cuenta las herramientas GeoPlot (Visualize Data), Surface Wave Analysis Wizard, WaveEq (Surface Wave Analysis), Pickwin (Pick Firts Breacks or Dispersión Curves) y el módulo plotrefra (Refraction Analysis de los cuales sólo se hizo uso de los dos últimos. Mediante Pickwin se observaron los datos adquiridos en campo y se picaron los primeros arribos de las ondas refractadas (ver figura 14). En el módulo Plotrefa, se realizó el cargue de los datos de topografía del perfil y los picados realizados anteriormente, los cuales son representados en el eje de las ordenadas la posición de la fuente y en el eje de las abscisas el tiempo de viaje (ms), posteriormente se asigna las diferentes capas donde la velocidad de onda refractada varíe, por último se realiza una inversión por mínimos

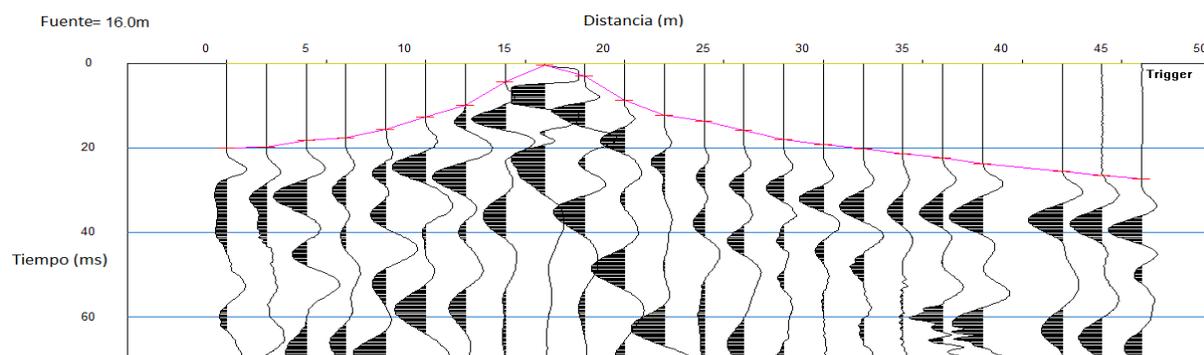


Figura 14. Picados

Fuente: Módulo empleado, Pickwin

cuadrados y trazado de rayos para obtener el modelo de tomografía de refracción sísmica - TRS (ver figura 15).

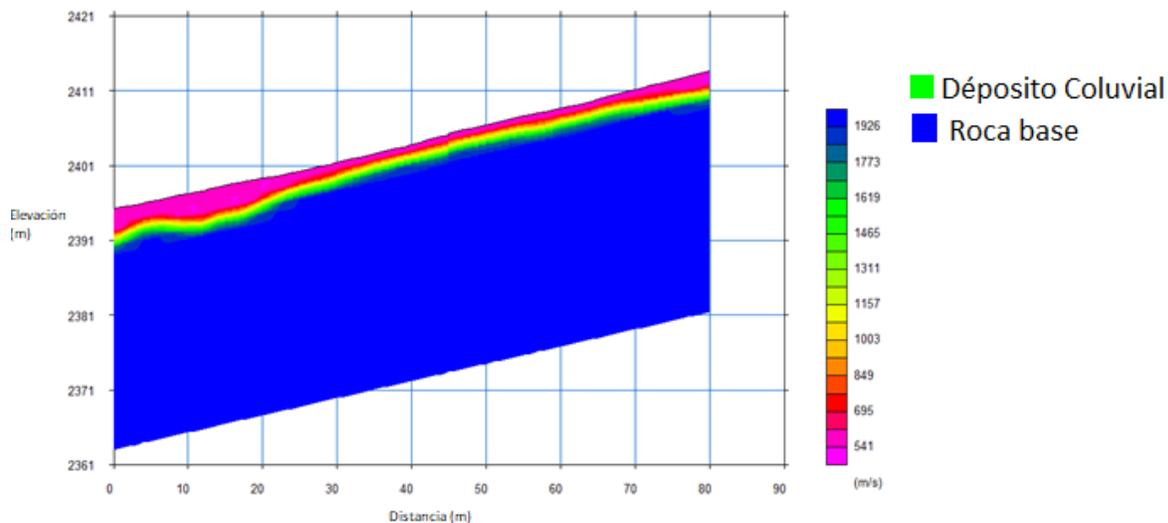


Figura 15. Modelo inicial, línea sísmica N°1
Fuente: Módulo empleado, Plotrefra (Refraction Analysis)

2.5.4 Sondeo eléctrico vertical (SEV).

El procesamiento de cada sondeo se hizo por medio utilizó el software (IPI2WIN), este software permite unir los sondeos que componen cada una de las líneas geofísicas y comparar la curva de resistividad observada en campo, con una curva teórica. Al ajustar las curvas tanto la obtenida en campo y la teórica se debe manejar un porcentaje de error menor al 5%.

A través del software IPI2WIN, se obtuvo un modelo el cual permitió hacer un mejor acercamiento de la curva teórica a la curva obtenida en campo. Dicho modelo ya procesado, arroja un número de capas con la descripción según la resistividad obtenida y su debido porcentaje de

error. A continuación, se muestra cada uno de los sondeos realizados con su respectivo resultado después de realizado el procesamiento:

2.5.4.1 Sondeo Eléctrico Vertical N°1 – Línea Sísmica N°2.

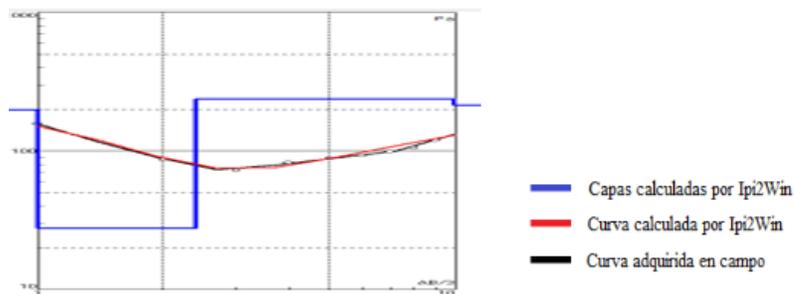


Figura 16. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV 1 – Línea 2
Fuente: Software IPI2WIN

Porcentaje de error de la curva 4%

Tabla 13

Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°1.

Profundidad (m)	Unidad geo-eléctrica	ρ (ohm-m)	Correlación Hidrogeológica
0 – 1	I	198	Limos no saturado
1 - 2,39	II	27,8	Arena ligeramente saturada
2,39 – 9	III	237	Arenas limosas

Nota. Número de capas = 3

2.5.4.2 Sondeo Eléctrico Vertical N°2 – Línea Sísmica N°1.

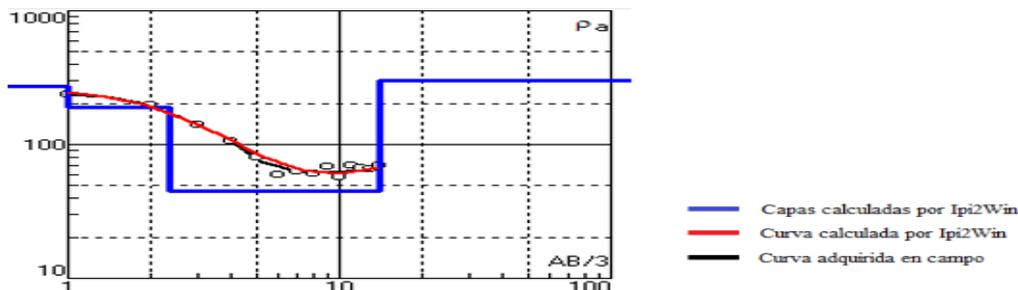


Figura 17. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV N°2 – Línea N°1
Fuente: Software IPI2WIN

Porcentaje de error de la curva 4,5%

Tabla 14

Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°2.

Profundidad (m)	Unidad geo-eléctrica	ρ (ohm-m)	Correlación Hidrogeológica
0 - 1	I	272	Arena arcillosa
1 - 2,37	II	190	Arenas no saturada
2,37 - 14	III	44,9	limos saturado

Nota. Número de capas = 3

2.5.4.3 Sondeo Eléctrico Vertical N°3 – Línea Sísmica N°3.

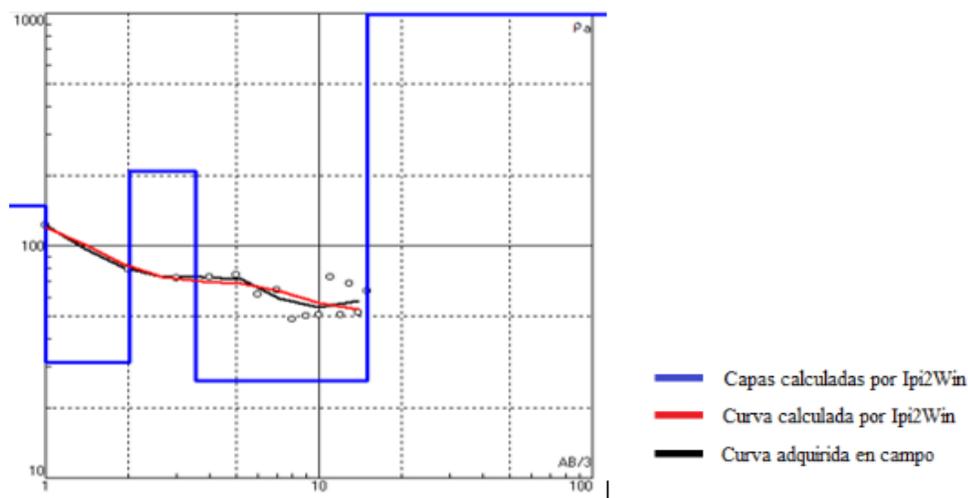


Figura 18. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV N°3 – Línea N°3

Fuente: Software IPI2WIN

Porcentaje de error de la curva 4,97%

Tabla 15

Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°3.

Profundidad (m)	Unidad geo-eléctrica	ρ (ohm-m)	Correlación Hidrogeológica
0 - 1	I	149	Arena arcillosa
1 - 2,02	II	31,3	Arcillas no saturadas
2,02 - 3,53	III	210	Arcilla ligeramente saturada
3,53 - 15	IV	26,1	Arcilla saturada

Nota. Número de capas = 4

2.5.4.4 Sondeo Eléctrico Vertical N°4 – Línea Sísmica N°4 y N°5.

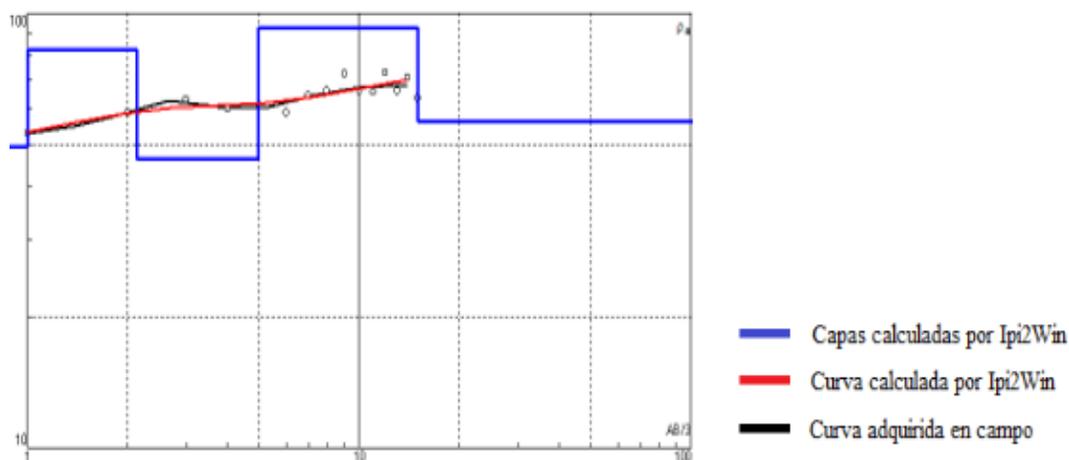


Figura 19. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV 4 – Línea 4-5
Fuente: Software IPI2WIN

Porcentaje de error de la curva 1,92%

Tabla 16

Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°4.

Profundidad (m)	Unidad geo-eléctrica	ρ (ohm-m)	Correlación Hidrogeológica
0 - 1	I	49,13	Arena Limosa parcialmente Saturados
1 - 2,14	II	82,68	Limos Saturados
2,14 - 4,96	III	46,26	Limos Saturados
4,96 - 15	IV	92,3	Arcilla saturada

Nota. Número de capas = 4

2.5.4.5 Sondeo Eléctrico Vertical N°5 – Línea Sísmica N°6

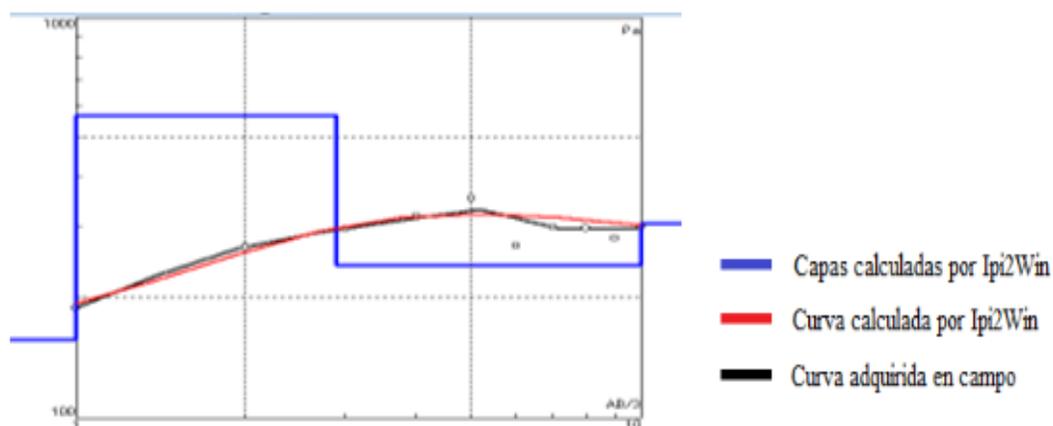


Figura 20. Modelo de curva teórica Ipi2Win SEV 5 – Línea 6

Porcentaje de error de la curva 3%

Tabla 17

Clasificación del suelo según la resistividad calculada SEV N°5.

Profundidad (m)	Unidad geo eléctrica	ρ (ohm-m)	Correlación Hidrogeológica
0 - 1	I	157	Limos no saturado
1 - 2,89	II	571	Arenas no Saturadas
2,89 - 10	III	241	Limos ligeramente saturado

Nota. Número de capas = 3

2.5.6 Análisis Estructural

Para realizar el análisis de estabilidad del talud se requiere conocer las cargas estructurales con el fin de efectuar una comparación del factor de seguridad sin tener en cuenta las cargas y teniéndolas en cuenta. Por lo tanto, en la obtención del peso de cada una de las estructuras de 1, 2 y 3 niveles, se siguieron los lineamientos del reglamento colombiano de construcciones sismoresistentes NSR-10, donde inicialmente se plantea una placa aligerada con casetón, cuya carga muerta es de $0,3 \text{ KN/m}^2$, el peso de la placa está constituido por la suma de las cargas de una loseta superior con espesor de 5 cm, una loseta inferior de 2 cm, las cargas de las viguetas, muros por metro lineal y acabado inferior de baldosa de cerámica (20 mm) sobre 25 mm (ver figura 21). También se proyecta una cubierta corrugada de asbesto cemento que incluye en su peso de $0,2 \text{ KN/m}^2$ la carga de un entablado de madera (machimbre con carga de $0,06 \text{ KN/m}^2$) y la de la estructura de apoyo también en madera cuya carga muerta es de $0,8 \text{ KN/m}^2$. Así mismo, se realiza el cálculo del peso de las vigas y columnas según la distribución de éstas en la planta típica (ver figura 22), Las memorias de cálculo detalladas se presentan en el anexo 3 del presente informe.

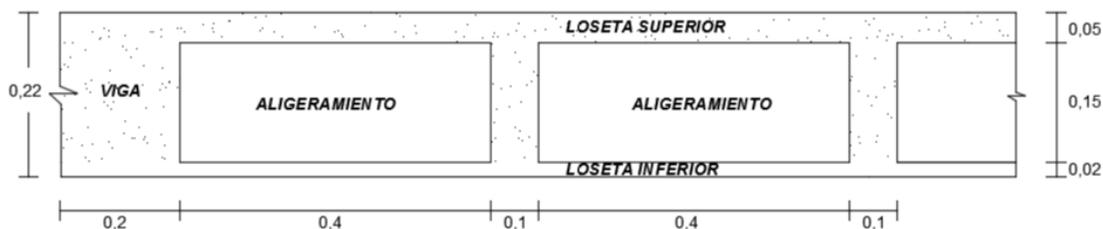


Figura 21. Placa aligerada

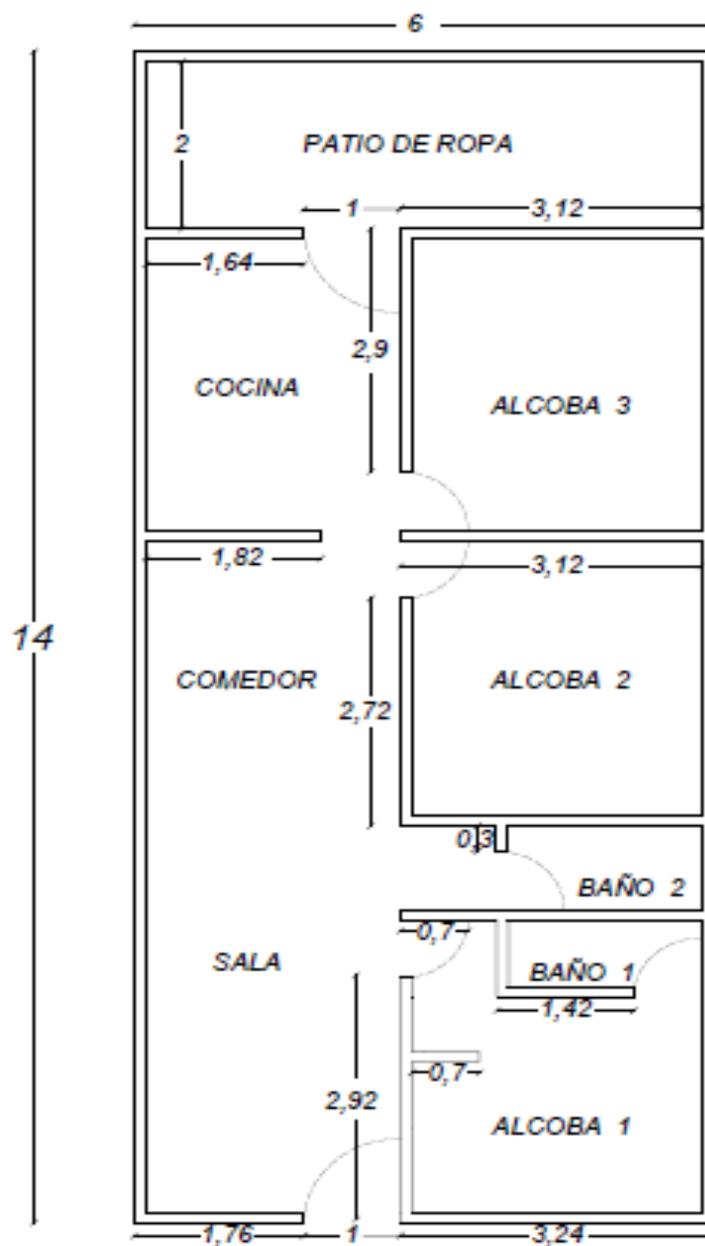


Figura 22. Planta arquitectónica.

Se realizaron visitas a varias casas en distintos sectores de la zona de estudio de la siguiente manera: al extremo izquierdo de la zona, en la parte central y al extremo derecho con el fin de observar la distribución de vigas y columnas y medir las secciones transversales (ver evidencia de recorrido por las viviendas en anexo 10). Seguido de esto, se obtuvo criterio para establecer las

dimensiones de vigas y columnas debido a que se observó que la mayoría de las casas cuentan con dimensiones similares a las establecidas, por lo que se supone para la vivienda tipo cuya área es de 84m^2 , vigas con dimensiones de $0,20\text{m} \times 0,20\text{m}$ y columnas de $0,30\text{m} \times 0,30\text{m}$. En las viviendas de 1 nivel se proyectaron vigas de amarre por metro lineal y con una sección de $10 \times 20\text{ cm}$, con el objetivo de unir la estructura de la cubierta con los muros. A partir de estos datos establecidos, se determina el peso total de las estructuras (La memoria de cálculo de los pesos de las viviendas y las imágenes de vista isométrica se muestra en los anexos), según las dimensiones de la vivienda tipo cuya distribución se muestra en la figura 23:

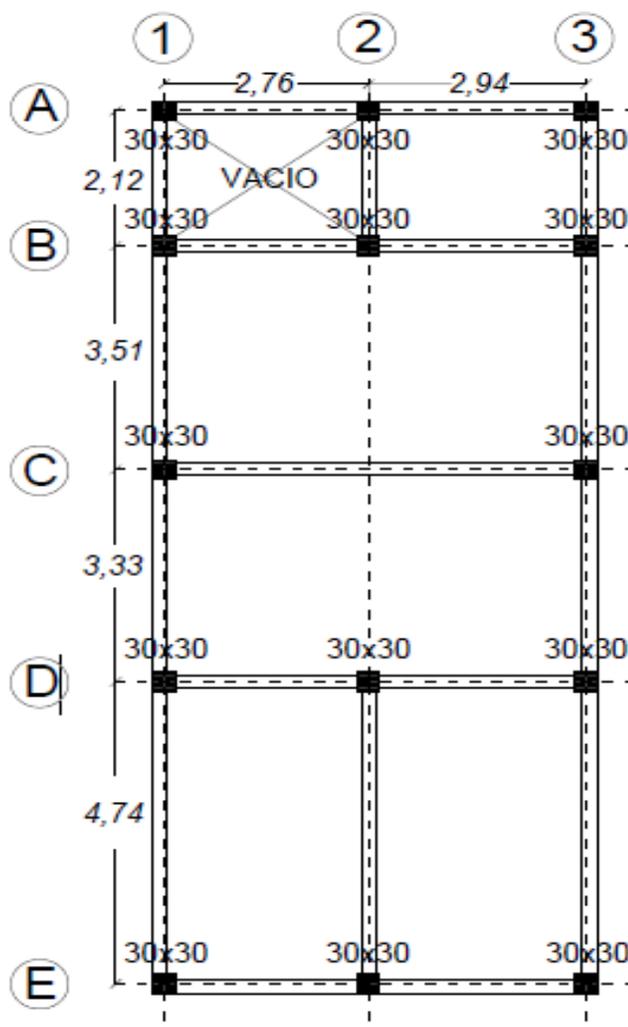


Figura 23. Planta de entrepiso típica

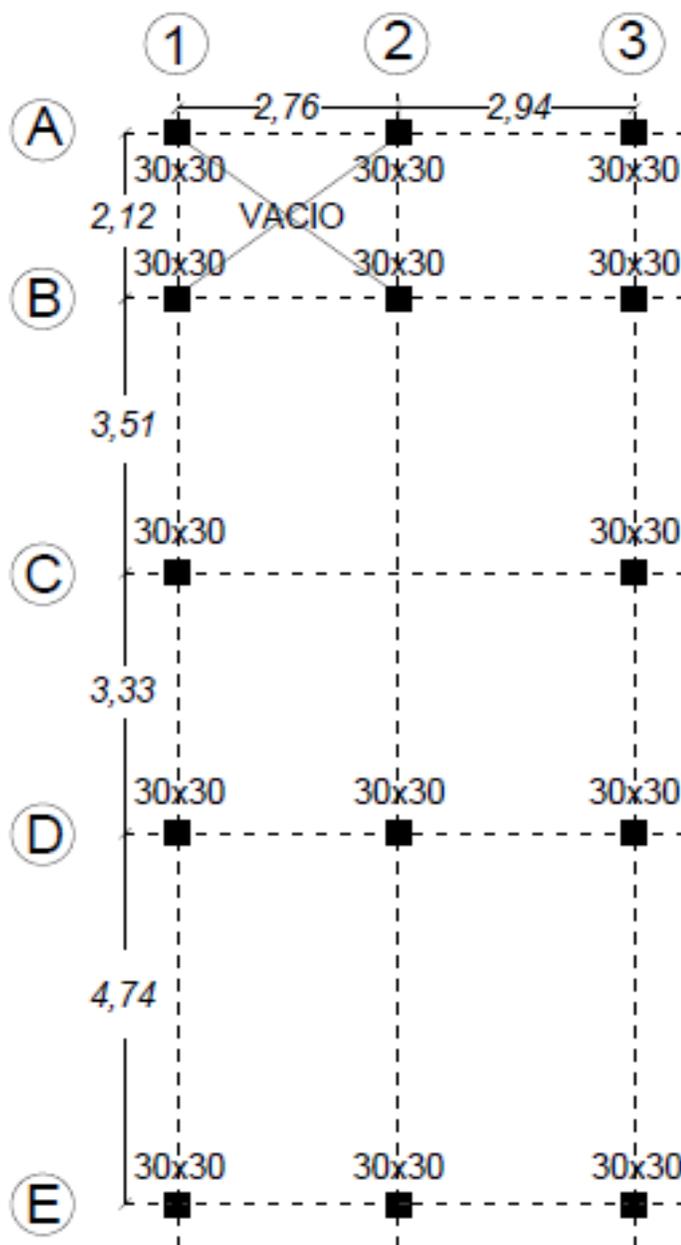


Figura 24. Distribución en Planta de columnas.

En la tabla 17, se muestra los resultados obtenidos del peso de la vivienda tipo para 1, 2 y 3 niveles, teniendo en cuenta el peso de la losa de entrepiso para las estructuras de 2 y 3 pisos con su respectiva cubierta. (ver memoria de cálculo en anexo 3)

Tabla 18.
Pesos de las estructuras de 1, 2 y 3 niveles

Pesos de la estructuras				
	Unidad	1 Nivel	2 Nivel	3 Nivel
Cubierta	KN	89	89	89
Placa	KN	0	605	605
Muros	KN	271	271	271
Acabados	KN	92	92	92
Vigas	KN	0	55	55
Viga de amarre	KN	32	0	0
Columnas	KN	0	79	79
Peso total	KN	484	1190	1795

Una vez conocidas las cargas de las viviendas de 1,2 y 3 niveles, se procede a agruparlas según el número de manzana establecido para determinar la carga promedio que ésta ejerce hacia el talud, adicionándole el peso del pavimento rígido. El área de cada manzana se obtuvo mediante el uso del programa informático Google Earth (ver figura 11) y para conocer el peso de las estructuras en unidad de fuerza por metro cúbico, se consideró un nivel de desplante de 1,5 m.

Tabla 19
Áreas de Manzanas.

N° de Manzana	Área de manzanas		
	Df	m^2	m^3
1	1,5	7377	11065,5
2	1,5	6654	9981
3	1,5	4732	7098
4	1,5	3462	5193
5	1,5	4200	6300
6	1,5	3779	5668,5
7	1,5	7599	11398,5
8	1,5	8413	12619,5
9	1,5	8772	13158
10	1,5	4668	7002
11	1,5	5745	8617,5
12	1,5	2038	3057
13	1,5	2164	3246
Área Total		69603	104405

En la tabla 20 se muestran las cargas calculadas en cada manzana y la altura promedio de las estructuras que se requiere como dato de entrada al momento de modelar teniendo en cuenta que la altura entre piso establecida fue de 2,6 m.

Tabla 20. *Peso promedio de cada Manzana.*

Peso promedio de cada Manzana			
N° de Manzana	Peso (KN)	Peso (KN/m3)	H. promedio
1	27553	2,5	4,393
2	17809	1,78	3,274
3	14117	1,99	2,912
4	13715	2,64	3,380
5	17044	2,71	3,328
6	14824	2,62	3,016
7	20330	1,78	3,169
8	13774	1,09	2,696
9	38486	2,92	3,872
10	34332	2,61	4,727
11	36468	4,23	4,086
12	23279	7,61	6,338
13	9440	2,91	5,943

Para obtener la carga del pavimento, se hicieron en campo las mediciones de largo, ancho y espesor, clasificando cada calle según el número de área establecido (ver figura 12). Según las mediciones realizadas del espesor del pavimento se definió que éste tiene una medida en promedio de 18 cm. La memoria de cálculo se muestra detalladamente en el anexo 3.

Tabla 21
Área y peso promedio del pavimento.

	Área de pavimento m^2	Peso KN/m^3
A1	838,002	4,364
A2	969,14	5,106
A3	161	9,600
A4	869,03	5,106
A5	165,06	13,333
A6	394,05	6,486
A7	1020,04	4,286
A8	613,168	6,316
A9	85,32	13,333
A10	702,05	6,316
A11	354,51	3,692
Total	838,002	4,364

2.6 Modelamiento de la estabilidad del talud

Con el paquete de software ArcGIS el cual cuenta con varias herramientas tales como y de las que solo se hizo uso de una de ellas denominada ArcMap, se elaboraron 3 secciones transversales (ver figura 26), estableciéndose los espesores de las capas a partir de los datos obtenidos previamente de propiedades y características del suelo, tomografías de las líneas sísmicas, sondeo eléctrico vertical y la topografía suministrada. En cada perfil se elaboró el respectivo modelo conceptual (ver figura 27), asignando las características del tipo de suelo existente, el espesor de las capas y teniendo en cuenta los parámetros del nivel freático que es significativo debido a que es determinante en los esfuerzos efectivos y de presión de poros de la masa de suelo. Las secciones fueron distribuidas en la zona de la siguiente manera:



Figura 25. Ubicación de perfiles.
Fuente: Google Earth

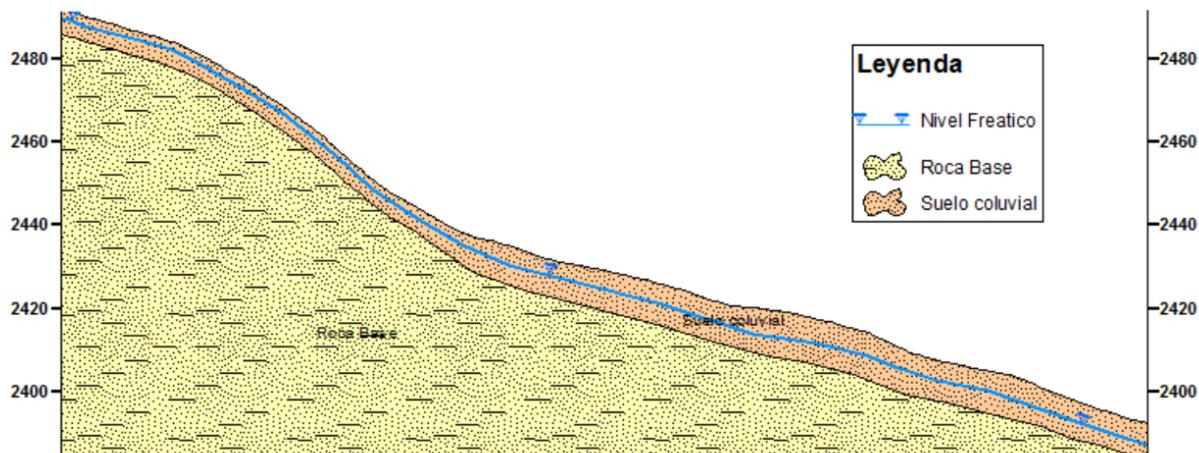


Figura 26. Modelo Conceptual del perfil N°3

Una vez establecidos los perfiles con su respectivo modelo conceptual, se procede a modelar mediante el software Geoslope para evaluar el factor de seguridad (con cargas y sin cargas estructurales) empleando los métodos determinísticos, Método de Spencer y Método de Morgenstern y Price que están contenidos dentro del análisis interno del software, teniendo en cuenta las condiciones: saturadas sin sismo, saturada con sismo, no saturadas con sismos. Para aplicar las cargas de las viviendas a los perfiles se hizo necesario introducir la altura promedio de las manzanas en las que se ubicó cada sección y su peso promedio en KN/m³, además de las cargas del pavimento. En las condiciones con sismo se tuvo en cuenta los registros de actividad sísmica de Pamplona, el cual La aceleración horizontal pico efectiva (A_a) corresponde a 0,3 y la aceleración vertical pico efectiva (A_v) es de 0,25 según lo establecido en el Reglamento Técnico Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10).

El software Geoslope requiere generalmente de los siguientes datos de entrada:

Cohesión C , Angulo de fricción Φ y Peso específico γ

3. Resultados de la investigación

3.1 Interpretación y análisis de los resultados

Una vez realizado el modelamiento en el programa de cálculo de estabilidad de taludes Geo-slope se generaron los factores de seguridad con cargas y sin cargas para los dos métodos y las 3 condiciones (saturada sin sismo, saturada con sismo y no saturada con sismo). Estos factores de seguridad se plasman en las tablas 21, 22 y 23

El factor de seguridad según la norma sismoresistente NSR-10 establece que un valor $< 1,5$ se considera el talud propenso a deslizamiento y si es mayor de este valor se diagnostica un talud en buen estado.

Tabla 22.
Factores de Seguridad, Perfil N°1.

		Factor de Seguridad		
	Método	Condición Saturadas sin Sismo	Condición Saturada con Sismo	Condición no Saturadas con Sismos
Con cargas	Método de Morgenstern-Price	1,654	0,823	1,153
	Método de Spencer	1,627	0,845	1,174
Sin cargas	Método de Morgenstern-Price	1,601	0,799	1,137
	Método de Spencer	1,705	0,938	1,293

En la tabla 22 se establecen los factores de seguridad del perfil N°1, en la que se observa que el talud está en buen estado para la condición saturada sin sismo ya que presenta un valor $>1,5$ para los dos métodos: Morgenstern-Price y Método de Spencer. Por otro lado, para la condición saturada con sismo y no saturada con sismos se considera el talud propenso a deslizamiento con valores de factor de seguridad muy bajos.

