

EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE UN TALUD EN LA ZONA
NORTE DE PAMPLONA ENTRE LOS BARRIOS JUAN XXIII Y SAN LUIS, APLICANDO
METODOS DETERMINISTICOS PARA DIAGNOSTICAR POSIBLES
FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

JUAN CAMILO JIMENEZ MARTINEZ
BREINER ANDRES AMESQUITA GONZALEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA INGENEIRIA CIVIL
PAMPLONA, 2017

EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE UN TALUD EN LA ZONA
NORTE DE PAMPLONA ENTRE LOS BARRIOS JUAN XXIII Y SAN LUIS, APLICANDO
METODOS DETERMINISTICOS PARA DIAGNOSTICAR POSIBLES
FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

JUAN CAMILO JIMENEZ MARTINEZ
BREINER ANDRES AMESQUITA GONZALEZ

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

Director

Ing. MARCELINO MALDONADO TRIGOS

Codirector

Geólogo. JANER RAFAEL CANTILLO ROMERO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
PAMPLONA, 2017

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1 Justificación	21
1.2 Objetivos	22
1.2.1 Objetivo general	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
2. MARCO REFERENCIAL.....	23
2.1 Estado del arte y antecedentes	23
2.2 Marco teórico	25
2.2.1 Tipos de movimientos en masa.....	27
2.2.2 Ensayo de Refracción Sísmica.....	36
2.2.3 Fotogrametría.....	38
2.3 Marco conceptual.....	39
2.3.1 Tipos de taludes	39
2.3.2 Factores que influyen en los movimientos masales.....	40
2.3.3 Procesos que facilitan el movimiento de masas.....	40
2.3.4 Causas y factores de la inestabilidad. Las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.....	42

2.4 Marco legal	44
2.5 Marco contextual	46
2.5.1 Sismicidad.....	46
2.5.2 Climatología.....	50
2.5.3 Temperatura	53
2.5.3.3 Velocidad del viento	55
3. METODOLOGÍA	57
3.1 Recopilación bibliográfica	57
3.2 Reconocimiento de la zona y delimitación del área de estudio.	57
3.3 Descripción geológica de la zona	59
3.4 Estudios topográficos.....	59
3.5 Exploración geotécnica.....	65
3.5.1 Aplicación de métodos geofísicos	65
3.5.1.2 Resultados de la exploración indirecta	67
3.6 Análisis de resultados	83
3.6.1 Elaboración de secciones	83
3.7 Métodos determinísticos	87
4. GEOLOGIA	91
4.1 Geología regional.....	91
4.1.1 Litología.....	92

4.2 Geología estructural	95
4.3 Geología local	98
4.3.1 Litología.....	98
4.4 Geología estructural	100
4.4.1 Fallas	101
4.5 Geomorfología	102
4.6 Morfometría	102
5. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	104
5.1 Investigación del subsuelo	104
5.2 Ensayos de laboratorio.....	105
5.2.1 Ensayo de granulometría y clasificación USCS	106
5.2.2 Ensayo de límites de Atterberg	108
5.2.3 Ensayo de contenido de humedad.....	108
5.2.4 Ensayo de corte directo	109
5.2.5 Ensayo de densidad aparente. A continuación se presentan los valores obtenidos de esta prueba.	110
5.2.6 Ensayo de gravedad específica	111
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
6.1 Clasificación de suelos.....	113
6.2 Corte directo.....	114

6.3 Límites de Atterberg	115
6.4 Zonificación geomecánica	116
6.5 Estabilidad de taludes	118
6.5.1 Erosión	118
6.5.2 Fenómenos de remoción en masa	118
6.6 Análisis de estabilidad	119
6.6.1 Secciones.....	121
7. EQUIPOS USADOS.....	125
7.1 Equipos ensayo de granulometría	125
7.2 Equipos ensayo de límites de Atterberg.....	126
7.3 Equipos ensayo de contenido de humedad	127
7.4 Equipos ensayo de gravedad específica	128
7.5 Equipos usados para peso unitario	129
7.6 Equipos usados para topografía	129
7.7 Equipos ensayo de refracción sísmica	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	139
TERCERA SECCION	283

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Esquema de caídas en roca	29
Ilustración 2 Colapso	30
Ilustración 3 Esquema de vuelco en bloque.....	30
Ilustración 4 Deslizamientos en suelos blandos.....	32
Ilustración 5 Deslizamiento rotacional típico	33
Ilustración 6 Deslizamiento de rotación en una ladera	33
Ilustración 7 Ejemplo de deslizamiento de traslación.....	34
Ilustración 8. Esquema de ondas generadas por un martillo.....	36
Ilustración 9 Mapa de valores Aa	48
Ilustración 10 Mapa de valores Av	49
Ilustración 11 Zona de estudio.....	58
Ilustración 12 Fotografías aéreas	60
Ilustración 13 Modelo digital del terreno 2D.....	61
Ilustración 14 Modelo digital del Terreno 3D	62
Ilustración 15 Modelo digital de superficie 3D	63
Ilustración 16 Curvas de nivel	64
Ilustración 17 Ubicación del primer ensayo de refracción sísmica	70
Ilustración 18 Ubicación del segundo ensayo de refracción sísmica.....	73
Ilustración 19 Ubicación del tercer ensayo de refracción sísmica.....	77
Ilustración 20 Distribución de apiques en la ladera	79
Ilustración 21 Elaboración de apiques en área de estudio	80

Ilustración 22 Muestras inalteradas	81
Ilustración 23 Ubicación de secciones en la ladera	84
Ilustración 24 Ubicación de secciones en la ladera de acuerdo a la zonificación.....	85
Ilustración 25 Sección interpretada.....	86
Ilustración 26 Esquema geológico del área de Pamplona. Fuente (Ortiz, 2013).....	91
Ilustración 27 Deposito coluvial barrio Juan XXIII	100
Ilustración 28 Mapa de pendientes	103
Ilustración 29 Zonificación Geomecánica	117
Ilustración 30 Zona con posible movimiento.....	119
Ilustración 31 Factor de seguridad Método Fellenius, Condición: no saturada sin sismo.....	189
Ilustración 32 Superficies de falla Método Fellenius, Condición: no saturada sin sismo	190
Ilustración 33 Factor de seguridad Método Janbu, Condición: no saturada sin sismo	191
Ilustración 34 Superficies de falla Método Janbu, Condición: no saturada sin sismo.....	192
Ilustración 35 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo	193
Ilustración 36 Superficies de falla Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo	194
Ilustración 37 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: no saturada sin sismo	195
Ilustración 38 Superficies de falla Método Spencer Condición: no saturada sin sismo	196
Ilustración 39 Factor de seguridad Método Fellenius, Condición: no saturada con sismo	197
Ilustración 40 Superficies de falla Método Fellenius, Condición: no saturada con sismo	198
Ilustración 41 Factor de seguridad Método Janbu, Condición: no saturada con sismo.....	199
Ilustración 42 Superficies de falla Método Janbu. Condición: no saturada con sismo.....	200
Ilustración 43 Factor de seguridad Mét. Morgenster-Price Condición: no saturada con sismo .	201
Ilustración 44 Superficies de falla Mét. Morgenster-Price Condición: no saturada con sismo ..	202

Ilustración 45 Factor de seguridad método spencer Condición: no saturada con sismo	203
Ilustración 46 Superficies de falla Método Spencer. Condición: no saturada con sismo	204
Ilustración 47 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo.....	205
Ilustración 48 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo.....	206
Ilustración 49 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada sin sismo	207
Ilustración 50 Presión de poros Método Janbu. Condición: saturada sin sismo	208
Ilustración 51 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo...	209
Ilustración 52 Presión de poros Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo	210
Ilustración 53 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada sin sismo	211
Ilustración 54 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada sin sismo	212
Ilustración 55 Factor de seguridad Método Felleniu. Condición: saturada con sismo	213
Ilustración 56 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada con sismo	214
Ilustración 57 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada con sismo.....	215
Ilustración 58 Presión de poros Método Janbu..Condición: saturada con sismo.....	216
Ilustración 59 Factor de seguridad Mét. Morgenster-Price. Condición: saturada con sismo	217
Ilustración 60 Presión de poros Mét. Morgenster-Price. Condición: saturada con sismo	218
Ilustración 61 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada con sismo	219
Ilustración 62 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada con sismo	220
Ilustración 63 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: no saturada sin sismo.....	221
Ilustración 64 Superficies de falla Método Fellenius. Condición: no saturada sin sismo	222
Ilustración 65 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: no saturada sin sismo	223
Ilustración 66 Superficies de falla Método Janbu. Condición: no saturada sin sismo.....	224
Ilustración 67 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo	225

Ilustración 68 Superficies de falla Mét Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo .	226
Ilustración 69 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: no saturada sin sismo	227
Ilustración 70 Superficies de falla Método Spencer. Condición: no saturada sin sismo	228
Ilustración 71 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: no saturada con sismo.....	229
Ilustración 72 Superficies de falla Método Fellenius. Condición: no saturada con sismo	230
Ilustración 73 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: no saturada con sismo	231
Ilustración 74 Superficies de falla Método Janbu. Condición: no saturada con sismo	232
Ilustración 75 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada con sismo	233
Ilustración 76 Superficies de falla Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada con sismo	234
Ilustración 77 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: no saturada con sismo	235
Ilustración 78 Superficies de falla Método Spencer. Condición: no saturada con sismo.....	236
Ilustración 79 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo	237
Ilustración 80 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo	238
Ilustración 81 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada sin sismo.....	239
Ilustración 82 Presión de poros Método Janbu. Condición: saturada sin sismo.....	240
Ilustración 83 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo	241
Ilustración 84 Presión de poros Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo	242
Ilustración 85 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada sin sismo	243
Ilustración 86 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada sin sismo	244
Ilustración 87 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: saturada con sismo	245
Ilustración 88 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada con sismo	246
Ilustración 89 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada con sismo.....	247
Ilustración 90 Presión de poros Método Janbu. Condición: saturada con sismo.....	248

Ilustración 91 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada con sismo ...	249
Ilustración 92 Presión de poros Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada con sismo	250
Ilustración 93 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada con sismo	251
Ilustración 94 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada con sismo	252
Ilustración 95 Factor de seguridad Método Fellenius.....	253
Ilustración 96 Superficies de falla Método Fellenius.	254
Ilustración 97 Factor de seguridad Método Janbu.	255
Ilustración 98 Superficies de falla Método Janbu.....	256
Ilustración 99 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price	257
Ilustración 100 Superficies de falla Mét. Morgenstern-Price.	258
Ilustración 101 Factor de seguridad Método Spencer.....	259
Ilustración 102 Superficies de falla Método Spencer	260
Ilustración 103 Factor de seguridad Método Fellenius.....	261
Ilustración 104 Superficies de falla Método Fellenius	262
Ilustración 105 Factor de seguridad Método Janbu.....	263
Ilustración 106 Superficies de falla Método Janbu.....	264
Ilustración 107 Factor de seguridad Método Morgenstern-Price.	265
Ilustración 108 Superficies de falla Método Morgenstern-Price.	266
Ilustración 109 Factor de seguridad Método Spencer.....	267
Ilustración 110 Superficies de falla Método Spencer.	268
Ilustración 111 Factor de seguridad Método Fellenius.....	269
Ilustración 112 Presión de poros Método Fellenius.....	270
Ilustración 113 Factor de seguridad Método Janbu	271

Ilustración 114 Presión de poros Método Janbu	272
Ilustración 115 Factor de seguridad Método Morgenstern-Price	273
Ilustración 116 Presión de poros Método Morgenstern-Price	274
Ilustración 117 Factor de seguridad Método Spencer.....	275
Ilustración 118 Presión de poros Método Spencer	276
Ilustración 119 Factor de seguridad Método Fellenius.....	277
Ilustración 120 Presión de poros Método Fellenius.....	278
Ilustración 121 Factor de seguridad Método Janbu	279
Ilustración 122 Presión de poros Método Janbu	280
Ilustración 123 Factor de seguridad Método Morgenstern-Price	281
Ilustración 124 Presión de poros Método Morgenstern-Price	282
Ilustración 125 Factor de seguridad Método Spencer.....	283
Ilustración 126 Presión de poros Método Spencer	284

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos	27
Tabla 2. Clasificación de movimientos de falla de taludes.....	28
Tabla 3. Características de los grandes grupos de movimiento en masa	35
Tabla 4. Información estaciones de la zona de estudio.....	51
Tabla 5. Resumen Aspectos Climáticos.....	51
Tabla 6 Velocidades de Onda P (Vp).	68
Tabla 7. Caracterización primera línea sísmica	69
Tabla 8. Caracterización segunda línea sísmica	72
Tabla 9. Caracterización tercera línea sísmica.....	76
Tabla 10. Ensayos de laboratorio.....	82
Tabla 11 Tipo de pendientes de acuerdo a su inclinación	102
Tabla 12. Coordenadas planas	105
Tabla 13 Tipos de muestra.....	106
Tabla 14 Ensayo de Granulometría y clasificación uscs	107
Tabla 15 Ensayo de límites de Atterberg.....	108
Tabla 16 Ensayo de contenido de humedad.....	109
Tabla 17 Ensayo de corte directo.....	110
Tabla 18 Ensayo de densidad aparente	111
Tabla 19 Ensayo de gravedad específica	112
Tabla 20 Análisis Clasificación de suelos	113
Tabla 21 Análisis Ensayo Corte Directo.....	114

Tabla 22 Grado de plasticidad del suelo	115
Tabla 23 Porcentaje de aparición de suelo, Según índices de plasticidad	116
Tabla 24 Condiciones iniciales de la primera sección	121
Tabla 25 Factores de seguridad sección 1.....	122
Tabla 26 Condiciones iniciales de la segunda sección	122
Tabla 27 Factores de seguridad sección 2.....	123
Tabla 28 Condiciones iniciales de la tercera sección.....	123
Tabla 29 Factores de seguridad sección 3.....	124
Tabla 30 Equipos ensayo de granulometría	125
Tabla 31 Equipos ensayo de límites de Atterberg	126
Tabla 32 Equipos ensayo de contenido de humedad	127
Tabla 33 Equipos ensayo de gravedad específica.....	128
Tabla 34 Equipos usados para peso unitario.....	129
Tabla 35 Equipos usados para topografía	129
Tabla 36 Equipos ensayo de refracción sísmica	130
Tabla 37 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad especifica APIQUE n°1 E1	139
Tabla 38 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad especifica APIQUE n°1 E2.....	140
Tabla 39 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad especifica APIQUE n°2 E1	141
Tabla 40 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad especifica APIQUE n°2 E2.....	142

Tabla 41 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°3	143
Tabla 42 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°4 E1	144
Tabla 43 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°4 E2.....	145
Tabla 44 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°5 E1	146
Tabla 45 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°5 E2.....	147
Tabla 46 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°6	148
Tabla 47 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°7	149
Tabla 48 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°8	150
Tabla 49 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°9	151
Tabla 50 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°10	152
Tabla 51 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°11	153

Tabla 52 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°12	154
Tabla 53 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°13	155
Tabla 54 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°14	156
Tabla 55 Ensayo de corte directo Apique n°1 E1	157
Tabla 56 Ensayo de corte directo Apique n°1 E2	158
Tabla 57 Ensayo de corte directo Apique n°2 E1	159
Tabla 58 Ensayo de corte directo Apique n°2 E2	160
Tabla 59 Ensayo de corte directo Apique n°3	161
Tabla 60 Ensayo de corte directo Apique n°4 E1	162
Tabla 61 Ensayo de corte directo Apique n°4 E2	163
Tabla 62 Ensayo de corte directo Apique n°5 E1	164
Tabla 63 Ensayo de corte directo Apique n°5 E2	165
Tabla 64 Ensayo de corte directo Apique n°6 E1	166
Tabla 65 Ensayo de corte directo Apique n°7	167
Tabla 66 Ensayo de corte directo Apique n°8	168
Tabla 67 Ensayo de corte directo Apique n°9	169
Tabla 68 Ensayo de corte directo Apique n°10	170
Tabla 69 Ensayo de corte directo Apique n°11	171
Tabla 70 Ensayo de corte directo Apique n°12	172
Tabla 71 Ensayo de corte directo Apique n°13	173

Tabla 72 Ensayo de corte directo Apique n°14	174
Tabla 73 Columna estratigráfica apique n°1.....	175
Tabla 74 Columna estratigráfica apique n°2.....	176
Tabla 75 Columna estratigráfica apique n°3.....	177
Tabla 76 Columna estratigráfica apique n°4.....	178
Tabla 77 Columna estratigráfica apique n°5.....	179
Tabla 78 Columna estratigráfica apique n°6.....	180
Tabla 79 Columna estratigráfica apique n°7.....	181
Tabla 80 Columna estratigráfica apique n°8.....	182
Tabla 81 Columna estratigráfica apique n°9.....	183
Tabla 82 Columna estratigráfica apique n°10.....	184
Tabla 83 Columna estratigráfica apique n°11.....	185
Tabla 84 Columna estratigráfica apique n°12.....	186
Tabla 85 Columna estratigráfica apique n°13.....	187
Tabla 86 Columna estratigráfica apique n°14.....	188

RESUMEN

Los movimientos en masa son uno de los fenómenos naturales más destructivos que existen, ya que afectan los patrimonios de las personas y en la mayoría de los casos se presentan pérdidas de vidas humanas. Con esta investigación se buscó determinar el factor de seguridad del talud que se encuentra ubicado al norte del municipio de Pamplona N.S entre los barrios Juan XXIII y San Luis, con el propósito de verificar el estado en el que se encuentra la ladera y diagnosticar un posible fenómeno de remoción en masa.

Para llevar a cabo esta investigación se realizaron 14 apiques de 2.50 metros de profundidad distribuidos en la zona de estudio, de los cuales se tomaron dos muestras para contenido de humedad por cada metro de perforación y en donde se notaran cambios visuales en los estratos de suelo y además se recolectaron 30 kg para realizar los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y gravedad específica, las muestras para los ensayos de corte directo y densidad aparente se obtuvieron luego de ser extraídas cuidadosamente y envueltas en papel aluminio, envoplast y guardadas en bolsas herméticas. En el área de trabajo se realizó un levantamiento topográfico usando un DRONE de referencia DJI Phantom 3 Profesional con el fin de obtener un modelo digital de esta área y poder extraer de ésta, los perfiles naturales del terreno y un estudio de refracción sísmica para establecer los espesores de cada capa del subsuelo y poder establecer un modelo conceptual del talud. Para el cálculo del factor de seguridad se usaron métodos de límite de equilibrio, establecidos dentro de los métodos determinísticos, el modelamiento de la información se realizó con el paquete de software Geoestudio.

INTRODUCCIÓN

Las laderas naturales están continuamente expuestas a complicaciones de inestabilidad por los trabajos de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas y dinámicas, que aportan naturalmente a disparar el movimiento, la inestabilidad de taludes es efecto de la propia dinámica de progreso de estos, a medida que mejoran los procesos físico-químicos.

Un análisis de estabilidad es un factor determinante en el plan de ordenamiento territorial (P.O.T), a la hora de diagnosticar zonas con posibles fenómenos de remoción en Masa.

La presente investigación se llevó a cabo en Pamplona, Departamento de Norte de Santander, a partir de la ladera natural que se encuentra ubicada en los barrios de JUAN XXIII Y SAN LUIS con los objetivos de verificar el estado de la ladera, evaluar las condiciones de estabilidad en contextos ideales y de riesgo, mediante métodos determinísticos (Método ordinario o de Fellenius, Método de Spencer, Método simplificado de Janbú y Método de Morgenstern – Price), los cuales permiten calcular un factor de seguridad y la superficie de falla. Teniendo en cuenta factores muy importante como lo son geológico, hidrogeológico y geotécnico.

Teniendo en cuenta las características geomecánicas de los suelos, el modelo geológico de la zona mediante métodos no invasivos, la topografía, climatología y la actividad sísmica de la zona. Se realizaron estudios de suelos (apiques) y refracción sísmica para poder extraer información de la ladera natural, que al ser analizados y procesados por el software geoslope, arroja condiciones de cómo se encuentra la ladera natural en contextos reales

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un talud estable puede desestabilizarse con el tiempo debido a que son sistemas dinámicos en evolución, por diversas causas, tales como la inestabilidad del terreno, ya sea por agentes externos como el agua, sismos y la acción de fuerzas gravitacionales, hidráulicas y dinámicas, y por agentes internos como el nivel freático. Estos fenómenos pueden conducir a que se presente la remoción en masa. (Suarez Díaz, 1998)

A través de la historia de la humanidad, se presentan diversos eventos de deslizamientos de taludes a causa de fallas en el comportamiento interno y externo del suelo, provocando catástrofes naturales que afectan la infraestructura y en el peor de los casos pérdidas de vidas humanas.

En el talud ubicado al oriente de la vía Pamplona-Bucaramanga, entre los barrios Juan XXIII y San Luis, históricamente este sector ha presentado procesos erosivos y de remoción en masa de diversas magnitudes los cuales han sido reactivados en los periodos de intensas lluvias. En el periodo del fenómeno de la niña durante los años 2010 y 2011 se presentaron grandes fenómenos de remoción en masa que afectaron una longitud de 700 metros. (Pamplona)

Actualmente se aprecian grietas de tensión, escarpes y lóbulos de deslizamientos rotacionales los cuales indican que la zona presenta una amenaza alta de remoción en masa. De acuerdo a lo expresado anteriormente surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué factor de seguridad presenta el talud en los diferentes escenarios?
2. ¿Qué características geotécnicas y mecánicas posee el talud?
3. ¿Cuál es el espesor de cada capa de suelo y a que profundidad se encuentra el nivel freático?

1.1 Justificación

Un talud es toda zona inclinada con respecto al plano horizontal, que adopta esa posición de forma temporal o permanente en una estructura de suelo o roca.

El gobierno nacional establece en la ley 1523 de 2012 los municipios deben realizar estudios de gestión de riesgos naturales, en el 2014 mediante el decreto 1807 para incorporar la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, este proyecto de investigación realiza un aporte esencial en la gestión de riesgo para el municipio de Pamplona

El municipio de Pamplona Departamento Norte de Santander, está constituido en mayor parte por laderas naturales, debido a su geografía esta tiene a expandirse hacia sus laderas que a lo largo del tiempo han sido alteradas por personas que en su momento su situación socioeconómica es baja, ya que piensan que estas, son el mejor lugar para construir viviendas o urbanizaciones, adicionalmente esta zona es de altas precipitaciones y alto nivel de amenaza sísmica. Estas personas se han visto involucrados en situaciones de riesgo como son deslizamientos y movimientos en masa. Por lo anterior, es necesario e importante realizar un estudio en donde los beneficiarios en gran medida serán los habitantes del barrio Juan XXIII y San Luis, el cual se determinara estado del talud y los posibles fenómenos de remoción en masa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

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.

1.2.2 Objetivos específicos

- Localizar la zona de estudio, mediante levantamientos topográficos, geodésicos, geo referenciándolos para su evaluación.
- Describir la información geológica presente en la región y zona de estudio, determinando en el terreno la presencia de posibles eventos geológicos que puedan generar inestabilidad.
- Establecer, los parámetros estructurales del suelo del talud, mediante exploraciones geotécnicas y en lo posible métodos no invasivos para definirlos.
- Calcular mediante métodos determinísticos, el comportamiento del talud.
- Aplicar las recomendaciones de acuerdo a la utilización del suelo en el talud y los factores de seguridad asociados al estudio teniendo en cuenta la NSR-10.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Estado del arte y antecedentes

A nivel internacional los estudios realizados fueron:

En la Universidad Nacional Autónoma de México, se realizó un estudio llamado Confiabilidad en Estabilidad de Taludes, el cual tenía como objetivos la descripción de los conceptos básicos del análisis de confiabilidad en estabilidad de taludes en suelos heterogéneos. Así mismo exponer y comparar los principales métodos utilizados en el análisis de confiabilidad y finalmente comparar entre si los resultados de los diferentes métodos de análisis, a través de un caso práctico de estabilidad de un talud bidimensional. (MONTROYA OROZCO, 2009, pág. 3)

La anterior investigación presenta como conclusión que la finalidad de los análisis de estabilidad de taludes es conocer la posibilidad de falla para que el diseño de cortes y rellenos que den lugar al talud o afecten la estabilidad de la ladera, se realicen de forma segura y económica. De igual manera se identificaron los métodos más efectivos para realizar la estabilización de los taludes.

A nivel nacional

En el año 2012 la Universidad Nacional de Medellín Colombia, presento un estudio titulado “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”, el consistió en evaluar la estabilidad para diferentes inclinaciones, de dos taludes de suelos de origen tropical, aplicando métodos probabilísticos, que estiman el factor de seguridad y poder encontrar una solución a problemas geotécnicos. (Escobar Toro & Valencia Gonzalez, 2012, pág. 51)

Los resultados encontrados en la investigación fue que la disminución de la resistencia en los suelos de los taludes esta dada por las pérdidas en la cohesión y las perdidas en el valor de succión al pasar del estado natural al estado saturado y que a pesar de tener factores de seguridad en algunos casos mayores de 1, no significa que sus probabilidades de ruptura sean menos de 1%. (Escobar Toro & Valencia Gonzalez, 2012, pág. 63)

A nivel local

(Ramos Gomez & Martinez Ruiz, 2014), realizó un estudio titulado “Caracterización, Análisis Geomecánico Y Propuesta De Zonificación De Los Suelos En El Sector Urbano Del Municipio De Pamplona, Norte De Santander”, el cual tenía como objetivo principal, la creación de una propuesta de zonificación preliminar, por medio de una caracterización y un análisis del suelo desde el punto de vista geomecánico del casco urbano del Municipio de Pamplona, Departamento de Norte de Santander.

Como resultados se obtuvo que los suelos encontrados son arenas mal graduadas (SP), arenas mal graduadas con limo (SP-SM), arenas mal graduadas con arcilla (SP-SC), arenas limosas (SM) y arenas arcillosas (SC). Los suelos clasificados como arenas mal graduadas y gravas poseen una resistencia muy buena, las arenas mal graduadas con limo y arcilla poseen una resistencia buena y las arenas limosas y arcillosas poseen resistencias bajas a regulares.

En el año 2016 en la universidad de Pamplona, se realizó un caso de estudio elaborado por (MONTES, y otros, 2016), sobre la caracterización geofísica y geotécnica usando refacción sísmica y tomografía de resistividad eléctrica, con el fin de conocer las

propiedades y características del suelo y la profundidad del nivel freático y estratificación de los suelos.

Se concluyó en esta investigación que mediante los métodos geofísicos es posible obtener detalles más rigurosos de la capa somera en cuanto a caracterización y con menos esfuerzo en comparación con los métodos invasivos.

2.2 Marco teórico

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos, hidrológicos, hidráulicos y foráneos de intervención humana, más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb E.E., 1989, pág. 385).

Con base en lo dicho anteriormente, tres de cada 10 colombianos están potencialmente amenazados por algún evento natural. Las cifras indican que el 36 por ciento del territorio está en situación de amenaza sísmica alta, el 28 por ciento en alto potencial de inundación y el 18 por ciento, en riesgo elevado de enfrentar movimientos en masa o deslizamientos según (SILVA HERRERA, 2015) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) ha reportado 3.181 muertos y 12,3 millones de afectados: las cifras de desastres naturales entre 2006 y 2014 donde las principales causas son las inundaciones y los deslizamientos; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. (DNP, 2015)

(Suarez Díaz, 1998) afirma que: “El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control”.

En la estabilidad de taludes el objetivo principal consiste en determinar la probabilidad de producirse un movimiento en masa del suelo en taludes naturales o construidos. En términos generales los análisis se hacen mediante la comparación de los esfuerzos cortantes (τ_{mov}) con la resistencia al corte (τ_f).

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mov}}$$

Las literaturas estudiadas establecen las condiciones del talud de acuerdo al valor que arroja el factor de seguridad, si el factor de seguridad; si el FS es mayor a 1 el talud es estable, si FS es igual 1 ocurre una falla en el talud y si FS es menor 1 entonces el talud puede presentar procesos de remoción en masa inminentes. La norma colombiana sismo resistente del 2010 NSR 10 es más estricta a la hora de determinar el factor de seguridad en taludes ya que esta exige un $FS_{BM} > 1.5$ a partir de este valor se diagnostica un talud en buen estado y se considera un talud propenso a deslizamiento cuando su factor de seguridad es menor a 1.5. (SISMORESISTENTE, 2010).

Tabla 1. Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos

CONDICIÓN	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta +Carga Viva Normal + Sismo De Diseño Seudo Estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No Se Permite
Taludes – Condición Estática Y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo - Estática Con Agua Subterránea Normal Y Coeficiente Sísmico De Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No Se Permite

Fuente: (SISMORESISTENTE, 2010)

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

2.2.1 Tipos de movimientos en masa. Se entiende por movimiento en masa cualquier deslizamiento de tierra que anteriormente fue afectado por procesos de infiltración, erosión y por la acción de fuerzas externas como las gravitacionales, dinámicas y las sísmicas. Los movimientos en masa se clasifican en cinco tipos mostrados a continuación. Para esta clasificación de los deslizamientos se utiliza el sistema propuesto por (Varnes 1978) y citado (Suarez Díaz, 1998, pág. 11).

Tabla 2. Clasificación de movimientos de falla de taludes

Tipo de movimiento			Tipo de material		
			Roca	Suelo ingenieril	
				Grueso	Fino
	Caídas		De roca	De detritos	De tierra
	Volcamiento(volteo)		De roca	de detritos	De tierra
Deslizamiento	Rotacional	Pocas unidades	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de tierra
	Traslacional	Muchas unidades	De bloques rocosos	De bloques de detritos	De bloques de tierra
Propagación lateral			De roca	De detritos	De tierra
			De roca	De detritos	De tierra
Flujos			De roca(superficial profundo)	De detritos	De tierra
(Superficial de suelo)					
Complejos: combinación de dos o más de los tipos principales de movimientos					

Nota fuente: (Gerscovich, 2012)

2.2.1.1 Caída

En los caídas una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de alta pendiente y a lo largo de una superficie de falla, esta masa desciende a través del aire por caída libre, a saltos o rodando. Frecuentemente este tipo de movimiento se caracteriza por presentarse en laderas con presencia de material rocoso y porque el material desprendido lleva velocidades muy altas.

(Suarez Díaz, 1998)

El movimiento de caído es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, estar precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o a la inclinación del bloque o masa de material. Comúnmente, los caídos ocurren sin evidencias previas de movimiento. Los factores que controlan el tipo preciso de movimiento, son la pendiente del talud, la morfología y la rugosidad de la superficie (incluyendo la cobertura vegetal). Los movimientos tienden a comportarse en caída libre cuando la pendiente superficial es mayor de 75° , en los taludes de ángulo menor, generalmente rebotan los materiales y en los taludes de menos de 45° , los materiales tienden a rodar (Suarez Díaz, 1998).

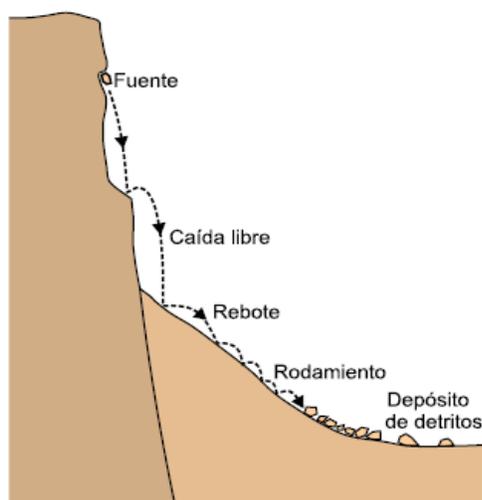


Ilustración 1. Esquema de caídas en roca
Fuente: (GEMMA, 2007)

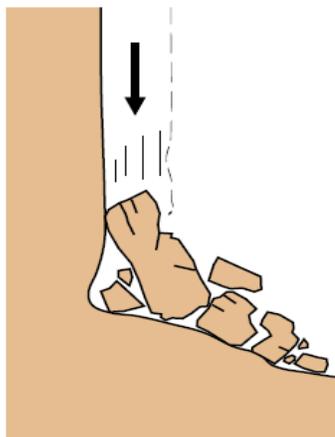


Ilustración 2 Colapso
Fuente: (GEMMA, 2007)

2.2.1.2 Volcamiento (volteo). Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas. Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos. (Suarez Díaz, 1998)

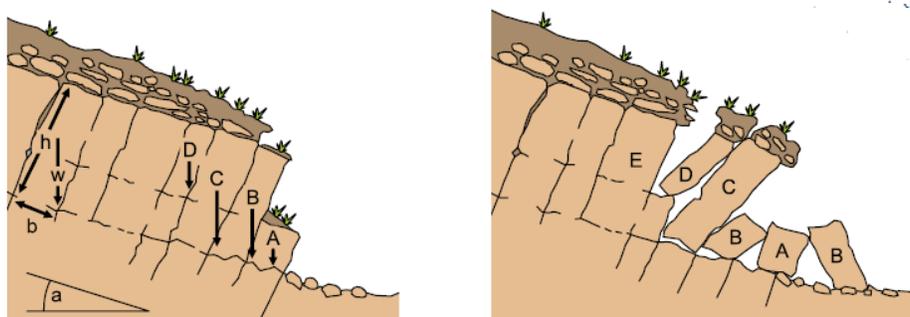


Ilustración 3 Esquema de vuelco en bloque
Fuente: (GEMMA, 2007)

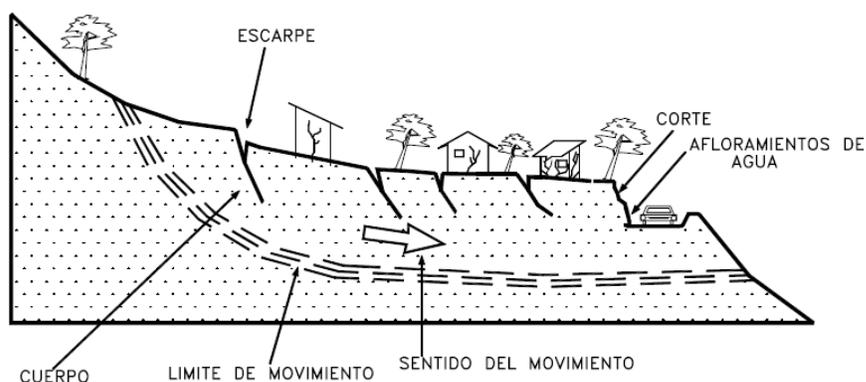
Modos de Volcamiento.

Según (Suarez Diaz, 2009, pág. 12), se pueden diferenciar tres tipos de volcamiento:

- Volcamiento a flexión. Columnas continuas se rompen y separan unas de otras en flexión a medida que se inclinan hacia adelante
- Volcamiento en V invertida. Consiste en la inclinación múltiple de una serie de bloques con centro de giro en la superficie inferior del sistema de volcamiento, el cual puede convertirse en una superficie de falla.
- Flexión en bloque. Flexión continua de columnas largas a través de desplazamientos acumulados a lo largo de las numerosas juntas.

2.2.1.3 Deslizamiento. Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc. Este tipo de movimiento se caracteriza en superficies de falla planares y circulares, donde se presentan suelos de espesor pequeño junto con rocas débiles y suelos homogéneos de gran espesor con rocas muy fracturadas respectivamente.

(Suarez Díaz, 1998)



*Ilustración 4 Deslizamientos en suelos blandos.
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)*

Deslizamiento rotacional

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. La superficie del movimiento ocurre internamente en el material, de forma aproximadamente circular. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes (Suarez Díaz, 1998).

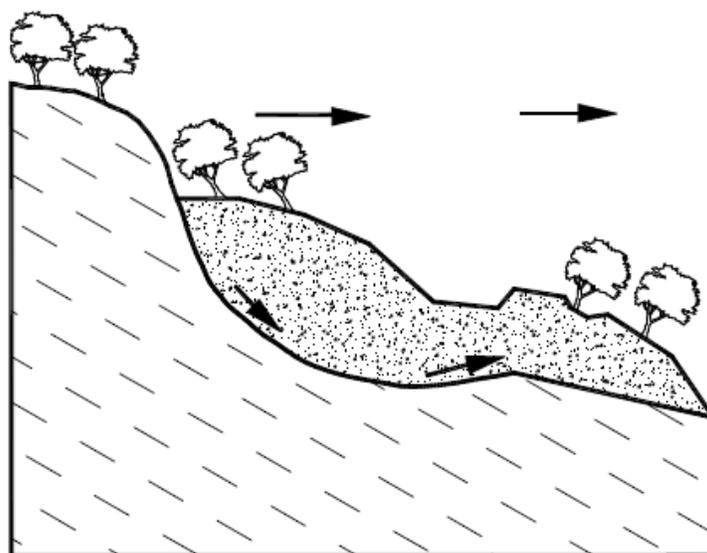


Ilustración 5 Deslizamiento rotacional típico
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

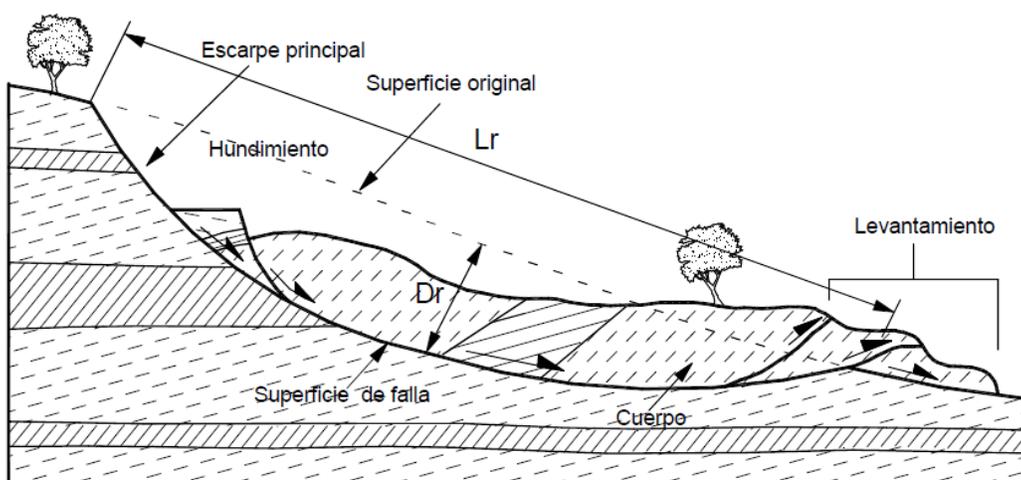


Ilustración 6 Deslizamiento de rotación en una ladera
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

Deslizamiento Traslacional.