Tabla 23
Factores de Seguridad, Perfil N°2.

		Factor de Seguridad		
	Método	Condición Saturadas sin Sismo	Condición Saturada con Sismo	Condición no Saturadas con Sismos
Con cargas	Método de Morgenstern-Price	1,521	0,919	1,216
	Método de Spencer	1,464	0,922	1,231
Sin cargas	Método de Morgenstern-Price	1,526	0,893	1,229
	Método de Spencer	1,490	0,917	1,248

Al realizar el análisis de factores de seguridad, se observa en la tabla 23 que en el método de Morgenstern-Price se obtienen valores mayores para condición saturada sin sismo en comparación con el método de Spencer. En las otras dos condiciones al igual que en el perfil N°1, se obtienen factores de seguridad bajos en los que se considera inestabilidad en ese sector.

Tabla 24
Factores de Seguridad, Perfil N°3.

Método		Factor de Seguridad		
		Condición Saturadas sin Sismo	Condición Saturada con Sismo	Condición no Saturadas con Sismos
Con cargas	Método de Morgenstern-Price	1,384	0,850	1,285
	Método de Spencer	1,363	0,807	1,290
Sin cargas	Método de Morgenstern-Price	1,379	0,797	1,280
	Método de Spencer	1,330	0,785	1,249

Al realizar el análisis se observa un alto grado de inestabilidad en la condición saturada con sismo en los 3 perfiles y en el perfil N°1 en la condición no Saturada con Sismo. Además, en estos 3 perfiles en condición saturada sin sismo y no saturada con sismo se presenta un grado de inestabilidad media-baja. La condición más crítica es la saturada con sismo y se presenta en el perfil N°3 con el método de Spencer sin tener en cuenta las cargas estructurales, esto quiere decir, que los datos de factor de seguridad no difieren en gran medida si se incluyen o no las cargas debido a que estos son muy cercanos considerando los dos métodos y las tres condiciones.

En la figura 27, se muestra la condición más crítica que corresponde al perfil N°3 donde el Factor de seguridad es bajo y el movimiento en masa que se puede generar es de grandes dimensiones, el bloque a desplazarse supera los 160 metros de superficie de falla.

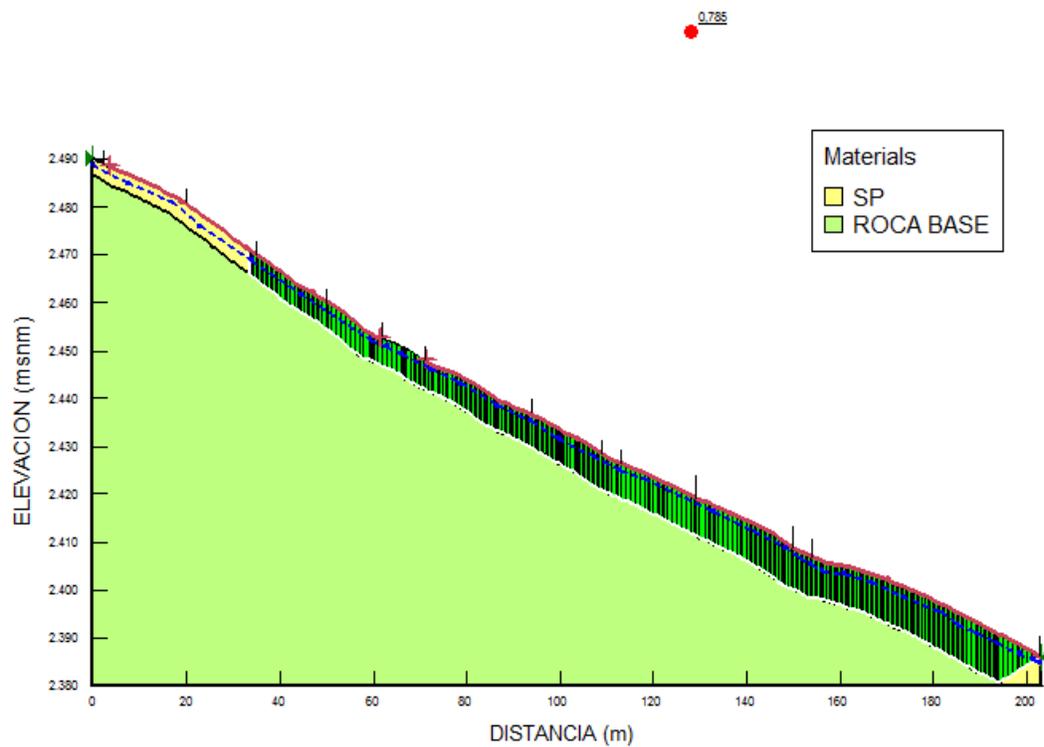


Figura 27. Análisis de estabilidad del perfil n3 en condición saturada con sismo
Fuente: Software Geoslope

4. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad de taludes, se observa que en general las sobrecargas impuestas no influyen de manera significativa para afectar directamente los esfuerzos efectivos a los que se encuentra el talud, debido a que la variación de los factores de seguridad es mínima a medida que se incluían las cargas y se cambiaban las condiciones, aunque en el perfil N°1 con el método de Spencer, se observó una disminución de 0,1 cuando fueron aplicadas las cargas.

Una influencia significativa en la que afectaría directamente la estabilidad del talud, sería la existencia de cargas excesivamente altas en comparación a las que se encuentran actualmente en la zona.

Al hacer el modelamiento con la condición saturada sin sismo, el perfil N°1 ubicado en el extremo izquierdo de la zona presentó un valor de factor de seguridad $>1,5$ (para ambos métodos, con cargas y sin cargas), indicando que la estabilidad de este sector es la más alta respecto a las demás secciones analizadas.

En todas las secciones analizadas con la condición saturada con sismo para los dos métodos se obtuvo un factor de seguridad $<1,5$ que corresponde a un nivel de inestabilidad alto.

Se sugiere la instauración de tuberías de drenaje en los puntos adyacentes a las manzanas que presentan un grado de inestabilidad alto, con el fin de evacuar las escorrentías y controlar la erosión en zonas con grandes inclinaciones. Además, implementar la construcción de filtros en la parte superior del talud para evitar la saturación en la zona urbanizada.

Se recomienda un estudio geotécnico más detallado en el cual se contemple la posibilidad de diseñar obras en las zonas donde el talud presenta mayor inestabilidad.

Referencias

- Albarracín Rodríguez Rodrigo. (2018). *Aplicación Del Modelo Geoestadísticos Kriging Para Evaluar La Información Geotécnica Del Casco Urbano Del Municipio De Pamplona*. Pamplona-Norte de Santander.
- Aristizabal Arias , J., & Mendoza Alfonso, N. (2017). Obtención de propiedades mecánicas a partir de la relación V_p/V_s para depósitos superficiales de ceniza volcánica en Manizales Colombia. *Revista Espacios*, 22.
- Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, D.F.: THOMSON LEARNING.
- Cáseres, Escalante, & Porras. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*, 50.
- Coliente Tlaxcalteca, A. (2010). *Inestabilidad en laderas y taludes*. México D.F.
- Daniel Eduardo Arias. (2011). *Exploración geotécnica-Relaciones Geoeléctricas*. Medellín.
- Díaz, J. S. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Unniversidad Industrial de Santander.
- Escobar Toro, L. J. (2012). *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA DE DOS TALUDES DE SUELO TROPICAL EN LA AUTOPISTA MEDELLÍN - BOGOTÁ EN EL TRAMO DE VÍA ENTRE MARINILLA Y SANTUARIO*. . Medellín.
- Geodatos, Geofísica de Avanzada. (2015). *Sísmica de refracción*. Santiago de Chile. Obtenido de <http://www.geodatos.cl/sismica.php>
- Giraldo Fernández , K., & Tejada Muñoz, A. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes bajo condiciones de infiltración por lluvia* . Santiago de Cali.
- Gutierrez Herrera, J. C., & Velez Villamizar, M. F. (2016). *Análisis probabilístico y de sensibilidad en la estabilidad de taludes utilizando la aplicación SLOPE/W®*. Ocaña.
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Jaime Suarez Díaz. (1998). Procesos de origen Antrópico. En J. S. Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga-Colombia: Geotecnología S.A.S.
- Jaime Suarez Díaz. (s.f.). Comportamiento de edificaciones sobre Taludes. *IV Encuentro de Ingenieros de suelos y estructuras*.

- Jimenez , J., & Amesquita, B. (2017). *Evaluación de estabilidad de un talud en la zona norte de Pamplona entre los barrios Juan XXIII y San Luis, aplicando métodos determinísticos para diagnosticar posibles fenómenos de remoción en masa*. Pamplona.
- Lambe, & Whitman. (1998). *Mecánica de suelos*.
- León Castro, A., & González Olhmeir, J. A. (2013). *Análisis cuantitativo de la estabilidad en taludes y laderas*. Tijuana.
- López Salazar, J. J. (2012). *Estudio Geotécnico para el diseño de cimentaciones Plan de Vivienda Sector la Flora municipio de Santa Rosa de Cabal-Departamento de Risaralda*. Armenia.
- Marín Herrera , E., & Avendaño Hernández, F. (2017). *Prospección geofísica ambiental aplicada a la detección de plumas contaminantes debidas a la infiltración de lixiviados en un relleno sanitario, bajo la adaptación de sondeos eléctricos verticales de resistividad y polarización inducida*. Bogotá, D.C., Colombia.
- Mendoza Loayza, J. A. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay*. Lima.
- Ministerio de vivienda ciudad y territorio. (19 de Septiembre de 2014). *DECRETO NÚMERO 1807*. Obtenido de http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/SRR/decreto_1807_19_%20septiembre_2014.pdf
- Montero Olarte , J. (2017). *Servivio Geológico Colombiano*. Bogotá D.C., Colombia.
- Morales Salas, H. J., & Valiente Olivo, M. E. (2017). *Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: Institución social jardín infantil Lipaya, casco urbano Barranquilla*. Cartagena D.T Y C.
- Pacheco Zapata, A. A. (2006). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del Distrito de San Isidro*. Lima.
- Prada Chavez, O. L., & Serrano Plata, E. A. (2009). *Análisis y determinación de la amenaza de inestabilidad de los taludes, generado por su saturación y desembalse, en el proyecto de regulación del Rio Tona-Embalse de Bucaramanga*. Bucaramanga.
- Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10*. (s.f.). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica.
- Rosales Climent Cristina Isabel. (2001). *Sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia*. Santiago de Cali.
- SGC. (2015). *Guía Metodológica para estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa*. Bogotá, D.C., Colombia.
- Suarez Díaz Jaime . (2001). Análisis de estabilidad. En J. S. Díaz, *Deslizamientos* (pág. 130). Bucaramanga: Geotecnología S.A.S.

- Suarez Díaz Jaime. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.
Obtenido de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>
- Suarez Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. . Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. .
- Tecnoceano. (2015). *La fotogrametría y sus múltiples usos*. Obtenido de <https://blog.tecnoceano.com/la-fotogrametria-y-sus-multiples-usos/>
- Torres Chung, C. R. (2007). *Valoración del riesgo en deslizamientos*. Lima.
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego , A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *Revista CIVILIZATE* N°7, 54.

Anexos

Anexo 1 Ensayos de Laboratorio

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	9,58
Wh+Wtara	30,1
Wd+tara	26,38
Wh	3,72
Wd	16,8
% humedad	22,14

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,14	12,04	12,32
WRec + Mhum	19,66	19,71	23,58
WRec + Mseca	17,79	17,86	19,95
Wagua	1,87	1,85	3,63
Wseco	5,65	5,82	7,63
Humedad %	33,10	31,79	47,58
Promedio Humedad	37,49		
Nº Golpes	38	22	18
Promedio Golpes	26		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	12,06	11,28
WRec + Mhum	12,39	11,98
WRec + Mseca	12,31	11,84
Wagua	0,08	0,14
Humedad%	32,00	25,00
Límite Líquido	37,66	
Límite Plástico	28,50	
Índice de Plasticidad	9,16	



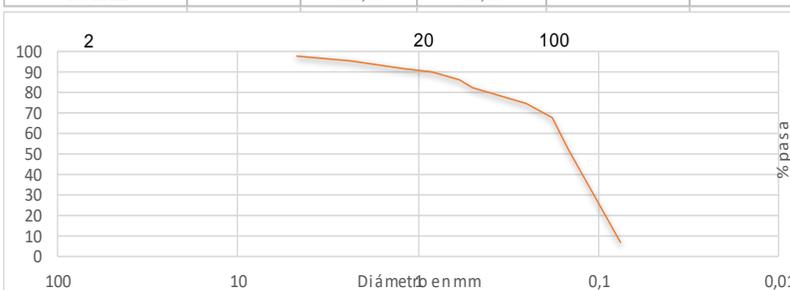
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	1
Estrato	1
Espesor de estrato	0,8 m

Autores	Claudia Gisssel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			467,40		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	9,20	1,97	1,97	98,03
8	2,38	10,60	2,27	4,24	95,76
16	1,19	19,40	4,15	8,39	91,61
20	0,840	5,60	1,20	9,58	90,42
30	0,59	18,80	4,02	13,61	86,39
40	0,500	17,20	3,68	17,29	82,71
60	0,250	38,00	8,13	25,42	74,58
80	0,180	31,00	6,63	32,05	67,95
100	0,1480	72,20	15,45	47,50	52,50
200	0,075	211,00	45,14	92,64	7,36
Fondo		22,40	4,79	97,43	2,57
TOTAL		455,40	97,43		



% GRAVAS	1,97
% ARENAS	90,67
% FINOS	7,36
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP

D10	0,079
D30	0,11
D60	0,16
Cu	2,03
Cc	0,96

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	728,6
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	669,4
Peso recipiente = Wrec.	12,4
Wrec. + suelo seco	106,88
Peso del suelo seco = Ws	94,48
Ww = Ws + Wbw - Wbws	35,28
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,68
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	406
Peso del suelo saturado (gr)	555
Volumen del Recipiente (cm³)	326
Yd	12,2 KN/m³
Ysat	16,7 KN/m³

Figura 28. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°1 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	9,9
Wh+Wtara	59,59
Wd+tara	58,16
Wh	1,43
Wd	48,26
% humedad	2,96

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	10,8	12,27	10,07
WRec + Mhum	18,66	21,5	19,02
WRec + Mseca	16,96	19,46	16,97
Wagua	1,7	2,04	2,05
Wseco	6,16	7,19	6,9
Humedad %	27,60	28,37	29,71
Promedio Humedad	28,56		
Nº Golpes	34	25	17
Promedio Golpes	25		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	11,84	12,35
WRec + Mhum	12,51	12,94
WRec + Mseca	12,35	12,76
Wagua	0,16	0,18
Humedad%	31,37	43,90
Límite Líquido	37,64	
Límite Plástico	28,61	
Índice de Plasticidad	9,03	



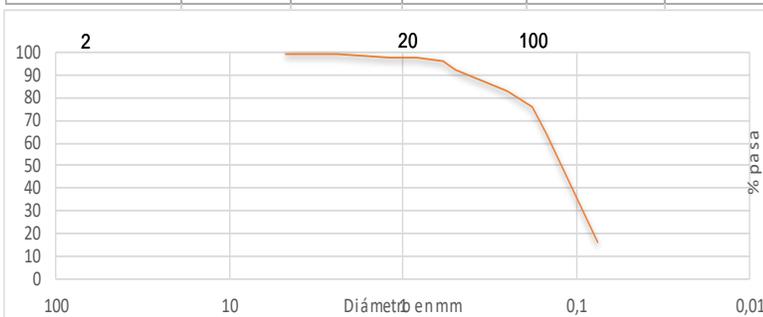
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	1
Estrato	2
Espesor de estrato	1 m

Autores	Claudia Gisssel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			574,80		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	1,60	0,27835769	0,28	99,72
8	2,38	3,80	0,661099513	0,94	99,06
16	1,19	6,40	1,113430759	2,05	97,95
20	0,840	1,40	0,243562978	2,30	97,70
30	0,59	10,60	1,844119694	4,14	95,86
40	0,500	20,60	3,583855254	7,72	92,28
60	0,250	52,40	9,116214335	16,84	83,16
80	0,180	39,20	6,819763396	23,66	76,34
100	0,1480	69,40	12,07376479	35,73	64,27
200	0,075	278,20	48,39944328	84,13	15,87
FONDO		88,00	15,30967293	99,44	
TOTAL		571,60	99,44		



% GRAVAS	0,28
% ARENAS	83,86
% FINOS	15,87
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP-SC

D10	0,075
D30	0,1
D60	0,14
Cu	1,87
Cc	0,95

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	734
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	672,6
Peso recipiente = Wrec.	9,4
Wrec. + suelo seco	107,39
Peso del suelo seco = Ws	97,99
Ww = Ws + Wbw - Wbws	36,59
a	1,0004
Gs = a * (Ws/Ww)	2,68
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	430
Peso del suelo saturado (gr)	580
Volumen del Recipiente (cm³)	325
Yd	12,2 KN/m³
Ysat	17,5 KN/m³

Figura 29. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N° 1 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	10,88
Wh+Wtara	38,3
Wd+tara	32,55
Wh	5,75
Wd	21,67
% humedad	26,53

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,53	12,41	8,55
WRec + Mhum	20,97	23,1	17
WRec + Mseca	18,84	20,32	14,75
Wagua	2,13	2,78	2,25
Wseco	6,31	7,91	6,2
Humedad %	33,76	35,15	36,29
Promedio Humedad	35,06		
N° Golpes	37	22	18
Promedio Golpes	26		

LIMITE PLASTICO	
Muestra	1 2
W Rec	8,84 9
WRec + Mhum	9,38 9,61
WRec + Mseca	9,26 9,4
Wagua	0,12 0,21
Humedad%	28,57 52,50
Límite Líquido	40,54
Límite Plástico	35,18
Índice de Plasticidad	5,36



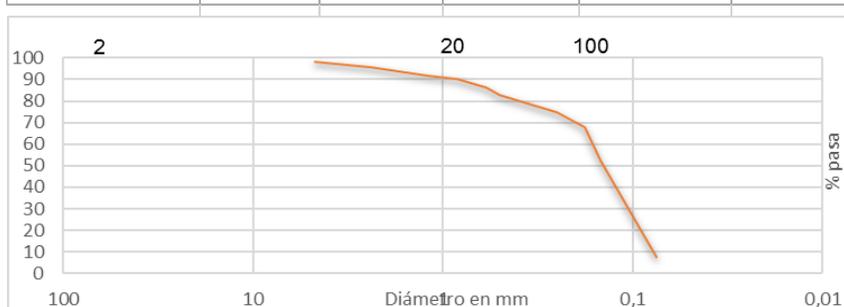
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	2
Estrato	1
Altura de estrato	0,6 m

Autores	Claudia GisseeL Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			905,60		
TAMIZ	DIÁM. Mm Tr	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	9,40	1,04	1,04	98,96
8	2,38	44,60	4,92	5,96	94,04
16	1,19	85,60	9,45	15,42	84,58
20	0,840	19,60	2,16	17,58	82,42
30	0,59	57,60	6,36	23,94	76,06
40	0,500	61,20	6,76	30,70	69,30
60	0,250	82,80	9,14	39,84	60,16
80	0,180	63,40	7,00	46,84	53,16
100	0,1480	160,70	17,75	64,59	35,41
200	0,075	90,90	10,04	74,62	25,38
FONDO		228,40	25,22	99,85	
TOTAL		904,20	99,85		



% GRAVAS	1,04
% ARENAS	73,59
% FINOS	25,38
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SC

D10	0,06
D30	0,11
D60	0,25
Cu	4,17
Cc	0,81

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	730,8
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	669,4
Peso recipiente = Wrec.	9,4
Wrec. + suelo seco	107,15
Peso del suelo seco = Ws	97,75
Ww = Ws + Wbw - Wbws	36,35
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,69
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	374
Peso del suelo saturado (gr)	516
Volumen del Recipiente (cm³)	321
Yd	12,4 KN/m³
Ysat	15,8 KN/m³

Figura 30. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°2 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	10,1
Wh+Wtara	50,96
Wd+tara	43,98
Wh	6,98
Wd	33,88
% humedad	20,60

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	7,09	8,23	8,88
WRec + Mhum	22,13	23,56	20,21
WRec + Mseca	18,21	18,43	16,65
Wagua	3,92	5,13	3,56
Wseco	11,12	10,2	7,77
Humedad %	35,25	50,29	45,82
Promedio Humedad	43,79		
N° Golpes	34	23	17
Promedio Golpes	25		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	8,03	7,96
WRec + Mhum	9,23	8,86
WRec + Mseca	9,12	8,49
Wagua	0,11	0,37
Humedad%	10,09	68,52
Límite Líquido	43,72	
Límite Plástico	39,31	
Índice de Plasticidad	4,41	



Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	2
Estrato	2
Altura de estrato	0,8 m

Autores	Claudia Gisssel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

**Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y
volumétricas**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			915,00		
TAMIZ	DIÁM. Mm	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	122,40	13,38	13,38	86,62
8	2,38	61,60	6,73	20,11	79,89
16	1,19	79,40	8,68	28,79	71,21
20	0,840	20,20	2,21	30,99	69,01
30	0,59	39,00	4,26	35,26	64,74
40	0,500	37,00	4,04	39,30	60,70
60	0,250	68,20	7,45	46,75	53,25
80	0,180	55,80	6,10	52,85	47,15
100	0,1480	173,80	18,99	71,85	28,15
200	0,075	201,60	22,03	93,88	6,12
Fondo		55,60	6,08	99,96	
TOTAL		914,60	99,96		



% GRAVAS	13,38
% ARENAS	80,50
% FINOS	6,12
CLASIFICACIÓN S.U.S.C.:	SP-SM

D10	0,087
D30	0,15
D60	0,47
Cu	5,40
Cc	0,55

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	733,8
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	672,6
Peso recipiente = Wrec.	9,4
Wrec. + suelo seco	106,88
Peso del suelo seco = Ws	97,44
Ww = Ws + Wbw - Wbws	36,24
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,69
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	428
Peso del suelo saturado (gr)	557
Volumen del Recipiente (cm³)	321
γ_d	12,4 KN/m³
γ_{sat}	17,0 KN/m³

Figura 31. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°2 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,15
Wh+Wtara	41,56
Wd+tara	33,59
Wh	7,97
Wd	21,44
% humedad	37,17

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	8,4	7	13,4
WRec + Mhum	17	14,8	23,2
WRec + Mseca	14,59	12,46	20,3
Wagua	2,41	2,34	2,9
Wseco	6,19	5,46	6,9
Humedad %	38,93	42,86	42,03

Promedio Humedad			41,27
Nº Golpes	32	24	17
Promedio Golpes			24

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	11,4	8,2
WRec + Mhum	12	9,2
WRec + Mseca	11,82	8,86
Wagua	0,18	0,34
Humedad%	42,86	51,52
Límite Líquido	47,19	
Límite Plástico	41,14	
Índice de Plasticidad	6,05	



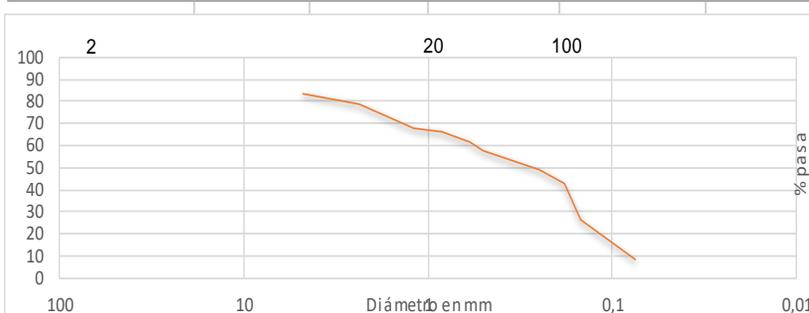
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	2
Estrato	3
Altura de estrato	0,6 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			347,40		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	56,80	16,35	16,35	83,65
8	2,38	16,20	4,66	21,01	78,99
16	1,19	37,60	10,82	31,84	68,16
20	0,840	7,40	2,13	33,97	66,03
30	0,59	15,60	4,49	38,46	61,54
40	0,500	13,60	3,91	42,37	57,63
60	0,250	29,80	8,58	50,95	49,05
80	0,180	22,40	6,45	57,40	42,60
100	0,1480	56,00	16,12	73,52	26,48
200	0,075	63,20	18,19	91,71	8,29
Fondo		7,40	2,13	93,84	
TOTAL		326,00	93,84		



% GRAVAS	16,35
% ARENAS	75,36
% FINOS	8,29
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP-SC

D10	0,09
D30	0,15
D60	0,5
Cu	5,56
Cc	0,50

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	730,8
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	669,4
Peso recipiente = Wrec.	9,4
Wrec. + suelo seco	108,71
Peso del suelo seco = Ws	99,31
Ww = Ws + Wbw - Wbws	37,91
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,62

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS			
Peso del suelo seco (gr)	399	Peso del suelo saturado (gr)	556
Volumen del Recipiente (cm³)	322		
Yd	12,3 KN/m³		
Ysat	16,9 KN/m³		

Figura 32. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°2 Estrato 3

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,34
Wh+Wtara	44,2
Wd+tara	37,25
Wh	6,95
Wd	24,91
% humedad	27,90

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	9,86	8,44	8,87
WRec + Mhum	14,81	13,49	16,03
WRec + Mseca	13,57	12,19	14,87
Wagua	1,24	1,3	1,16
Wseco	3,71	3,75	6
Humedad %	33,42	34,67	19,33
Promedio Humedad	29,14		
N° Golpes	38	20	17
Promedio Golpes	25		
LIMITE PLASTICO			
Muestra	1	2	
W Rec	9,31	8,87	
WRec + Mhum	9,63	9,36	
WRec + Mseca	9,56	9,24	
Wagua	0,07	0,12	
Humedad%	28,00	32,43	
Límite Líquido	30,22		
Límite Plástico	28,25		
Índice de Plasticidad	1,97		



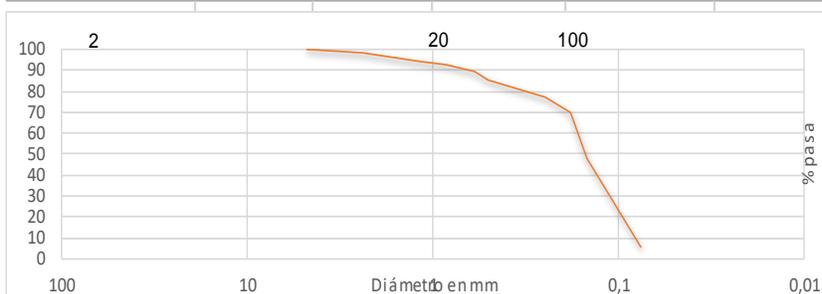
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	3
Estrato	1
Altura de estrato	0,6 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			655,40		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	1,60	0,24	0,24	99,76
8	2,38	10,80	1,65	1,89	98,11
16	1,19	26,60	4,06	5,95	94,05
20	0,840	7,60	1,16	7,11	92,89
30	0,59	21,60	3,30	10,41	89,59
40	0,500	25,40	3,88	14,28	85,72
60	0,250	55,40	8,45	22,73	77,27
80	0,180	48,60	7,42	30,15	69,85
100	0,1480	145,80	22,25	52,40	47,60
200	0,075	279,40	42,63	95,03	4,97
Fondo		11,40	1,74	96,77	
TOTAL		634,20	96,77		



% GRAVAS	0,24	D10	0,088
% ARENAS	94,78	D30	0,12
% FINOS	4,97	D60	0,18
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP	Cu	2,05
		Cc	0,91

GRAVEDAD ESPECIFICA			
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml		
Wfrasco + agua + suelo = Wbws	735,41		
Temperatura °C	18°C		
Wfrasco + agua = Wbw	669		
Peso recipiente = Wrec.	9,71		
Wrec. + suelo seco	110,25		
Peso del suelo seco = Ws	100,54		
Ww = Ws + Wbw - Wbws	34,13		
α	1,0004		
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,95		
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS			
Peso del suelo seco (gr)	425	Peso del suelo saturado (gr)	560
Volumen del Recipiente (cm³)	321		
Yd	12,4 KN/m³		
Ysat	17,1 KN/m³		

Figura 33. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°3 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,04
Wh+Wtara	42,66
Wd+tara	38,77
Wh	3,89
Wd	26,73
% humedad	14,55

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	8,88	9,56	7,23
WRec + Mhum	18,75	19,19	18,07
WRec + Mseca	16,73	17,12	15,69
Wagua	2,02	2,07	2,38
Wseco	7,85	7,56	8,46
Humedad %	25,73	27,38	28,13
Promedio Humedad	27,08		
N° Golpes	34	23	17
Promedio Golpes	25		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	8,68	10,89
WRec + Mhum	9,42	11,5
WRec + Mseca	9,3	11,41
Wagua	0,12	0,09
Humedad%	19,35	17,31
Límite Líquido	27,04	
Límite Plástico	18,33	
Índice de Plasticidad	8,71	



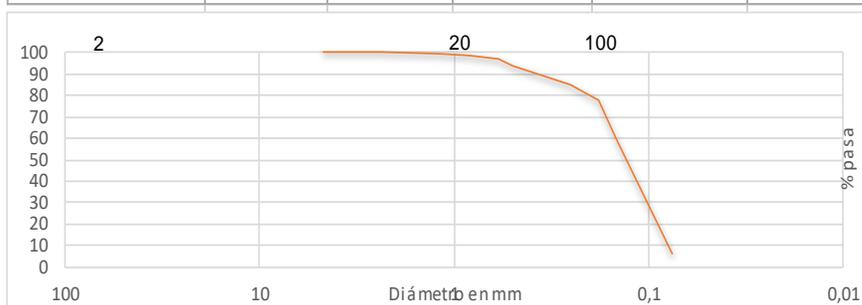
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	3
Estrato	2
Altura de estrato	0,7 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			778,60		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,19	4,80	0,62	0,62	99,38
20	0,840	3,40	0,44	1,05	98,95
30	0,59	14,60	1,88	2,93	97,07
40	0,500	23,80	3,06	5,99	94,01
60	0,250	66,80	8,58	14,56	85,44
80	0,180	62,20	7,99	22,55	77,45
100	0,1480	136,80	17,57	40,12	59,88
200	0,075	416,80	53,53	93,66	6,34
Fondo		40,00	5,14	98,79	
TOTAL		769,20	98,79		



% GRAVAS	0,00
% ARENAS	93,66
% FINOS	6,34
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP-SC

D10	0,08
D30	0,1
D60	0,16
Cu	2,00
Cc	0,78

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	720,8
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	651
Peso recipiente = Wrec.	9,6
Wrec. + suelo seco	115,37
Peso del suelo seco = Ws	105,77
Ww = Ws + Wbw - Wbws	35,97
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,94
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	397
Peso del suelo saturado (gr)	537
Volumen del Recipiente (cm³)	319
Yd	12,5 KN/m³
Ysat	16,5 KN/m³

Figura 34. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°3 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	10,83
Wh+Wtara	39,21
Wd+tara	34,23
Wh	4,98
Wd	23,4
% humedad	21,28

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,1	10,92	11,35
WRec + Mhum	21,16	20,71	20,29
WRec + Mseca	18,89	18,22	17,76
Wagua	2,27	2,49	2,53
Wseco	6,79	7,3	6,41
Humedad %	33,43	34,11	39,47
Promedio Humedad	35,67		
N° Golpes	38	28	17
Promedio Golpes	28		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	12,35	12,08
WRec + Mhum	12,69	12,47
WRec + Mseca	12,62	12,41
Wagua	0,07	0,06
Humedad%	25,93	18,18
Límite Líquido	36,11	
Límite Plástico	22,05	
Índice de Plasticidad	14,06	



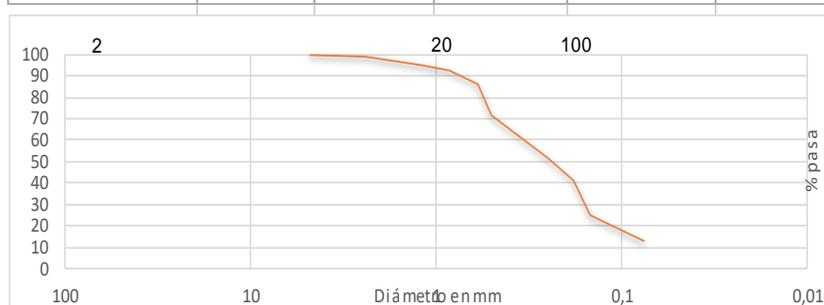
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	4
Estrato	1
Altura de estrato	1,5 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			740,20		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	2,40	0,32	0,32	99,68
8	2,38	8,20	1,11	1,43	98,57
16	1,19	28,60	3,86	5,30	94,70
20	0,840	13,60	1,84	7,13	92,87
30	0,59	48,40	6,54	13,67	86,33
40	0,500	106,40	14,37	28,05	71,95
60	0,250	153,60	20,75	48,80	51,20
80	0,180	76,40	10,32	59,12	40,88
100	0,1480	119,20	16,10	75,22	24,78
200	0,075	85,60	11,56	86,79	13,21
Fondo		97,20	13,13	99,92	
TOTAL		739,60	99,92		



% GRAVAS	0,32
% ARENAS	86,46
% FINOS	13,21
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SC