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Las superficies de falla generalmente coinciden con las zonas de cambio a la resistencia al cortante por efecto de la meteorización. Por ejemplo, en los suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas con perfiles de meteorización profundos, son comunes los deslizamientos profundos sobre superficies de falla semi-planas. Los deslizamientos de traslación en suelos residuales, generalmente son rápidos y pueden terminar en flujos. (Suarez Díaz, 1998)

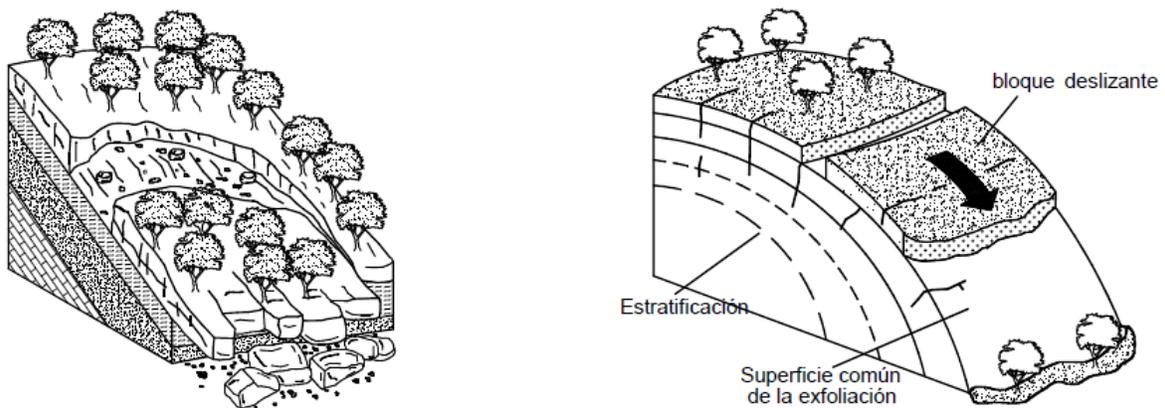


Ilustración 7 Ejemplo de deslizamiento de traslación

Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

Tabla 3. *Características de los grandes grupos de movimiento en masa*

Procesos	Características del movimiento, materiales y geometría
Reptación o flujo	<p>Varios planos de deslizamiento (Internos)</p> <p>Velocidades muy bajas (cm/año) a bajas y decrecientes con la profundidad</p> <p>Movimientos constantes, estacionales o intermitentes.</p> <p>Suelos, depósitos, roca alterada/fracturada.</p> <p>Geometría indefinida</p>
Deslizamiento	<p>Pocos planos de deslizamiento (externos).</p> <p>Velocidades medias (km/h) altas (m/s).</p> <p>Pequeños a grandes volúmenes de materiales.</p>
	<p>Geometría y materiales variables.</p> <p>Planares: suelos de espesor pequeño suelos y rocas con un plano débil.</p> <p>Circulares: suelos homogéneos de gran espesor y rocas muy fracturadas.</p> <p>En cuña: suelos y rocas con dos planos débiles.</p>
Caída	<p>Sin planos de deslizamiento.</p> <p>Movimientos del tipo de caída libre o en plano inclinado.</p> <p>Velocidades muy altas (varios m/s).</p> <p>Material rocoso.</p> <p>Volúmenes pequeños a medianos.</p> <p>Geometría variable: losas, placas, bloques, etc.</p> <p>Rodado de rocas.</p> <p>Volcamiento.</p>
	<p>Muchas superficies de deslizamiento (internas y externas de la masa en movimiento).</p>

Flujos/avalanchas	Movimiento semejante al de un líquido viscoso.
	Desarrollo a lo largo de cauces y cañadas.
	Velocidades medias a altas.
	Movilización de suelo, roca, detritos y agua.
	Grandes volúmenes de materiales.
	Grandes distancias de recorrido, aun en áreas planas

Fuente: (Gerscovich, 2012)

2.2.2 Ensayo de Refracción Sísmica. La sísmica de refracción constituye uno de los métodos de prospección más tradicionales de la geofísica. Su principio fundamental se basa en la medición de los tiempos de viaje de ondas sísmicas generadas por una fuente impulsiva en la superficie del subsuelo (o cercana a ella) y que son refractadas en las interfaces entre medios (refractores) con propiedades físicas (i.e. impedancias acústicas) diferentes. El análisis de dichos tiempos de viaje, bajo ciertas hipótesis definidas y siguiendo las leyes de la propagación de ondas, permite en principio obtener un perfil en profundidad de la distribución geométrica de los diferentes refractores, con las correspondientes velocidades a las cuales la onda sísmica se propaga a través de ellos. (Redpath, 1973)

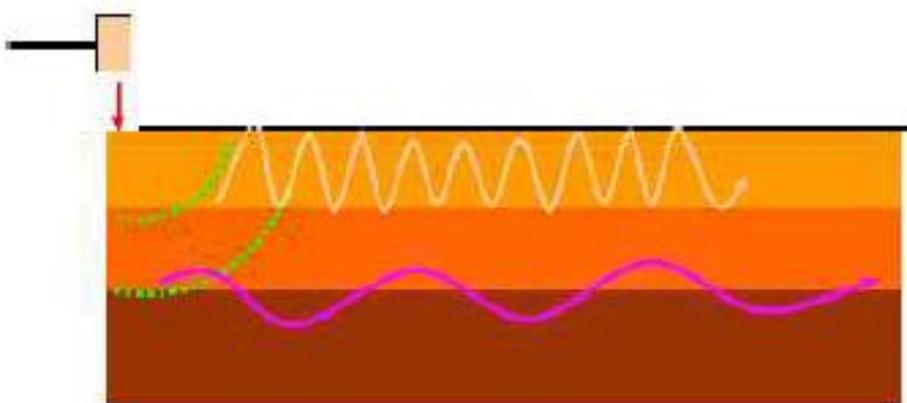


Ilustración 8. Esquema de ondas generadas por un martillo

La fuente a emplear puede ser un martillo, una fuente de caída de peso o cargas explosivas. El objetivo en todos los casos es generar un pulso de ondas compresionales que será detectado en la superficie, luego de viajar en profundidad y refractarse en los diferentes estratos del subsuelo, por un arreglo lineal de receptores (geófonos con una frecuencia de 14,0 Hertz para refracción o de 4.5 Hertz para ondas superficiales) ubicados a distancias conocidas que transmitirán la señal eléctrica generada por las vibraciones del subsuelo hasta un equipo de grabación (sismógrafo), donde ésta será digitalizada y guardada para su posterior análisis e interpretación. Los datos adquiridos serán entonces sismogramas de los cuales pueden interpretarse los tiempos de recorrido en función de la distancia entre los receptores. Esta información luego debe ser procesada e interpretada por medio de un software para poder obtener la de velocidades de onda en el subsuelo. (Wandurraga B. & Wandurraga J., 2015).

Es importante destacar, que una de las limitaciones del método sísmico de refracción es su incapacidad para modelar inversiones de velocidad en el subsuelo, puesto que la presencia de tal característica anula la posibilidad de que se produzca la refracción a ángulo crítico (paralela a la interfaz entre los dos medios) que es fundamental para que la onda pueda ser detectada de nuevo en la superficie (Redpath, 1973). Por lo tanto, una de las condiciones para la aplicación de la refracción sísmica es que exista un aumento monótono de la velocidad con la profundidad en el subsuelo. (Wandurraga B. & Wandurraga J., 2015).

Asimismo, la existencia de una capa delgada (o varias) también representa un problema en este método, puesto que la refracción correspondiente a la misma no alcanzará la superficie como una primera llegada, ya que será enmascarada por la refracción de la capa infrayacente, aunque más profunda, se ve compensada por su mayor velocidad. La existencia de este problema

no puede conocerse a priori: se necesitaría información complementaria a partir de otros métodos o técnicas (e.g.perforaciones en el área). (Wandurraga B. & Wandurraga J., 2015)

2.2.3 Fotogrametría. La fotogrametría es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Es la ciencia que extrae medidas de las fotografías. Según su etimología, la palabra fotogrametría significa la medida de lo escrito con luz. El resultado de aplicar esta técnica nos proporciona un mapa, un modelo 3D del terreno o de un objeto y ortofotos (imágenes georeferenciadas). (Díaz, 2016).

Los drones y la topografía

Bajo el principio de la fotogrametría, un dron estándar es capaz de cubrir en un día 100 hectáreas de terreno, mientras drones más avanzados llegan sin problemas a las 5000 hectáreas. El terreno escaneado se procesa en tierra para obtener un modelo 3D con resolución centimétrica y una precisión de entre 1 y 5cm según se requiera. Incluso si el terreno a topografiar es más pequeño, las ventajas de los drones son claras:

Seguridad: No es necesario que el operario lleve personalmente la estación a lugares arriesgados.

Mayor Cobertura: Algunos puntos son sencillamente inaccesibles para las personas. Un saliente en medio de un acantilado, o un claro rodeado de árboles no son problema para un dron.

Más información: Un levantamiento tradicional consigue determinar una serie de puntos que sirven para crear un plano preciso. El levantamiento topográfico de un dron captura a la vez millones de puntos y le añade además la información de color de las fotografías, con lo que consigue nubes de puntos de alta resolución que muestran la apariencia real del terreno.

Cuando se utilizan drones para un levantamiento, cambia la forma de trabajar. No es necesario definir una serie de puntos a medir, se modela de una vez toda el área de trabajo, y más tarde los puntos necesarios se miden cómodamente en el modelo. Esto elimina el riesgo de tener que volver a hacer trabajo de campo si hacen falta nuevas medidas.

Los topógrafos tradicionales también pueden complementar su trabajo con un modelo topográfico generado por un dron. Se puede generar este modelo al principio del proyecto, obteniendo una escena 3D realista que se integra sin problemas en herramientas de software estándar como ArcGIS o Revit. Una vez obtenido este primer modelo, el desarrollo de la obra puede medirse con estaciones tradicionales e incorporarse al primer escenario 3D. (JOSE , 2015).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Tipos de taludes. Según (Suarez Díaz, 1998) “se conoce como talud a una porción de suelo o de macizo rocoso que no es plana si no que cuenta con una pendiente y cambios de alturas significativos”. Además, (Gerscovich, 2012) afirma que “los taludes pueden ser naturales, también llamados laderas o artificiales que son intervenidos o contruidos por el hombre, como los cortes y terraplenes”.

Taludes contruidos.

Los taludes contruidos por la acción humana resultan por la elaboración de cortes en laderas y de la construcción de terraplenes. Los cortes deben ejecutarse con la altura e inclinación adecuada para garantizar la estabilidad de la obra, teniendo en cuenta las propiedades geo mecánicas de los materiales y las condiciones de flujo del talud. Como se conocen las propiedades geotécnicas del suelo compactado que se utiliza en estas obras, los cálculos de

estabilidad resultan con menos problemas comparados con los de los suelos naturales (Gerscovich, 2012).

Taludes naturales.

También son llamados laderas y la mayoría se encuentran constituidos por suelo residual, coluviones o macizos rocosos. Los suelos residuales permanecen en el sitio en el que fueron formados por meteorización de las rocas, en tanto que los coluviones son el resultado del transporte de los suelos y las rocas por acción de gravedad. Se pueden presentar diferentes tipos de taludes naturales de acuerdo a la cara que este presenta, puede ser plana o curvilínea y en estas se puede generar secciones cóncavas o secciones convexas (Gerscovich, 2012).

2.3.2 Factores que influyen en los movimientos masales. Los movimientos en masa ocurren cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Según (Poveda Orduña & Vargas Aldana, 2006), existen diversos factores que pueden acelerar la ocurrencia de un movimiento en masa tales como:

- Condiciones del terreno
- Procesos geomorfológicos
- Procesos físicos
- Procesos humanos

2.3.3 Procesos que facilitan el movimiento de masas. La gravedad proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo de las masas de suelo. No obstante el movimiento se favorece por la acción del agua, por la geometría de los depósitos y por la naturaleza de los materiales. De ahí que los procesos que influyen la inestabilidad sean:

Resecamiento del suelo.

Si el exceso de agua provoca el deslizamiento, también la falta de agua. Al secarse el suelo, se contrae y se producen disyunciones perpendiculares a la dirección en que los vasos capilares van perdiendo agua. No se deben pavimentar los taludes para facilitarles el agua lluvia.

Saturación del material con agua.

No se promueve el movimiento por lubricación. La tensión superficial de la humedad da cierta cohesión al suelo, pero la fuerte lluvia obliga a la salida del aire de los poros destruyendo la tensión superficial y reduciendo la cohesión de la masa. Simultáneamente, con la saturación del suelo, el agua de los poros entra bajo presión y trata de apartar los granos individuales y unidades de roca, disminuyendo la fricción interna del material.

Modificaciones por erosión.

Porque altera la geometría del depósito, venciendo la pendiente crítica del talud o provocando la pérdida de su pata. También la deposición o sobrecarga de materiales erosionados interviene en la estabilidad de una masa al modificar la pendiente o al generar esfuerzos adicionales en su interior, que alteren la estabilidad de los materiales.

El efecto de las lluvias torrenciales.

Una condición importante de la estabilidad es el fenómeno de la lluvia y su intensidad. La precipitación media anual a lo largo de la zona andina colombiana varía entre 1300 mm y 2500 mm, con localidades de 5000 mm, y en la época lluviosa pueden darse entre 300 mm y 500 mm y en la seca entre 50 mm y 100 mm al mes. En su mayor parte los deslizamientos se producen durante o inmediatamente después de lluvias de más de 50 mm o 100 mm/día, dependiendo de la zona. Las temporadas de lluvia, en nuestro clima colombiano son: febrero 22 a marzo 21 y septiembre 21 a diciembre 22. En los años más lluviosos, que coinciden con el fenómeno del

Niño, terminando los períodos de lluvias, muchas precipitaciones producen deslizamientos. La razón, ya los suelos se encuentran saturados y las lluvias de finales del período lluvioso, que tengan suficiente intensidad, sirven de detonantes. (Duque Escobar, 2016)

2.3.4 Causas y factores de la inestabilidad. Las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.

Causas intrínsecas.

Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, etc. En la evaluación de la amenaza estas causas pueden configurar los factores de la susceptibilidad del material al movimiento masal.

En las causas intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes factores inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural (como textura mineral, de diques que instruyen la roca).
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural, es decir, con la disposición de los materiales los cuales pueden estar orientados, favorable o desfavorablemente. - Cambios en el estado inicial de los esfuerzos.

Causas detonantes.

Las causas detonantes pueden ser naturales como la lluvia, el sismo (evaluado en términos de aceleración de la gravedad) y la erosión, o artificiales como cortes, llenos, deforestación, etc. En la evaluación de la amenaza estos se constituyen en factores detonantes. Estas se clasifican desde el primer orden hasta el tercer orden.

- Primer orden: sismos, huracanes, erupciones volcánicas y lluvias.
- Segundo orden: deslizamientos, maremotos, inundaciones, sequías.
- Tercer orden: aludes, avalanchas, flujos.

Causas contribuyentes

Las causas contribuyentes son similares a las causas detonantes o a las intrínsecas, pero su acción se limita simplemente a la anticipación del evento. Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo la remoción del soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones)

- Factores relacionados con la composición de la roca.
- Factores relacionados con la degradabilidad de la roca.
- Factores relacionados con la estructura geológica.
- Factores por ambiente sismotectónico o volcánico.
- Factores antrópicos (sobrecargas, pérdida de soporte, manejo y alteración del drenaje, esfuerzos dinámicos, deforestación, mal uso y manejo del suelo).
- Factores climáticos (variaciones de la temperatura, máximas y mínimas, cantidad de lluvia, intensidad y distribución de las precipitaciones (Duque Escobar, 2016)

2.4 Marco legal

Constitución Política de Colombia de 1991

Título I, Artículo 2 se establecen como fines del Estado servir a la comunidad, promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la Constitución; facilitar la participación de todos en las decisiones que los afectan en la vida económica, política, administrativa y cultural de la Nación.

Título I, Artículo 79 referente al derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano en el Estado proteja la diversidad e integridad del medio ambiente y conservando las áreas de especial importancia ecológica.

Título XI, Artículo 311 hace referencia a la organización territorial, específicamente en el Régimen Municipal ya que el municipio como entidad fundamental de la división político-administrativa del Estado le corresponde prestar los servicios públicos que determine la ley, construir las obras que demande el progreso local, ordenar el desarrollo del territorio, promover la participación comunitaria, el mejoramiento social y cultural de sus habitantes

Título XII, Artículo 339 inciso 2º dispone que las entidades territoriales elaborarán y adoptarán de manera concertada entre ellas y el Gobierno Nacional, planes de desarrollo con el objeto de asegurar el uso eficiente de sus recursos y el desempeño adecuado de las funciones que les hayan sido asignadas por la Constitución y la Ley.

Ley 99 de 1993

Artículo 63 hace referencia a los Principios Normativos Generales en los cuales se legitime el derecho a asegurar el interés colectivo de un medio ambiente sano y adecuadamente protegido, y garantizar el manejo armónico y la integridad del patrimonio natural regional y nacional. Los

municipios, ejercerán sus funciones constitucionales y legales relacionadas con el medio ambiente físico y biótico del patrimonio natural de la Nación con el fin de manejarlos unificada, racional y coherentemente.

Titulo 1, Artículo 1, numeral 9 hace referencia a la importancia de la prevención de desastres por ser de interés colectivo y porque deben tomarse medidas para mitigar sus efectos nocivos.

Artículo 65 enuncia dentro de las funciones de los municipios la promoción, cofinanciación y ejecución de programas y políticas relacionadas con el control y la vigilancia del medio ambiente dentro de los límites establecidos por la ley, en el que se dicten reglamentos y disposiciones sobre normas de ordenamiento territorial del municipio y las regulaciones sobre usos del suelo para poder ejecutar obras y proyectos de recuperación de tierras, irrigación, drenaje, descontaminación de corrientes o depósitos de agua, defensa contra las inundaciones y regulación de cauces, entre otros.

Ley 1523 2012, en marca 3 componentes principales, el conocimiento de riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. los municipios categoría 5 y 6 deben incorporar la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial situación que fue formalizada mediante el decreto 1807 del 19 de septiembre del 2014 y con la resolución 1907 del 2013.

A partir de la expedición de ésta ley de gestión del riesgo, todos los municipios del país deben realizar estudios de riesgos naturales como parte esencial de las políticas encaminadas a la planificación del desarrollo seguro y a la gestión ambiental territorial sostenible. En el municipio de Pamplona se realizó la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial en el año 2011; lo que indica que se debe efectuar una pronta e inmediata actualización.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, creado por decreto 926 del 19 de marzo del 2010, el cual en su título H manifiesta que el ingeniero geotecnista junto con la asesoría de un geólogo o ingeniero geólogo, debe realizar un análisis de estabilidad de los taludes que representen una amenaza para la edificación y diseñar las obras y medidas necesarias para lograr un nivel de estabilidad aceptable en términos de los factores de seguridad.

2.5 Marco contextual

2.5.1 Sismicidad. El departamento de Norte de Santander se localiza en un área de alta sismicidad en la que se encuentra Pamplona, municipio que ha sufrido tres registros encontrados desde el año 1920 según el Servicio Geológico Colombiano.

La sismicidad en esta zona y la zona oriental de Norte de Santander, tiene tres fuentes sismogénicas cercanas, como son las fallas geológicas de Boconó y Uribante Caparo (del lado venezolano), además de la falla frontal de la cordillera oriental (del lado colombiano), cuya presencia es determinante en la sismicidad a nivel municipal.

Actualmente se ha reportado actividades sísmicas para el primer trimestre del año por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) en esta región del país, entre los más destacados se tienen:

- 24 de abril de 2011, con epicentro en Pamplona, con profundidad de 3.1 Km, y una magnitud en escala de Richter de 0.8.
- 5 de noviembre de 2012, con epicentro en El Tarra, con profundidad de 130,7 Km, y una magnitud en escala de Richter de 4,3.
- 16 de febrero de 2015, con epicentro en Pamplona, con profundidad de 0,1, y una magnitud en escala de Richter de 1,8.

- 26 de febrero de 2015, con epicentro en Puerto Santander con profundidad de 0 Km, y una magnitud en escala de Richter de 4,1.
- 16 de marzo de 2015, con epicentro en Villa del Rosario, con profundidad de 0 Km, y una magnitud en escala de Richter de 4,1.
- 30 de mayo de 2016, con epicentro en Pamplona, con profundidad de 2, y con magnitud en escala de Richter de 1,5.
- 14 de abril de 2017, con epicentro en Hacari con profundidad de 186 Km y una magnitud en escala de Richter de 4,8.

Como lo indica la norma NSR-10 en el título A. de Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente, tiene como objetivo reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos, durante la presencia de un evento sísmico.

La ilustración 9 y 10, muestra las aceleraciones pico efectivas (A_a) y (A_v) de las diferentes regiones de Colombia, donde se puede indicar que los valores de carga sísmica para el municipio de Pamplona por pertenecer a la región 5 son de 0.5.

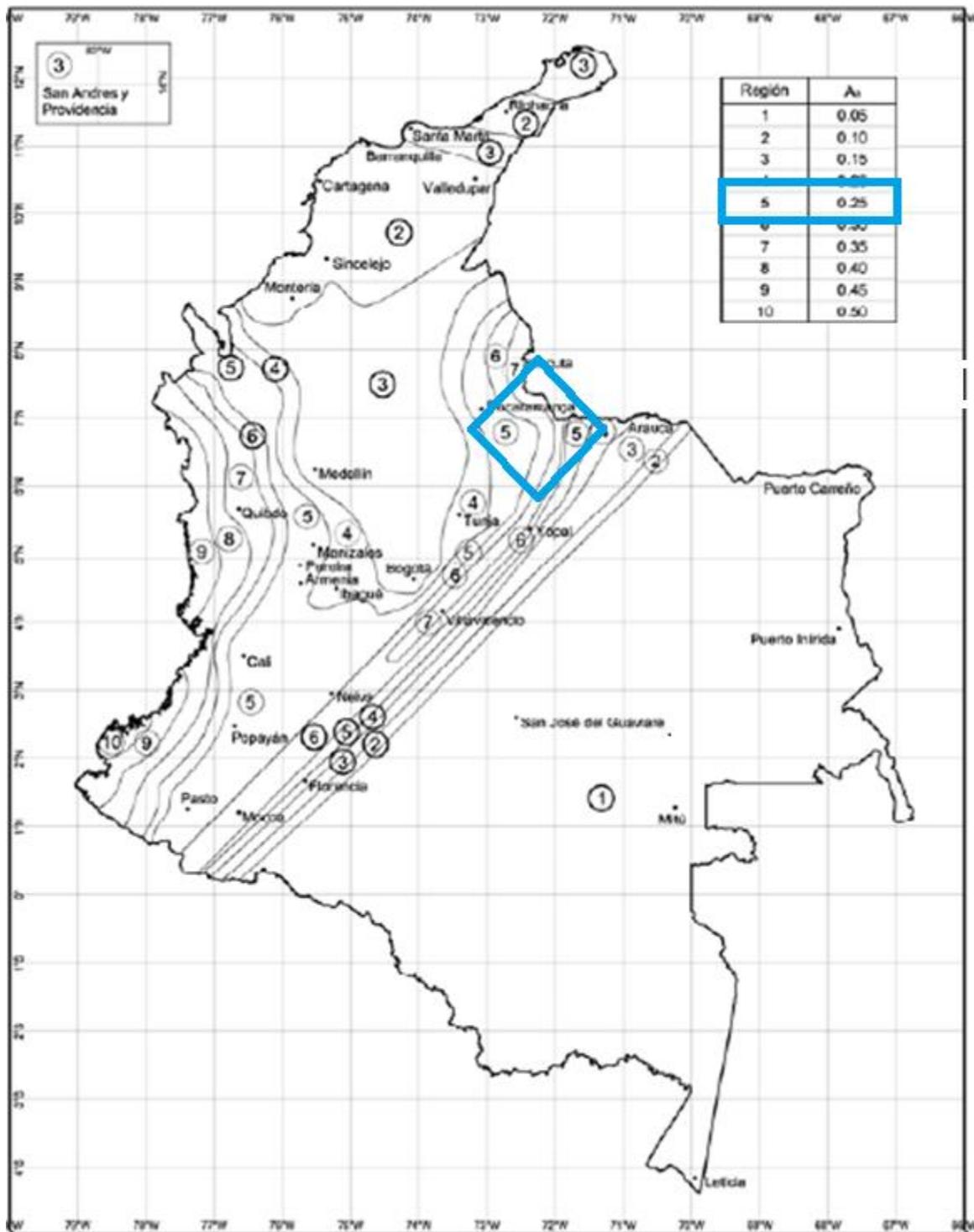


Ilustración 9 Mapa de valores Aa
 Fuente: (SISMORESISTENTE, 2010)

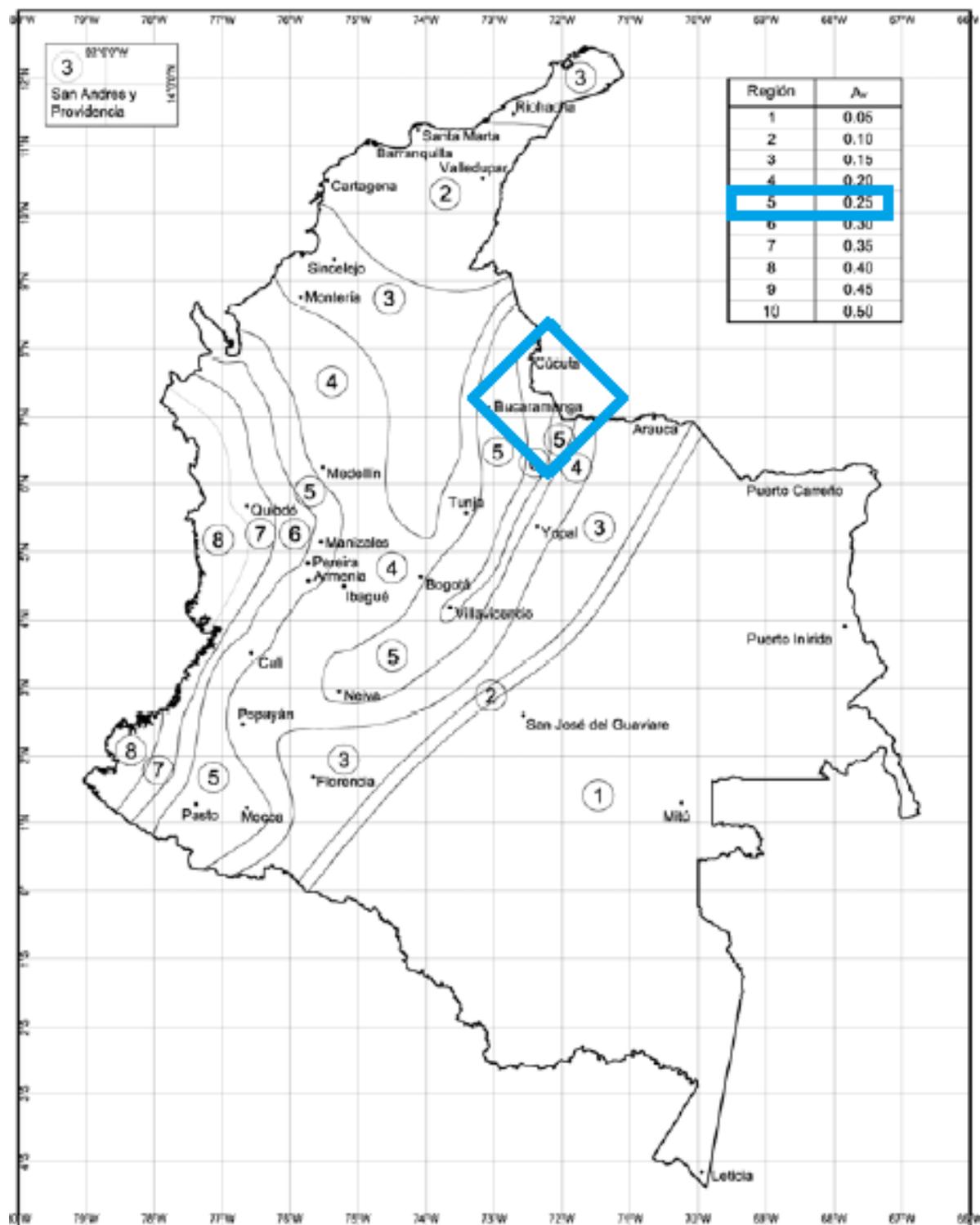


Ilustración 10 Mapa de valores Av

Fuente: (SISMORESISTENTE, 2010)

2.5.2 Climatología. La climatología es la ciencia que estudia las particularidades climáticas a largo plazo y que se instauran a partir de elementos como la temperatura, la humedad y la presión del aire, cuyas combinaciones definen tanto el tiempo meteorológico como el clima de una zona determinada.

Estos aspectos son esenciales en este tipo de estudio, y su conocimiento y análisis estadístico, permiten establecer factores que perturban el trabajo programado a un determinado tiempo (TORRES P, 2012).

2.5.2.1 Aspectos climatológicos de la zona de estudio. El relieve del departamento de norte de Santander instaura una extensa diversidad de climas y el régimen de lluvias varía de norte a sur. Por los aspectos del relieve del sector de estudio, se encuentra delimitado entre los pisos térmicos, templados y fríos, con alturas sobre el nivel del mar alrededor de 2200 m. Según (TORRES P, 2012) durante la evaluación de los parámetros climatológicos y pluviométricos de la zona, se analizó la información suministrada por el estudio titulado “Diseño obras de estabilización urbanización Valles del Espíritu Santo” para el periodo 1990 a 2010 de la estación (AM) Iser Pamplona.

Tabla 4. *Información estaciones de la zona de estudio*

Estación	Código	Municipio	Tipo	Coordenadas geográficas	Elevación (msnm)	Años de registro
Iser Pamplona	1601502	Pamplona	AM	7.22 N-72.38 O	2340	1990 - 2010

Fuente: (TORRES P, 2012)

Tabla 5. *Resumen Aspectos Climáticos*

Parámetro	Und	Valor (Mensual)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Precipitación</i>	Mm	28,21	29,21	49,81	74,51	82,66	77,81	74,91	93,38	84,25	115,99	71,74	31,98
<i>Temperatura</i>	°C	18,0	18,4	19,1	19,7	20,0	19,8	19,5	19,7	19,9	19,5	19,1	18,5
<i>Humedad</i>	%	78	79	78	79	76	74	73	73	74	77	80	78
<i>Relativa</i>													
<i>Evaporación</i>	(mm)	94,9	86,2	94,3	83,5	100,8	93,1	102,6	105,8	106,2	93,9	88,6	90,2
<i>Velocidad del</i>	(m/seg)	1,41	1,31	1,50	1,44	1,59	1,71	1,74	1,63	1,46	1,34	1,29	1,39
<i>Viento</i>													

Fuente: (TORRES P, 2012)

2.5.2.2 Precipitación en la zona. En la tabla 5, se puede observar que la temporada de lluvia en la zona de estudio se presenta en el primero semestre los meses de abril a junio y de agosto a octubre en el segundo semestre, considerándose el mes de octubre el mes de mayor precipitación con 115,99 mm. La temporada de verano se manifestó entre los meses de diciembre a febrero, otorgando el mes de enero como el más seco con 28,21 mm.

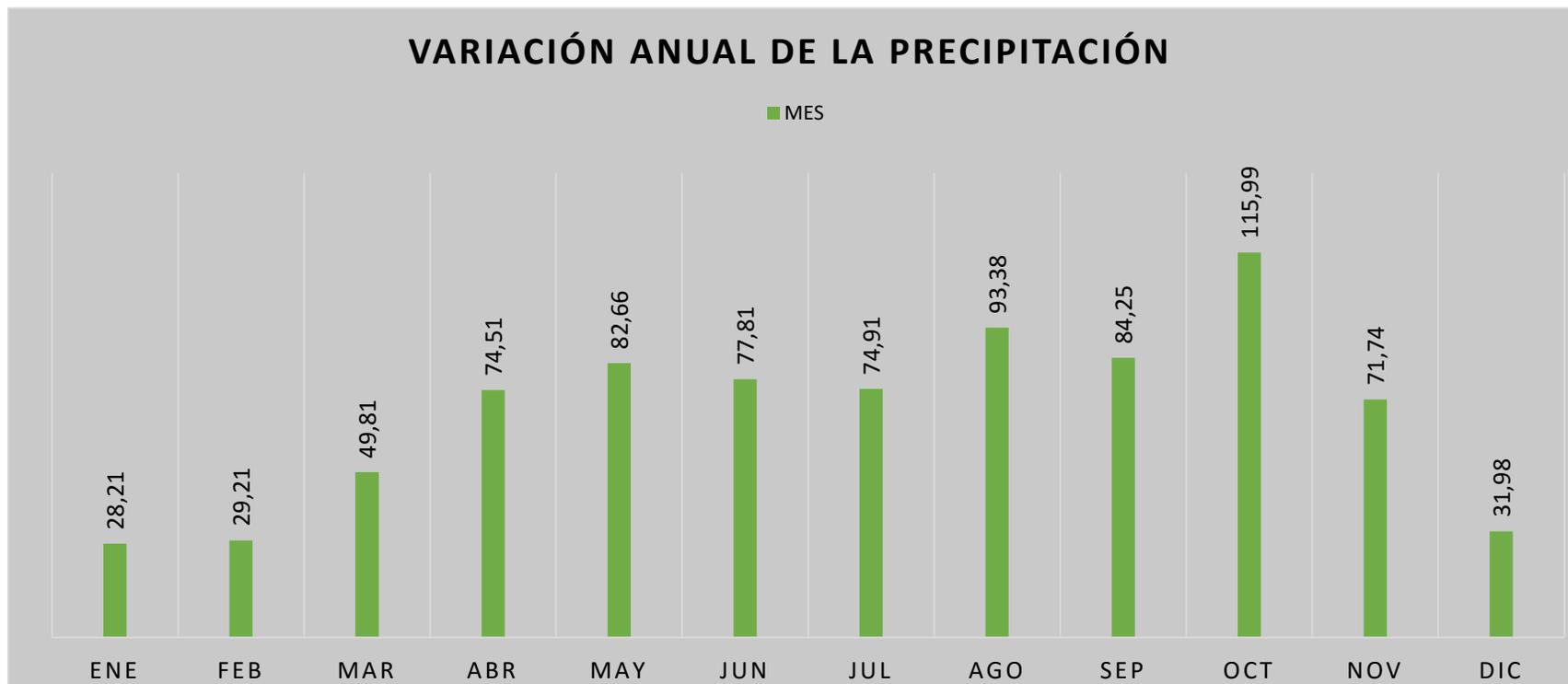


Gráfico 1 Variación anual de precipitación
Fuente: (TORRES P, 2012)

2.5.3 Temperatura. En el sitio donde se encuentra ubicada la estación del Iser, la temperatura varía de 18 a 20 °C con una diferencia puntual de valores promedios mínimo y máximo de 2 °C.

Analizando el gráfico 2 se evidencia que enero es el mes con menor registro y mayo con el máximo promedio. La valoración a nivel multianual arroja un promedio de 19,26 °C.

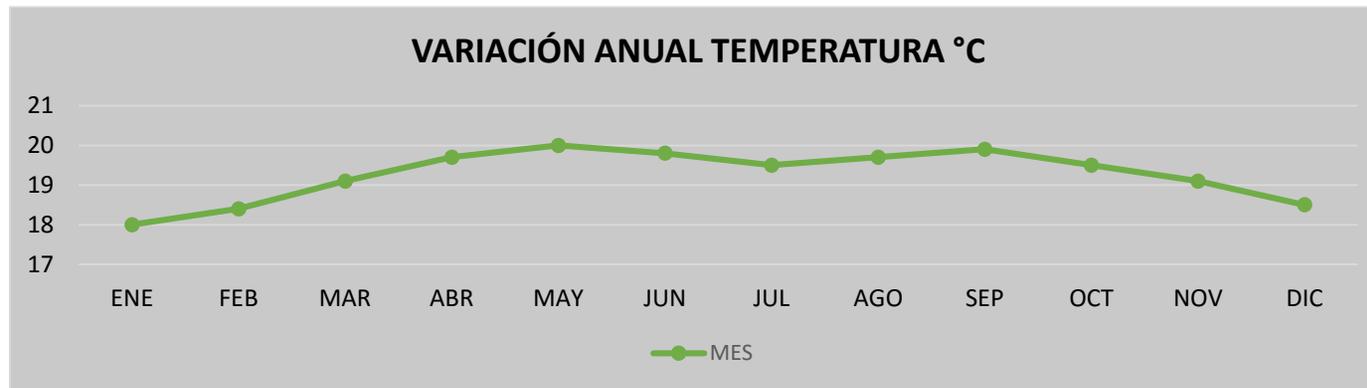


Gráfico 2 Variación anual Temperatura °C
Fuente: (TORRES P, 2012)

2.5.3.1 Humedad relativa. El rango promediado registrado en la estación Iser Pamplona, varía entre un 73% y 80% con un promedio de 76,5, considerando la zona como húmeda por presentar valores superiores al 70% a lo largo del año.

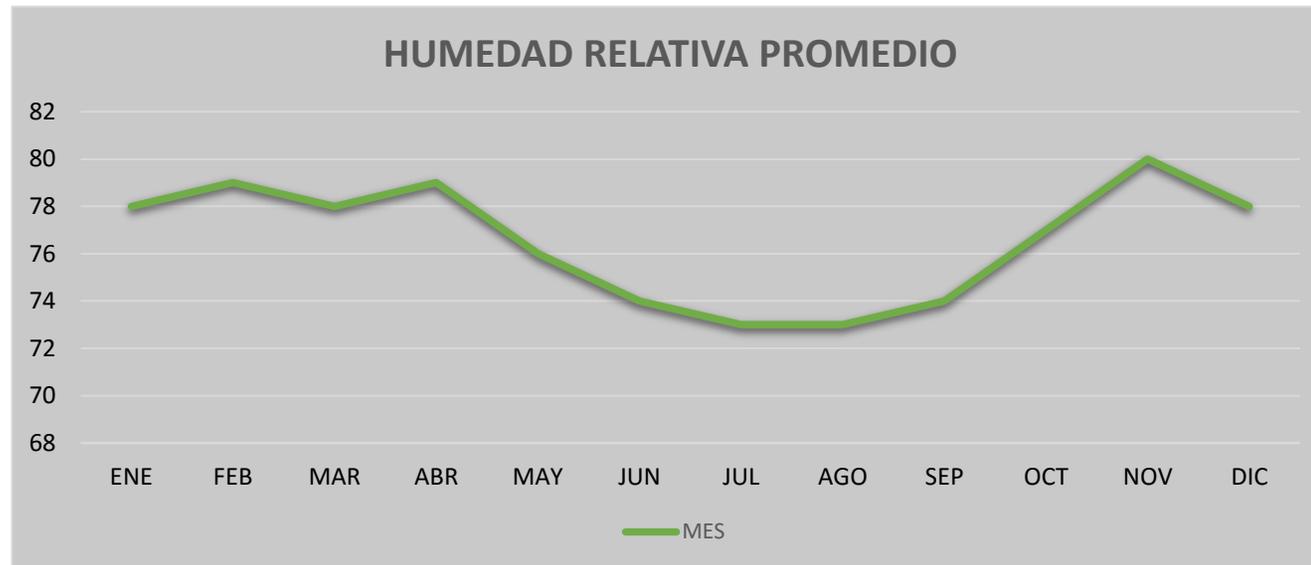


Gráfico 3. Humedad relativa Promedio

Fuente: (TORRES P, 2012)

2.5.3.2 Evaporación. De la estación del Iser Pamplona, se obtiene un acumulado promedio de 1140,08 mm de evaporación, dato que comparado con la precipitación que es de 814,46 mm, se deduce que en el sector la precipitación representa un 71% de la evaporación.