D10	0,07
D30	0,16
D60	0,35
Cu	5,00
Cc	1,04

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo = Wbws	736,18
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	673,31
Peso recipiente = Wrec.	9,65
Wrec. + suelo seco	108,98
Peso del suelo seco = Ws	99,33
Ww = Ws + Wbw - Wbws	36,46
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,73
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	427
Peso del suelo saturado (gr)	562
Volumen del Recipiente (cm³)	324
Yd	12,3 KN/m³
Ysat	17,0 KN/m³

Figura 35. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°4 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	11,92
Wh+Wtara	51,74
Wd+tara	45,28
Wh	6,46
Wd	33,36
% humedad	19,36

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,19	11,3	11,91
WRec + Mhum	18,76	21,49	22,39
WRec + Mseca	17,02	19	19,37
Wagua	1,74	2,49	3,02
Wseco	4,83	7,7	7,46
Humedad %	36,02	32,34	40,48

Promedio Humedad		36,28
Nº Golpes	33	24
Promedio Golpes		25

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	12,32	10,12
WRec + Mhum	12,78	10,78
WRec + Mseca	12,67	10,68
Wagua	0,11	0,1
Humedad%	31,43	17,86
Límite Líquido	36,22	
Límite Plástico	24,64	
Índice de Plasticidad	11,58	



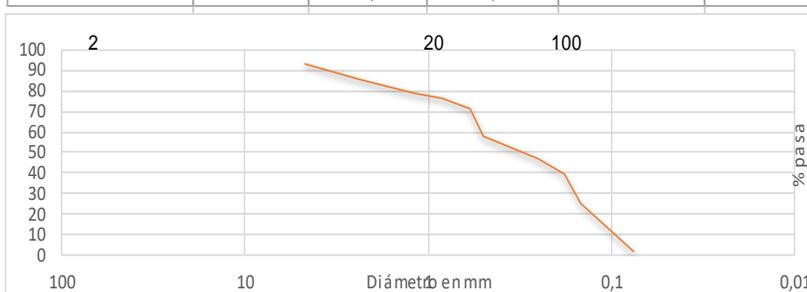
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	4
Estrato	2
Altura de estrato	0,5 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			559,00		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	38,20	6,83	6,83	93,17
8	2,38	44,20	7,91	14,74	85,26
16	1,19	36,80	6,58	21,32	78,68
20	0,840	10,80	1,93	23,26	76,74
30	0,59	32,40	5,80	29,05	70,95
40	0,500	71,60	12,81	41,86	58,14
60	0,250	62,40	11,16	53,02	46,98
80	0,180	41,60	7,44	60,47	39,53
100	0,1480	77,40	13,85	74,31	25,69
200	0,075	133,20	23,83	98,14	1,86
Fondo		10,20	1,82	99,96	
TOTAL		558,80	99,96		



% GRAVAS	6,83
% ARENAS	91,31
% FINOS	1,86
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP

D10	0,09
D30	0,17
D60	0,51
Cu	5,67
Cc	0,63

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	726,06
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	663,12
Peso recipiente = Wrec.	9,52
Wrec. + suelo seco	109,05
Peso del suelo seco = Ws	99,53
Ww = Ws + Wbw - Wbws	36,59
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,72

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS			
Peso del suelo seco (gr)	455	Peso del suelo saturado (gr)	584
Volumen del Recipiente (cm³)	326		
Yd	12,2 KN/m³		
Ysat	17,6 KN/m³		

Figura 36. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°4 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	11,24
Wh+Wtara	57,23
Wd+tara	46,79
Wh	10,44
Wd	35,55
% humedad	29,37

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,4	8,51	13,63
WRec + Mhum	20,62	19,6	21,16
WRec + Mseca	18,46	16,6	19,08
Wagua	2,16	3	2,08
Wseco	6,06	8,09	5,45
Humedad %	35,64	37,08	38,17
Promedio Humedad	36,96		
N° Golpes	38	23	16
Promedio Golpes	26		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	11,96	10,93
WRec + Mhum	12,51	11,83
WRec + Mseca	12,4	11,63
Wagua	0,11	0,2
Humedad%	25,00	28,57
Límite Líquido	37,08	
Límite Plástico	26,79	
Índice de Plasticidad	10,30	



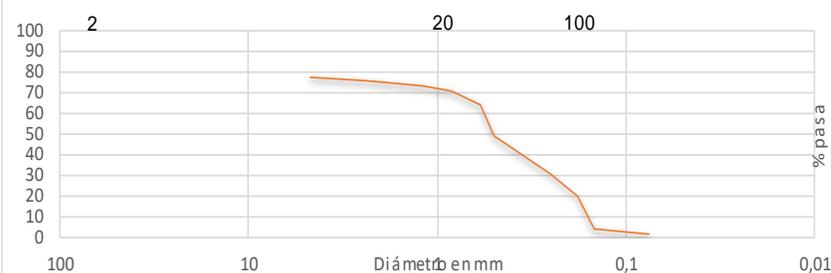
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	5
Estrato	1
Altura de estrato	0,9 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			676,60		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	154,00	22,76	22,76	77,24
8	2,38	9,20	1,36	24,12	75,88
16	1,19	21,00	3,10	27,22	72,78
20	0,840	11,80	1,74	28,97	71,03
30	0,59	46,60	6,89	35,86	64,14
40	0,500	101,60	15,02	50,87	49,13
60	0,250	124,00	18,33	69,20	30,80
80	0,180	74,80	11,06	80,25	19,75
100	0,1480	109,60	16,20	96,45	3,55
200	0,075	14,60	2,16	98,61	1,39
Fondo		8,00	1,18	99,79	
TOTAL		675,20	99,79		



% GRAVAS	22,76
% ARENAS	75,85
% FINOS	1,39
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP-SC

D10	0,16
D30	0,25
D60	0,6
Cu	3,75
Cc	0,65

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbw	737,87
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	673,31
Peso recipiente = Wrec.	9,76
Wrec. + suelo seco	111,39
Peso del suelo seco = Ws	101,63
Ww = Ws + Wbw - Wbws	37,07
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,74

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS			
Peso del suelo seco (gr)	382	Peso del suelo saturado (gr)	523
Volumen del Recipiente (cm³)	320		
Yd	12,4 KN/m³		
Ysat	16,0 KN/m³		

Figura 37. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°5 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,33
Wh+Wtara	57,66
Wd+tara	50,83
Wh	6,83
Wd	38,5
% humedad	17,74

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	7,01	8,21	8,94
WRec + Mhum	18,01	19,07	19,53
WRec + Mseca	15,08	16,06	16,52
Wagua	2,93	3,01	3,01
Wseco	8,07	7,85	7,58
Humedad %	36,31	38,34	39,71
Promedio Humedad	38,12		
N° Golpes	32	22	17
Promedio Golpes	24		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	8,76	8,97
WRec + Mhum	9,24	9,47
WRec + Mseca	9,21	9,42
Wagua	0,03	0,05
Humedad%	6,67	11,11
Límite Líquido	37,87	
Límite Plástico	8,89	
Índice de Plasticidad	28,98	



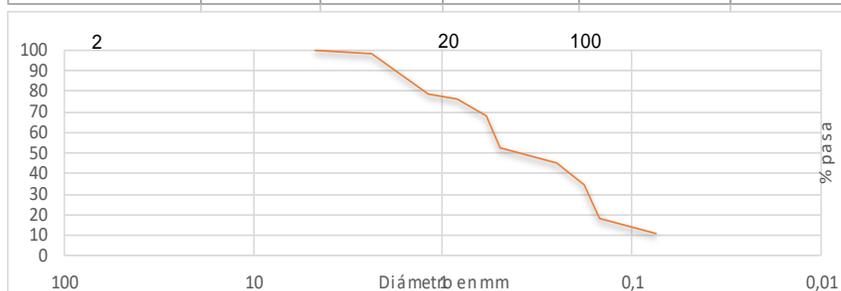
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	5
Estrato	2
Altura de estrato	1,30 m

Autores	Claudia Gisssel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			604,80		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	1,20	0,20	0,20	99,80
8	2,38	9,60	1,59	1,79	98,21
16	1,19	116,20	19,21	21,00	79,00
20	0,840	25,89	4,28	25,28	74,72
30	0,59	50,60	8,37	33,65	66,35
40	0,500	92,40	15,28	48,92	51,08
60	0,250	23,90	3,95	52,88	47,12
80	0,180	54,90	9,08	61,95	38,05
100	0,1480	40,00	6,61	68,57	31,43
200	0,075	115,00	19,01	87,58	12,42
Fondo		64,60	10,68	98,26	
TOTAL		594,29	98,26		



% GRAVAS	0,20
% ARENAS	87,38
% FINOS	12,42
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SC

D10	0,075
D30	0,14
D60	0,55
Cu	7,33
Cc	0,48

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	729,64
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	663,12
Peso recipiente = Wrec.	9,73
Wrec. + suelo seco	114,9
Peso del suelo seco = Ws	105,17
Ww = Ws + Wbw - Wbws	38,65
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,72

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	427
Peso del suelo saturado (gr)	563
Volumen del Recipiente (cm³)	322
Yd	12,3 KN/m3
Ysat	17,1 KN/m3

Figura 38. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°5 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,35
Wh+Wtara	66,4
Wd+tara	57,53
Wh	8,87
Wd	45,18
% humedad	19,63

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,01	12,39	11,4
WRec + Mhum	22,98	24,14	21,55
WRec + Mseca	20,95	21,89	19,55
Wagua	2,03	2,25	2
Wseco	8,94	9,5	8,15
Humedad %	22,71	23,68	24,54
Promedio Humedad	23,64		
N° Golpes	32	28	17
Promedio Golpes	26		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	11,02	13,74
WRec + Mhum	11,6	14,31
WRec + Mseca	11,48	14,2
Wagua	0,12	0,11
Humedad%	26,09	23,91
Límite Líquido	25,00	
Límite Plástico	23,72	
Índice de Plasticidad	1,28	



Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	6
Estrato	1
Altura de estrato	0,9 m

Autores	Claudia Gisseeel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			800,10		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	1,40	0,17	0,17	99,83
8	2,38	3,80	0,47	0,65	99,35
16	1,19	23,40	2,92	3,57	96,43
20	0,840	16,00	2,00	5,57	94,43
30	0,59	47,60	5,95	11,52	88,48
40	0,500	79,40	9,92	21,45	78,55
60	0,250	134,80	16,85	38,30	61,70
80	0,180	84,60	10,57	48,87	51,13
100	0,1480	113,60	14,20	63,07	36,93
200	0,075	275,40	34,42	97,49	2,51
Fondo		16,00	2,00	99,49	
TOTAL		796,00	99,49		



% GRAVAS	0,17
% ARENAS	97,31
% FINOS	2,51
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP

D10	0,09
D30	0,13
D60	0,23
Cu	2,56
Cc	0,82

GRAVEDAD ESPECIFICA			
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml		
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	736,15		
Temperatura °C	18°C		
Wfrasco + agua = Wbw	673,31		
Peso recipiente = Wrec.	9,9		
Wrec. + suelo seco	110,31		
Peso del suelo seco = Ws	100,41		
Ww = Ws + Wbw - Wbws	37,57		
α	1,0004		
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,67		
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS			
Peso del suelo seco (gr)	419	Peso del suelo saturado (gr)	562
Volumen del Recipiente (cm³)	322		
Yd	12,3 KN/m³		
Ysat	17,1 KN/m³		

Figura 39. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°6 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)		
Wtara	10,06	
Wh+Wtara	53,66	
Wd+tara	46,48	
Wh	7,18	
Wd	36,42	
% humedad	19,71	
LIMITE LIQUIDO		
Muestra	1	2
W Rec	8,23	7,25
WRec + Mhum	21,72	18,96
WRec + Mseca	18,75	16,31
Wagua	2,97	2,65
Wseco	10,52	9,06
Humedad %	28,23	29,25
Promedio Humedad	25,92	
N° Golpes	33	26
Promedio Golpes	25	
LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	8,83	8,45
WRec + Mhum	9,82	9,26
WRec + Mseca	9,67	9,14
Wagua	0,15	0,12
Humedad%	17,86	17,39
Límite Líquido	25,92	
Límite Plástico	17,62	
Índice de Plasticidad	8,29	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			625,00		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	1,60	0,26	0,26	99,74
8	2,38	3,60	0,58	0,83	99,17
16	1,19	19,20	3,07	3,90	96,10
20	0,840	10,40	1,66	5,57	94,43
30	0,59	37,60	6,02	11,58	88,42
40	0,500	80,80	12,93	24,51	75,49
60	0,250	105,50	16,88	41,39	58,61
80	0,180	73,20	11,71	53,10	46,90
100	0,1480	115,00	18,40	71,50	28,50
200	0,075	171,60	27,46	98,96	1,04
Fondo		6,40	1,02	99,98	
TOTAL		624,90	99,98		

% GRAVAS	0,26	D10	0,095
% ARENAS	98,70	D30	0,16
% FINOS	1,04	D60	0,27
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP	Cu	2,84
		Cc	1,00

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	727,23
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	663,12
Peso recipiente = Wrec.	9,88
Wrec. + suelo seco	111,5
Peso del suelo seco = Ws	101,62
Ww = Ws + Wbw - Wbws	37,51
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,71

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS			
Peso del suelo seco (gr)	403	Peso del suelo saturado (gr)	537
Volumen del Recipiente (cm³)	321		
Yd	12,4 KN/m³		
Ysat	16,4 KN/m³		



Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	6
Estrato	2
Altura de estrato	0,8 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

Figura 40. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°6 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)			
Wtara	12,14		
Wh+Wtara	60,7		
Wd+tara	53,19		
Wh	7,51		
Wd	41,05		
% humedad	18,29		
LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	6,72	9,95	8,89
WRec + Mhum	18,22	17,66	20,74
WRec + Mseca	15,82	16,02	18,18
Wagua	2,4	1,64	2,56
Wseco	9,1	6,07	9,29
Humedad %	26,37	27,02	27,56
Promedio Humedad	26,98		
N° Golpes	34	24	19
Promedio Golpes	26		
LIMITE PLASTICO			
Muestra	1	2	
W Rec	7,13	10,41	
WRec + Mhum	7,55	11,08	
WRec + Mseca	7,47	10,96	
Wagua	0,08	0,12	
Humedad%	23,53	21,82	
Límite Líquido	27,07		
Límite Plástico	22,67		
Índice de Plasticidad	4,40		



Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	6
Estrato	3
Altura de estrato	0,3 m

Autores	Claudia Gissee Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			712,00		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	8,20	1,15	1,15	98,85
8	2,38	15,80	2,22	3,37	96,63
16	1,19	48,00	6,74	10,11	89,89
20	0,840	17,00	2,39	12,50	87,50
30	0,59	52,20	7,33	19,83	80,17
40	0,500	96,80	13,60	33,43	66,57
60	0,250	128,00	17,98	51,40	48,60
80	0,180	85,20	11,97	63,37	36,63
100	0,1480	108,80	15,28	78,65	21,35
200	0,075	145,00	20,37	99,02	0,98
Fondo		4,80	0,67	99,69	
TOTAL		709,80	99,69		



% GRAVAS	1,15
% ARENAS	97,87
% FINOS	0,98
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP

D10	0,1
D30	0,16
D60	0,4
Cu	4,00
Cc	0,64

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	737,3
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	673,31
Peso recipiente = Wrec.	10
Wrec. + suelo seco	111,69
Peso del suelo seco = Ws	101,69
Ww = Ws + Wbw - Wbws	37,7
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,70
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	445
Peso del suelo saturado (gr)	563
Volumen del Recipiente (cm³)	320
Yd	12,4 KN/m³
Ysat	17,2 KN/m³

Figura 41. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°6 Estrato 3

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	11,76
Wh+Wtara	58,7
Wd+tara	52,24
Wh	6,46
Wd	40,48
% humedad	15,96

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	6,84	7,12	9,84
WRec + Mhum	17,59	18,7	21,13
WRec + Mseca	15,36	16,24	18,66
Wagua	2,23	2,46	2,47
Wseco	8,52	9,12	8,82
Humedad %	26,17	26,97	28,00
Promedio Humedad	27,05		
N° Golpes	32	26	17
Promedio Golpes	25		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	10,31	8,9
WRec + Mhum	10,9	9,35
WRec + Mseca	10,8	9,28
Wagua	0,1	0,07
Humedad%	20,41	18,42
Límite Líquido	27,05	
Límite Plástico	19,41	
Índice de Plasticidad	7,64	



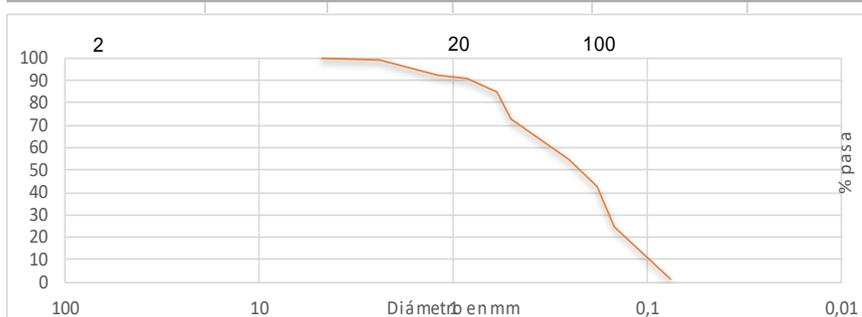
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	7
Estrato	1
Altura de estrato	0,8 m

Autores	Claudia Gisseel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

**Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y
volumétricas**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			765,80		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	1,40	0,18	0,18	99,82
8	2,38	5,60	0,73	0,91	99,09
16	1,19	50,00	6,53	7,44	92,56
20	0,840	14,80	1,93	9,38	90,62
30	0,59	44,20	5,77	15,15	84,85
40	0,500	91,80	11,99	27,14	72,86
60	0,250	140,00	18,28	45,42	54,58
80	0,180	90,60	11,83	57,25	42,75
100	0,1480	141,80	18,52	75,76	24,24
200	0,075	178,20	23,27	99,03	0,97
Fondo		6,80	0,89	99,92	
TOTAL		765,20	99,92		



% GRAVAS	0,18
% ARENAS	98,85
% FINOS	0,97
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP

D10	0,1
D30	0,16
D60	0,3
Cu	3,00
Cc	0,85

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	739,93
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	673,31
Peso recipiente = Wrec.	9,47
Wrec. + suelo seco	115,5
Peso del suelo seco = Ws	106,03
Ww = Ws + Wbw - Wbws	39,41
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,69
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	393
Peso del suelo saturado (gr)	552
Volumen del Recipiente (cm³)	322
Yd	12,3 KN/m³
Ysat	16,8 KN/m³

Figura 42. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°7 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,03
Wh+Wtara	51,88
Wd+tara	44,7
Wh	7,18
Wd	32,67
% humedad	21,98

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	12,42	10,91	11,32
WRec + Mhum	22,47	18,78	21,29
WRec + Mseca	20,08	16,87	18,78
Wagua	2,39	1,91	2,51
Wseco	7,66	5,96	7,46
Humedad %	31,20	32,05	33,65
Promedio Humedad	32,30		
N° Golpes	32	27	17
Promedio Golpes	25		

LIMITE PLASTICO	
Muestra	1 2
W Rec	12,08 12,17
WRec + Mhum	12,45 12,66
WRec + Mseca	12,35 12,54
Wagua	0,1 0,12
Humedad%	37,04 32,43
Límite Líquido	34,73
Límite Plástico	32,35
Índice de Plasticidad	2,38



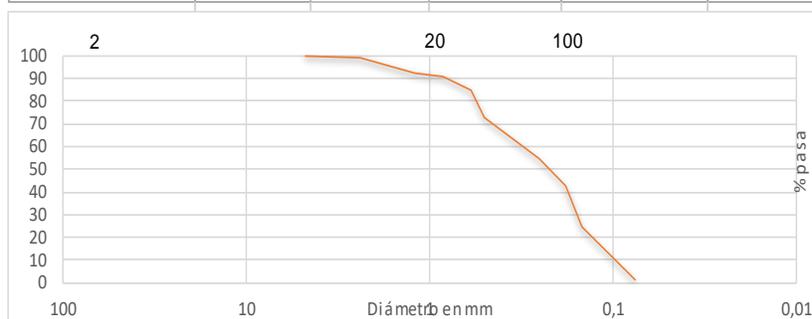
Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	7
Estrato	2
Altura de estrato	1 m

Autores	Claudia Gisseel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			718,60		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	113,60	15,81	15,81	84,19
8	2,38	20,40	2,84	18,65	81,35
16	1,19	30,20	4,20	22,85	77,15
20	0,840	32,00	4,45	27,30	72,70
30	0,59	71,00	9,88	37,18	62,82
40	0,500	106,40	14,81	51,99	48,01
60	0,250	72,20	10,05	62,04	37,96
80	0,180	53,80	7,49	69,52	30,48
100	0,1480	73,40	10,21	79,74	20,26
200	0,075	139,30	19,38	99,12	0,88
Fondo		6,20	0,86	99,99	
TOTAL		718,50	99,99		



% GRAVAS	15,81	D10	0,1
% ARENAS	83,31	D30	0,18
% FINOS	0,88	D60	0,57
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP	Cu	5,70
		Cc	0,57

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	730,19
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	663,12
Peso recipiente = Wrec.	9,49
Wrec. + suelo seco	116,5
Peso del suelo seco = Ws	107,01
Ww = Ws + Wbw - Wbws	39,94
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,68
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	395
Peso del suelo saturado (gr)	551
Volumen del Recipiente (cm³)	327
γ_d	12,2 KN/m³
γ_{sat}	16,5 KN/m³

Figura 43. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°7 Estrato 2

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	11,24
Wh+Wtara	62,23
Wd+tara	54,17
Wh	8,06
Wd	42,93
% humedad	18,77

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	7,08	8,98	8,26
WRec + Mhum	17,02	17,24	20,43
WRec + Mseca	14,67	15,25	17,52
Wagua	2,35	1,99	2,91
Wseco	7,59	6,27	9,26
Humedad %	30,96	31,74	31,43
Promedio Humedad	31,38		
N° Golpes	33	25	16
Promedio Golpes	25		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	8,97	7,37
WRec + Mhum	9,46	7,9
WRec + Mseca	9,3	7,79
Wagua	0,16	0,11
Humedad%	48,48	26,19
Límite Líquido	37,34	
Límite Plástico	31,32	
Índice de Plasticidad	6,02	



Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	8
Estrato	1
Altura de estrato	0,8 m

Autores	Claudia Gisseel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

**Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y
volumétricas**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			699,60		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	34,60	4,95	4,95	95,05
8	2,38	60,40	8,63	13,58	86,42
16	1,19	55,40	7,92	21,50	78,50
20	0,840	12,80	1,83	23,33	76,67
30	0,59	28,40	4,06	27,39	72,61
40	0,500	33,20	4,75	32,13	67,87
60	0,250	64,00	9,15	41,28	58,72
80	0,180	54,00	7,72	49,00	51,00
100	0,1480	66,00	9,43	58,43	41,57
200	0,075	272,09	38,89	97,33	2,67
Fondo		18,60	2,66	99,98	
TOTAL		699,49	99,98		



% GRAVAS	4,95
% ARENAS	92,38
% FINOS	2,67
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP

D10	0,08
D30	0,13
D60	0,28
Cu	3,50
Cc	0,75

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	747,59
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	673,31
Peso recipiente = Wrec.	10,2
Wrec. + suelo seco	129,14
Peso del suelo seco = Ws	118,94
Ww = Ws + Wbw - Wbws	44,66
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,66
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	413
Peso del suelo saturado (gr)	565
Volumen del Recipiente (cm³)	325
Yd	12,2 KN/m³
Ysat	17,1 KN/m³

Figura 44. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°8 Estrato 1

HUMEDAD NATURAL (%)	
Wtara	12,27
Wh+Wtara	57,6
Wd+tara	49,25
Wh	8,35
Wd	36,98
% humedad	22,58

LIMITE LIQUIDO			
Muestra	1	2	3
W Rec	9,6	7,21	9,26
WRec + Mhum	19,92	18,13	20,82
WRec + Mseca	17,43	15,45	17,87
Wagua	2,49	2,68	2,95
Wseco	7,83	8,24	8,61
Humedad %	31,80	32,52	34,26
Promedio Humedad	32,86		
N° Golpes	35	24	18
Promedio Golpes	26		

LIMITE PLASTICO		
Muestra	1	2
W Rec	7,14	7,29
WRec + Mhum	7,75	7,79
WRec + Mseca	7,62	7,7
Wagua	0,13	0,09
Humedad%	27,08	21,95
Límite Líquido	32,97	
Límite Plástico	24,52	
Índice de Plasticidad	8,45	



Resultados de ensayos de Laboratorio

Apique	8
Estrato	2
Altura de estrato	0,5 m

Autores	Claudia Gisseel Pérez R.
	Onare Javier Vanegas D.

Humedad Natural
Análisis Granulométrico
Límites de Atterberg
Gravedad específica
Relaciones gravimétricas y volumétricas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Peso de la muestra Inicial (Gr)			494,40		
TAMIZ	DIÁM. (mm)	PESO RET.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
4	4,75	19,80	4,00	4,00	96,00
8	2,38	14,40	2,91	6,92	93,08
16	1,19	15,80	3,20	10,11	89,89
20	0,840	4,40	0,89	11,00	89,00
30	0,59	9,20	1,86	12,86	87,14
40	0,500	14,60	2,95	15,82	84,18
60	0,250	35,60	7,20	23,02	76,98
80	0,180	40,60	8,21	31,23	68,77
100	0,1480	53,40	10,80	42,03	57,97
200	0,075	260,04	52,60	94,63	5,37
Fondo		26,40	5,34	99,97	
TOTAL		494,24	99,97		



% GRAVAS	4,00
% ARENAS	90,62
% FINOS	5,37
CLASIFICACIÓN S.U.S.C:	SP-SC

D10	0,08
D30	0,11
D60	0,15
Cu	1,88
Cc	1,01

GRAVEDAD ESPECIFICA	
Vol. Del frasco a 20°C	500 ml
Wfrasco + agua + suelo= Wbws	736,18
Temperatura °C	18°C
Wfrasco + agua = Wbw	663,12
Peso recipiente = Wrec.	9,97
Wrec. + suelo seco	127,03
Peso del suelo seco = Ws	117,06
Ww = Ws + Wbw - Wbws	44
α	1,0004
$G_s = \alpha * (W_s/W_w)$	2,66
RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS	
Peso del suelo seco (gr)	415
Peso del suelo saturado (gr)	549
Volumen del Recipiente (cm³)	324
Yd	12,3 KN/m³
Ysat	16,6 KN/m³

Figura 45. Resultados de ensayos de laboratorio Apique N°8 Estrato 2

Anexo 2. Datos de correlación de parámetros del suelo

MUESTRAS DE SUELO										
	N	SUCS	Muestra	Humedad	LL	LP	IP	% Gravas	% Arenas	% Finos
PEREZ Y VANEAS	1	SP	A1/ E1	22,14	37,66	28,5	9,16	1,97	90,67	7,36
	2	SP-SC	A1/ E2	2,96	37,64	28,61	9,03	0,28	83,86	15,87
	3	SC	A2/ A1	26,53	40,54	35,18	5,36	1,04	73,59	23,58
	4	SP-SM	A2/ E2	20,6	43,72	39,31	4,41	13,38	80,5	6,12
	5	SP-SC	A2/ E3	37,17	47,19	41,14	6,05	16,35	75,36	8,29
	6	SP	A3/ E1	27,9	30,22	29,14	1,08	0,24	94,32	5,43
	7	SP-SC	A3/ E2	14,55	27,04	18,33	8,71	0	93,66	6,34
	8	SC	A4/ E1	21,28	36,11	22,05	14,06	0,32	86,46	13,21
	9	SP	A4/ E2	19,36	36,22	24,64	11,58	6,83	91,31	1,86
	10	SP-SC	A5/ E1	29,37	37,08	26,79	10,3	22,76	75,85	1,39
	11	SC	A5/ E2	17,74	37,87	8,89	28,98	0,2	88,89	10,91
	12	SP	A6/ E1	19,63	25	23,72	1,28	56,04	41,87	2,09
	13	SP	A6/ E2	19,71	25,92	17,62	8,29	0,26	98,7	1,04
	14	SP	A6/ E3	18,29	27,07	22,67	4,4	1,15	88,17	10,67
	15	SP	A7/ E1	15,96	27,05	19,41	7,64	0,18	98,85	0,97
	16	SP	A7/ E2	21,98	34,73	32,35	2,38	15,81	71,58	12,61
	17	SP	A8/ E1	18,77	37,34	31,32	6,02	4,95	82,68	12,38
	18	SP-SC	A8/ E2	22,58	32,97	24,52	8,45	4	86,49	9,51
JIMENEZ, AMEZQUITA Y ALBARRACIN	1	SM-SC	CA1/E1	6,77	40,59	36,21	4,38	7,55	49,79	42,66
	1	SW-SC	CA1/E2	8,51	23,81	16,95	6,86	0,13	61,38	38,48
	2	SC	CA2/E1	30,07	33,97	19,92	14,05	2,97	52,73	44,3
	2	ML	CA2/E2	32,08	44,02	31,8	12,22	5,37	28,68	65,95
	3	ML	CA3/E1	28,56	41,49	53,31	0	1,54	29,69	68,76
	4	CL	CA4/E1	33,03	33,65	21,76	11,89	0,12	42,13	57,75
	4	ML	CA4/E2	35,18	38,12	37	1,12	0,38	34,92	64,7
	5	SC	CA5/E1	33,76	36,09	23,57	12,52	13,22	65,87	20,91
	5	SM	CA5/E2	27,5	41,23	20,39	20,74	10,04	66,02	23,94
	6	ML	CA6/E1	24,8	40,05	33,93	6,12	0	37,43	62,57
	7	ML	CA7/E1	20,32	40,51	29,91	10,6	0	46,24	53,76
	8	SP	CA8/E1	5,5	38,56	38,24	0,32	3,55	95,08	1,37
	9	SP-SC	CA9/E1	18,02	36,21	31,21	5	1,58	88,96	9,46
	10	SP-SC	CA10/E1	81,24	27,72	7,68	20,04	4,29	83,93	11,77
11	SM	CA11/E1	26,83	47,61	44,1	3,51	1,83	81,52	16,65	
12	SP	CA12/E1	21,22	34,89	32,9	1,99	3,53	92,38	4,1	
13	SP-SC	CA13/E1	28,73	35,99	32,99	3	0,78	76,73	22,49	
14	SC	CA14/E1	46,45	49,65	26,48	23,17	0,08	55,23	44,7	

A1/E1	A1/E2	A2/A1	A2/E2	A2/E3	A3/E1	A3/E2	A4/E1	A4/E2	A5/E1	A5/E2	A6/E1	A6/E2	A6/E3	A7/E1	A7/E2	A8/E1	A8/E2	CA1/E1	CA1/E2	CA2/E1	CA2/E2	CA3/E1	CA4/E1	CA4/E2	CA5/E1	CA5/E2	CA6/E1	CA7/E1	CA8/E1	CA9/E1	CA10/E1	CA11/E1	CA12/E1	CA13/E1	CA14/E1		
1																																					
0.95356895	1																																				
0.95319161	0.93631688	1																																			
0.91184258	0.84447558	0.8195068	1																																		
0.93568423	0.84974037	0.92133975	0.82542463	1																																	
0.98911931	0.9239029	0.95197724	0.91768802	0.94518039	1																																
0.98671964	0.95702059	0.91653148	0.94063005	0.8753112	0.97554169	1																															
0.90992223	0.96110777	0.94398459	0.92025628	0.88819527	0.97353276	0.99117657	1																														
0.99276103	0.94816997	0.9117336	0.92921055	0.92157829	0.97708878	0.98813183	0.90263373	1																													
0.94363885	0.85252349	0.84426055	0.92375562	0.94953872	0.94589423	0.92416591	0.90858221	0.96321047	1																												
0.92517551	0.9021261	0.82491558	0.89675492	0.76104234	0.88386871	0.95119321	0.95977408	0.93712259	0.84239433	1																											
0.33279531	0.26868079	0.19962277	0.48979119	0.46410223	0.36159245	0.33075432	0.25048136	0.39921988	0.58933606	0.17181395	1																										
0.98484346	0.9309407	0.90251168	0.94907188	0.88782655	0.98085105	0.99603992	0.98496504	0.989915	0.94279106	0.94541619	0.33859442	1																									
0.98990862	0.95689333	0.94670675	0.93444359	0.90101892	0.98900677	0.99409898	0.98812197	0.98131949	0.92626213	0.91980582	0.33513903	0.98971971	1																								
0.98848775	0.94649887	0.9088826	0.94171009	0.89077651	0.98015978	0.99810013	0.98675914	0.93363636	0.94238214	0.94416165	0.96473388	0.99868687	0.99181783	1																							
0.96558051	0.93027918	0.94422094	0.89317875	0.96295524	0.97075618	0.93917256	0.93187509	0.95614053	0.95123404	0.81270216	0.50033165	0.9382252	0.96071898	0.94469381	1																						
0.99334572	0.97392571	0.97008888	0.89294999	0.93925304	0.98265301	0.97505169	0.97932832	0.97971314	0.92860983	0.89181985	0.34916787	0.96631481	0.98617347	0.97415727	0.98076776	1																					
0.9973597	0.95270844	0.94735435	0.93455762	0.92378929	0.99227992	0.99278321	0.99236891	0.99132495	0.94354256	0.92910952	0.34433723	0.99206239	0.99624627	0.99353372	0.9638518	0.9892074	1																				
0.63906191	0.78258364	0.79186408	0.48035827	0.57754301	0.60767993	0.61048361	0.64496388	0.57514866	0.44692101	0.51103524	0.02323977	0.5488287	0.65399274	0.5766224	0.68407528	0.71250708	0.62781056	1																			
0.7913599	0.87211059	0.85415756	0.75164707	0.61659617	0.77756009	0.82397497	0.83529108	0.74902887	0.59819872	0.77455485	0.01807082	0.78046728	0.8421233	0.78955563	0.75893466	0.82029699	0.8073022	0.86009551	1																		
0.6878165	0.71039163	0.81483736	0.65092821	0.56767145	0.69134099	0.69116704	0.74390207	0.61841789	0.48042533	0.67747428	-0.19466298	0.65955585	0.72563552	0.65523877	0.633709	0.70468316	0.70421652	0.77345177	0.91069942	1																	
0.07505631	0.17749842	0.34938659	-0.01614194	0.05584719	0.07834762	0.03861263	0.12237146	-0.03079378	-0.16007205	0.0164054	-0.50097802	-0.01429548	0.10409716	-0.0083361	0.08920754	0.13664941	0.07659323	0.66708968	0.51931079	0.71456533	1																
0.13320842	0.24067335	0.42098147	-0.04805448	0.17395691	0.15464614	0.07222671	0.13631374	0.02132794	-0.08431196	-0.05106122	-0.356454	0.0205317	0.156808	0.03609611	0.20474452	0.16469978	0.12397455	0.7440033	0.49835415	0.61691522	0.92112654	1															
0.37822945	0.43042444	0.58670627	0.33846566	0.2883252	0.39383599	0.3750025	0.4421535	0.28443385	0.13697567	0.35942353	0.41191157	0.33428705	0.42789509	0.32977353	0.34458071	0.41236714	0.39574204	0.70943412	0.76025936	0.92585411	0.90792763	0.79620406	1														
0.2325498	0.29839961	0.50477397	0.12574472	0.24193518	0.26342437	0.18867589	0.25814907	0.12201134	0.0151854	0.09748132	-0.36402766	0.14571389	0.26903014	0.14957073	0.27328536	0.29671268	0.2374206	0.72919822	0.60561828	0.77801953	0.96187732	0.95609497	0.92644195	1													
0.963357	0.88808956	0.94958223	0.93775132	0.92524742	0.97302947	0.94746695	0.96311477	0.94491029	0.91832614	0.88679569	0.31477618	0.95252076	0.96387309	0.9466317	0.93964631	0.95428952	0.9715263	0.61493538	0.79743634	0.78086695	0.91171763	0.19945707	0.50808811	0.35347804	1												
0.95188877	0.92557485	0.92749355	0.90577382	0.84753862	0.92445851	0.94831014	0.97728469	0.93743781	0.85684283	0.95749428	0.16943636	0.93826879	0.94457416	0.93750349	0.87989609	0.93853966	0.95417067	0.63873985	0.8444436	0.8129829	0.23722859	0.18104413	0.53836991	0.33343456	0.96077726	1											
0.2978603	0.40912015	0.55193552	0.17531873	0.25411019	0.30044619	0.26606036	0.33574606	0.19456691	0.05020772	0.20495133	-0.38093898	0.20947968	0.33189288	0.22044352	0.31714787	0.3645508	0.29871536	0.82484764	0.70143347	0.81985264	0.96402621	0.94112831	0.9377458	0.97585833	0.38301885	0.41449001	1										
0.51515755	0.62695408	0.71609408	0.38766082	0.42282844	0.4981386	0.4947206	0.55934618	0.42865635	0.26304283	0.45655703	-0.28971754	0.43729493	0.54284806	0.45007741	0.50246789	0.5699947	0.51464156	0.90735437	0.8502614	0.91196693	0.87434868	0.83918559	0.93160852	0.89800342	0.56818345	0.62873206	0.96170981	1									
0.97189624	0.97403948	0.93103065	0.84927775	0.92497511	0.95232674	0.95182118	0.94507419	0.96790802	0.92376181	0.85489114	0.41913859	0.94065715	0.95833024	0.95452206	0.97505274	0.98518006	0.96162704	0.70520419	0.7688585	0.59675158	0.0448251	0.16814324	0.29257332	0.20562059	0.89400671	0.88172876	0.28734488	0.49871499	1								
0.95998657	0.97223081	0.96577248	0.89574097	0.95643552	0.98630845	0.98078817	0.98310507	0.98383124	0.93055712	0.90017262	0.34080521	0.97346016	0.98964894	0.98036077	0.97690162	0.99926344	0.99248753	0.69352217	0.81598421	0.69848301	0.11610538	0.19561804	0.40157794	0.27842165	0.95404359	0.93856523	0.34575567	0.5544626	0.98394504	1							
0.6865645	0.48312815	0.63326233	0.75464686	0.67301262	0.74002161	0.68409713	0.70193345	0.67637111	0.69887195	0.68362545	0.13424124	0.73088183	0.69184353	0.69656821	0.60500908	0.62477531	0.71092043	0.09872862	0.44337664	0.58547086	0.01936773	-0.06983203	0.37119037	0.16486158	0.80246095	0.71774229	0.10473616	0.22947497	0.51102328	0.63819329	1						
0.95569777	0.93218343	0.98709221	0.7944623	0.95825857	0.95033418	0.94025832	0.92870097	0.92160312	0.87738402	0.80043665	0.27762727	0.89456376	0.9323295	0.90424337	0.96087604	0.97395989	0.94171541	0.75912091	0.77708005	0.71608067	0.25386684	0.3648453	0.46828278	0.41816091	0.92808476	0.89637989	0.46409452	0.63295277	0.95524932	0.96875419	0.59181722	1					
0.99360018	0.94972869	0.95317818	0.90155651	0.99254003	0.97451929	0.97152814	0.98544099	0.95424236	0.88011193	0.39957987	0.9745251	0.98945635	0.97956392	0.98522188	0.99416871	0.9907681	0.64448319	0.77042701	0.6539095	0.05726568	0.15297949	0.34732413	0.23506702	0.9544709	0.9174599	0.28808394	0.49330966	0.98155478	0.99566496	0.6629146	0.96438765	1					
0.95881309	0.92512456	0.99509004	0.85186602	0.92207307	0.96871406	0.93067221	0.95026724	0.92017665	0.8611643	0.8309468	0.22850968	0.92202495	0.96138618	0.92465752	0.95078587	0.97087013	0.95902274	0.75326245	0.85514435	0.8163905	0.31871146	0.38700135	0.58196897	0.48717248	0.96591602	0.92746062	0.52926263	0.68666534	0.92556183	0.96862548	0.68512728	0.97668487	0.960960				

Tabla 25
Perfil estratigráfico Apique N°2

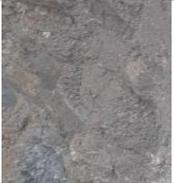
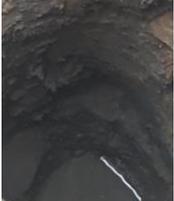
Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 2
Nivel Freático SI Profundidad de NF 1,80 m Dimensión de apique Largo = 1.20 m Ancho = 1.50 m Profundidad final = 2,30 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,30		Capa vegetal, compuesta por material arenoso y raíces, color gris oscuro y ligeramente húmedo.	N/A				
0,30 – 0,60		Arena arcillosa de grano fino, con algo de gravas, color café claro	35,18	40,54	25,38	SC (Arena arcillosa)	$\gamma_d = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 15,8 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 26,99
0,90 – 1,70		Arena mal graduada limosa, con baja plasticidad	23,30	NP	6,12	SP – SM (Arena mal graduada- Arena limosa)	$\gamma_d = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 17,0 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 16,11
1,70 – 2,30		Arena arcillosa mal graduada, con color café oscuro	41,14	47,19	8,29	SP – SC (Arena mal graduada- Arena arcillosa)	$\gamma_d = 12,3 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 16,9 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 15,55

Tabla 26.
Perfil estratigráfico Apique N°3

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 3
Nivel Freático: No Dimensión de apique: Largo = 1.00 m Ancho = 1.50 m Profundidad final = 1,90 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,30		Capa vegetal, color gris	N/A				
0,30 – 1,10		Arena mal gradada de consistencia firme y color gris oscuro	29,14	27,04	5,3	SP (Arena mal gradada)	$\gamma_d = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 12,5 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 32,18 Kpa
1,10 – 1,90		Arena arcillosa mal gradada de color café oscuro	30,22	18,33	6,34	SP – SC (Arena mal gradada- Arena arcillosa)	$\gamma_d = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 17,0 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 17,20 Kpa

Tabla 27.
Perfil estratigráfico Apique N°4

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas						APIQUE N° 4	
Nivel Freático: No Dimensión de apique: Largo = 1.50 m Ancho = 1.50 m Profundidad final = 2,30 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,30		Relleno con presencia de plásticos, retazos de telas, trozos de ladrillos y raíces				N/A	
0,30 – 1,50		El material predominante es la arena arcillosa de color café claro a oscuro	36,11	22,05	13,21	SC (Arena arcillosa)	$\gamma_d = 12,3 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 12,2 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 27,35 Kpa
1,50 – 2,30		Suelo con características de arena mal gradada, de color café oscuro	36,22	24,64	1,86	SP (Arena mal gradada)	$\gamma_d = 17 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 17,65 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 34,28 Kpa

Tabla 28.
Perfil estratigráfico Apique N°5

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 5
Nivel Freático: No Dimensión de apique: Largo = 1.20 m Ancho = 1.80 m Profundidad final = 2,50 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,30		Material ligeramente húmedo de color gris oscuro				N/A	
0,30 – 0,90		Arena arcillosa mal gradada de color café oscuro	37,08	26,79	1,39	SP – SC (Arena mal gradada- Arena arcillosa)	Y _d = 12,4 KN/m ³ Y _{hum} = 12,3 KN/m ³ Cohesión = 15,16 Kpa
0,90 – 2,50		Arena arcillosa, color café claro y café oscuro	37,87	8,89	10,91	SC (Arena arcillosa)	Y _d = 16 KN/m ³ Y _{hum} = 17,1 KN/m ³ Cohesión = 27,35 Kpa

Tabla 29.
Perfil estratigráfico Apique N°6

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 6
Nivel Freático SI Dimensión de apique Largo = 1.50 m Ancho = 1.50 m Profundidad final = 2,40 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,40		Capa vegetal, color marrón claro, consistencia débil				N/A	
0,40 – 1,30		Arena mal gradada color marrón oscuro de consistencia dura y baja plasticidad	23,72	25,00	2,51	SP (Arena mal gradada)	Y _d = 12,3 KN/m ³ Y _{hum} = 17,1 KN/m ³ Cohesión = 32,84
1,30 – 2,10		Arena mal gradada de color beige, medianamente compacta	25,92	17,62	1,04	SP (Arena mal gradada)	Y _d = 12,4 KN/m ³ Y _{hum} = 16,4 KN/m ³ Cohesión = 31,56
2,10 – 2,40		Arena mal gradada de color beige a marrón oscuro	27,07	22,67	0,98	SP (Arena mal gradada)	Y _d = 12,4 KN/m ³ Y _{hum} = 17,2 KN/m ³ Cohesión = 34,12

Tabla 30.
Perfil estratigráfico Apique N°7

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 7
Nivel Freático: No Dimensión de apique: Largo = 1.30 m Ancho = 1.00 m Profundidad final = 2,10 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,40		Capa vegetal de color gris oscuro					N/A
0,40 – 1,10		Arena mal gradada de consistencia media y color café oscuro	27,05	19,41	0,97	SP (Arena mal gradada)	$\gamma_d = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 12,3 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 35,15 Kpa
1,10 – 2,10		Arena mal gradada de color café claro a beige	32,35	34,73	0,88	SP (Arena mal gradada)	$\gamma_d = 16 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 17,1 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 37,6 Kpa

Tabla 31.
Perfil estratigráfico Apique N°8

Perfil Estratigráfico del Suelo							
Ubicación Sector: Barrio Juan XXIII Ciudad: Pamplona Departamento: Norte de Santander. Fecha: septiembre de 2018 Elaborado por: Claudia Pérez y Onar Vanegas							APIQUE N° 8
Nivel Freático: No Dimensión de apique: Largo = 1.00 m Ancho = 1.00 m Profundidad final = 1,50 m							
Profundidad	Estrato	Descripción de material	Límites		%pasa #200	Clasificación U.S.C	Parámetros
			L.L	L.P			
0 – 0,20		Material con presencia de gravas de color gris oscuro				N/A	
0,20 – 1,00		Arena mal gradada con humedad media de color café claro a oscuro	31,32	37,34	2,67	SP (Arena mal gradada)	$\gamma_d = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 12,3 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 36,34 Kpa
1,00 – 1,50		Arena arcillosa mal gradada de color gris oscuro	32,97	24,52	5,37	SP – SC (Arena mal gradada- Arena arcillosa)	$\gamma_d = 16 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{hum} = 17,1 \text{ KN/m}^3$ Cohesión = 15,55 Kpa

Anexo 3. Análisis Estructural

Memoria de cálculo

Para determinar el peso de las vigas

$$W = \text{Base(m)} * \text{Altura(m)} * \text{Longitud(m)} * \text{Densidad de concreto reforzado(KN/m}^3\text{)}$$

Tabla 32

Peso vigas ejes literales y numéricos

Vigas				
	Base (m)	Altura (m)	Longitud (m)	W (KN)
Viga A	0,2	0,2	5,12	4,9152
Viga B	0,2	0,2	5,12	4,9152
Viga C	0,2	0,2	5,4	5,184
Viga D	0,2	0,2	5,12	4,9152
Viga E	0,2	0,2	5,12	4,9152
Viga 1	0,2	0,2	12,5	12
Viga 2	0,2	0,2	6,26	6,0096
Viga 3	0,2	0,2	12,5	12
			Total	54,8544 KN

Para determinar el peso de las columnas

$$W = \text{Base(m)} * \text{Altura(m)} * \text{Longitud(m)} * \text{cantidad de columnas} * \text{Densidad de concreto reforzado(KN/m}^3\text{)}$$

Tabla 33

Peso columnas

Columnas	
Base (m)	0,3
Altura (m)	0,3
Longitud (m)	2,6
Cantidad de columnas	14
W (KN)	78,624 KN

Peso de la placa aligerada

- Peso de loseta superior

Espesor de loseta superior = 0,05 (m)

Largo = 1 (m) Ancho = 1 (m)

Densidad de concreto reforzado = 24 (KN/m³)

Peso loseta superior = 0,05 (m) * 1 (m) * 1 (m) * 24 (KN/m³) = **1,2 (KN/m²)**

- Peso de loseta inferior

Espesor de loseta superior = 0,02 (m)

Largo = 1 (m) Ancho = 1 (m)

Densidad de concreto reforzado = 24 (KN/m³)

Peso loseta superior = 0,02 (m) * 1 (m) * 1 (m) * 24 (KN/m³) = **0,48 (KN/m²)**

- Peso de vigueta

Altura de vigueta = 0,15 (m)

Ancho del nervio = 0,1 (m)

Largo = 1 (m)

Densidad de concreto reforzado = 24 (KN/m³)

Aligeramiento = 0,4 (m)

Peso de vigueta = $\frac{0,15 (m) * 0,1 (m) * 1 (m)}{0,4 (m)} * 24 (KN/m^3) = \mathbf{0,9 (KN/m^2)}$

- Carga muerta de casetón = **3 (KN/m²)**

- Carga de muros divisorios

Metro lineal de muros = 66,7 m

Altura de muro = 2,6 m

Peso específico del ladrillo = 13 (KN/m³)

Ancho de muro = 0,12 m

$W = \text{Metro lineal de muros} * \text{altura de muro} * \text{peso específico del ladrillo} * \text{ancho de muro}$

$$W = 66,7 \text{ m} * 2,6 \text{ m} * 13 \text{ (KN/m)} * 0,12 \text{ m} = \mathbf{270,53 \text{ KN}}$$

- Acabado inferior

Cerámica = 1,1 (KN/m²)

Área de la vivienda = 84 m²

$$W = 1,1 \text{ (KN/m}^2\text{)} * 84 \text{ m}^2 = \mathbf{92,4 \text{ KN}}$$

Peso total de la placa aligerada

$W = \text{Peso de loseta superior} + \text{Peso de loseta inferior} + \text{Peso de vigueta} + \text{Carga muerta de casetón} + \text{Carga de muros} + \text{Acabados}$

$$W = 1,2 \text{ (KN/m}^2\text{)} + 0,48 \text{ (KN/m}^2\text{)} + 0,9 \text{ (KN/m}^2\text{)} + 3 \text{ (KN/m}^2\text{)} = 2,88 \text{ (KN/m}^2\text{)} * 6 \text{ (m)} * 14 \text{ (m)}$$

$$+ 270,53 \text{ KN} + 92,4 \text{ KN}$$

$$W = \mathbf{604,855 \text{ KN}}$$

- Carga de la cubierta

Cubierta corrugada de asbesto – cemento = 0,2 (KN/m²)

Entablado de madera (machimbre) = 0,06 (KN/m²)

Estructura de apoyo en madera = 0,8 (KN/m²)

Área de la vivienda = 84 m²

W cubierta = 0,06 (KN/m²) * 0,8 (KN/m²) * 84 m²

W cubierta = **89,04 KN**

- Carga de Viga de Amarre

Base de viga = 0,1 m

Altura de viga = 0,2 m

Metro lineal de viga = 66,7 m

Densidad del concreto = 24 (KN/m³)

W viga = 0,1 m * 0,2 m * 66,7 m * 24 (KN/m³) = **32,016 KN**

Tabla 34.
Peso de las estructuras

	Peso de la estructura			
	Unidad	1 Nivel	2 Niveles	3 Niveles
Cubierta	KN	89,04	89,04	89,04
Placa	KN	0,00	604,86	604,86
Muros	KN	270,54	270,54	270,54
Acabados	KN	92,40	92,40	92,40
Vigas	KN	0,00	54,85	54,85
Viga de amarre	KN	32,02	0,00	0,00
Columnas	KN	0,00	78,62	78,62
Peso total	KN	484	1190	1795

W para 1 nivel = 89,04 + 270,54 + 92,40 + 32,02 = 484 KN

$$W \text{ para 2 niveles} = 89,04 + 604,86 + 270,54 + 92,540 + 54,85 + 78,62 = 1190 \text{ KN}$$

$$W \text{ para 3 niveles} = 89,04 + (604,86 * 2) + 270,54 + 92,540 + 54,85 + 78,62 = 1795 \text{ KN}$$

- Para la vivienda de 1 nivel se considera el peso de muros, acabados, viga de amarre y cubierta.
- Para la vivienda de 2 niveles se suman el peso de muros, acabados, vigas, columnas y la carga de la placa, (dentro del peso de la placa se incluye el peso de los muros y acabados).
- Para la vivienda de 3 niveles se suma 2 veces el peso de placa, muros, acabados, vigas, columnas y la cubierta.

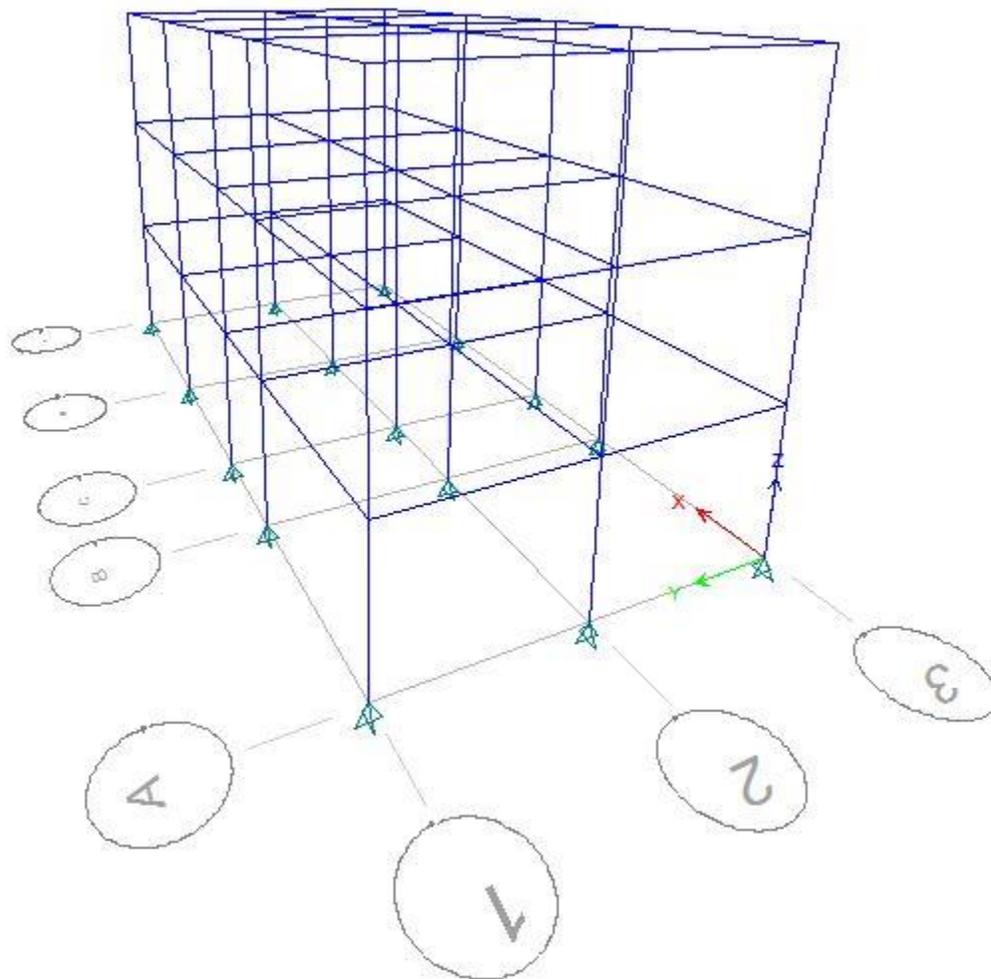


Figura 47. Modelación estructural, ETABS 2016

Obtención de la carga promedio por manzanas en unidad de fuerza por metro cúbico y su altura promedio

Tabla 35. Altura y carga promedio de Manzana N°1

Altura y carga promedio de Manzana N°1								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	15	15*484	7260			2,6*15		
2 niveles	8	8*1190	9522			5,2*8		
3 niveles	6	6*1795	10771	27553/11065,5	2,5	7,8*6	127,4/29	4,393
Total	29		27553			127,4		

Tabla 36. Altura y carga promedio de Manzana N°2

Altura y carga promedio de Manzana N°2								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	22	22*484	10648			2,6*22		
2 niveles	3	3*1190	3571			5,2*3		
3 niveles	2	2*1795	3590	17809/9981	1,78	7,8*2	88,4/27	3,274
Total	27		17809			88,4		

Tabla 37. Altura y carga promedio de Manzana N°3

Altura y carga promedio de Manzana N°3								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	23	23*484	11132			2,6*23		
2 niveles	1	1*1190	1190			5,2*1		
3 niveles	1	1*1795	1795	14117/7098	1,989	7,8*1	72,8/25	2,912
Total	25		14117			72,8		

Tabla 38. Altura y carga promedio de Manzana N°4

Altura y carga promedio de Manzana N°4								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	16	16*484	7744			2,6*16		
2 niveles	2	2*1190	2381			5,2*2		
3 niveles	2	2*1795	3590	13715/5193	2,64	7,8*2	67,6/20	3,380
Total	20		13715			67,6		

Tabla 39. Altura y carga promedio de Manzana N°5

Altura y carga promedio de Manzana N°5								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	18	18*484	8712			2,6*18		
2 niveles	7	7*1190	8332			5,2*7		
3 niveles	0	0*1795	0	17044/6300	2,70	7,8*0	83,2/25	3,328
Total	25		17044			83,2		

Tabla 40. Altura y carga promedio de Manzana N°6

Altura y carga promedio de Manzana N°6								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	22	22*484	10648			2,6*22		
2 niveles	2	2*1190	2381			5,2*2		
3 niveles	1	1*1795	1795	14824/5668,5	2,615	7,8*1	75,4/25	3,016
Total	25		14824			75,4		

Tabla 41. Altura y carga promedio de Manzana N°7

Altura y carga promedio de Manzana N°7								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	26	26*484	12584			2,6*26		
2 niveles	5	5*1190	5952			5,2*5		
3 niveles	1	1*1795	1795	20330/11398,5	1,78	7,8*1	101,4/32	3,169
Total	32		20330			101,4		

Tabla 42. Altura y carga promedio de Manzana N°8

Altura y carga promedio de Manzana N°8								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	26	26*484	12584			2,6*26		
2 niveles	1	1*1190	1190			5,2*1		
3 niveles	0	0*1795	0	13774,08/12619	1,09	7,8*0	101,4/32	3,169
Total	27		13774,08	,5		101,4		

Tabla 43. Altura y carga promedio de Manzana N°9

Altura y carga promedio de Manzana N°9								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	29	29*484	14036			2,6*29		
2 niveles	13	13*1190	15474			5,2*13		
3 niveles	5	5*1795	8976	38486/13158	2,93	7,8*5	182/47	3,872
Total	47		38486			182		

Tabla 44. Altura y carga promedio de Manzana N°10

Altura y carga promedio de Manzana N°10								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	13	13*484	6292			2,6*13		
2 niveles	13	13*1190	15474			5,2*13		
3 niveles	7	7*1795	12566	34332/7002	2,61	7,8*7	182/33	4,727
Total	33		34332			156		

Tabla 45. Altura y carga promedio de Manzana N°11

Altura y carga promedio de Manzana N°11								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	26	26*484	12584			2,6*26		
2 niveles	8	8*1190	9522			5,2*8		
3 niveles	8	8*1795	14361	36468/8617,5	4,23	7,8*8	156/42	4,086
Total	42		36468			156		

Tabla 46. Altura y carga promedio de Manzana N°12

Altura y carga promedio de Manzana N°12								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	0	0*484	0			2,6*0		
2 niveles	9	9*1190	10713			5,2*9		
3 niveles	7	7*1795	12566	23279/3057	7,61	7,8*7	101,4/16	6,338
Total	16		23279			101,4		

Tabla 47. Altura y carga promedio de Manzana N°12

Altura y carga promedio de Manzana N°13								
	N° de viviendas	N° de viviendas * Peso	Peso (KN)	Peso total/unidad de metro cúbico	Carga (KN/m3)	Altura de piso*N° de viviendas	Altura total/N° total de viviendas	H. promedio (m)
1 nivel	1	1*484	484			2,6*1		
2 niveles	3	3*1190	3571			5,2*3		
3 niveles	3	3*1795	5385	9440/3246	2,91	7,8*3	41,6/7	5,943
Total	7		9440			41,6		

Estructura de pavimento

Tabla 48

Carga estructura de pavimento.

Carga de pavimento									
Área de pavimento	Long. (m)	Ancho (m)	E (m)	Volumen (m3)	ρconcreto (KN/m3)	Carga (KN)	Carga (KN/m)	Carga (KN/m3)	
A1	838,002	152	5,5	0,18	150,84036	24	3620,16864	658,21248	4,364
A2	969,14	206	4,7	0,18	174,4452	24	4186,6848	890,784	5,106
A3	161	64	2,5	0,18	28,98	24	695,52	278,208	9,600
A4	869,03	185	4,7	0,18	156,4254	24	3754,2096	798,768	5,106
A5	165,06	92	1,8	0,18	29,7108	24	713,0592	396,144	13,333
A6	394,05	107	3,7	0,18	70,929	24	1702,296	460,08	6,486
A7	1020,04	182	5,6	0,18	183,6072	24	4406,5728	786,888	4,286
A8	613,168	161	3,8	0,18	110,37024	24	2648,88576	697,0752	6,316
A9	85,32	47	1,8	0,18	15,3576	24	368,5824	204,768	13,333
A10	702,05	185	3,8	0,18	126,369	24	3032,856	798,12	6,316
A11	354,51	55	6,5	0,18	63,8118	24	1531,4832	235,6128	3,692
Total	6171,37	1436,264	44,4		1110,8466		26660,3184	6204,66048	77,939

Anexo 4. Factores de Seguridad

Factores de Seguridad Perfil N°1, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern - Price.

Condición no saturada con sismo

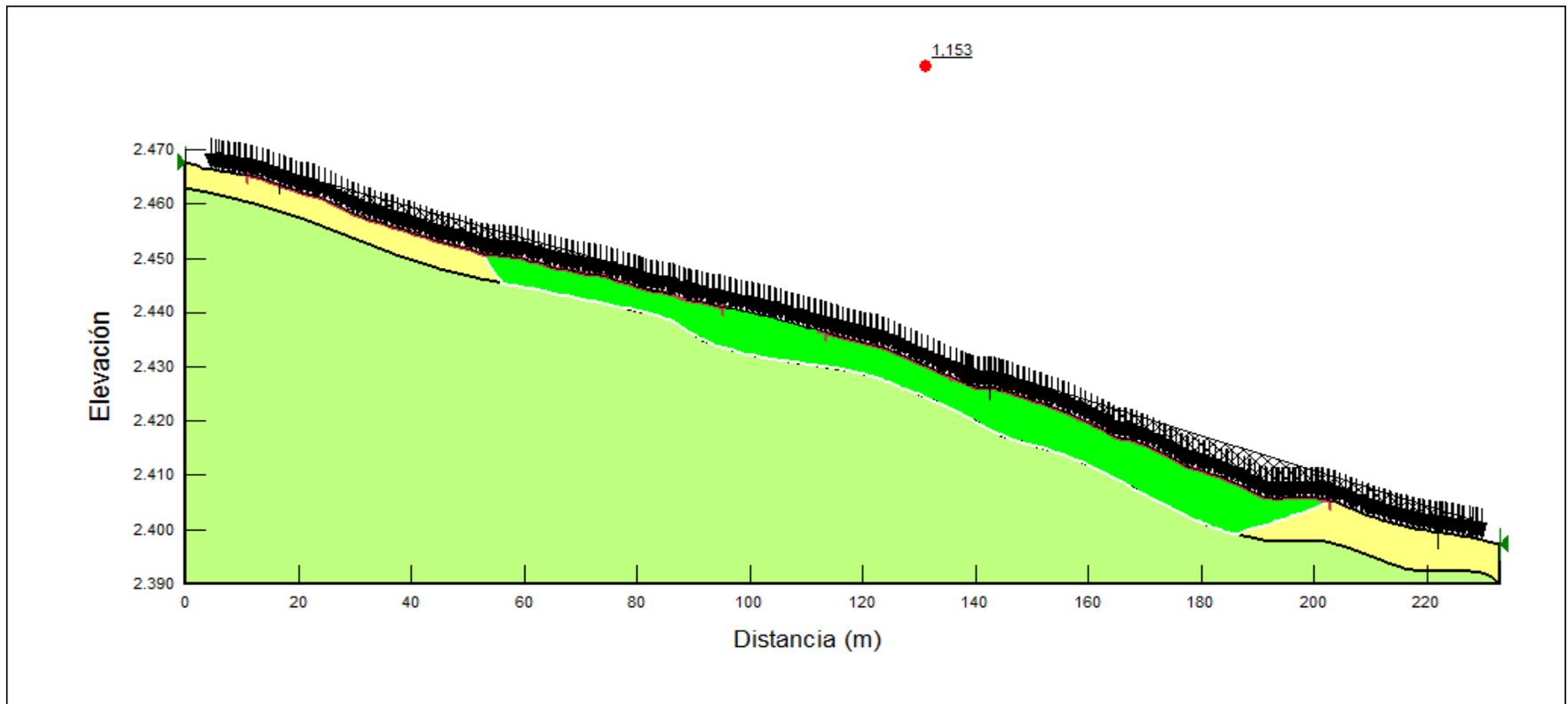
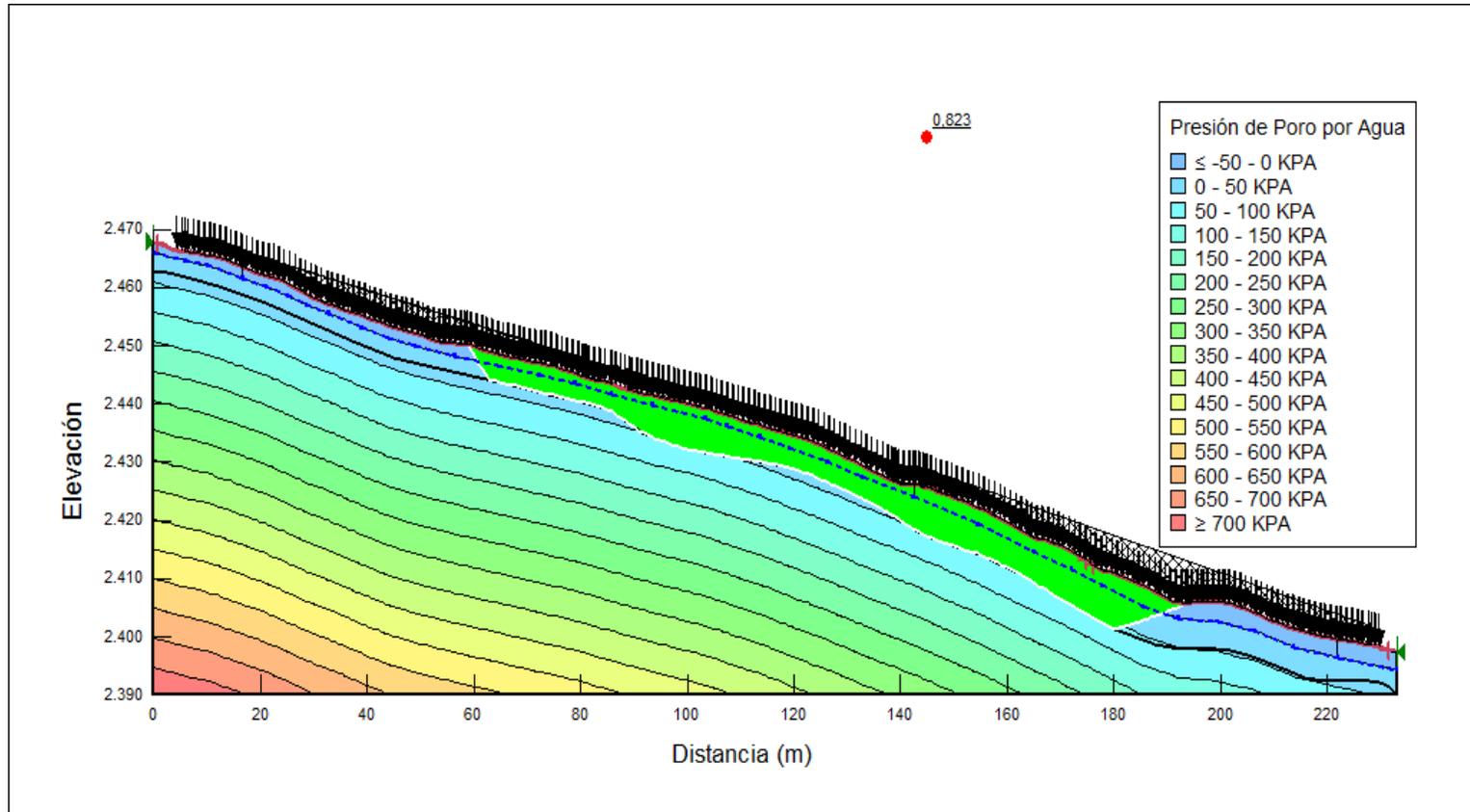


Figura 48. FS Perfil N°1, con cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern - Price.