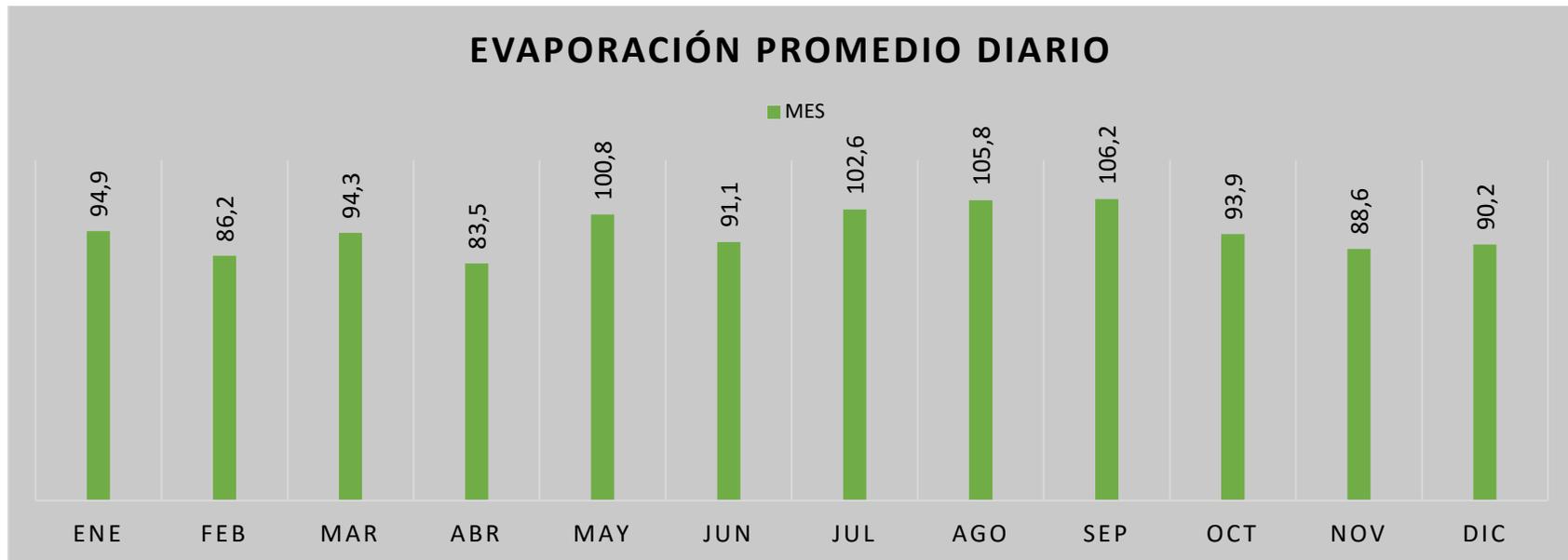


Gráfico 4 Evaporación Promedio Diario
Fuente: (TORRES P, 2012)

2.5.3.3 Velocidad del viento. El mes con el valor más alto de la velocidad del viento, corresponde a julio con 1,74 m/s y el mínimo al mes de noviembre con un valor de 1,29 m/s.

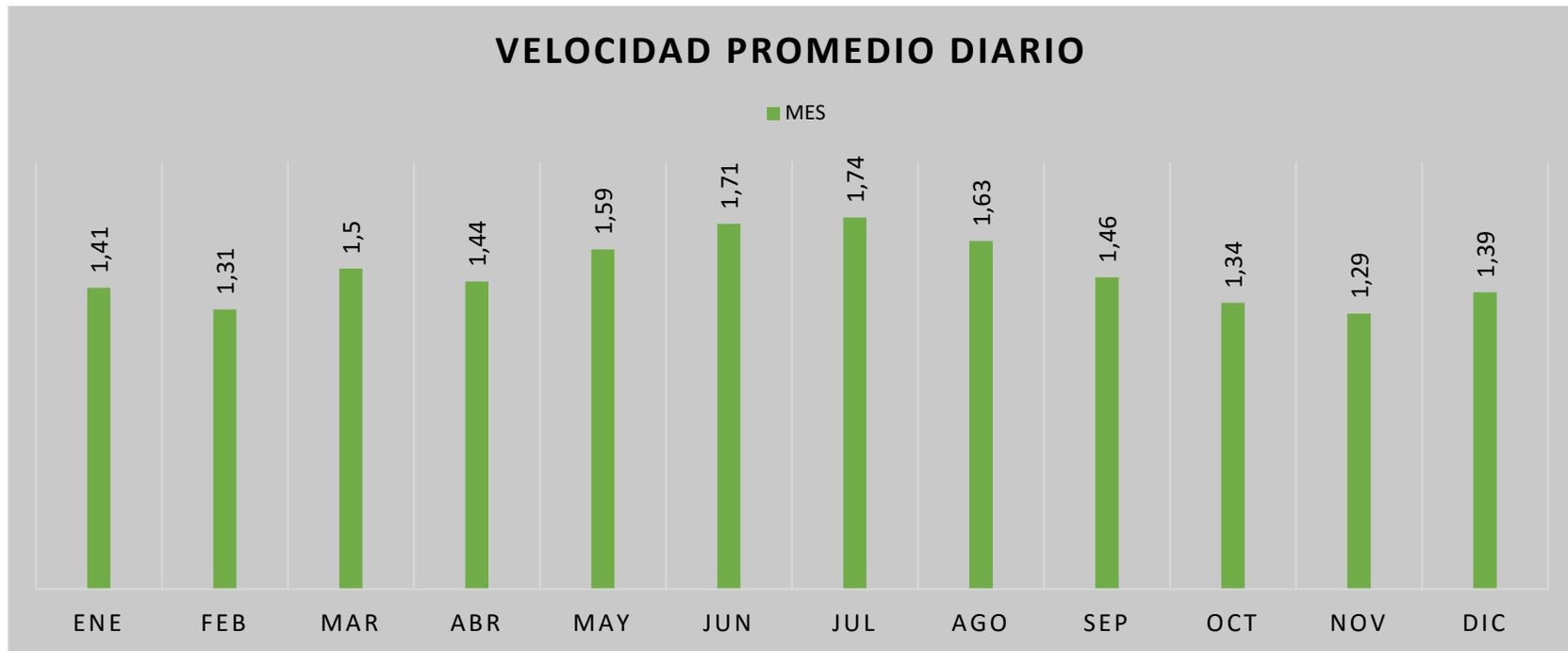


Gráfico 5 Velocidad Promedio Diario
Fuente: (TORRES P, 2012)

3. METODOLOGÍA

La metodología que uso para este proyecto de investigación fue la siguiente.

3.1 Recopilación bibliográfica

Actualmente existen muchas fuentes para adquirir información acerca de los fenómenos de remoción en masa y que lineamientos se deben seguir para elaborar esta clase de estudios. Además se tuvo que investigar acerca de los fundamentos teóricos y prácticos sobre el tema de estabilización de taludes, asociándose con los métodos determinísticos esto con la finalidad de adquirir criterios básicos relacionados con la temática de fenómenos de remoción en masa. Para el análisis de la información geológica-geotécnica se contaba con una formación previa que nos permitió obtener criterios acerca de la temática.

3.2 Reconocimiento de la zona y delimitación del área de estudio.

Con la finalidad de visualizar el estado de la zona de estudio se realizaron varias visitas a la zona de estudio para así, seleccionar el área de estudio y observar las condiciones de la ladera para cumplir con uno de los objetivos de este proyecto de investigación. Según (PBOT, 2002) el área de estudio está localizada en zonas de alta pendiente y se encuentra ubicada entre los barrios San Luis y Juan XXIII y esta zona se encuentra en alto riesgo por fenómenos de remoción en masa, el estudio se concentró en la parte alta de la ladera que no ha sido poblada pero si intervenida por las personas que la habitan.



Ilustración 11 Zona de estudio

Fuente: Google Earth

3.3 Descripción geológica de la zona

Esta fase inicio con la interpretación de a partir de la ortofoto en composición natural y el servicio de imágenes basemap disponible en el software ArcGIS, también se utilizó el MDT generado a partir de fotogrametría con resolución de espacial de 10 cm para ajustar los contornos de las unidades y verificar los lineamientos fotogeológicos, seguido se realizó el trabajo de campo el cual fue realizado durante varias visitas al terreno con una duración total de xx días en los meses de abril y mayo, se realizó un levantamiento litológico y geomorfológico. En los afloramientos encontrados en la zona de estudio y apoyados de los apiques realizados se delimitaron las unidades de suelo.

3.4 Estudios topográficos

Los levantamientos topográficos se realizaron a mediados del mes de abril del año 2017, en un área estimada de 212598 metros cuadrados, comprendiendo la franja correspondiente a los barrios Juan XXIII y San Luis, sobre la cual se sitúa la zona de estudio. Cabe resaltar que ésta medición fue realizada a través del instrumento DRONE de referencia DJI Phantom 3 Profesional, elevándose a una altura de 100 metros, y la implantación de un software especial para fotogrametría Pix4D con licencia por 15 días gratuita, con el fin de obtener capturas fotográficas de la zona de estudio. Se obtuvo como resultado una ortofotografía de alta resolución geo referenciada, la cual permitió obtener el modelo 3D del área de estudio, hacer mediciones y hacer cálculos volumétricos. Para las curvas de nivel, se dio una separación de 1 metro y fue dada por el programa AutoCAD. La metodología usada para elaborar la topografía del área de estudio fue la siguiente.

- Toma de fotografías aéreas desde una altura de 100 metros con un DRONE de referencia DJI Phantom 3 Profesional.



Ilustración 12 Fotografías aéreas
Fuente: Autores

- Obtención del modelo digital de terreno y superficie luego de los procesos de alinear fotos y densidad de puntos en software PIX4D.



Ilustración 13 Modelo digital del terreno 2D

Fuente: Autores

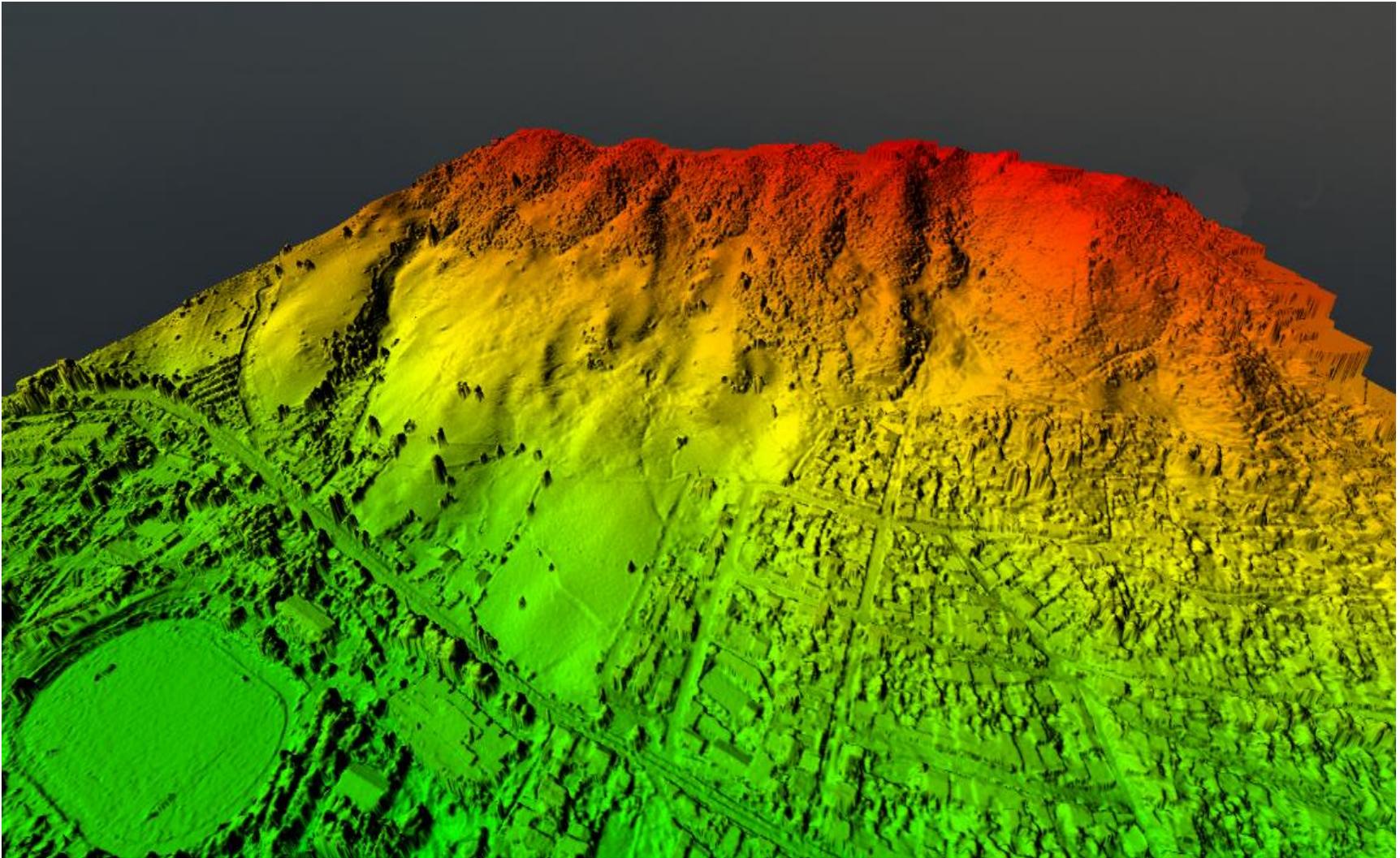


Ilustración 14 Modelo digital del Terreno 3D
Fuente: Autores

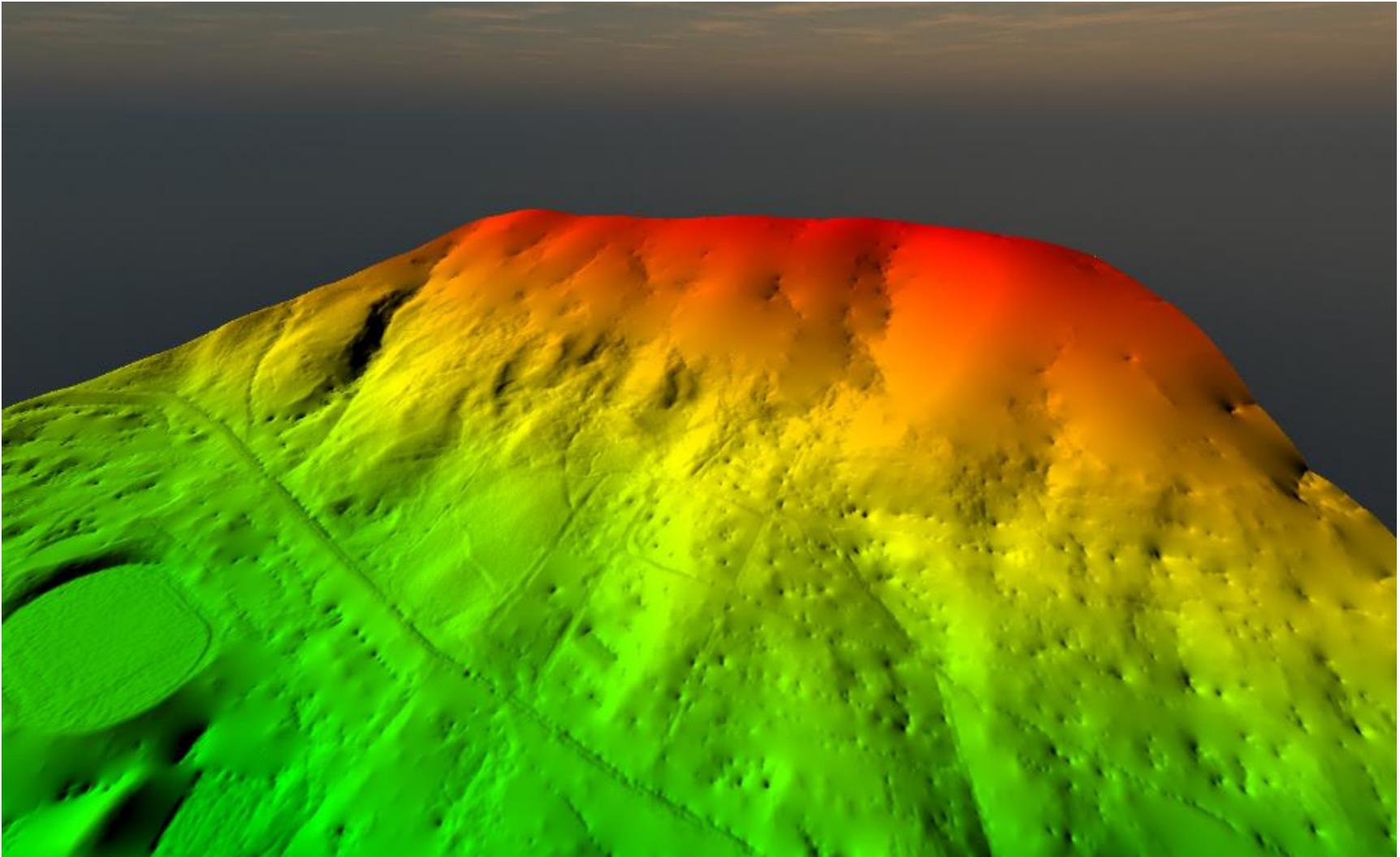


Ilustración 15 Modelo digital de superficie 3D

Fuente: Autores

- Elaboración de curvas de nivel en el software AUTOCAD Civil 3D 2017 con 1 metro de separación.