Condición saturada con sismo

*Figura 49.* FS Perfil N°1, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern - Price.

Condición saturada sin sismo

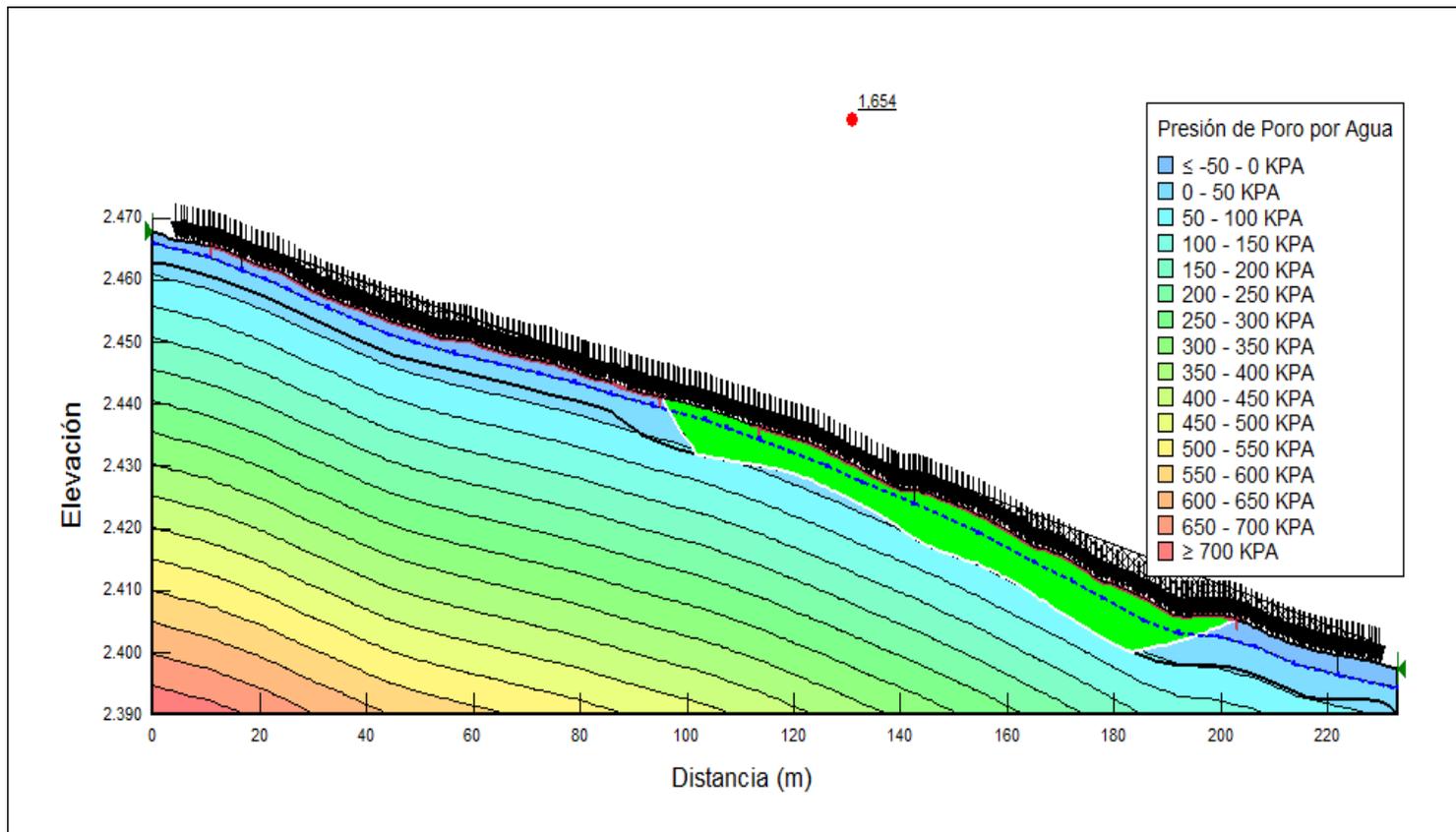


Figura 50. FS Perfil N°1, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada sin sismo

Factores de Seguridad Perfil N°1, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern - Price.

Condición no saturada con sismo

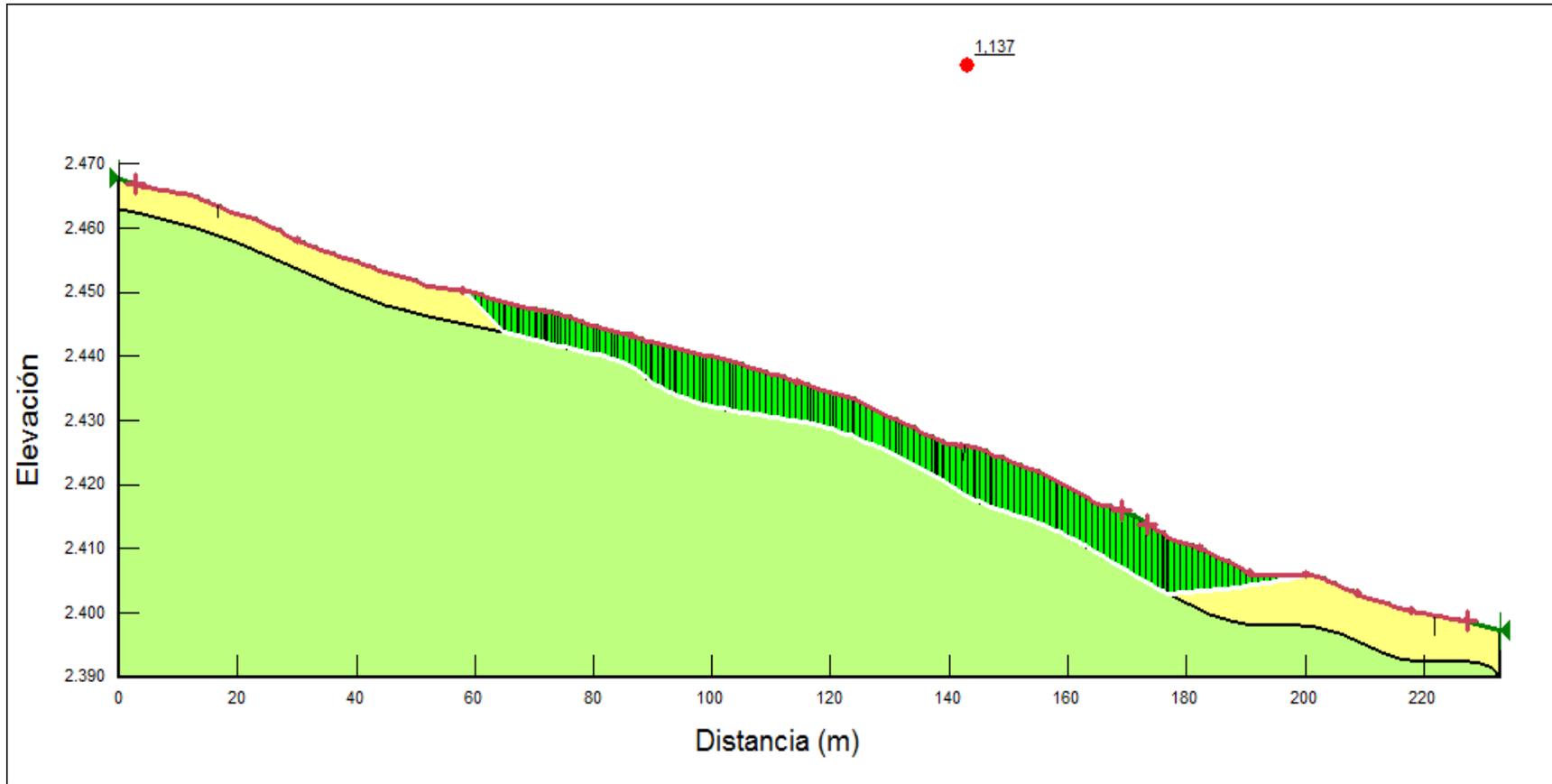


Figura 51. FS Perfil N°1, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern - Price.

Condición saturada con sismo

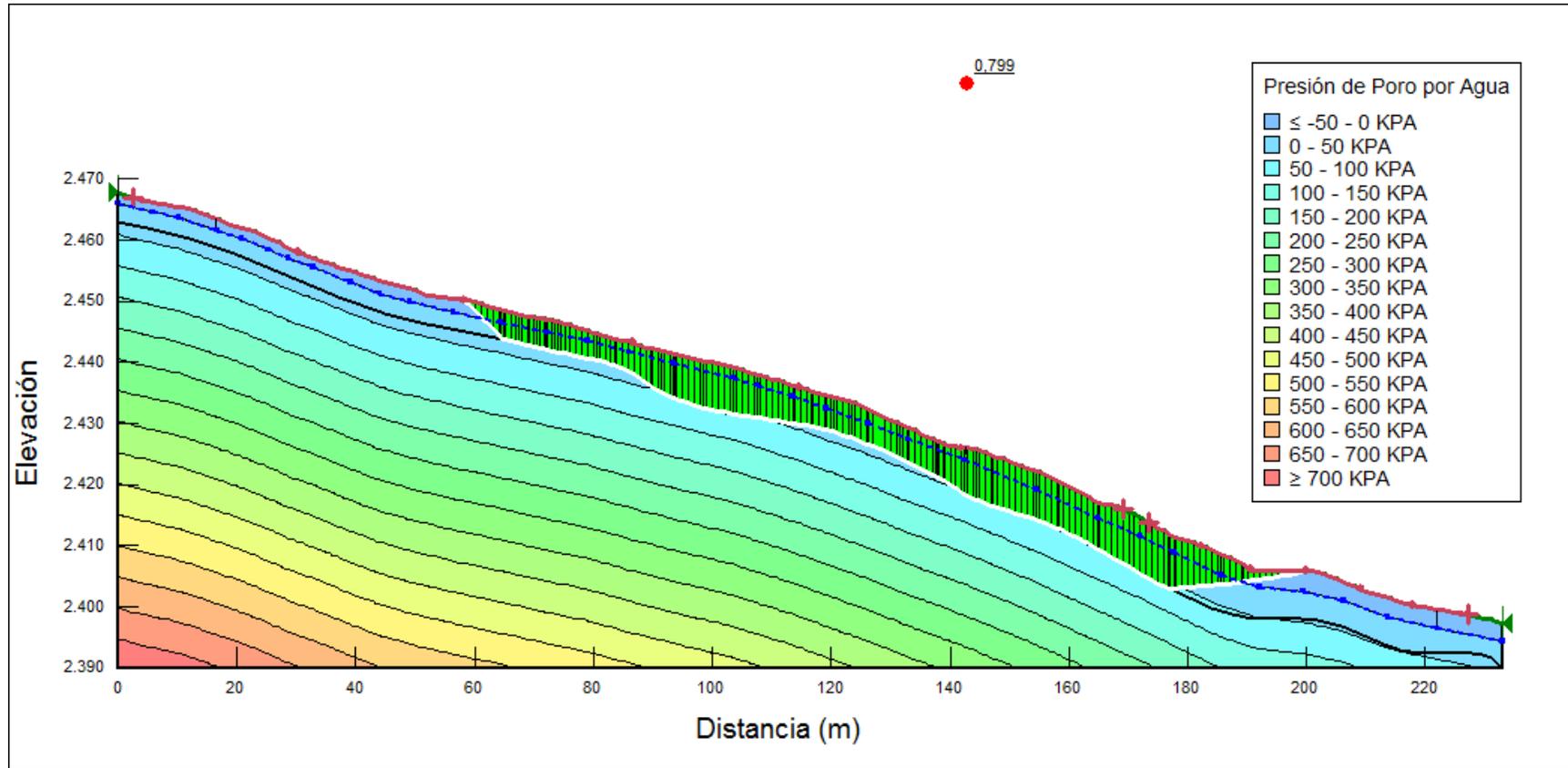


Figura 52.FS Perfil N°1, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern - Price.

Condición saturada sin sismo

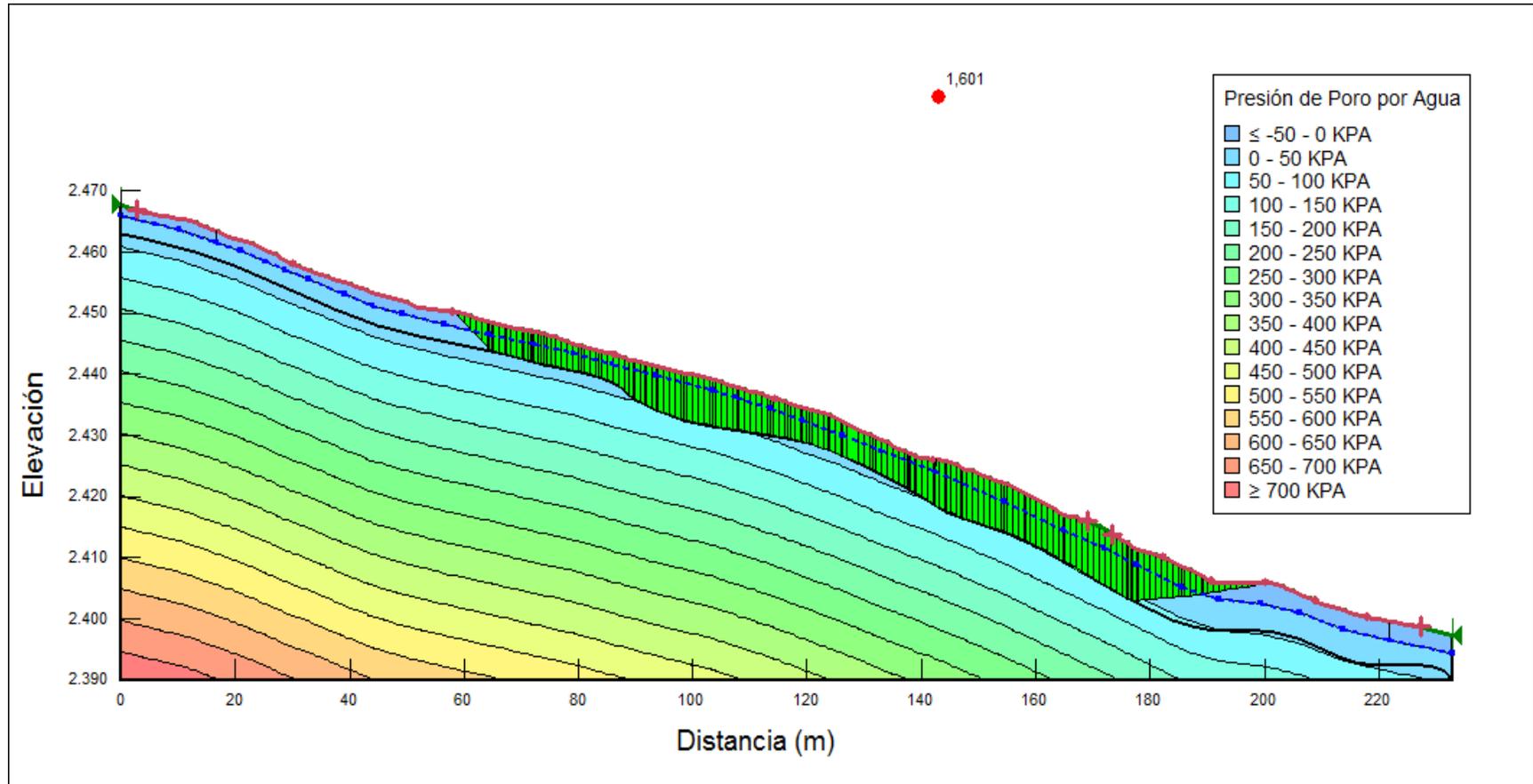


Figura 53. FS Perfil N°1, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada sin sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, con Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición no saturada con sismo

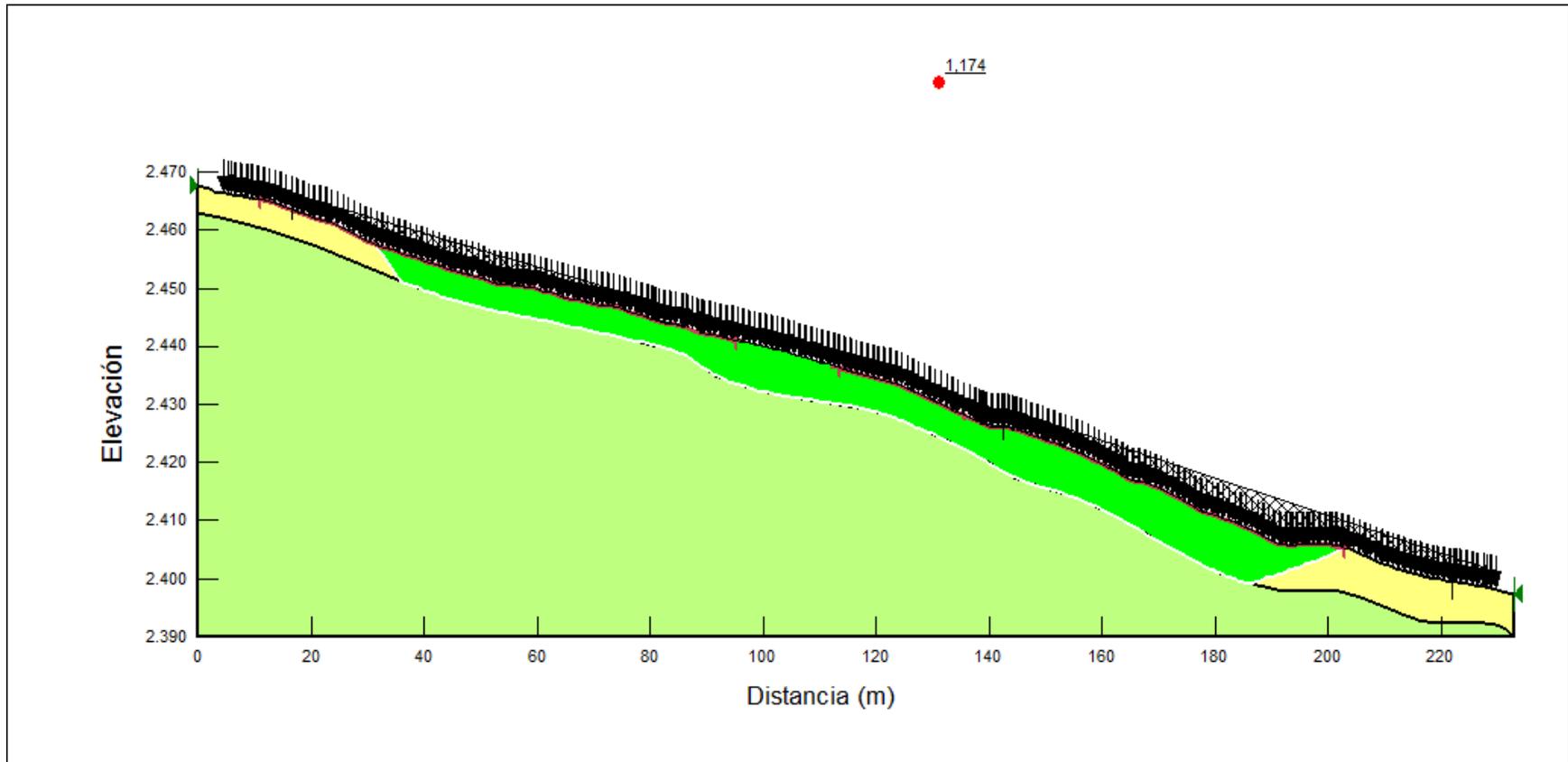


Figura 54. FS Perfil N°1, con cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, con Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada con sismo

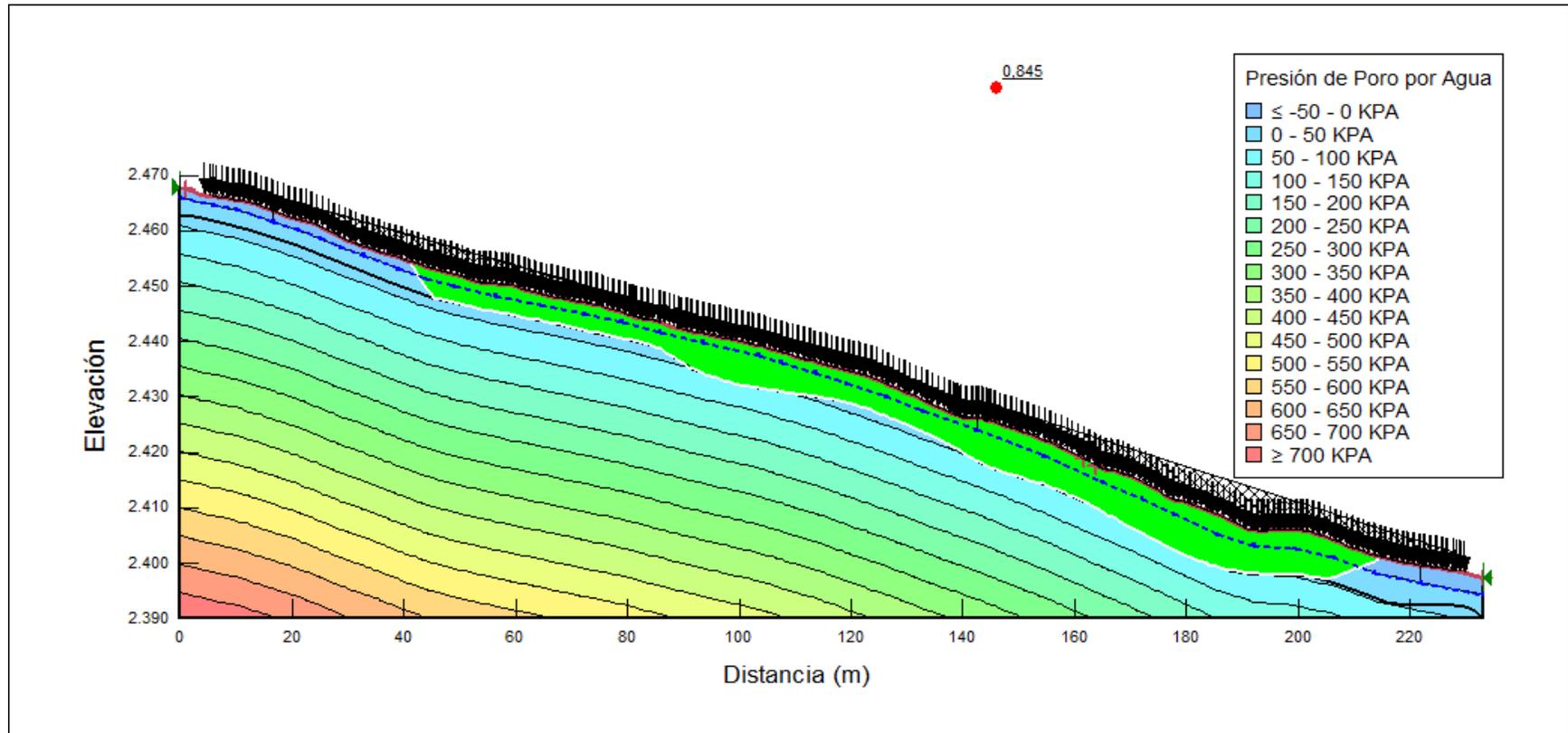


Figura 55. FS Perfil N°1, con cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, con Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada sin sismo

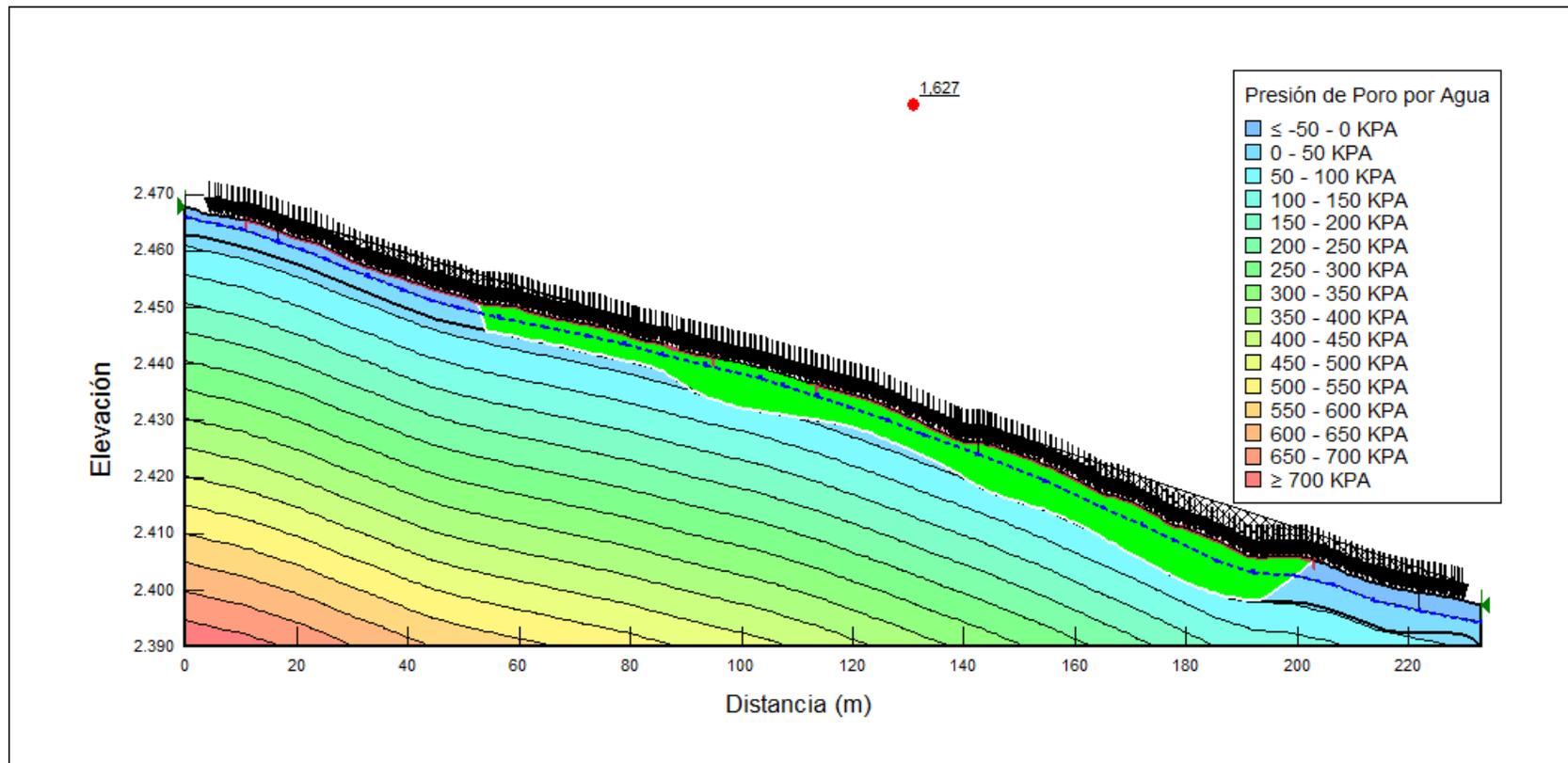


Figura 56. FS Perfil N°1, con cargas. Spencer. Condición no saturada sin sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, sin Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición no saturada con sismo

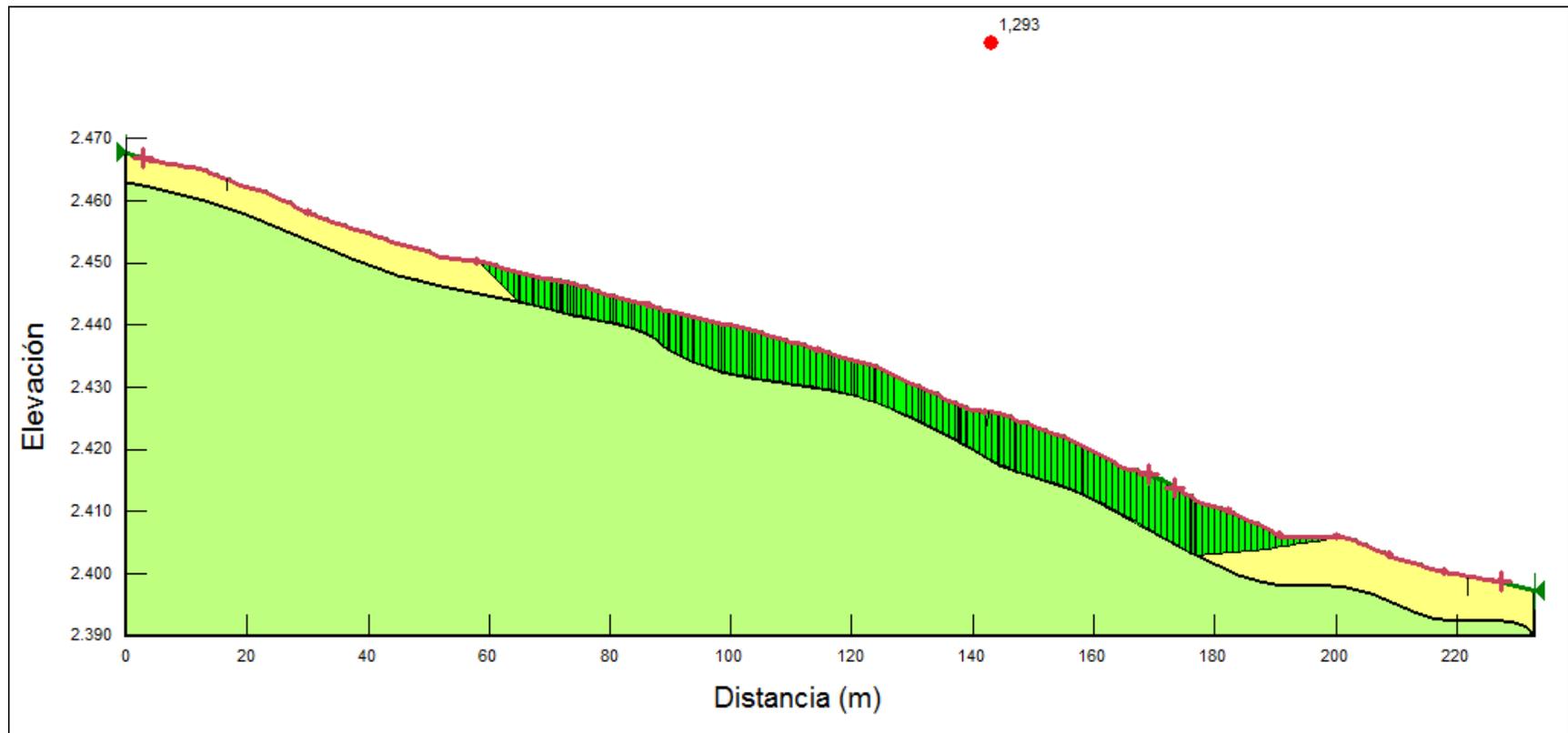


Figura 57.FS Perfil N°1, sin cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, sin Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada con sismo

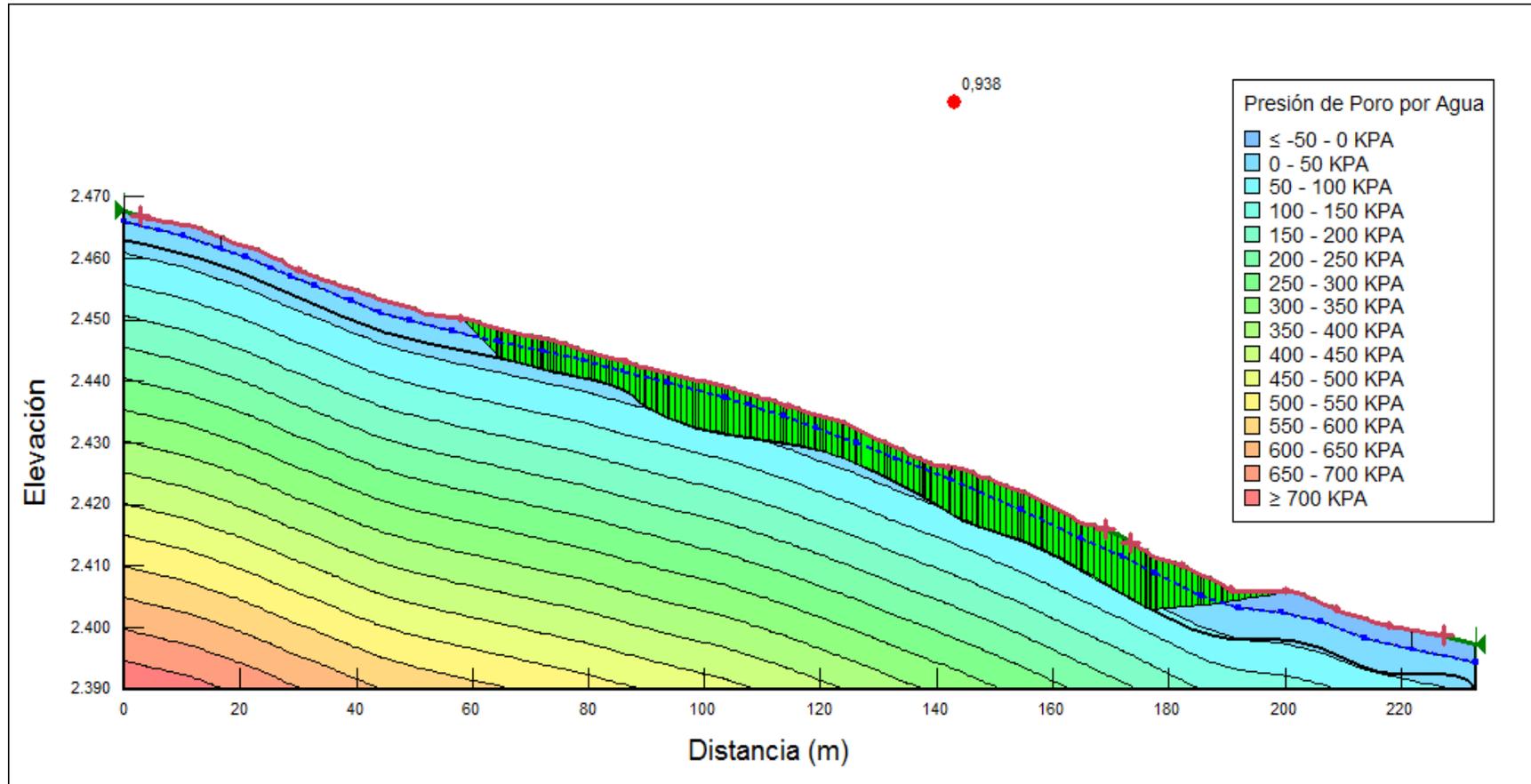


Figura 58. FS Perfil N°1, sin cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°1, sin Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada sin sismo

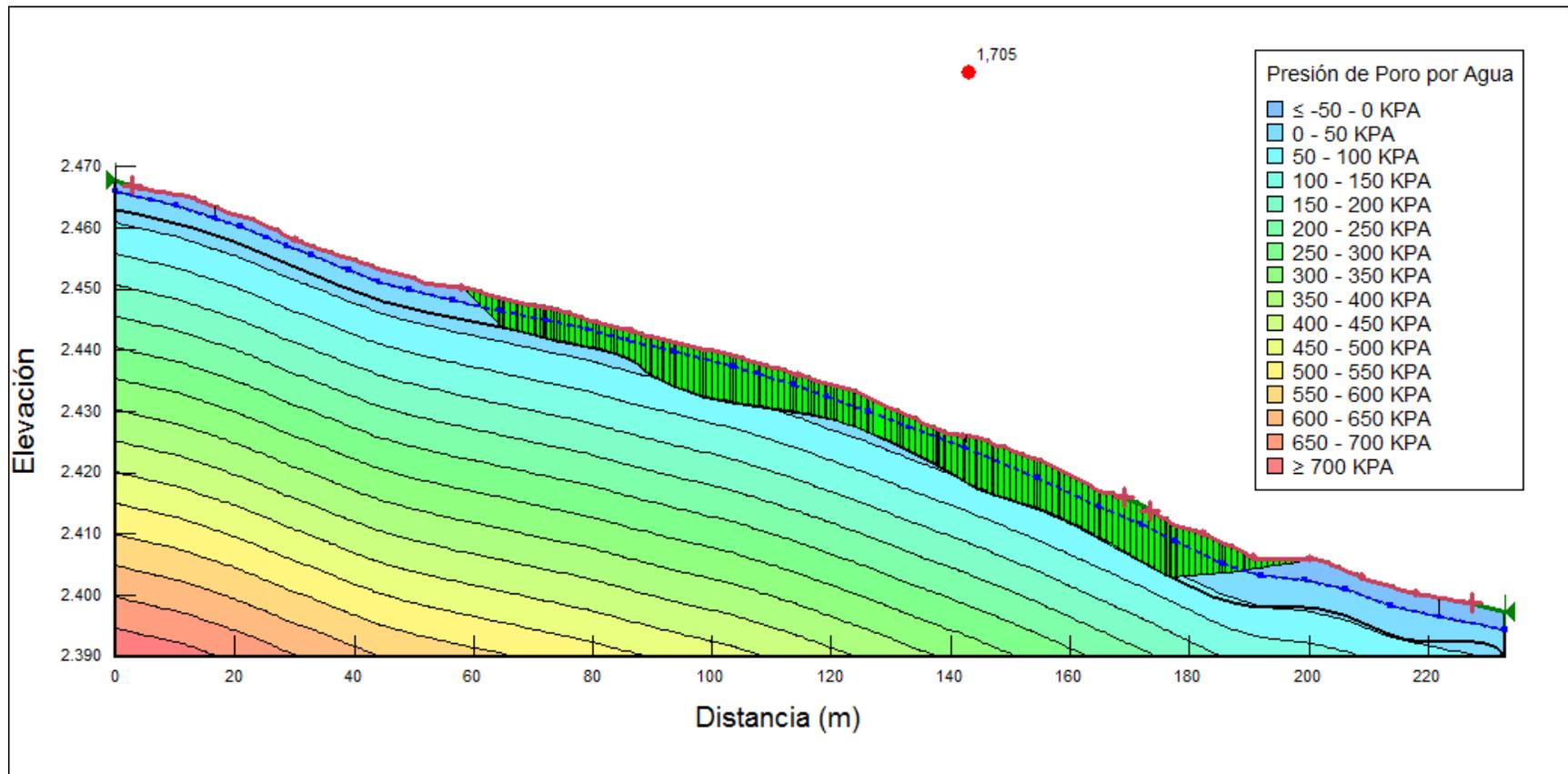


Figura 59.FS Perfil N°1, sin cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°2, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición no saturada con sismo

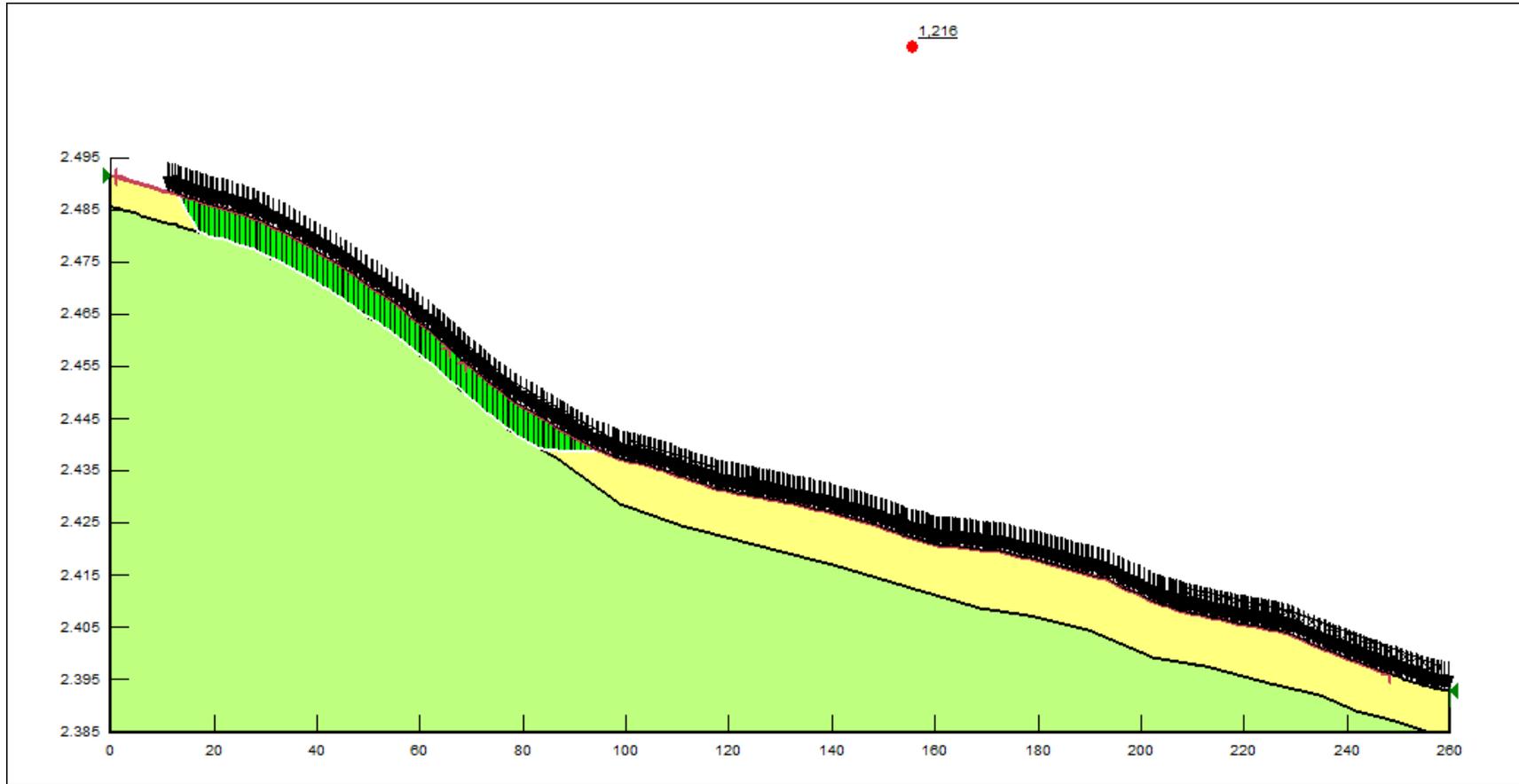


Figura 60.FS Perfil N°2, con cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada con sismo

Factores de Seguridad Perfil N°2, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada con sismo

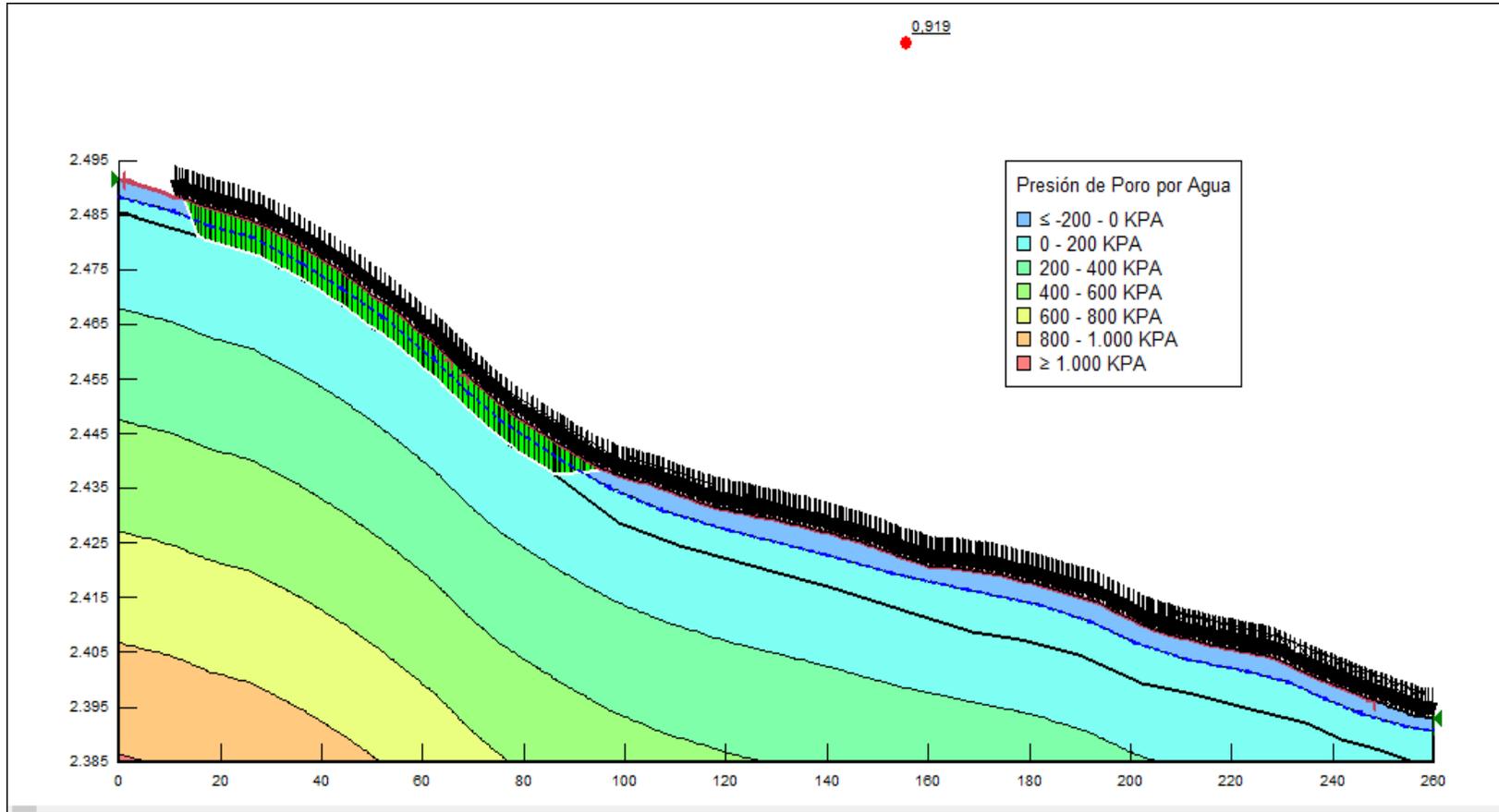


Figura 61. FS Perfil N°2, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°2, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada sin sismo

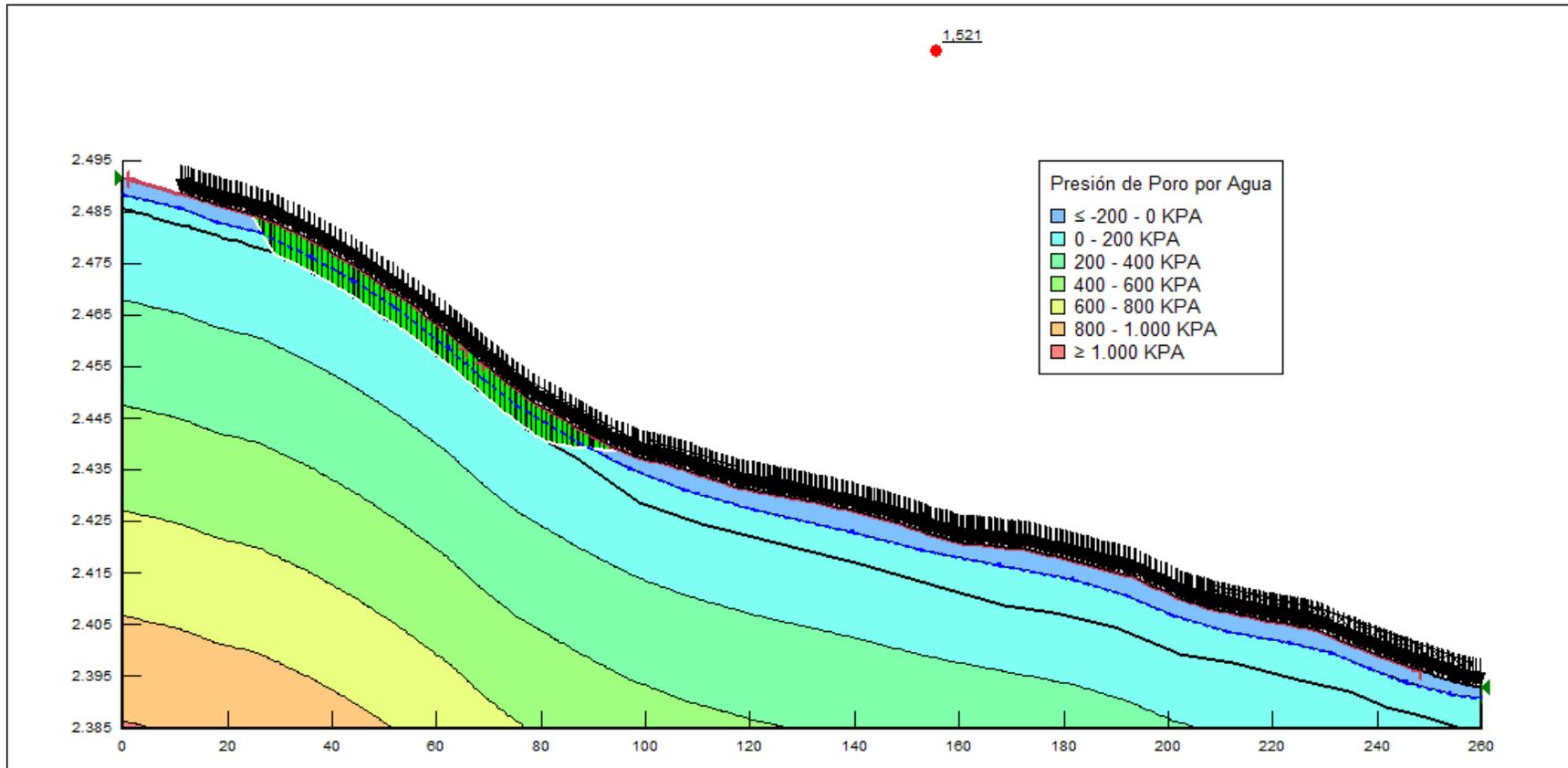


Figura 62.FS Perfil N°2, con cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada sin sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°2, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición no saturada con sismo

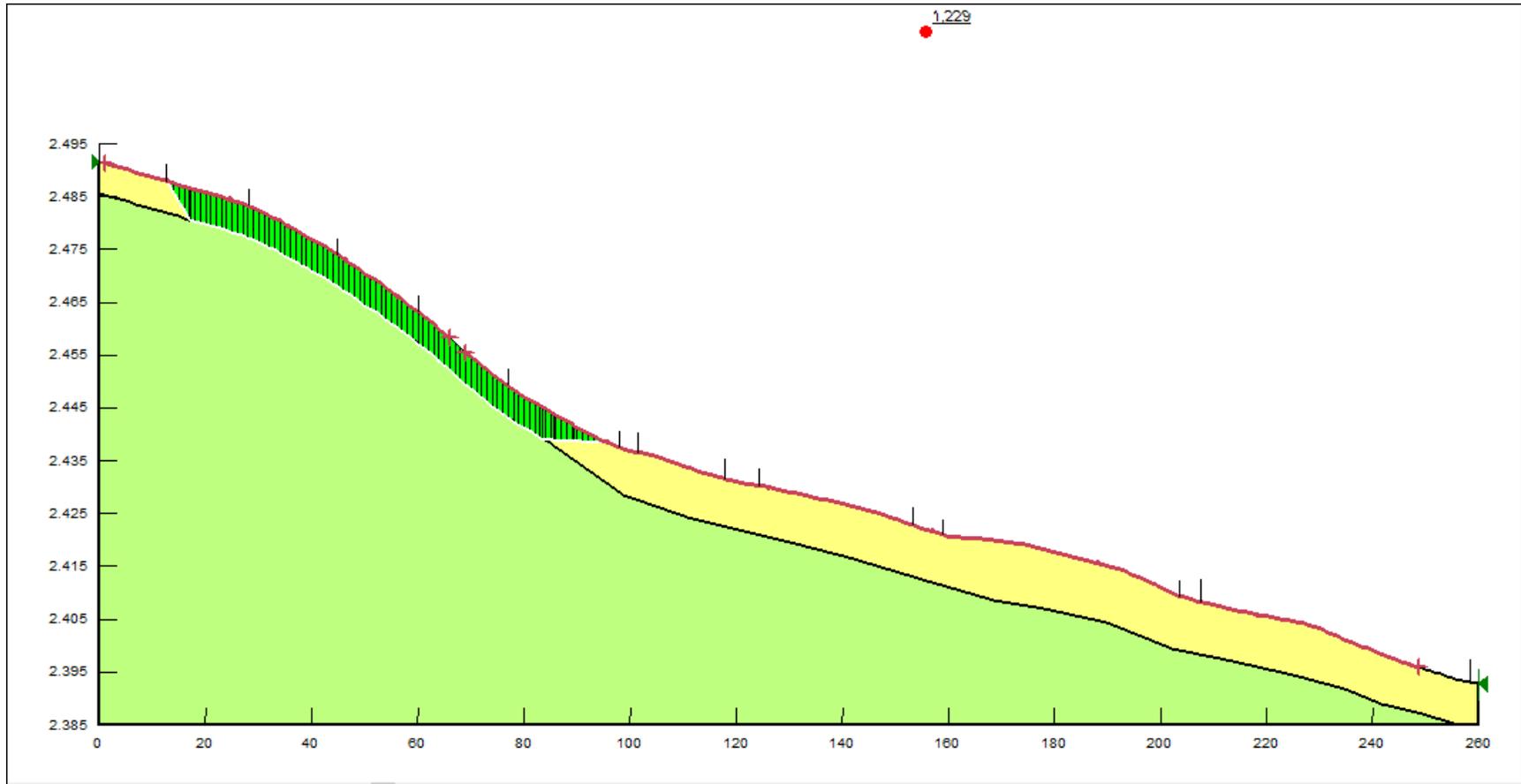


Figura 63.FS Perfil N°2, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada sin sismo.

Factores de Seguridad Perfil N°2, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada sin sismo

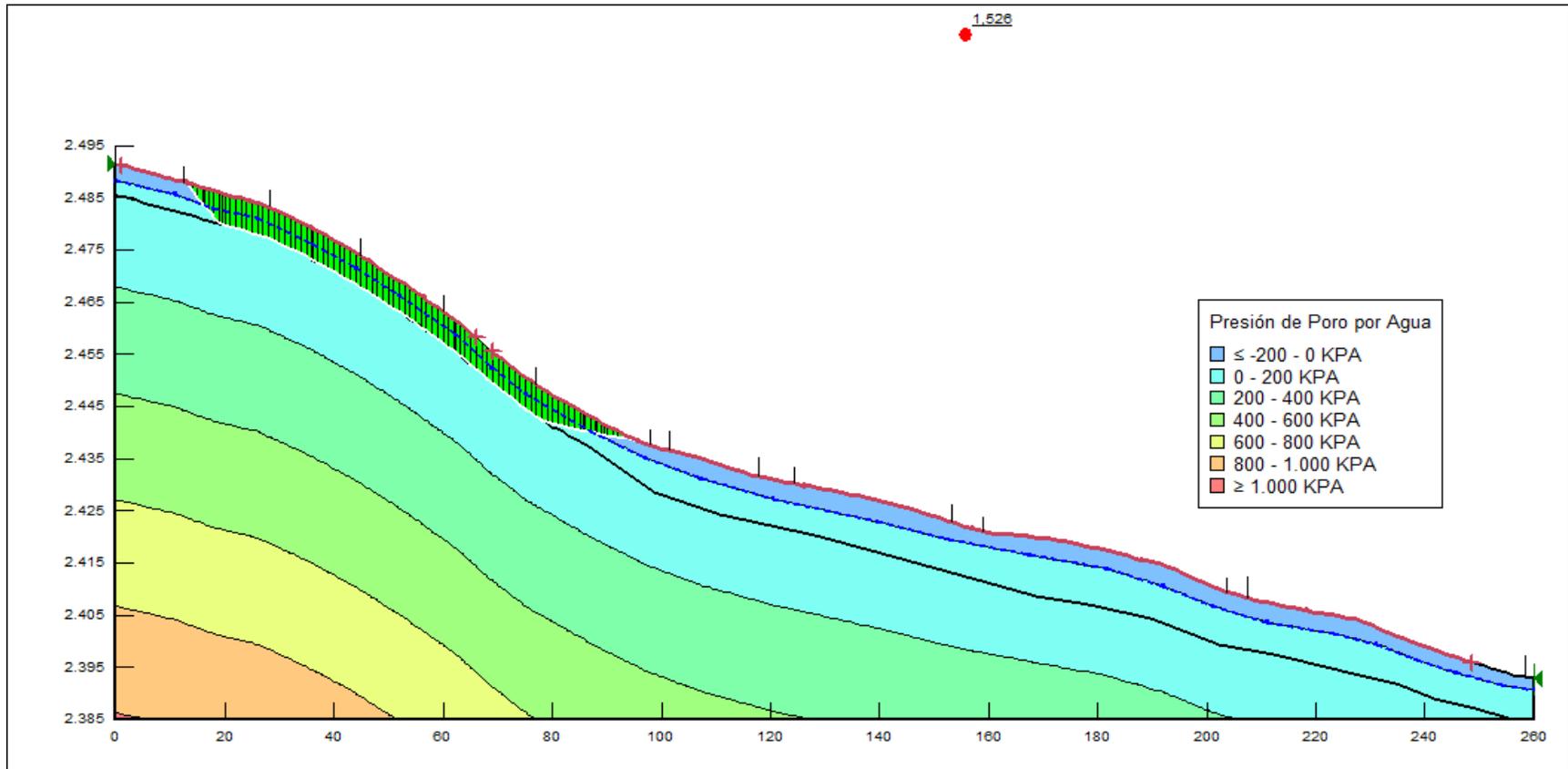


Figura 64.FS Perfil N°2, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición no saturada sin sismo

Factores de Seguridad Perfil N°2, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada con sismo

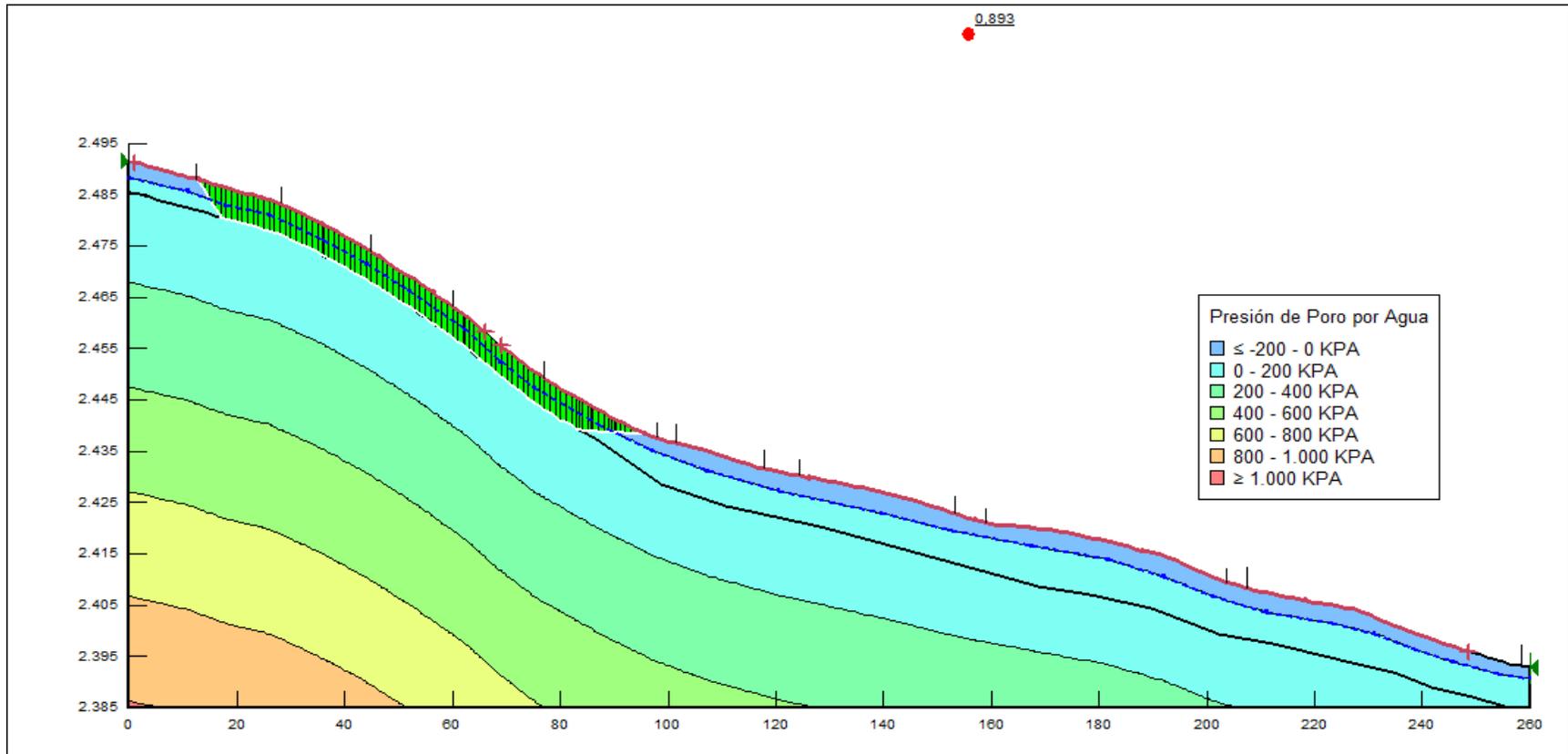


Figura 65 FS Perfil N°2, sin cargas. Morgenstern-Price. Condición saturada con sismo

Factores de Seguridad Perfil N°2, con Cargas Estructurales

Método Spencer

Condición no saturada con sismo

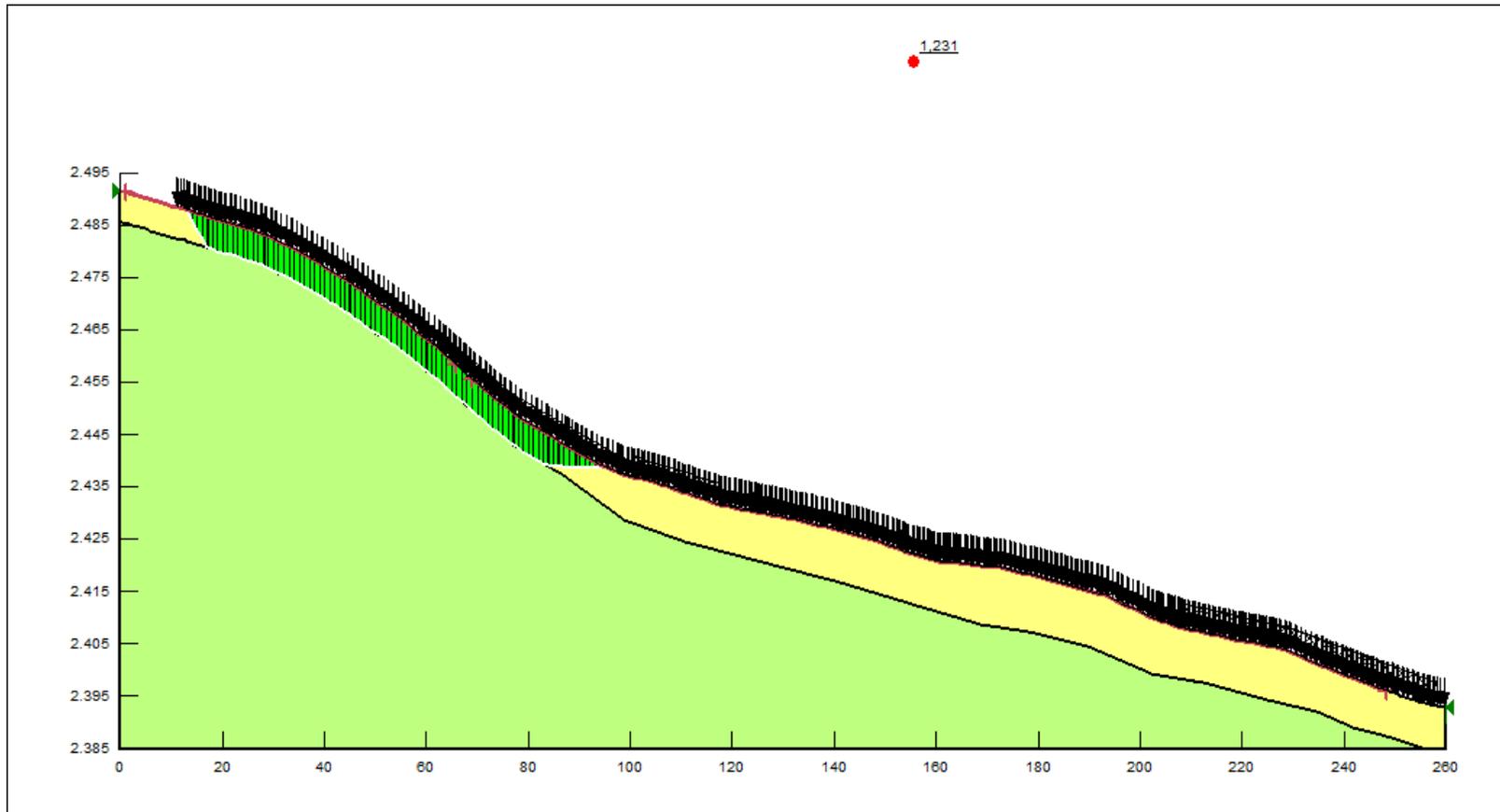


Figura 66.FS Perfil N°2, con cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo