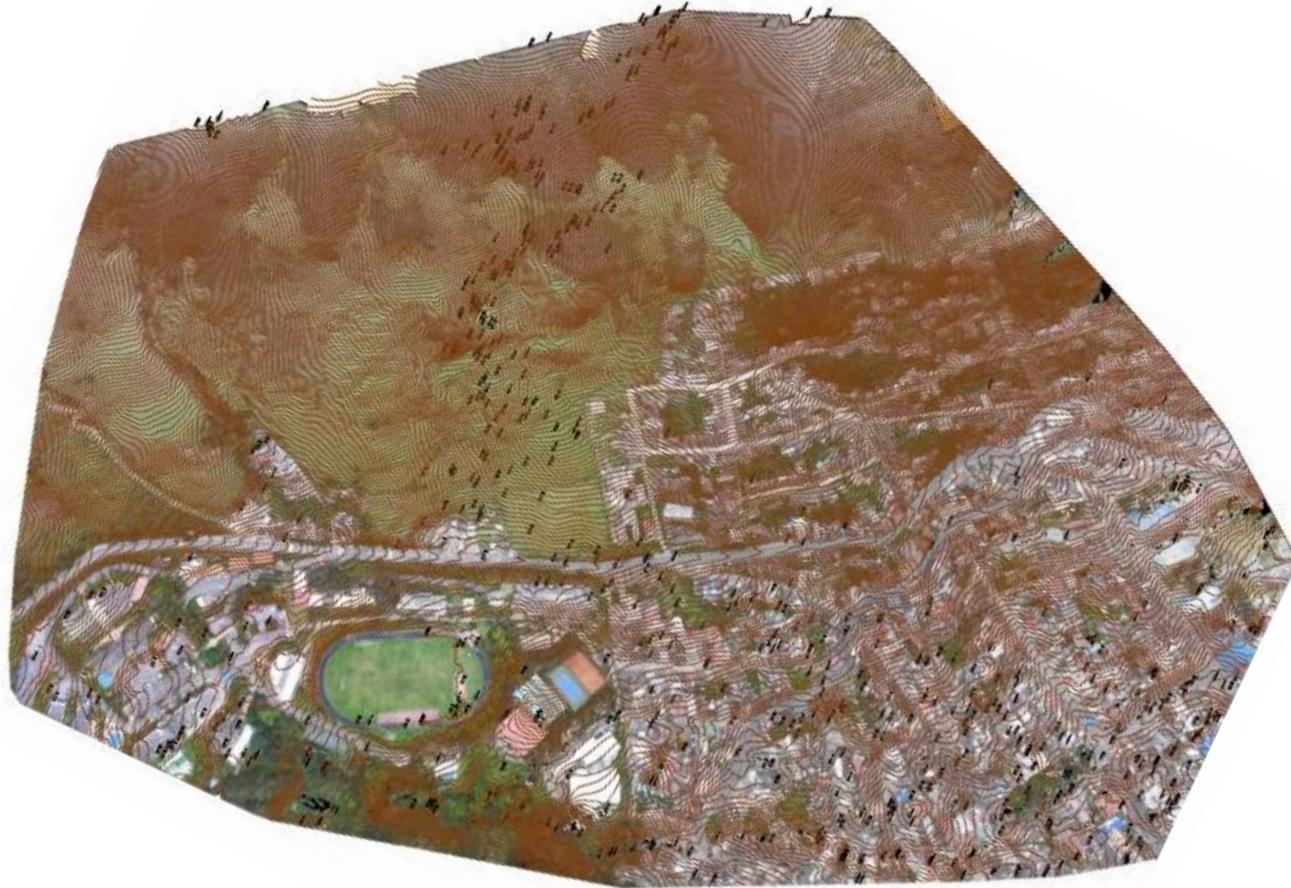


Ilustración 16 Curvas de nivel

Fuente: Autores

3.5 Exploración geotécnica

Se inició con la adquisición de datos sísmicos empleando el método de sísmica de refracción. Una vez realizada la sísmica se llevaron a cabo los procesos de excavación, con dimensiones de 1 x 1 x 2,5 metros, y luego se recolectaron muestras de aproximadamente 30 kg de suelo y muestras inalteradas, además fueron utilizados para la creación de los perfiles estratigráficos de cada apique. La exploración geotécnica fue una fase muy importante en la culminación de este proyecto ya que a partir de los ensayos de laboratorio se definieron los parámetros mecánicos del suelo y con la aplicación de métodos no invasivos se identificaron los espesores de cada estrato de suelo hasta altas profundidades, contando con estos parámetros definidos se procedió a elaborar el modelo geológico-geotécnico de las secciones estudiadas.

3.5.1 Aplicación de métodos geofísicos. El talud ubicado entre los barrios Juan XXIII y San Luis del municipio de Pamplona Norte de Santander, fue el área de estudio para aplicación del método de refracción sísmica, como complemento a los trabajos de exploración geotécnica realizados. Esto se realizó con el propósito de obtener más información de las condiciones generales del suelo en términos de profundidad.

En total se realizaron dos líneas sísmicas; la primera ubicada en la parte derecha de la ladera y la segunda en la parte izquierda. El ensayo consistió en la aplicación de una línea sísmica de 120 metros de longitud y a ella se adhirieron 24 sensores (geófonos), separados 5 metros uno del otro. La fuente utilizada fue un mazo de 16 libras y la toma de datos se realizó utilizando un sismógrafo Geode. El procesamiento de datos se realizó con la ayuda del módulo Pickwin (Pick Firts Breacks or Dispersión Curves), donde se observaron los datos iniciales y se crearon los picados y el módulo de plotrefra (Refraction Analysis).

3.5.1.1 Obtención de datos en campo. En este método la onda inducida se genera artificialmente mediante el impacto que se produce en la superficie por el golpe de un mazo sobre una platina metálica, o con la detonación de explosivos.

El equipo de medición para la refracción sísmica lo componen los siguientes elementos: (ROSALES CLIMENT, 2001).

- Fuente generadora de onda sísmica: Existen diferentes tipos de fuente generadora de ondas sísmicas mencionadas anteriormente, la selección de esta depende de la profundidad de investigación. Lo que se busca con estos tipos de fuente es generar una onda producida por un único evento de duración instantánea evitando así la superposición de ondas, ya que de esta manera se puede controlar el tiempo de inicio y la localización de cada una de las perturbaciones generadas, las ondas sísmicas producidas serán ondas elásticas y superficiales.
- Receptores de vibraciones: la recepción de estas vibraciones se lleva a cabo a través de geófonos, los cuales son transductores que convierten la energía mecánica manifestada por medio de pequeñas vibraciones del terreno en energía eléctrica, la cual es transmitida por un cable hasta el geode. Estos geófonos se ubican en diferentes puntos a lo largo del tendido a distancias conocidas. En la actualidad se utilizan 12, 24 o 48 geófonos con frecuencias que oscilan entre 8 y 40 Hz.
- Adquisición y almacenamiento: la adquisición y almacenamiento de los datos se compone de las siguientes partes:

- ✓ Unidad de apilamiento y digitalización: corresponde a la unidad donde se adquieren, digitalizan y procesan los datos. Estas unidades reciben las señales captadas por cada uno de los geófonos, a cada geófono le corresponde un canal, estas señales se digitalizarán de acuerdo a los parámetros determinados por el usuario.
- ✓ Cable sísmico: su función es llevar la señal desde los geófonos hasta la unidad de adquisición.
- ✓ Trigger: cable que conecta la fuente con el equipo de adquisición de tal manera que en el instante en cual se genera la perturbación este activa el sistema de registro.

Según la longitud de la línea que se vaya a estudiar se espera alcanzar profundidades entre una tercera y cuarta parte de la longitud total de la línea. Luego de realizar el tendido sísmico en campo y obtener la información de las primeras llegadas de las ondas, con esta información obtenida se construyen las curvas de tiempo-distancia (GUTIERREZ PICO & BIUTRAGO HUERTAS, 2016).

3.5.1.2 Resultados de la exploración indirecta. El análisis se realizó basándose en los resultados obtenidos por el software y la clasificación de los materiales se hizo de acuerdo a los rangos de velocidades obtenidos. La clasificación de los materiales se obtuvo de la tabla 6.

Tabla 6 *Velocidades de Onda P (Vp)*.

MATERIALES 	VELOCIDADES
SUELOS Y ROCAS NATURALES	m/s
Material superficial meteorizado	240-610
Grava o arena seca	460-915
Arena (saturada)	1220-1830
Arcilla (saturada)	915-2750
Agua	1430-1665
Agua de mar	1460-1525
Arenisca	1830-3960
Esquisto	2750-4270
Tiza	1830-3960
Caliza	2134-6100
Granito	4575-5800
Roca metamórfica	3050-7000

Fuente: (GUTIERREZ PICO & BIUTRAGO HUERTAS, 2016)

3.5.1.2.1 Primera Línea de refracción sísmica. La primera línea para aplicar el ensayo sísmica de refracción tuvo lugar en la zona de la ladera que colinda con el barrio Juan XXIII, esta zona se caracteriza por contar con la presencia del nivel freático en la superficie debido a los afloramientos de agua ubicados en la parte media-alta de la ladera.

A partir de los resultados obtenidos en este ensayo y calculado los espesores de cada capa de suelo según los rangos de velocidades obtenidos y la zonificación de los diferentes tipos de suelos encontrados se realizaron los modelos conceptuales de cada perfil. La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla 7. *Caracterización primera línea sísmica*

Capa	Vp	Material	Espesor (m)
1	300-600	Arena mal graduada-Arena arcillosa	1-4
2	750-900	Arena mal graduada	3-8
5	2700-2999	Arenisca	Indeterminado

Fuente: Autores



Ilustración 17 Ubicación del primer ensayo de refracción sísmica
Fuente: Autores

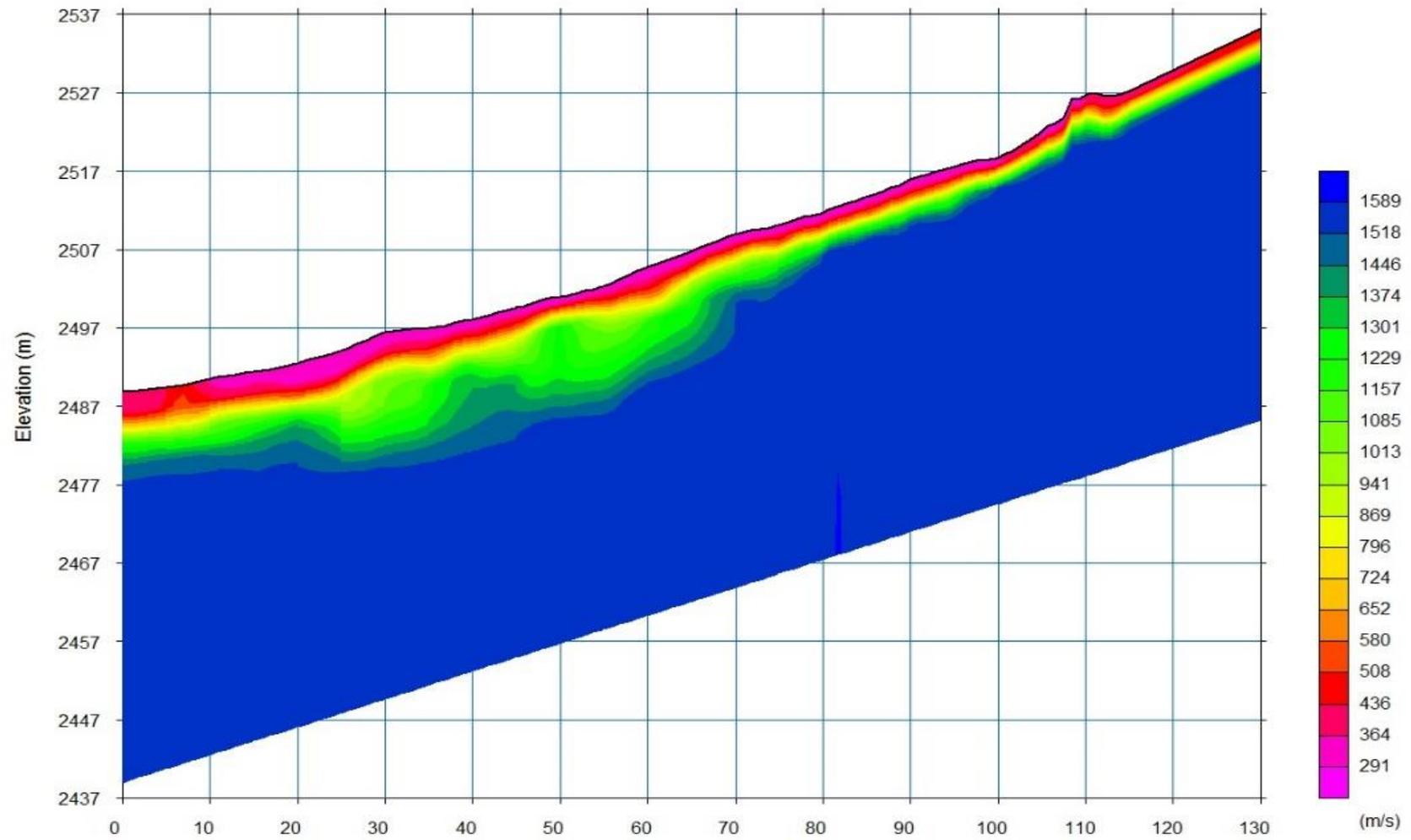


Gráfico 6. Sección de tomografía primera línea sísmica
Fuente: Autores

3.5.1.2.2 Segunda línea de refracción sísmica. Los datos de la segunda línea del ensayo sísmica de refracción se adquirieron del informe (MONTES, y otros, 2016), tuvo lugar en la zona central de la ladera que colinda con el barrio Juan XXIII y con la vía Pamplona-Bucaramanga. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla 8. Caracterización segunda línea sísmica

Capa	Vp	Material	Espesor (m)
1	300-600	Arcilla de baja plasticidad	1-1.5
2	750-900	Arena limosa-Arena arcillosa	2-4
3	1112-1373	Limo de baja plasticidad	4-13
4	2700-2999	Arenisca	Indeterminado

Fuente: Autores



Ilustración 18 Ubicación del segundo ensayo de refracción sísmica
Fuente: Autores

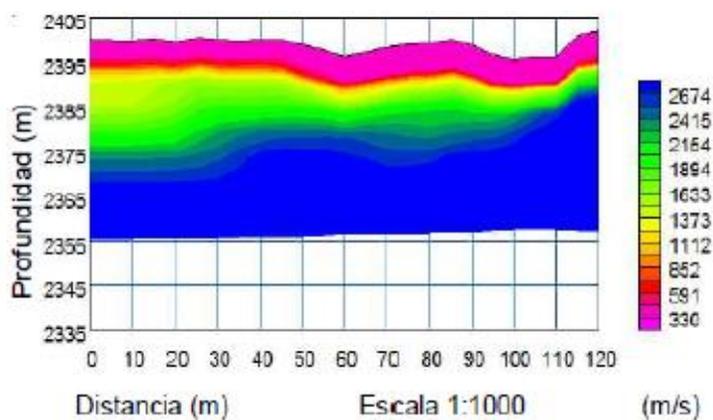


Gráfico 7 Sección de tomografía segunda línea sísmica
Fuente: (MONTES, y otros, 2016)

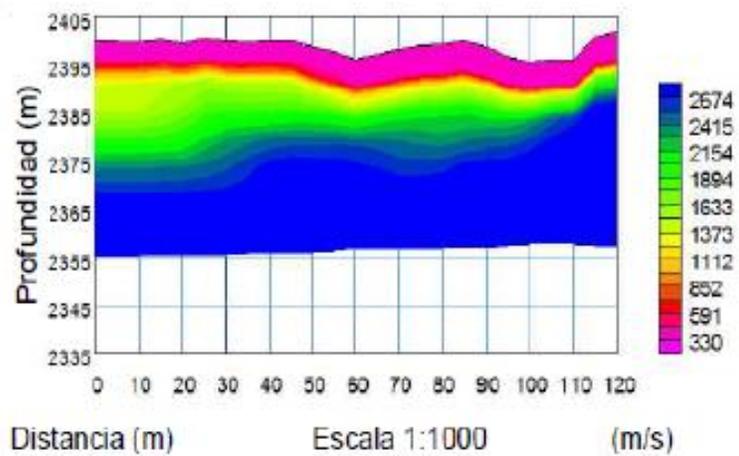


Gráfico 8 Modelo de inversión
Fuente: (MONTES, y otros, 2016)

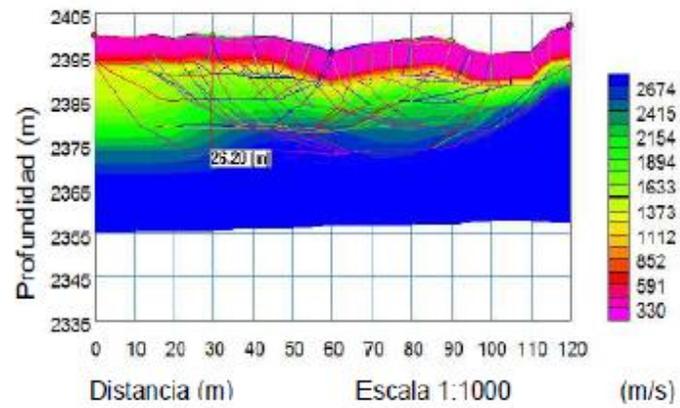


Gráfico 9 Trazado de rayos al modelo invertido
Fuente: (MONTES, y otros, 2016)

3.5.1.2.3 Tercera línea de refracción sísmica. La tercera línea para aplicar el ensayo sísmica de refracción tuvo lugar en la zona de la ladera que colinda con el barrio San Luis, esta zona se caracteriza por contar con la presencia de coluviones y de escarpes de gran magnitud, alta de la ladera. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla 9. Caracterización tercera línea sísmica

Capa	Vp	Material	Espesor (m)
1	391-364	Arena arcillosa	2-4
2	652-941	Limo de baja plasticidad	3-10
3	2700-2999	Arenisca	Indeterminado

Fuente: Autores



Ilustración 19 Ubicación del tercer ensayo de refracción sísmica
Fuente: Autores

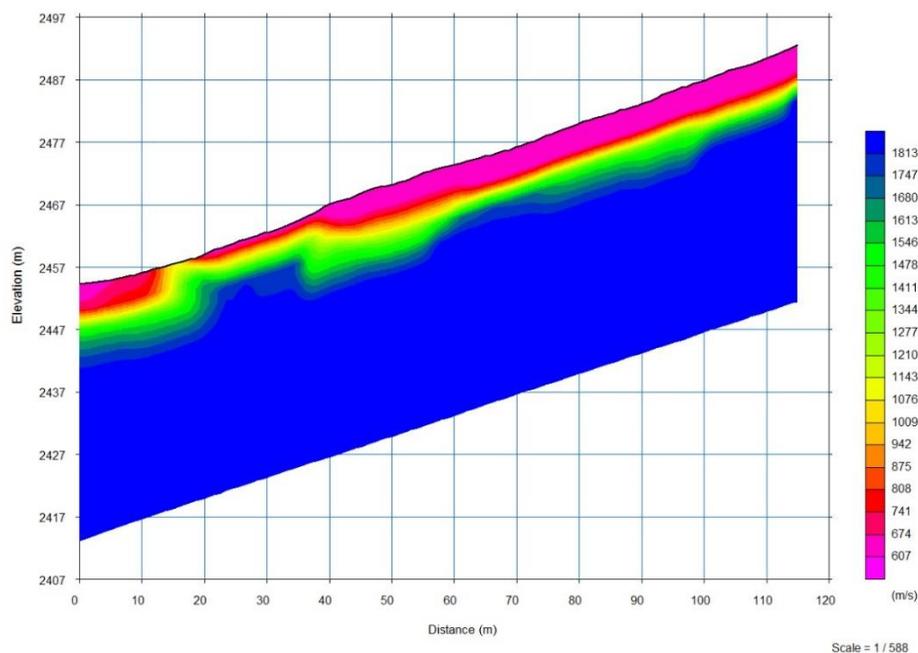


Gráfico 10 Sección de tomografía primera línea sísmica

3.5.1.3 Elaboración de apiques. Como método de exploración del subsuelo, se elaboraron apiques como se recomienda en la GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, esto con el fin de obtener la caracterización de las unidades del modelo geológico-geotécnico y además determinar la posición del nivel de agua en las perforaciones de la zona de estudio. (Avila Alvarez, y otros, 2015)

Se asignó un número de 14 apiques distribuidos en la zona de trabajo, utilizando un GPS y se georeferenciaron con la ayuda del software Google earth y Arcgis. Estas excavaciones se realizaron cada una a 2.5 metros de profundidad. Los sitios fueron escogidos a criterio buscando

que fueran puntos estratégicos para el estudio de estabilidad del talud. Según (Avila Alvarez, y otros, 2015, pág. 46), “la exploración se podrá complementar con la exploración indirecta, de tal manera que se puedan identificar los estratos y zonas geotécnicamente homogéneas que conforman el subsuelo en el área de estudio”.