Factor de Seguridad Perfil N°2, con Cargas Estructurales

Método Spencer

Condición saturada con sismo

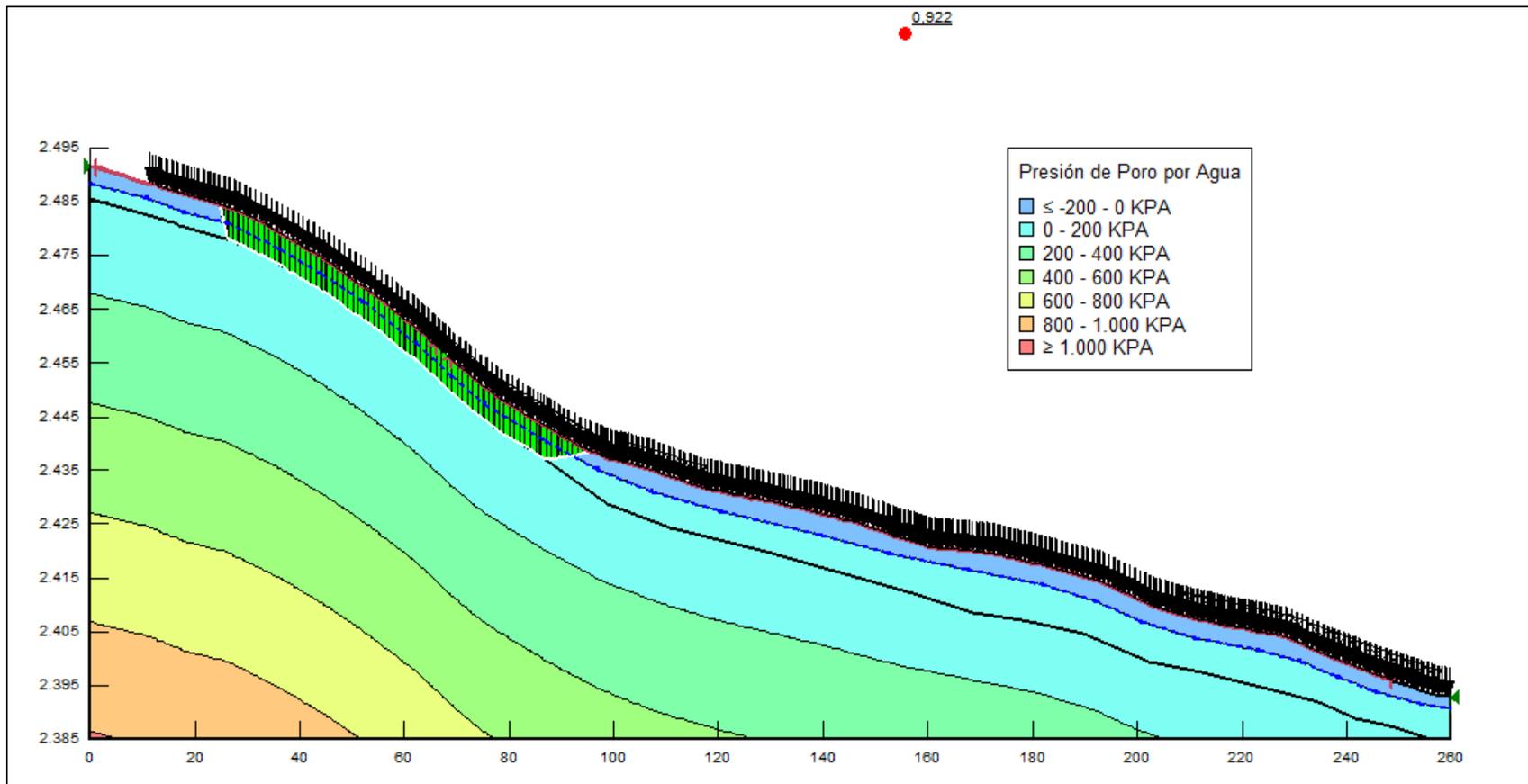


Figura 67.FS Perfil N°2, con cargas. Spencer. Condición saturada con sismo

Factor de Seguridad Perfil N°2, con Cargas Estructurales

Método Spencer

Condición saturada sin sismo

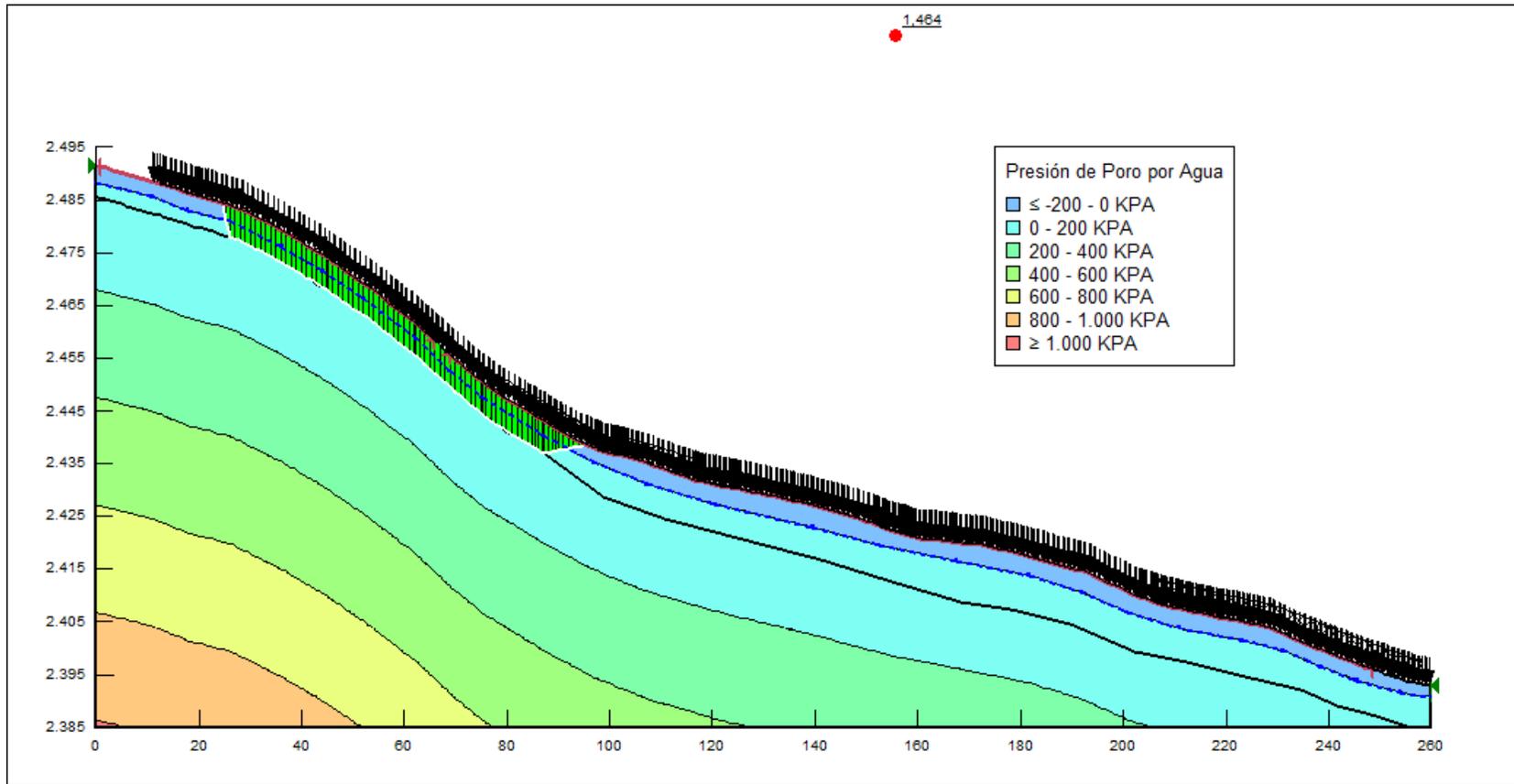


Figura 68. FS Perfil N°2, con cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo

Factor de Seguridad Perfil N°2, sin Cargas Estructurales

Método Spencer

Condición no saturada con sismo

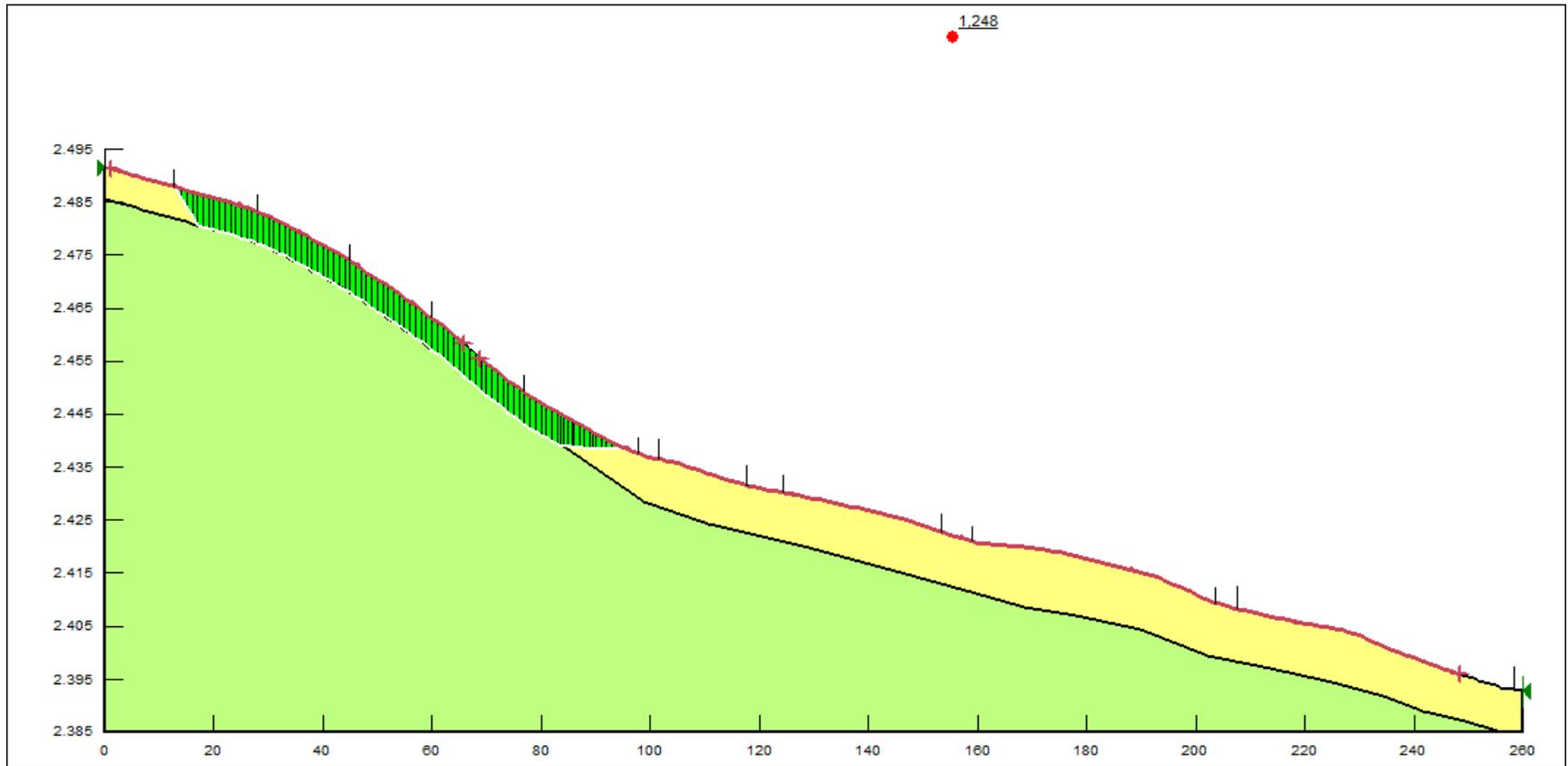


Figura 69. FS Perfil N°2, sin cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo

Factor de Seguridad Perfil N°2, sin Cargas Estructurales

Método Spencer

Condición saturada con sismo

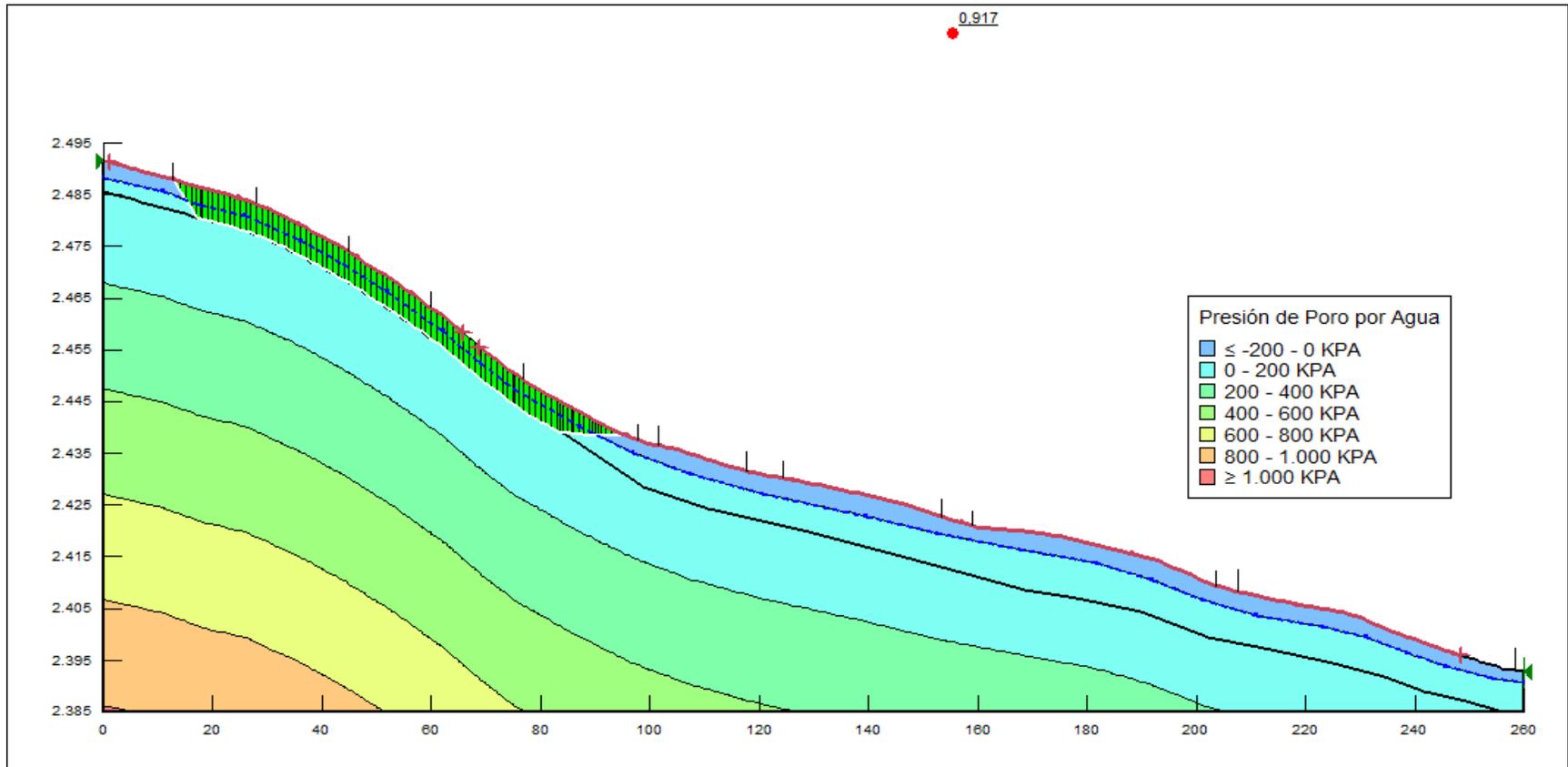


Figura 70.FS Perfil N°2, sin cargas. Spencer. Condición saturada con sismo

Factor de Seguridad Perfil N°2, sin Cargas Estructurales

Método Spencer

Condición saturada sin sismo

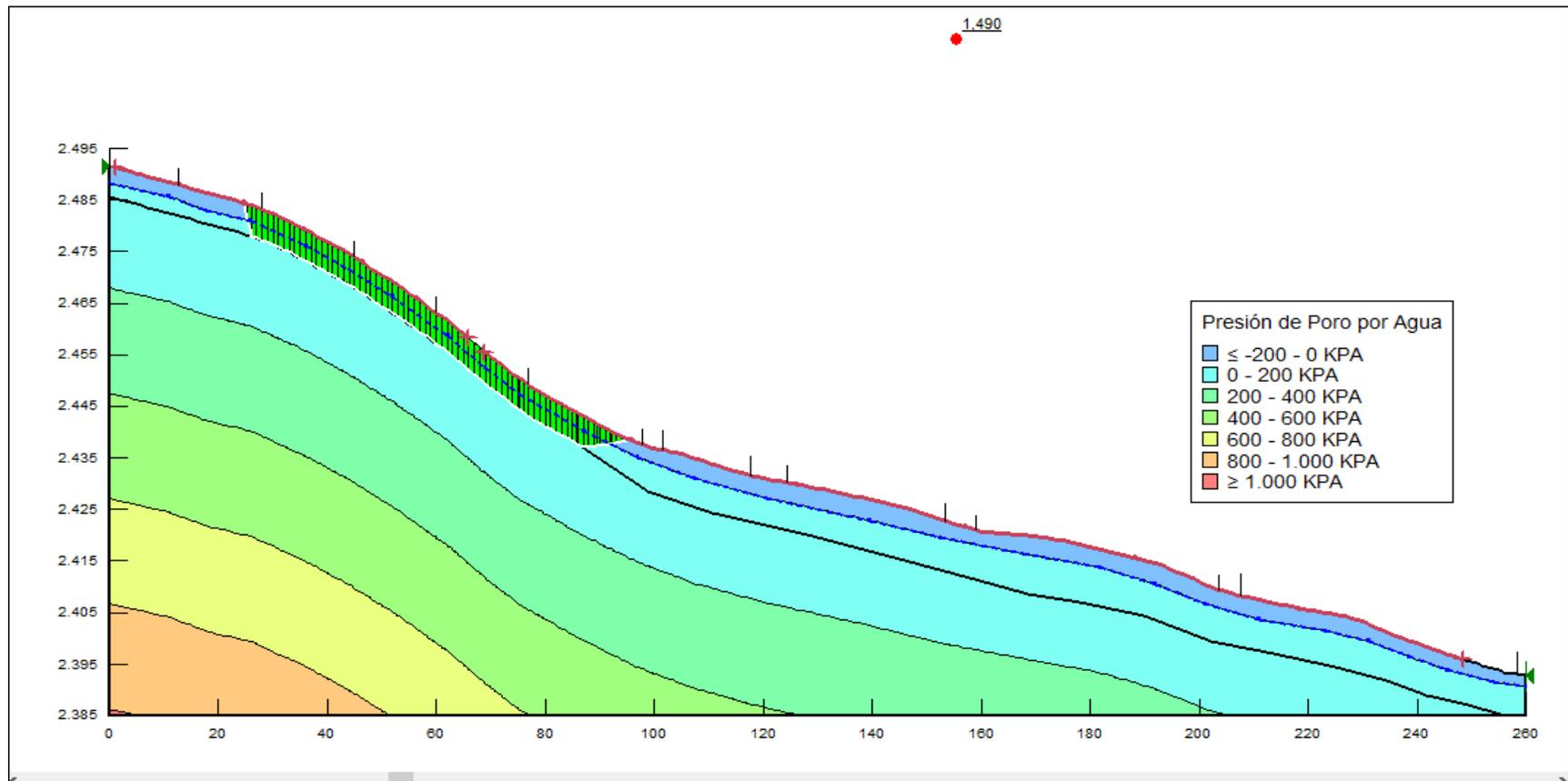


Figura 71. FS Perfil N°2, sin cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo

Factor de Seguridad Perfil N°3, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición no saturada con sismo

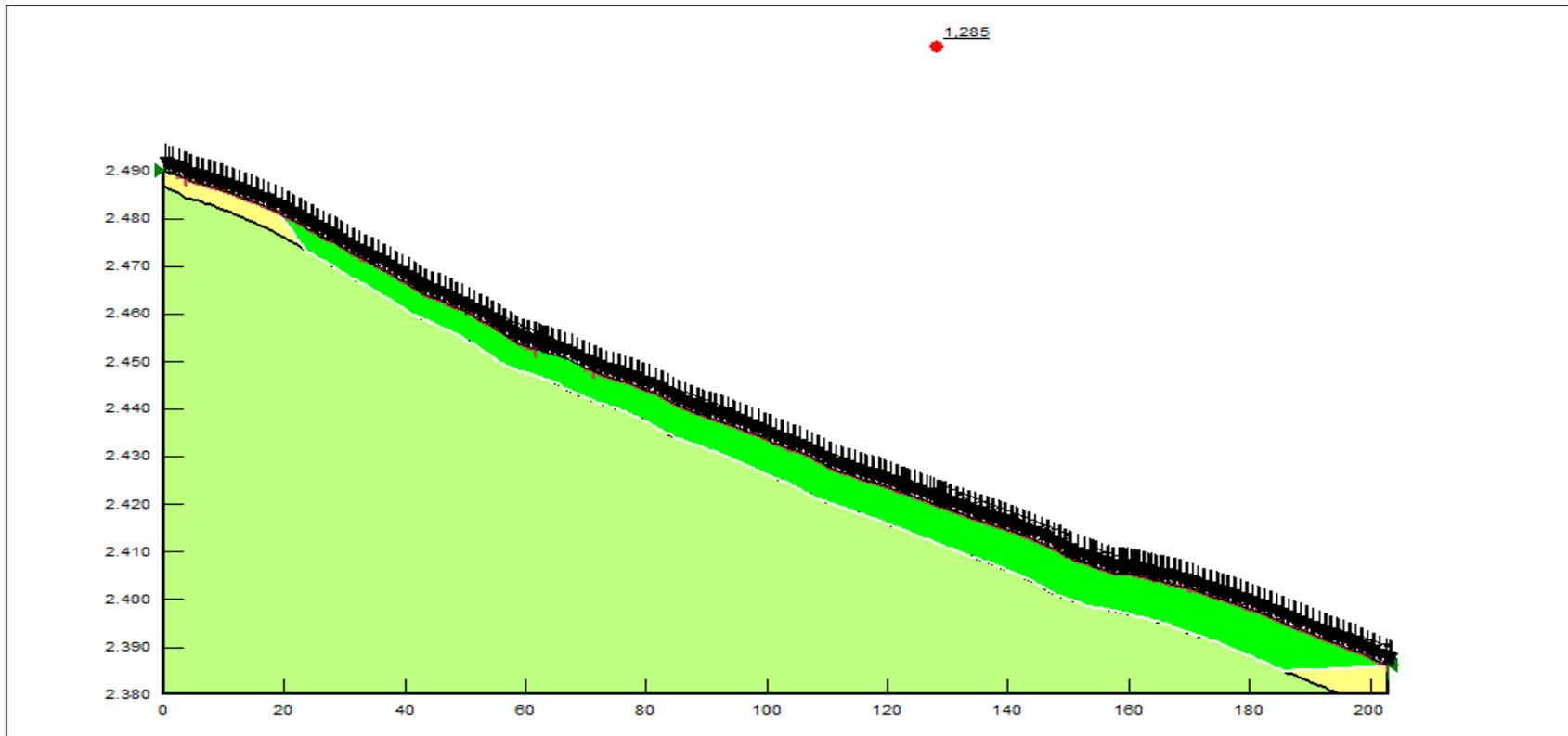
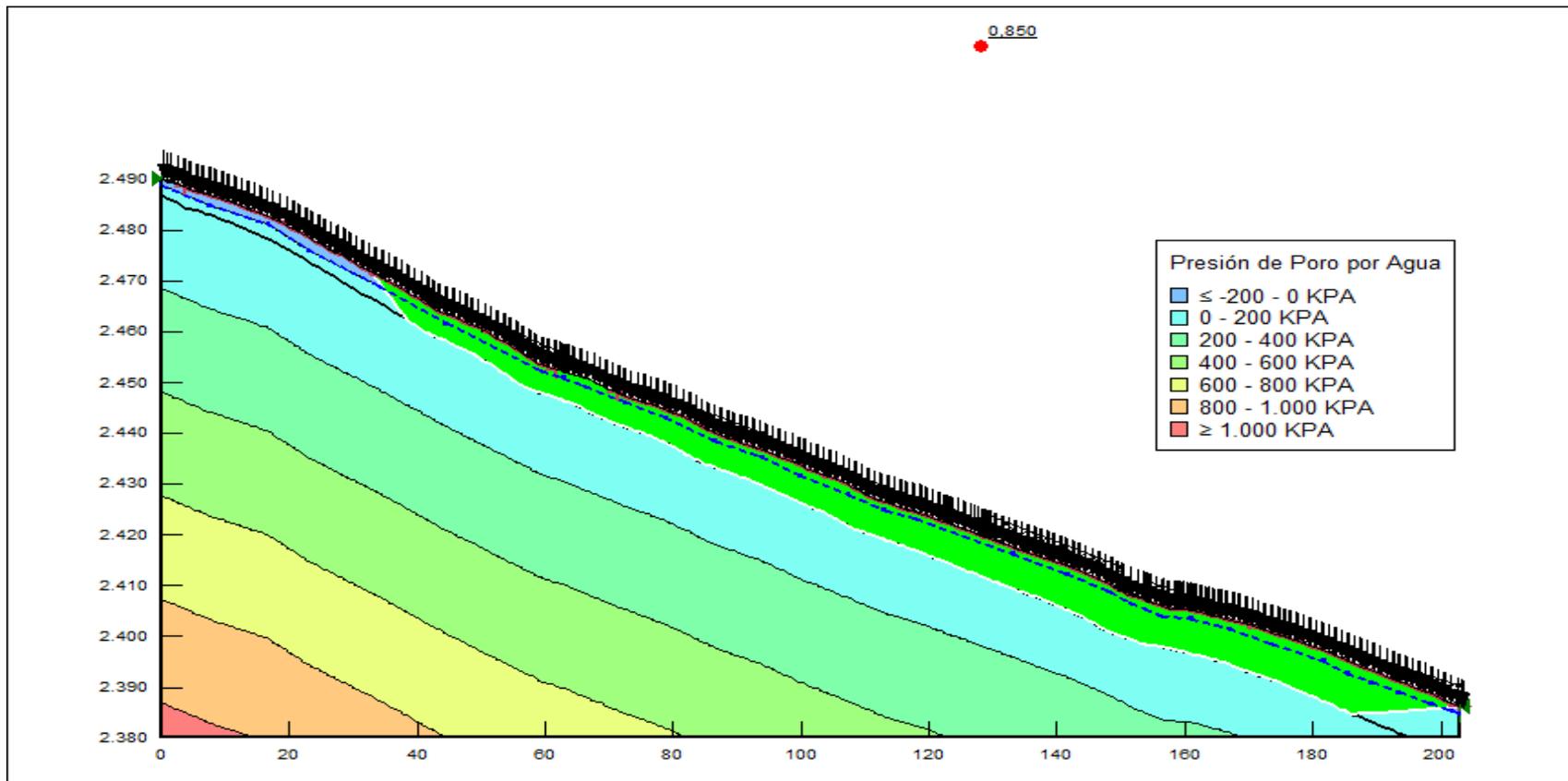


Figura 72. FS Perfil N°3, con cargas. Morgenstern – Price. Condición no saturada con sismo

Factor de Seguridad Perfil N°3, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada con sismo

*Figura 73.* FS Perfil N°3, con cargas. Morgenstern – Price. Condición saturada con sismo

Factor de Seguridad Perfil N°3, con Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada sin sismo

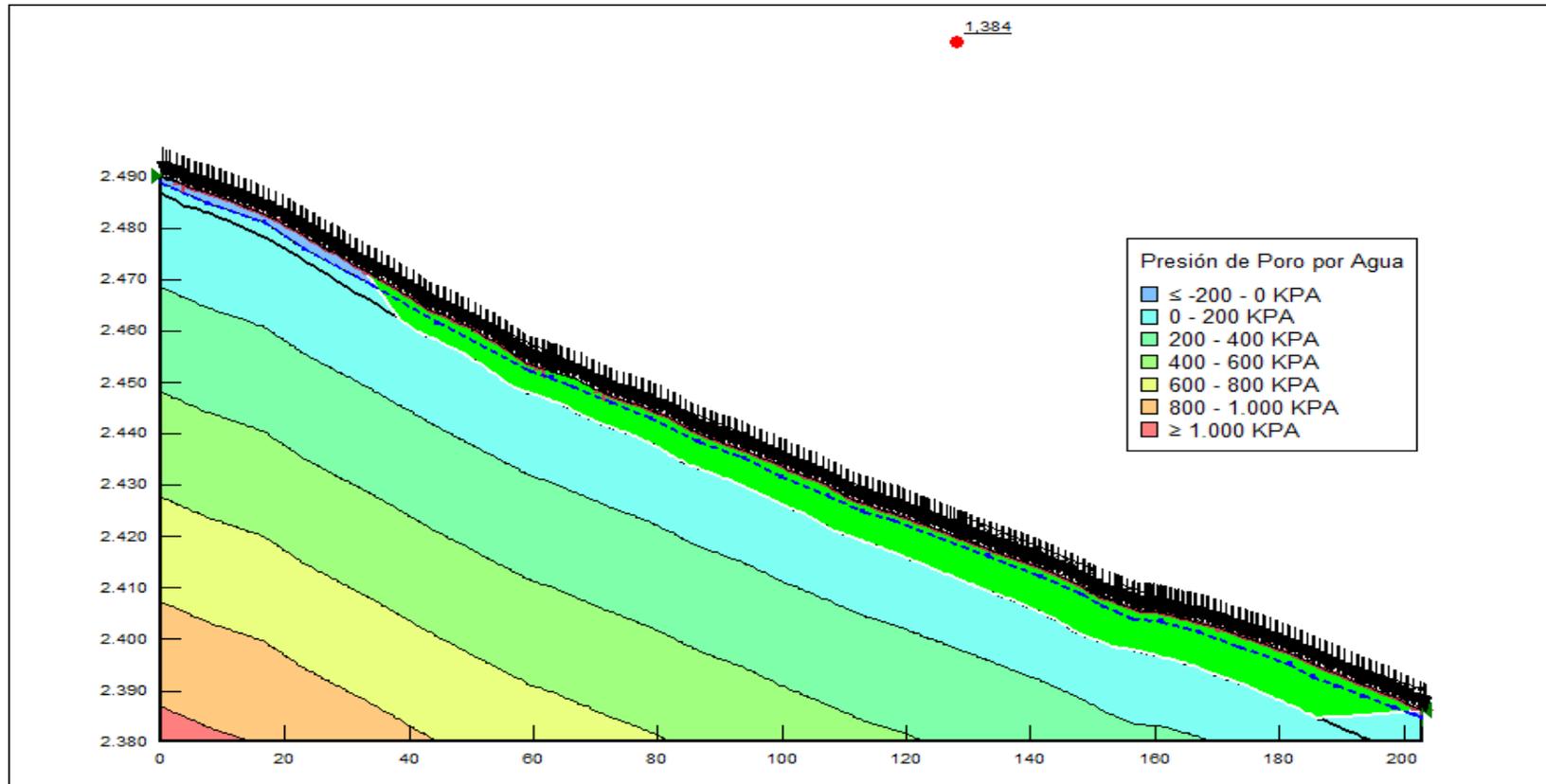


Figura 74.FS Perfil N°3, con cargas. Morgenstern – Price. Condición saturada sin sismo

Factor de Seguridad Perfil N°3, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición no saturada con sismo

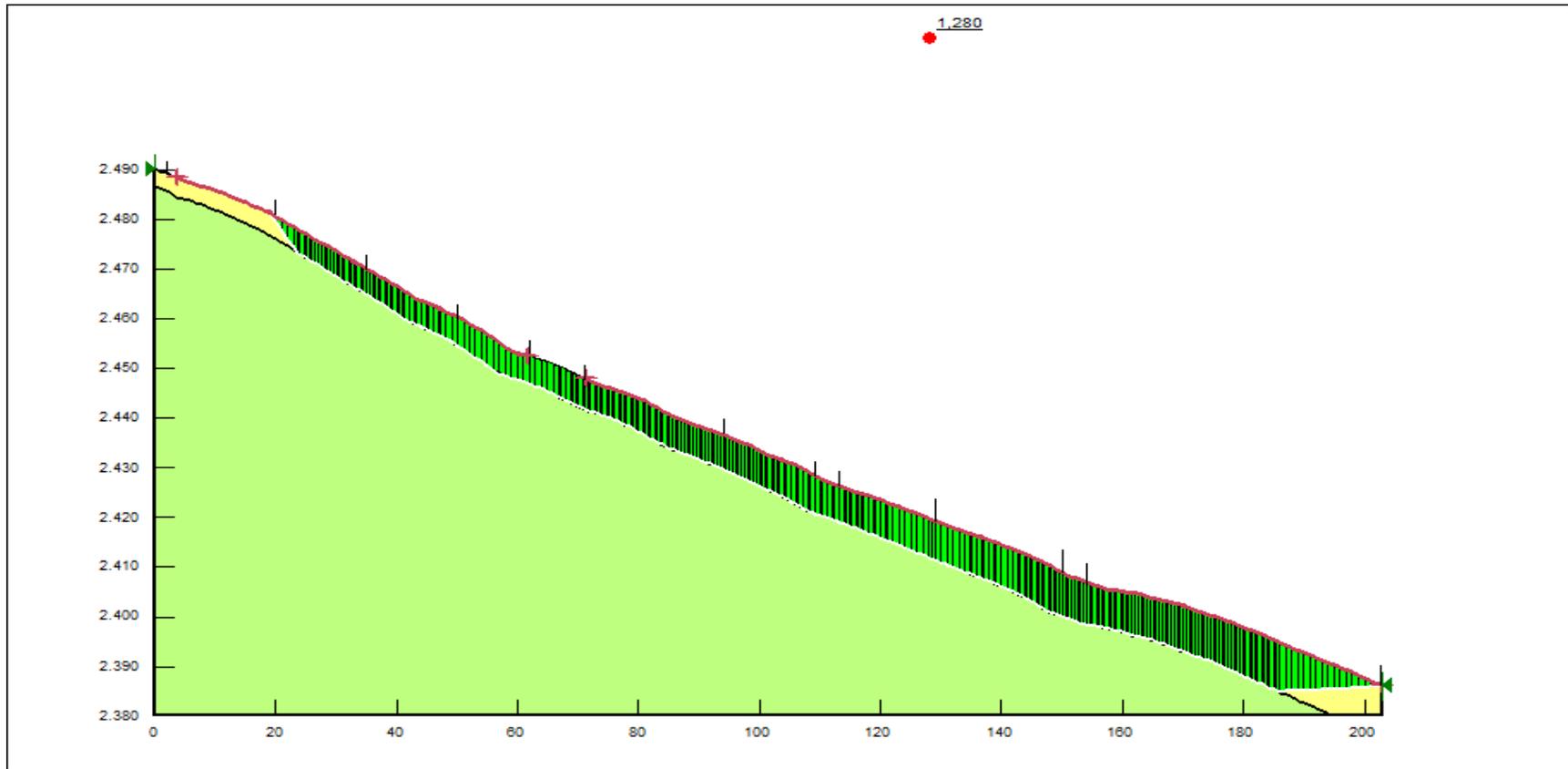


Figura 75. FS Perfil N°3, sin cargas. Morgenstern – Price. Condición no saturada con sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada con sismo

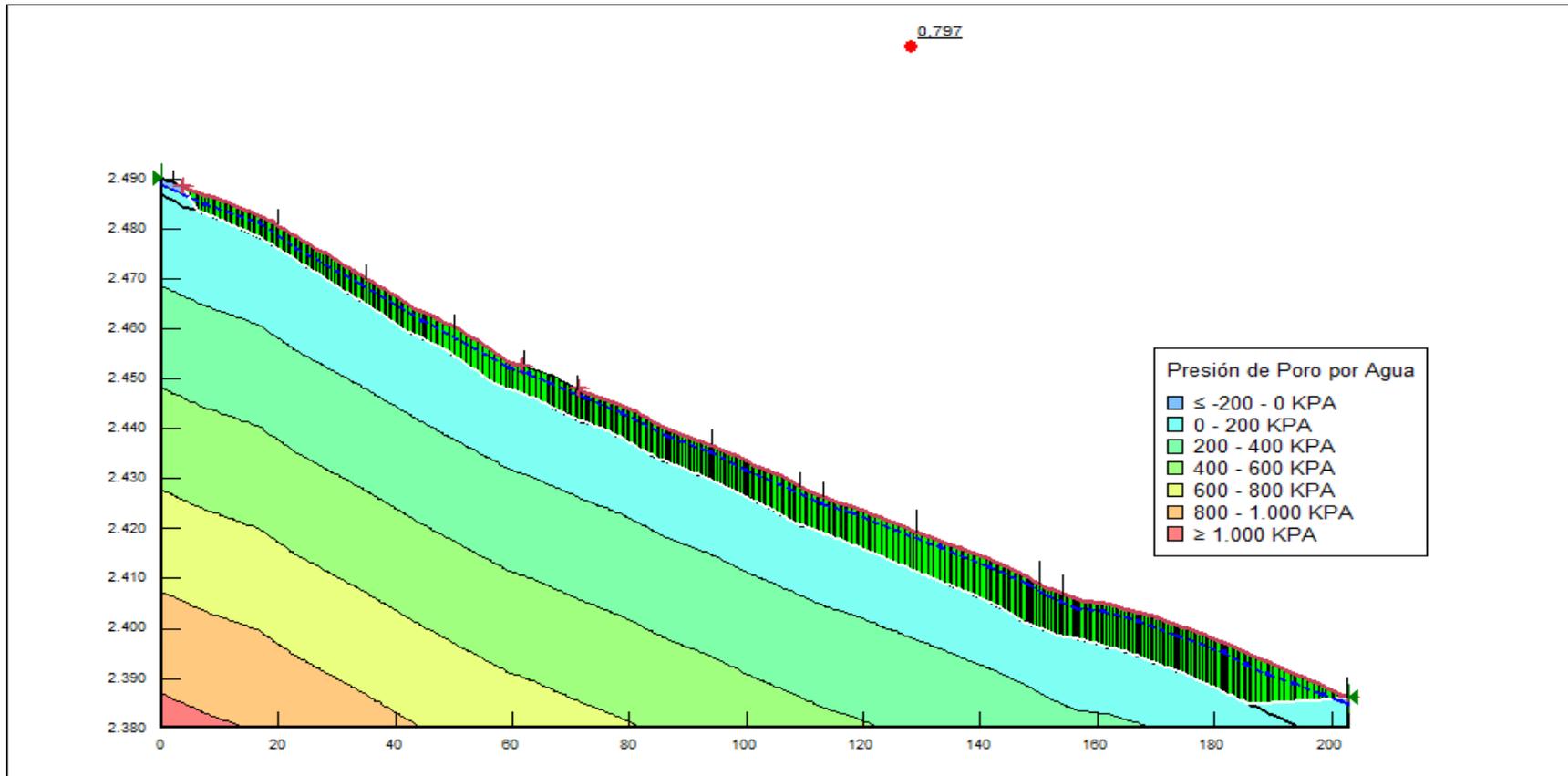


Figura 76. FS Perfil N°3, sin cargas. Morgenstern – Price. Condición no saturada con sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, sin Cargas Estructurales

Método Morgenstern – Price.

Condición saturada sin sismo

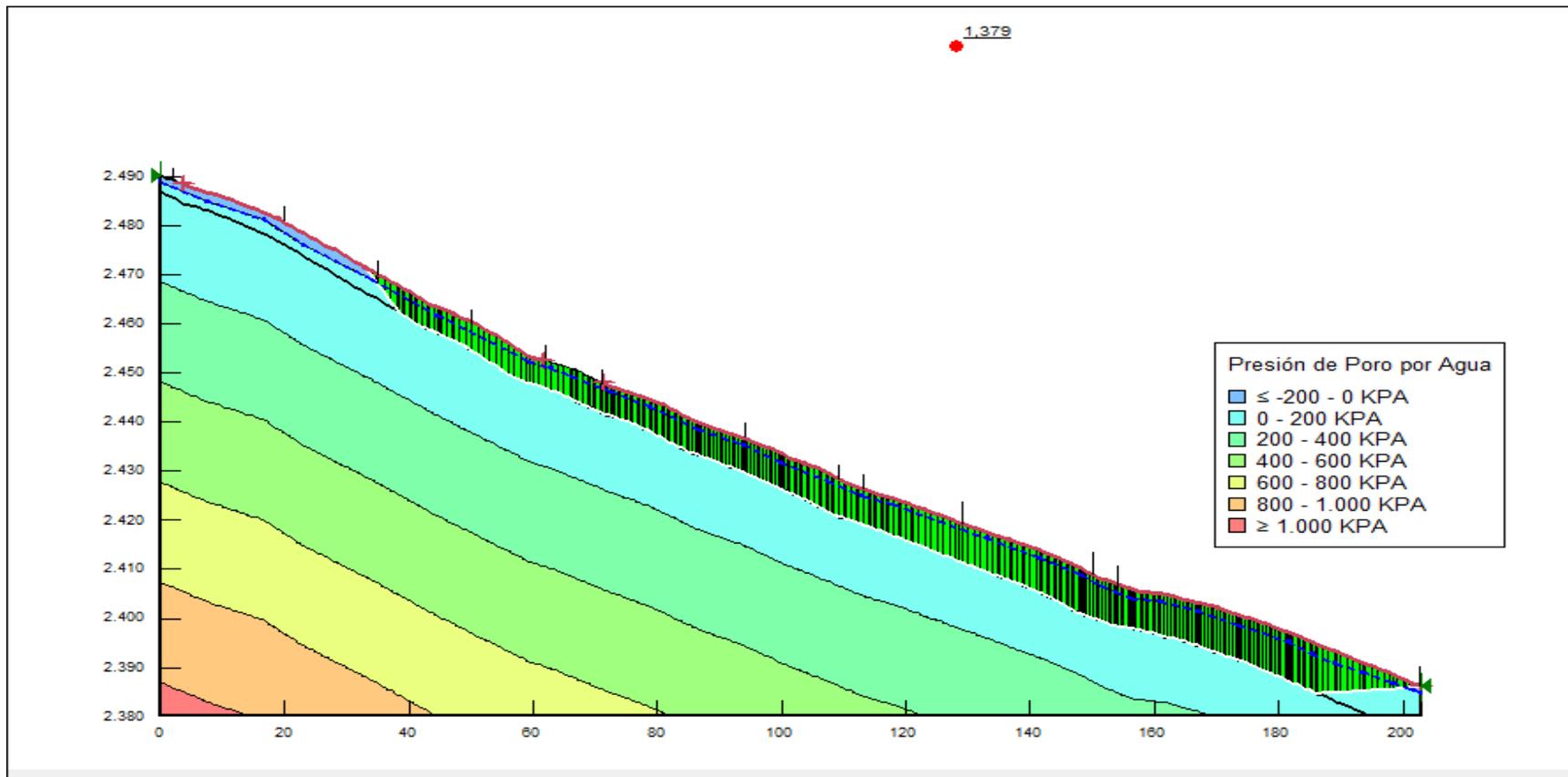


Figura 77. FS Perfil N°3, sin cargas. Morgenstern – Price. Condición saturada sin sismo

Factor de Seguridad Perfil N°3, con Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición no saturada con sismo

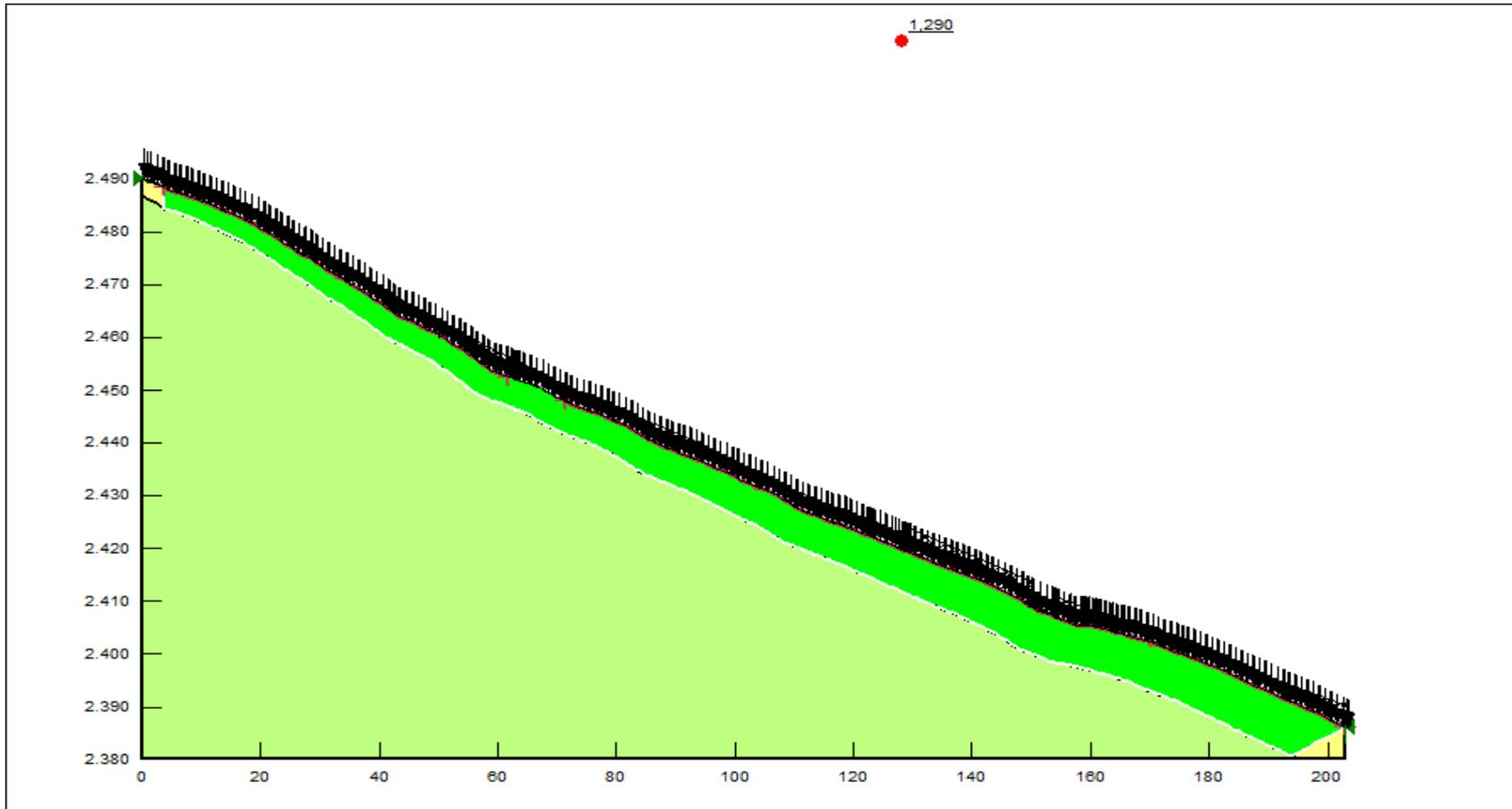


Figura 78. FS Perfil N°3, con cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, con Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada con sismo

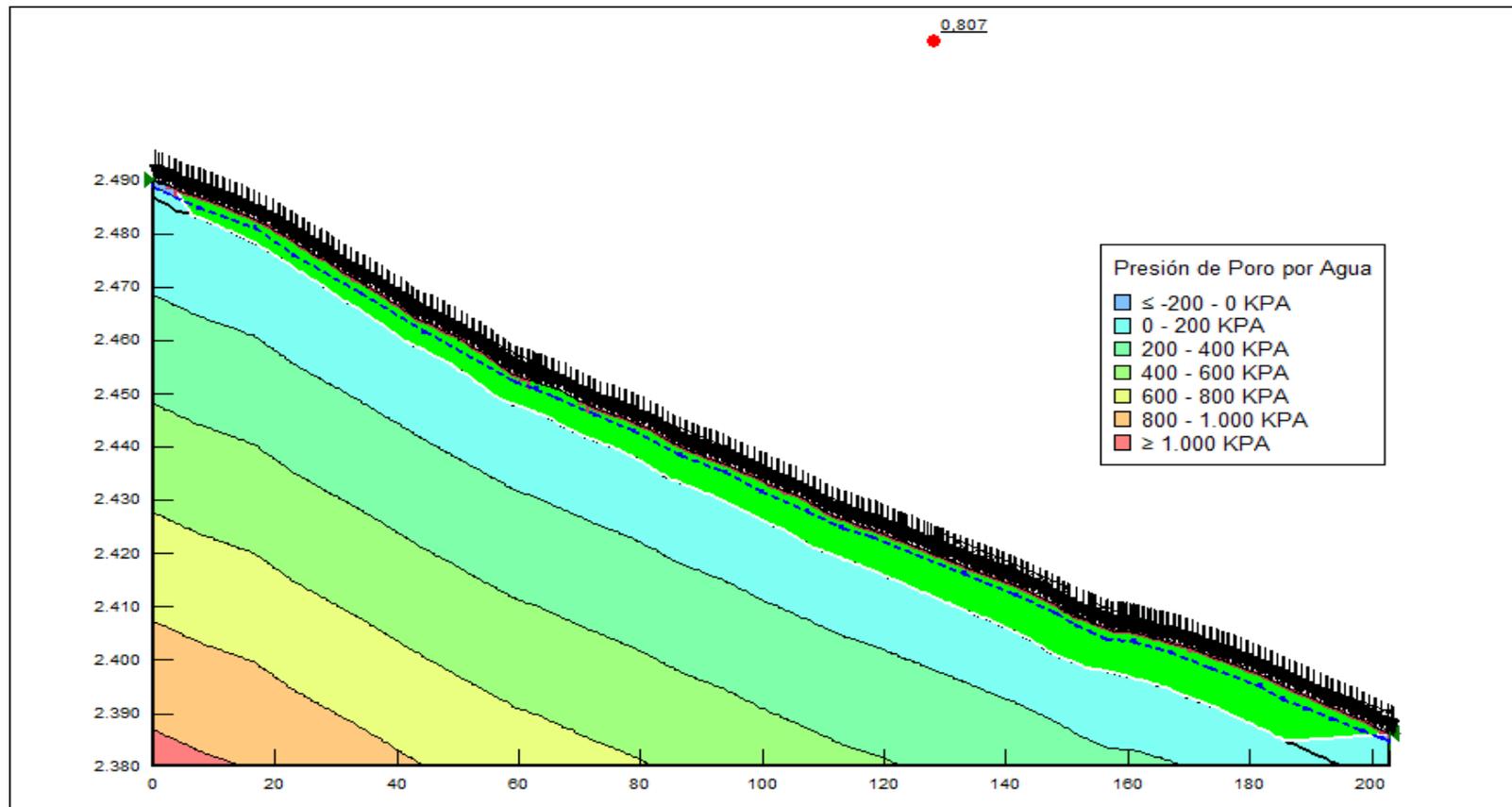


Figura 79. FS Perfil N°3, con cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, con Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada sin sismo

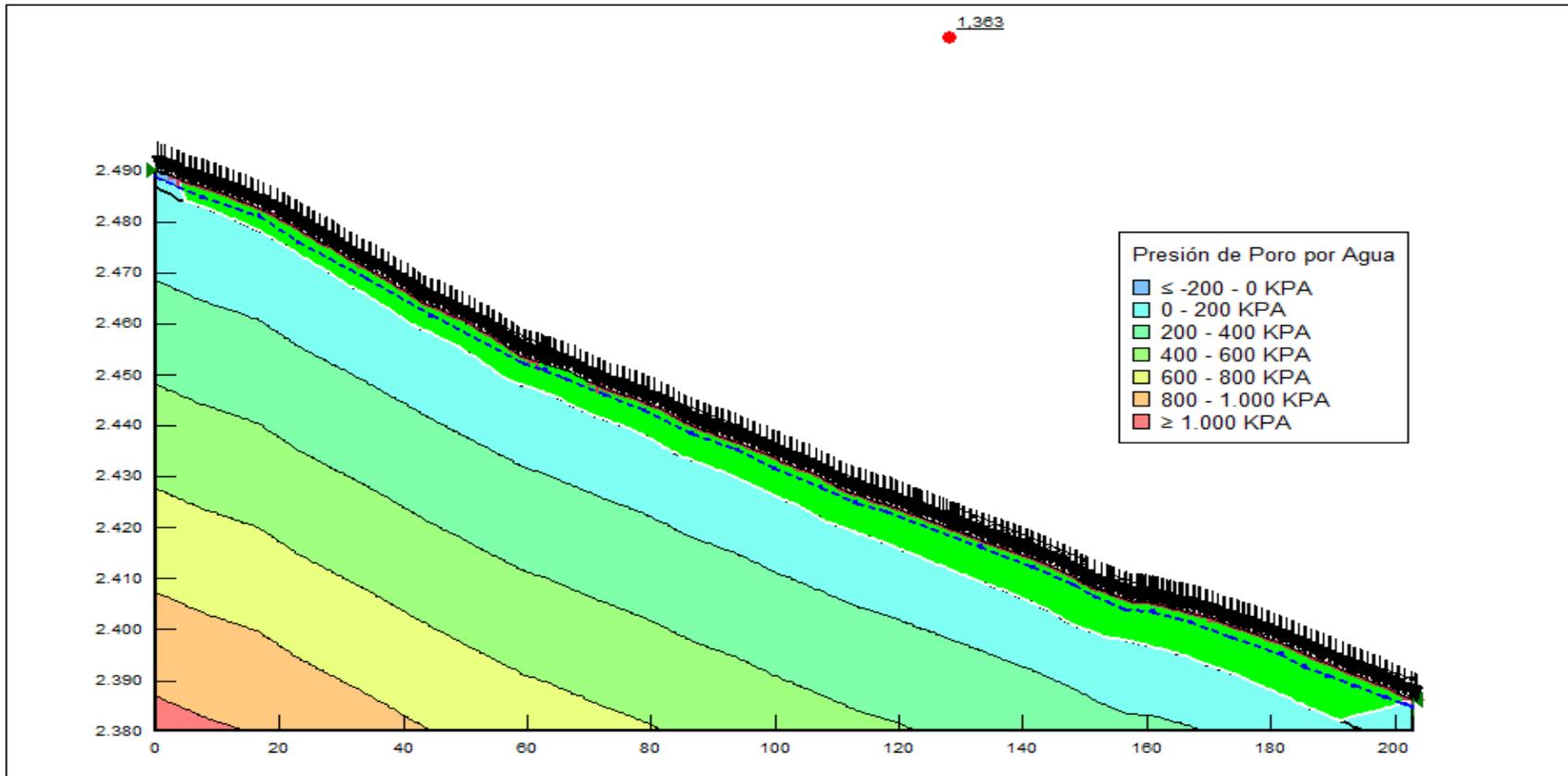


Figura 80. FS Perfil N°3, con cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, sin Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición no saturada con sismo

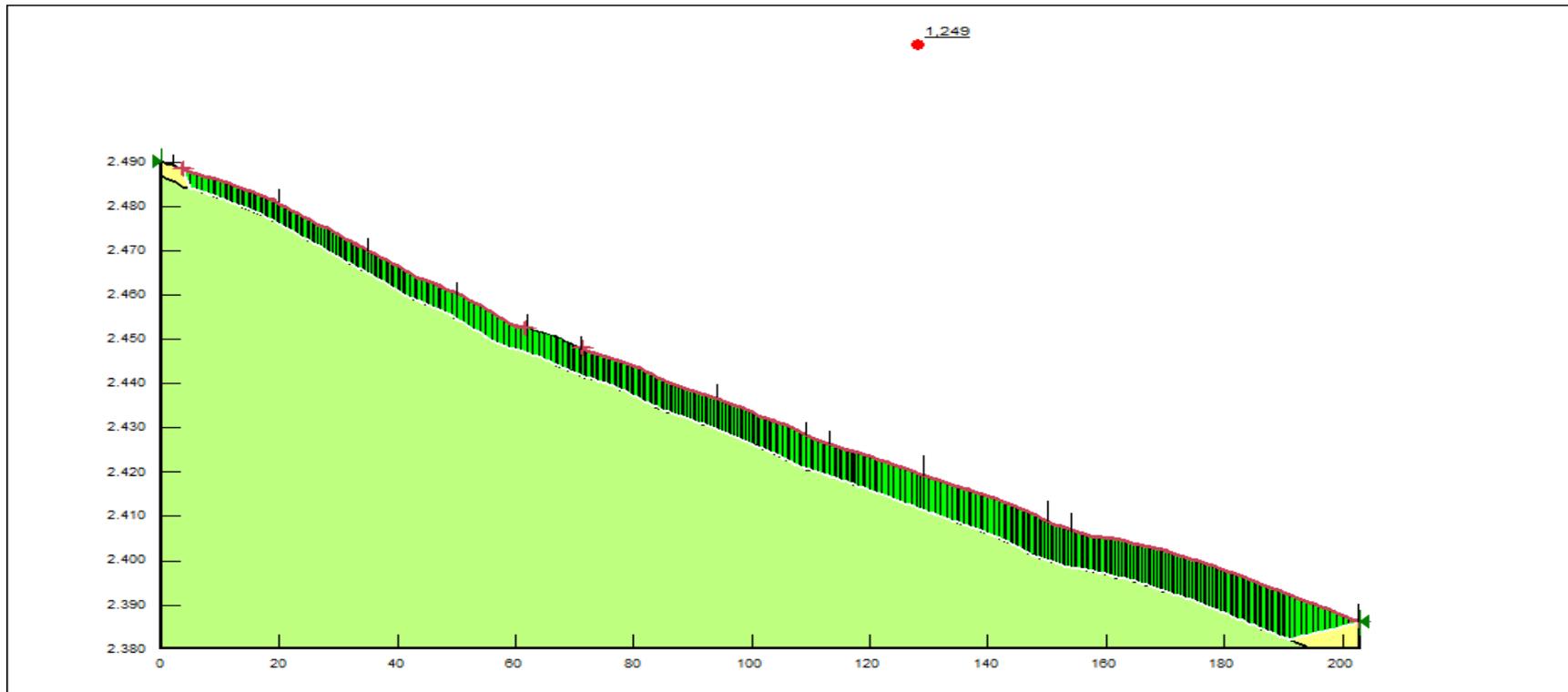


Figura 81. FS Perfil N°3, sin cargas. Spencer. Condición no saturada con sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, sin Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada con sismo

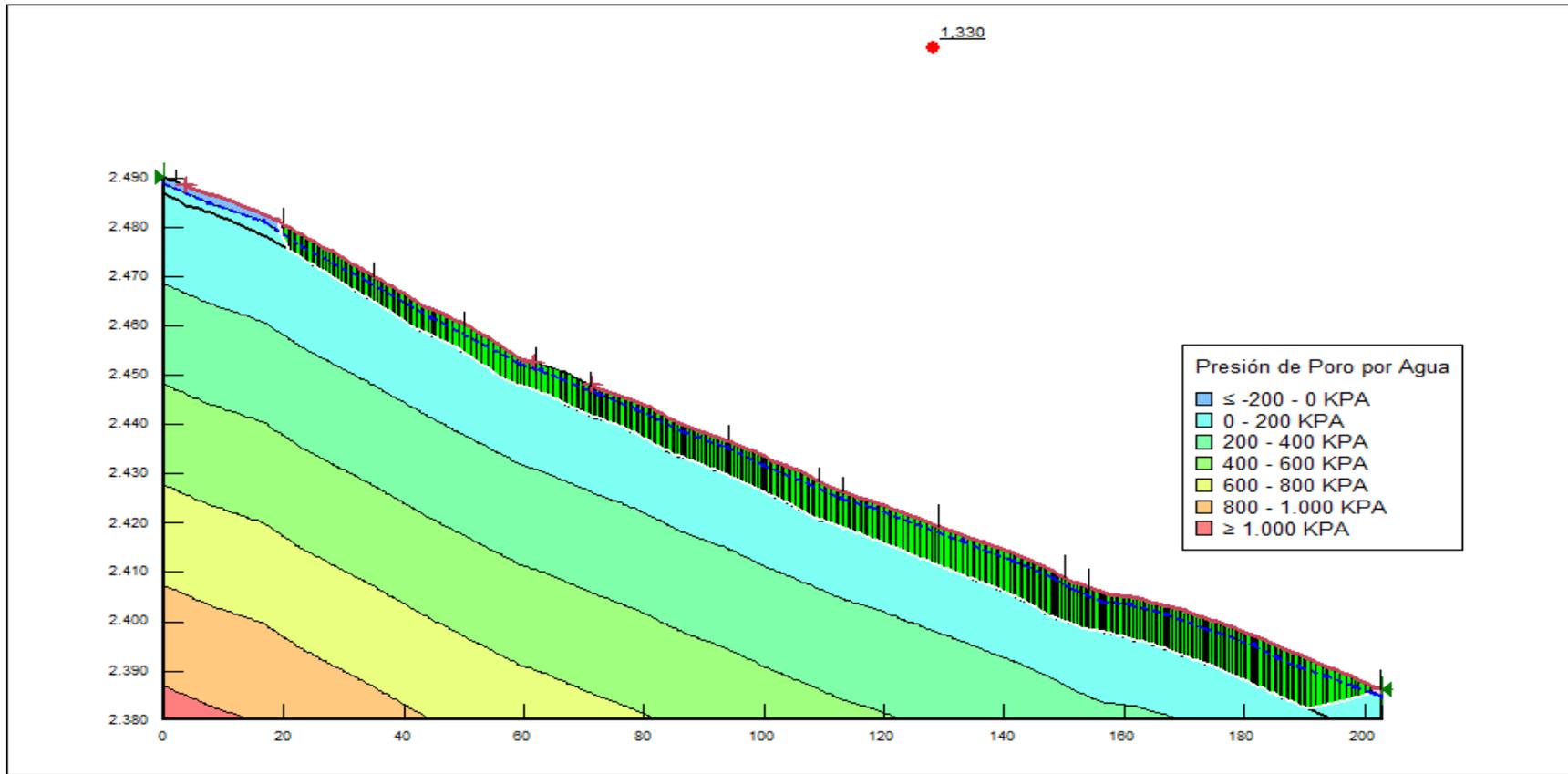


Figura 82. FS Perfil N°3, sin cargas. Spencer. Condición saturada con sismo.

Factor de Seguridad Perfil N°3, sin Cargas Estructurales

Método Spencer.

Condición saturada sin sismo

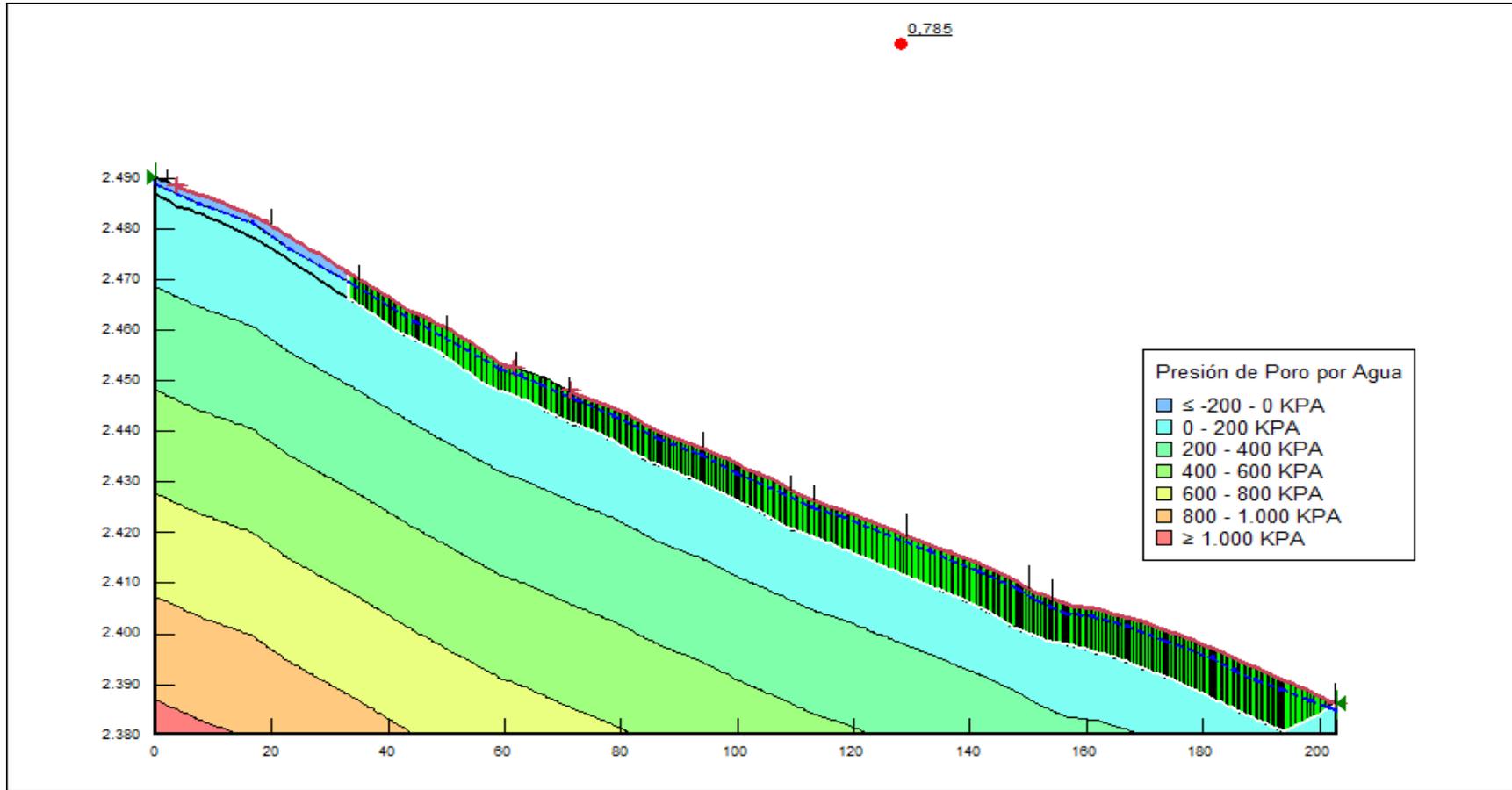


Figura 83. FS Perfil N°3, sin cargas. Spencer. Condición saturada sin sismo.

Anexo 5. Registro Fotográfico, Ensayos de refracción sísmica

Figura 84. Ensayo de refracción sísmica

Anexo 6. Registro Fotográfico, Recolección de muestras de suelo

Figura 85. Recolección de muestra de suelo

Anexo 7. Registro Fotográfico, Ensayos de laboratorio

Figura 86. Ensayos de Laboratorio

Anexo 8. Registro Fotográfico, Ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical

Figura 87. Ensayo de Sondeo Eléctrico Vertical SEV

Anexo 9. Toma de medidas de dimensiones del pavimento

Figura 88. Toma de Medida del Pavimento Rígido

Anexo 10. Toma de medidas de las estructuras

Figura 89. Toma de Medida de la Estructura

Anexo 11. Tipos de cubierta

Figura 90. Tipo de Cubierta en la Zona