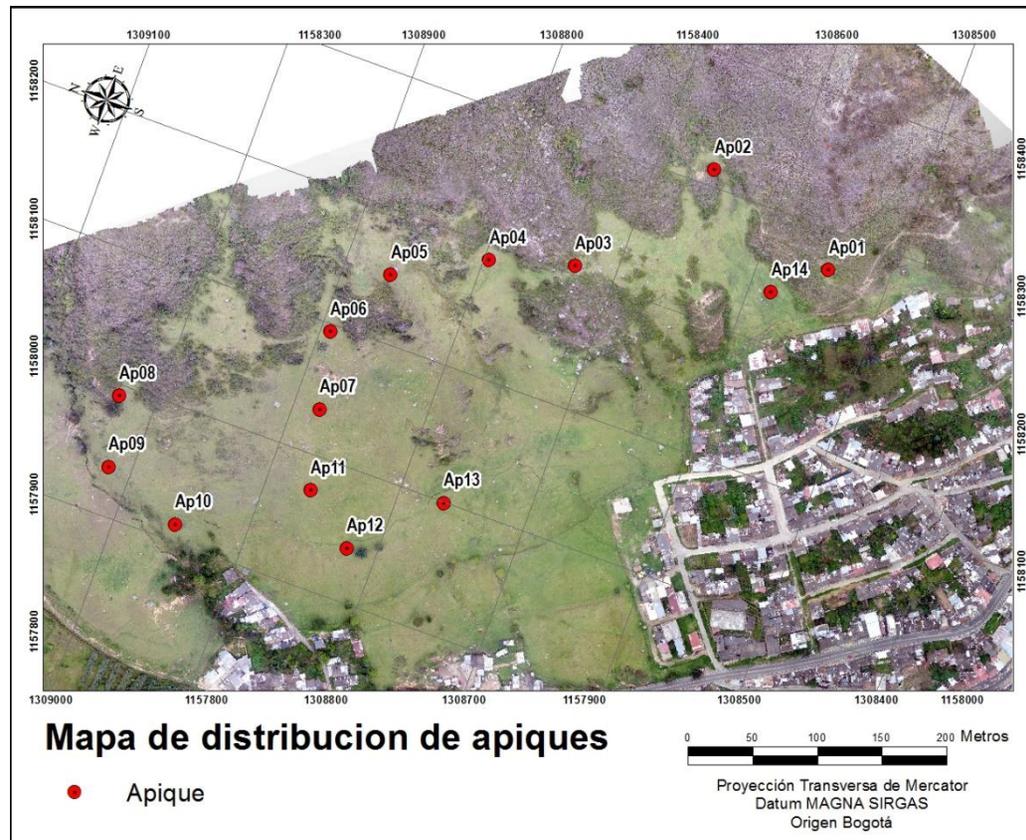


Ilustración 20 Distribución de apiques en la ladera

Fuente: Autores



Ilustración 21 Elaboración de apiques en área de estudio
Fuente: Autores

3.5.1.4 Toma de muestras.

El procedimiento para extraer las muestras se realizó en los 14 apiques que alcanzaron una profundidad hasta dos metros y medio como lo establece la norma ASTM D420-69. En cada uno de ellos se tomaron muestras alteradas para ensayos de granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad, gravedad específica y relaciones gravimétricas y volumétricas, para estos ensayos se recogió 20 kg de muestra por cada estrato que se presentara en cada excavación; la extracción de las muestras inalteradas se realizó según la norma NLT 203 para conservar y transportar las muestras al laboratorio para realizar los ensayos de densidad aparente y corte directo estas muestras fueron envueltas en papel aluminio y con cuidado apretadas con envoplast, para luego guardarlas en bolsas herméticas. A cada muestra se le realizó su respectiva rotulación de acuerdo al apique que le correspondiera.



Ilustración 22 Muestras inalteradas

Fuente: Autores

3.5.1.5 Ensayos de laboratorio. Los ensayos de laboratorio fueron realizados en este proyecto de investigación con el fin de analizar la estabilidad del talud y conocer las propiedades geotécnicas del suelo como la clasificación, límite líquido, límite plástico, contenido de humedad, el peso unitario y los parámetros de resistencia, esto con el propósito de zonificar la ladera de acuerdo a los tipos de suelos encontrados.

A partir de esto, se analizaron las muestras de suelo extraídas en los apiques y se determinaron las características físicas y mecánicas de dicho suelo mediante los ensayos fundamentales de laboratorio. Para este fin, se utilizó el laboratorio de suelos de la Universidad de Pamplona y los ensayos de corte se realizaron en la empresa INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S.

Para la realización de cada uno de los ensayos se tuvo en cuenta las normas establecidas en la (A.S.T.M.) Society for Testing and Materials.

Los ensayos de laboratorio realizados fueron los siguientes

Tabla 10. Ensayos de laboratorio

TIPO DE ESAYO	MUESTRAS	NORMA ASTM
Humedad natural	18	ASTM D2216-11
Límites de Atterberg	18	ASTM D4318-11
Granulometría	18	ASTM D2487-11
Peso unitario	18	ASTM D4254-11
Gravedad específica	18	ASTM D4254-11
Corte directo	18	ASTM D3080-11

Fuente: Autores

3.6 Análisis de resultados

3.6.1 Elaboración de secciones. El procedimiento usado para elaborar las secciones transversales del terreno fueron:

- Elaboración de la topografía del terreno a escala detallada
- Obtención de parámetros geotécnicos
- Obtención de parámetros geológicos
- Determinación de nivel freático

Una vez obtenidos todos los parámetros geológicos, geomecánicos y topográficos y con la suficiente información del suelo en profundidad, se elaboró en cada perfil del terreno el modelo conceptual de este mismo, asignando los diferentes tipos de suelos encontrados en superficie y dependiendo de teniendo en cuenta las condiciones de nivel freático de la zona, de la topografía se elaboraron tres secciones transversales de acuerdo al relieve y las condiciones del terreno y se ubicaron en la zona central, en la zona que colinda con el barrio Juan XXIII y la otra en la zona que colinda con el barrio San Luis, como se muestra en la siguiente ilustración 23 y en la ilustración 24 se muestra los diferentes tipos de suelos que atraviesan cada sección. Esta fase culminó hasta llevar las secciones realizadas ya interpretadas al software Geoestudio como lo muestra la ilustración 25.

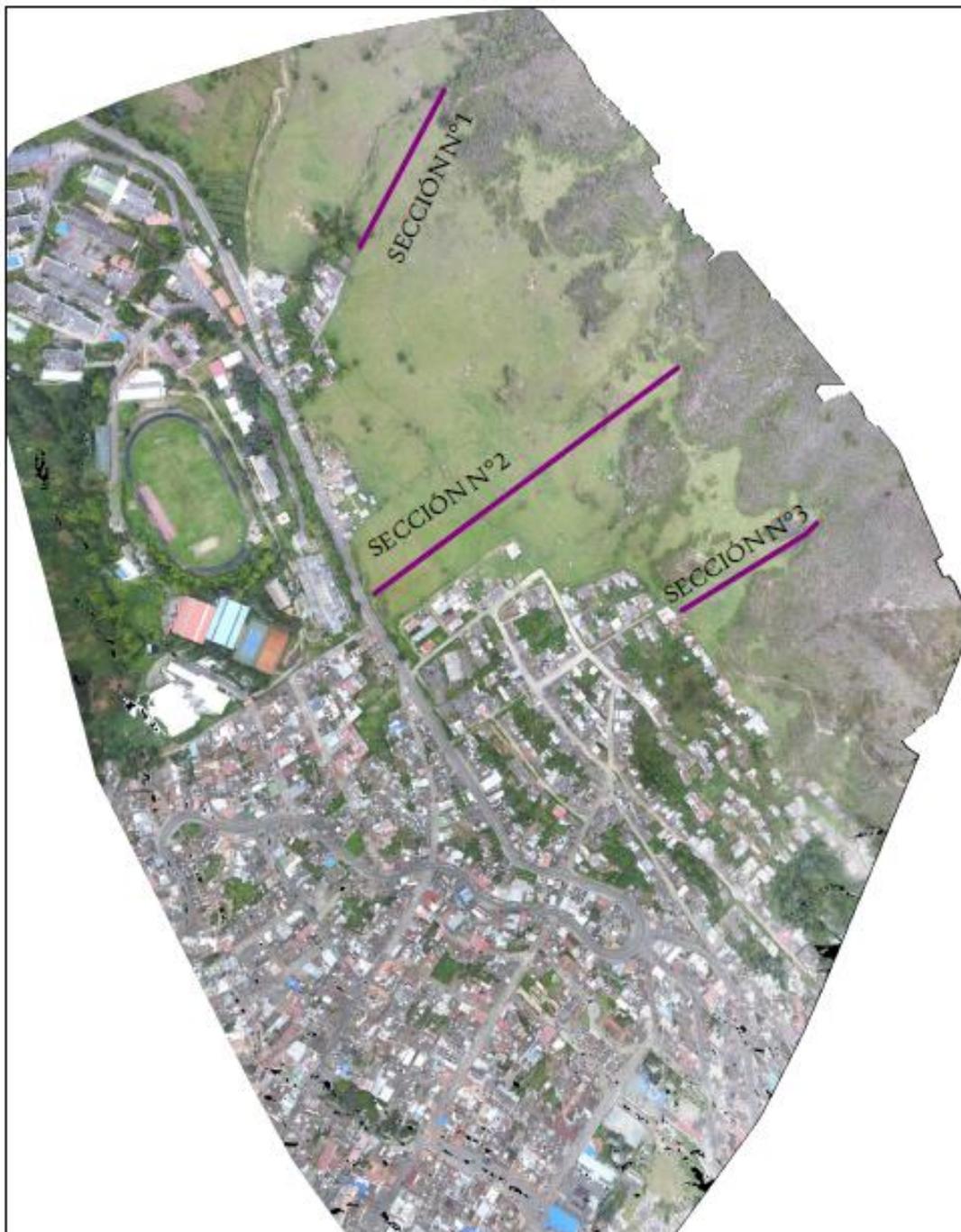


Ilustración 23 Ubicación de secciones en la ladera

Fuente: Autores

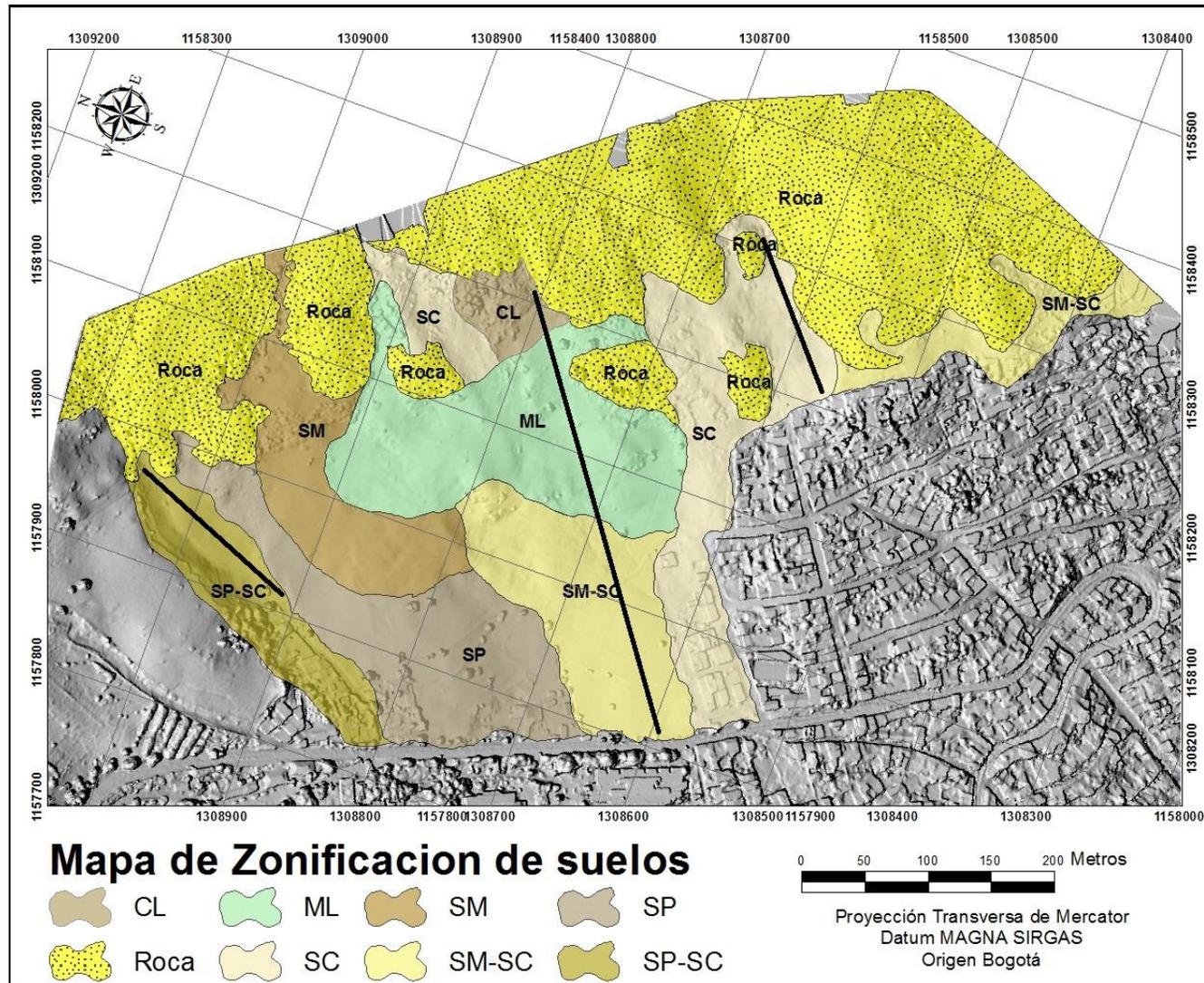


Ilustración 24 Ubicación de secciones en la ladera de acuerdo a la zonificación
Fuente: Autores

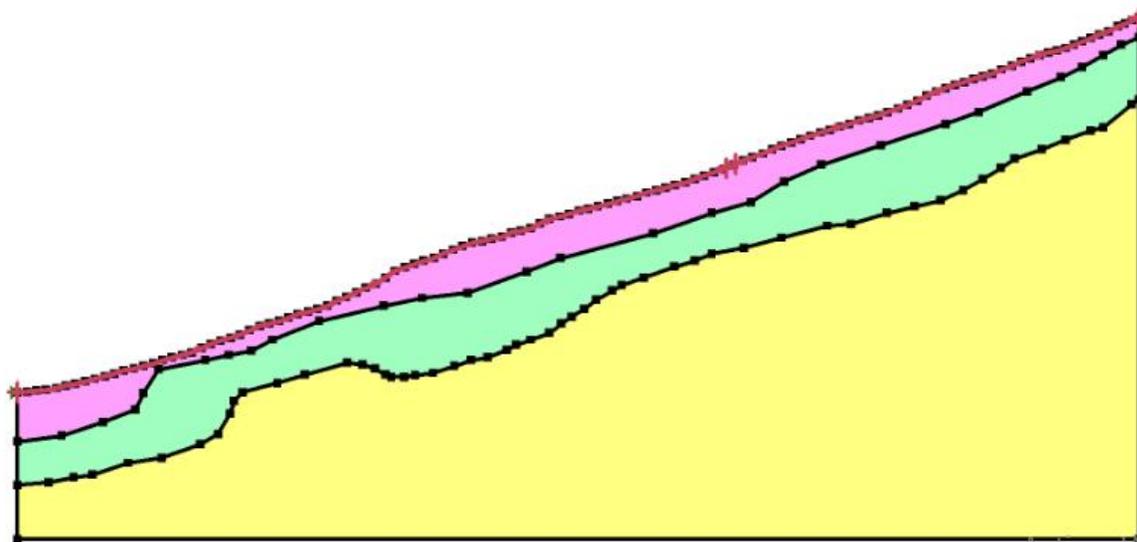


Ilustración 25 Sección interpretada
Fuente: Autores

3.7 Métodos determinísticos

3.7.1 Métodos de límites de equilibrio. Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante del suelo. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

3.7.1.1 Métodos de estabilidad usados. Actualmente existen muchos métodos determinísticos para analizar y determinar qué tan estable es un talud. En casi todos los métodos que son de carácter determinístico, la seguridad de un talud se cuantifica por medio del factor de seguridad (F.S), que se define como el coeficiente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesidad para mantener el equilibrio estricto, el cual se supone constante en toda la superficie de deslizamiento (Álzate, 2005). En este trabajo se usaron los métodos ordinario de Fellenius y método simplificado de Janbu, estos como métodos determinísticos aproximados y como métodos determinísticos precisos se usó el criterio de Morgenstern – Price.

3.7.1.2 Método de Janbu simplificado. Se basa en la suposición que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. Janbu considera que las fuerzas de superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección. El método toma en cuenta las fuerzas normales generadas entre dovelas, sin considerar las fuerzas de fricción generadas entre estas.

El factor de seguridad se calcula de la siguiente manera:

$$FS = \frac{\sum cl(\cos\alpha) + (P - ul)\tan\phi\cos\alpha}{\sum P(\sin\alpha) + \sum kW \pm A - L\cos\alpha}$$

En donde

FS: factor de seguridad.

C: cohesión.

L: longitud de la superficie de falla

W: Peso de la dovela

α : Inclinación de la superficie de falla

P: Fuerza normal total en la base de las dovelas.

U: presión de poros

A: Carga uniforme en la corona del talud

K: coeficiente sísmico

L: carga uniforme repartida en la corona del talud.

3.7.1.3 Método de fellenius.

También conocido como método sueco. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo producido por estas fuerzas se obtiene el factor de seguridad.

$$FS = \frac{\sum(c'\Delta l + (W\cos\alpha - u\Delta l\cos^2\alpha)\tan\phi')}{\sum W(\sin\alpha)}$$

Donde:

c: cohesión del suelo

\emptyset : ángulo de fricción del suelo,

L: longitud de la superficie de falla,

N: fuerza normal ($W \cos\alpha$),

W: peso de la dovela,

α : ángulo de inclinación de la superficie de falla.

3.7.1.4 Método de morgentern-price. Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona 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. Esta posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas la hace un método más riguroso que el de Spencer.

$$FSm = \frac{\sum(c\beta + (N - ul)R\tan\emptyset)}{\sum Wx + \sum Nf \pm \sum Dd}$$

$$FSf = \frac{\sum(c\beta + (N - u)\tan\emptyset\cos\alpha)}{\sum N\sen\alpha - \sum D\cos\alpha}$$

Donde:

FSm: factor de seguridad con respecto al equilibrio de momentos,

FSf: factor de seguridad con respecto al equilibrio de fuerzas,

β : longitud de la superficie de falla,

W: peso de la dovela,

α : inclinación de la superficie de falla,

N: fuerza normal entre dovelas,

x: fuerza tangencial entre dovelas

3.7.1.5 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 (1967) 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.

4. GEOLOGIA

4.1 Geología regional

Desde el punto de vista geológico, el municipio de Pamplona se encuentra ubicado en el flanco norte del Macizo de Santander sobre la Cordillera Oriental y dentro del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta a escala regional que obedece al levantamiento de la cordillera oriental. Dentro del área se tiene expuestas rocas sedimentarias de edad cretácica perteneciente a las formaciones Aguardiente, Tibú Mercedes, formación Capacho y de edad pre-Devónico perteneciente al ortogneis Pre-Devónico. Ilustración 26.

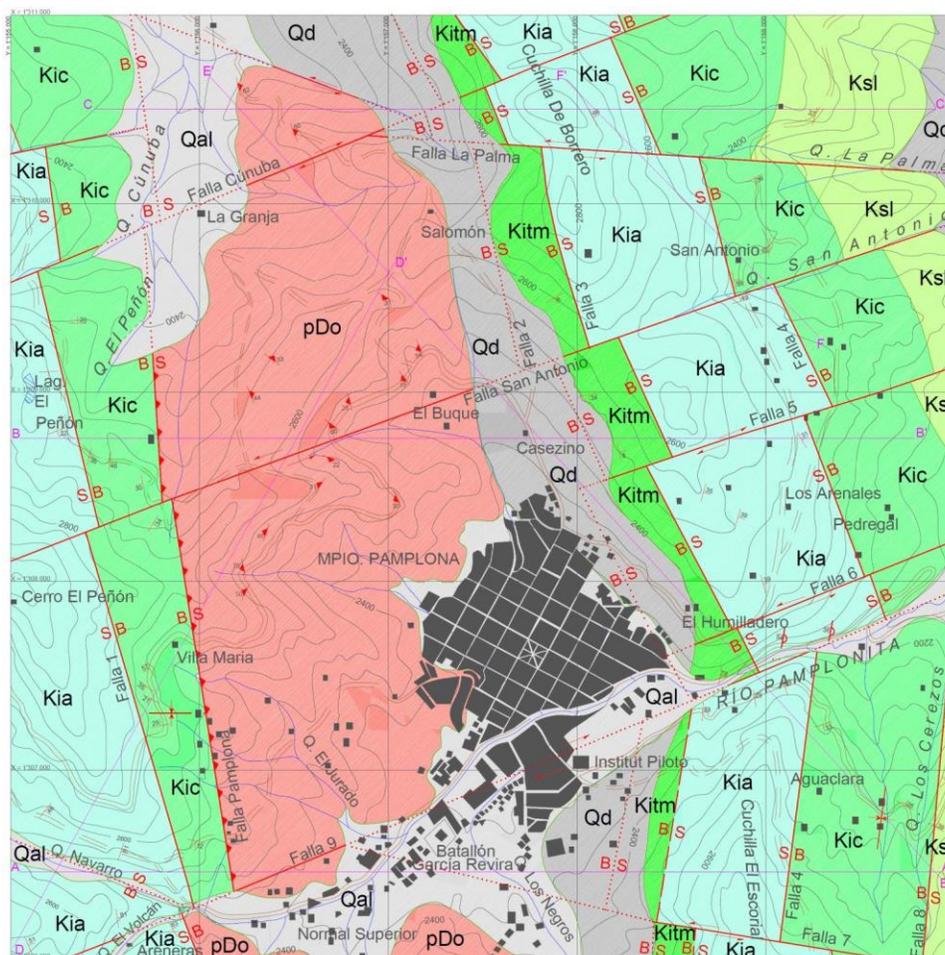


Ilustración 26 Esquema geológico del área de Pamplona. Fuente (Ortiz, 2013)

4.1.1 Litología. A continuación, se describen las diferentes unidades presentes en el área de estudio.

4.1.1.1 Sistema Pre Devónico. Esta unidad es reconocida y cartografiada en la región NE de la plancha 110 Pamplona del SGC y ha sido denominada como Ortoneis Predevónico.

- Ortoneis (pDo). Como unidad está constituida por neises cuarzo feldespático de origen ígneo que varían en composición de granito a tonalita, con predominio de cuarzo monzonita y granodiorita, formados bajo condiciones de la facies anfibolita y parcialmente de la facies esquisto verde, sin presión definida, y distribuida en áreas irregulares a lo largo de todo el Macizo de Santander, principalmente en los sectores al occidental del casco urbano de Pamplona.

En la parte norte de Pamplona el ortoneis se encuentra en contacto fallado con rocas cretácicas de la Formación Tibú Mercedes Capacho.

- Sistema Cretácico. Está conformado por sedimentitas, cuyas edades varían desde el Berriasiano al Cenomaniano y se encuentran bien expuestas en la región oriental de Santander. Estas sedimentitas se encuentran representadas por las formaciones Tibú-Mercedes, Aguardiente y Capacho.
- Formación Tibú Mercedes (Kitm). Está constituida en la parte inferior por lodolitas grisoscúras, calcáreas, areniscas cuarzosas, grano fino, bien cementadas, lentes decalizas biomicriticas, de color gris y algunas capas de conglomerado gris claro, calcáreo, con guijos de cuarzo. En la parte media se presentan algunas capas de lodolitas calcáreas, limosas, grises a gris claras, areniscas grises, grano fino, cemento calcáreo y calizas grises, en capas planas a lenticulares. La parte superior está conformada por areniscas cuarzosas, grises, grano fino, capas delgadas y medianas, con intercalaciones de lodolitas gris oscuras y

negras, calcáreas y calizas grises, en capas medianas a gruesas, que son más predominantes hacia el techo de la unidad. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente marino de aguas tranquilas por la presencia de equinoideos y amonitas, El espesor de la unidad en el área varía de 80 a 300 m. El contacto inferior de la Formación Tibú-Mercedes con la Formación Río Negro es concordante; por lo que también el contacto superior es concordante con la Formación Aguardiente.

- Formación Aguardiente (Kia). Está constituida por areniscas de cuarzo, blancas, grisverdosas y amarillentas, comúnmente glauconíticas, grano fino a grueso, con algunos niveles conglomeráticos; localmente feldespáticas, calcáreas, micáceas y piritosas, con materia orgánica asociada a los planos de estratificación, con delgadas intercalaciones de lodolitas grises y gris claras. En la parte inferior se presentan conglomerados gris claros a blanco amarillentos, con fragmentos de cuarzo lechoso, subredondeados, en una matriz arenosa, bien cementada. Hacia la parte superior se presentan intercalaciones de lodolitas grises a negras, carbonosas y micáceas, esta unidad se depositó en un ambiente litoral de playas y lagunas; representa un frente deltaico. Se considera conforme con la subyacente Formación Tibú-Mercedes y la suprayacente Formación Capacho.
- Formación Capacho (Kic). Para denominar unas calizas aflorantes en el pueblo Capacho Viejo, actualmente Independencia, Estado de Táchira (Venezuela). Posteriormente fuere, el término se utilizó en la Concesión Barco. Está constituida por rocas sedimentarias que corresponden a un conjunto de lodolitas negras, laminadas, con nódulos calcáreos, escasas intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas grises a negras, fosilíferas (amonitas, lamelibranquios), en capas delgadas. La parte intermedia de la secuencia está constituida por una alternancia de calizas micríticas y fosilíferas (lamelibranquios), de color gris a negro, en

capas medianas a gruesas. La parte superior se compone principalmente de lodolitas grises, con delgadas intercalaciones de areniscas grises, amarillentas y blancas, grano fino, levemente calcáreas, en capas medianas, con esporádicas capas de areniscas grises, calcáreas y fosilíferas. Estos depósitos son típicos de un ambiente marino somero. El espesor total varía entre 350 y 450 m. La base y el tope del Capacho son conforme y generalmente bien definidos con la subyacente formación Aguardiente, y la suprayace la Formación La Luna. La unidad tiende a formar una faja de topografía más baja entre las dos formaciones más resistentes. En Venezuela se han encontrado fósiles del Albiano Superior en la caliza arenosa de la subyacente Formación Maraca y escasos amonites en el Miembro Guayacán del Capacho. Con base de esta evidencia, la edad del Capacho probablemente va del Cenomaniano al Turaniano Superior.

- Formación Luna (Ksl). Consiste en una sucesión de calizas finas fosilíferas duras, con intercalaciones de chert negro. Alternan a esta secuencia delgadas capas de arcillolitas fisiles de color gris con abundantes micas y niveles de areniscas fosfáticas. Las calizas son negras y gris oscuro, presentan venas y nódulos de chert negro y ocasionalmente se encuentran concreciones calcáreas, las lumaquelas aparecen en toda la secuencia. Hacia la base las calizas presentan lentes irregulares de areniscas de grano muy fino mientras que hacia el tope se hacen bituminosas. El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m. El contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica. Morales, et al. (1958), se estima que la edad de la formación Luna corresponde al Coniaciano-Santoniano.

- Cuaternario (Qc, Qal). Los depósitos cuaternarios se encuentran ampliamente distribuidos en el valle del Espíritu Santo, cortados por el cauce del río Pamplonita descansando discordantemente sobre las diferentes formaciones presentes. La formación de estos depósitos está relacionada a los procesos estructurales y denudacionales y a los procesos Fluvio-lacustres que permitieron el arranque, transporte y depositación de abundante material detrítico.
- Depósitos Aluviales (Qal). Esta es la unidad cuaternaria más joven, conformada por el depósito aluviales que están distribuidos a lo largo de los valles de las principales corrientes como son los ríos Chitagá, Caraba, Pamplonita entre otros. Estos depósitos son considerados holocénicos o muy recientes.
- Depósitos Coluviales (Qc). Corresponden a los depósitos de pendiente acumulados en las laderas de las montañas, formados por procesos gravitacionales, compuestos en su gran mayoría por gravas, cantos y bloques de rocas angulares a subangulares, embebidos en matrices arcillosas y limo arcillosas.

4.2 Geología estructural

Desde el punto de vista geológico estructural el casco urbano de Pamplona se encuentra ubicado en una zona tectónicamente compresiva asociada al levantamiento de la cordillera oriental, durante dicho levantamiento generó un sistema de falla en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento. En esta región se destacan principalmente de noroccidente a suroriente las siguientes fallas geológicas.

- Sistema de falla Bucaramanga – Santa Marta. Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo, con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento.
- Sistema de falla Pamplona. Esta falla se extiende en el área de estudio desde el norte y continúa con dirección sur a sur-suroeste al oeste de Pamplona, para terminar en la de Morro Negro. A lo largo de la mayor parte de su mitad norte está en contacto con el ortoneis pre-devónico, mientras que en el este se encuentra en contacto con una franja angosta de rocas del cretáceo. La arenisca de la Formación Aguardiente constituye un risco central sobresaliente a lo largo de esta franja. Más allá del extremo sur, la falla atraviesa el Plutón, granito de Durania, y a continuación sirve de límite entre éste y la Formación Silgará en el oeste. Al sur de una falla de rumbo noreste que la desplaza ligeramente hacia el este (c-3, W), la Falla de Pamplona atraviesa nuevamente el granito de Durania hasta su terminación en la Falla de Morro Negro.
- Sistema de falla Chitagá. Esta es la falla más grande y larga del flanco oriental del Macizo de Santander. Afecta básicamente en superficie roca de edad terciaria, cretácea, Jurásico y depósitos cuaternarios. Se trata de una falla de rumbo, su trazo es regional, presenta una dirección en general sur oriente noroccidente, aunque presenta tramos casi norte sur, está asociada a una amplia zona de falla con múltiples fallas satélites y lineamientos geológicos.

El desplazamiento vertical a lo largo de la parte norte de la falla Chitagá es difícil de estimar con exactitud a causa de fallas menores y a la naturaleza incierta del flanco oriental del sinclinal de Pamplonita. Al este de Pamplonita donde el sinclinal es más ancho, el desplazamiento mínimo se calcula en 2.300 m. al sur de Chitagá, cerca del punto más occidental de la falla, es de 2.200 m. Sistema de falla Morro Negro Esta falla traza un arco amplio desde el límite norte del Cuadrángulo H13 hacia el sur, en el área de Mutiscua y luego toma una dirección sureste hasta donde intercepta y desplaza la falla Chitagá. A lo largo de la mitad norte de la falla, el trazo de esta con respecto a la topografía indica cabalgamiento, se observa en la carretera de Pamplona a Cucutilla con buzamiento hacia el este con ángulo bajo. En la mitad sur de la falla, de dirección sureste, se comporta como una falla de rumbo con movimiento lateral izquierdo, que se puede deducir por el desplazamiento de cerca de 1 Km en la falla de Chitagá. Sin embargo, el desplazamiento en esta localidad, de las formaciones del Cretáceo que buza hacia el sureste es opuesto al de la falla Chitagá, lo que sugiere que esta puede buzarse hacia el noroeste y que los desplazamientos a lo largo de la falla Morro Negro son en su mayoría aparentes debido al desplazamiento vertical.

- Sinclinal de Pamplonita. Este sinclinal está en la franja de rocas sedimentarias que se encuentra al oeste de la Falla Chitagá, incluye rocas del Jurásico, Cretáceo y Terciario hasta la Formación los Cuervos, (H-13, c-1, c-2). A causa del fallamiento complicado, el eje no está claramente definido, con excepción de las rocas del Terciario cerca de Pamplonita. Aunque las Formaciones del Cretáceo están expuestas al este del eje, la mayoría se hallan claramente falladas y las posiciones de los estratos parecen indicar una estructura sin ninguna relación a la del sinclinal.

4.3 Geología local

4.3.1 Litología. En el Municipio de Pamplona afloran rocas Metamórficas del Predevónico, Ortoneis, y Sedimentarias del Cretácico que corresponden a las formaciones como: Tibú-Mercedes, Aguardiente, Capacho y Luna. También se presentan depósitos cuaternarios, coluviales y aluviales.

- Formación Tibú-Mercedes (Kitm). Esta unidad está representada por rocas sedimentarias del cretácico inferior, que afloran en la parte Noreste del Municipio de Pamplona. La Formación Tibú-Mercedes está constituida estratigráficamente en la parte inferior por calizas bioclásticas, de color gris oscuro, con presencia poco abundante de fósiles de Amonites y conchillas. Presenta intercalación de limolita calcárea con espesor aproximado de 0.60 m, y estratificación cruzada.

En la parte media se presenta algunas capas de arenisca calcárea, de granomedio a fino, color gris oscuro, con capas que presentan estratificación cruzada y calizas arenosas de grano fino de color gris oscuro, con poca abundancia de fósiles (Ostrácodos).

En la parte superior está conformada por subarcosa y arenitas cuarzosas de granomedio a fino, color blanco, gris pardo a amarillento, con intercalaciones de limolita micácea de grano fino a medio, de color blanco. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente marino de aguas tranquilas por la presencia de equinoideos y amonites, según Fabre et al 1981a. Con espesor aproximado en el área de 51,61m. La Formación Tibú-Mercedes aflora en la parte superior de la Universidad de Pamplona, en el barrio Juan XXIII, San Luis y en las afueras del municipio en la vía Pamplona-Cúcuta.

- Formación Aguardiente (Kia). Son rocas sedimentarias del Mesozoico (cretácico inferior), aflorando en la parte Noreste y Noroeste del Municipio de Pamplona. La Formación Aguardiente está constituida, en la parte inferior por arenitas cuarzosa y subarcosa, de color gris claro a blanco, de grano medio a grueso, con estratificación paralela y con presencia de intercalación de subarcosa micácea, grano medio a grueso, de color blanco.

En la parte media se presentan algunas capas de arenitas cuarzosa o subarcosacuarzosa, de grano medio a grueso y grueso a medio, color gris claro a blanco, con intercalaciones de niveles delgados de lutitas carbonosa. En la parte superior está conformada por arenitas cuarzosa de grano medio a fino a grueso, color amarillo anaranjado a pálido, con intercalaciones de niveles delgados de lutita carbonosa. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente litoral de playas y lagunas. La formación aguardiente aflora en los barrios Cristo Rey, Simón Bolívar, Villa Cristina, El Arenal, Chíchira y en la parte superior del barrio El Progreso, específicamente en la cuchilla del escorial.

- Depósitos Cuaternarios. En el área se encuentran depósitos coluviales y aluviales, que son materiales recientes, distribuidos a lo largo de las principales quebradas, el río Pamplonita y zonas de pendientes moderadas a altas. A continuación, se describe los depósitos de mayor extensión en el área de estudio.
- Depósito Coluvial de Derrubio o ladera (Qd). Estos depósitos se han desarrollado como producto de la desintegración de las rocas en las partes altas encontrándose hacia la base de las pendientes más fuertes, formando una superficie inclinada. Los coluviones los podemos encontrar formando la ladera oriental de la Universidad de Pamplona. Están constituidos por materiales arenosos arcillosos o arenosos limosos, en el área de estudio se verificó la presencia de estos depósitos en los barrios Los Alpes, El Progreso, San Pedro, Las Colinas, Los Nazarenos,

Cote Lamus, Afanador, Los Salesianos y parte de los barrios Juan XXIII y El centro,
Ilustración 27.



Ilustración 27 Depósito coluvial barrio Juan XXIII

Fuente: Autores

- Depósito Aluvial (Qal). Es la unidad cuaternaria más joven (Qal), conformada por depósitos aluviales que están distribuidos a lo largo de los valles de las principales corrientes de flujo como son el río de Pamplonita, y las Quebradas que desembocan al río Pamplonita como El Rosal, Monte Adentro, El Buque y otras pequeñas quebradas que confluyen al río pamplonita. Estos depósitos son muy recientes, considerándolo holocénicos. Los barrios pertenecientes a este depósito son El Cariongo, El Camellón, Chapinero, 4 de Julio y parte del barrio Centro.

4.4 Geología estructural

La zona objeto de estudio forma parte del sector donde la Cordillera Oriental de Colombia cambia de dirección nororiental a noroccidental, para dar lugar al denominado Macizo de Santander. Se encuentra enmarcada por grandes procesos tectónicos compresivos que se

generaron durante el levantamiento de la cordillera oriental y dieron origen a un sin número fallas que ejercen un fuerte control estructural y tectónico.

4.4.1 Fallas. Localmente, el área de estudio pertenece a la provincia tectónica del “Macizo de Santander” dentro de la Cordillera Oriental, y está enmarcada por numerosas fallas que ejercen un control estructural; con franjas angostas que están compuestas por rocas sedimentarias del cretácico y rocas metamórficas del Predevónico que van en dirección norte-sur, ligados a esfuerzos compresivos este-oeste, (Ortiz, 2013), presentando levantamiento por fallas de cabalgamiento entre el Ortoneis, y las Formaciones del Capacho y Tibú-Mercedes.

- **Falla de Pamplona.** Es la falla más antigua del área de estudio, que ocurrió después del Mioceno, asociado al levantamiento de la CO_r, va con rumbo N9°W, buzando al este con 4 Km de longitud, que corresponde a una falla de cabalgamiento de carácter lístrico, cortando la unidad del ortoneis pre-devónico, en contacto con la Formación Capacho. Además, se tiene un sistema de fallas paralelas en dirección Noroeste-Sureste (NW-SE) que han sido desplazadas por un sistema de fallas transversales más recientes de tipo sinextral y dextral de que van en dirección Noreste-Suroeste (NE-SW), generando un fuerte control estructural desplazando y deformando rocas metamórficas del Predevónico (Ortoneis) y rocas sedimentarias del Cretácico, pertenecientes a las formaciones Tibú Mercedes, Aguardiente y Capachos.

4.5 Geomorfología

El modelado de la superficie terrestre es el resultado de la dinámica de factores endógenos y exógenos que conllevan a la diferenciación de los paisajes, asociados a los fuertes movimientos tectónicos ocurridos en la Cordillera Oriental que dieron origen al acomodamiento del relieve cuya disposición general y variación altitudinal apreciable explican en buena parte las diferencias climáticas y la variación de la vegetación presente en todo el Municipio.

4.6 Morfometría

En el municipio la topografía varía, con pendientes bajas, suaves, moderadas, altas y abruptas como se muestra en el mapa de pendientes, Ilustración 28, que dan origen a las distintas geoformas presentes en el Municipio. Para la elaboración del mapa pendientes se utilizó el modelo digital de superficel obtenido a partir de la fotogrametría y el programa ArcGIS 10.1 en cual se establecieron 5 intervalos de pendientes,

Tabla 11 *Tipo de pendientes de acuerdo a su inclinación*

TIPO	GRADOS
Muy baja	0-10°
Baja	10-20°
Media	20-30°
Alta	30-45°
Muy alta	>45°

Fuente: Autores

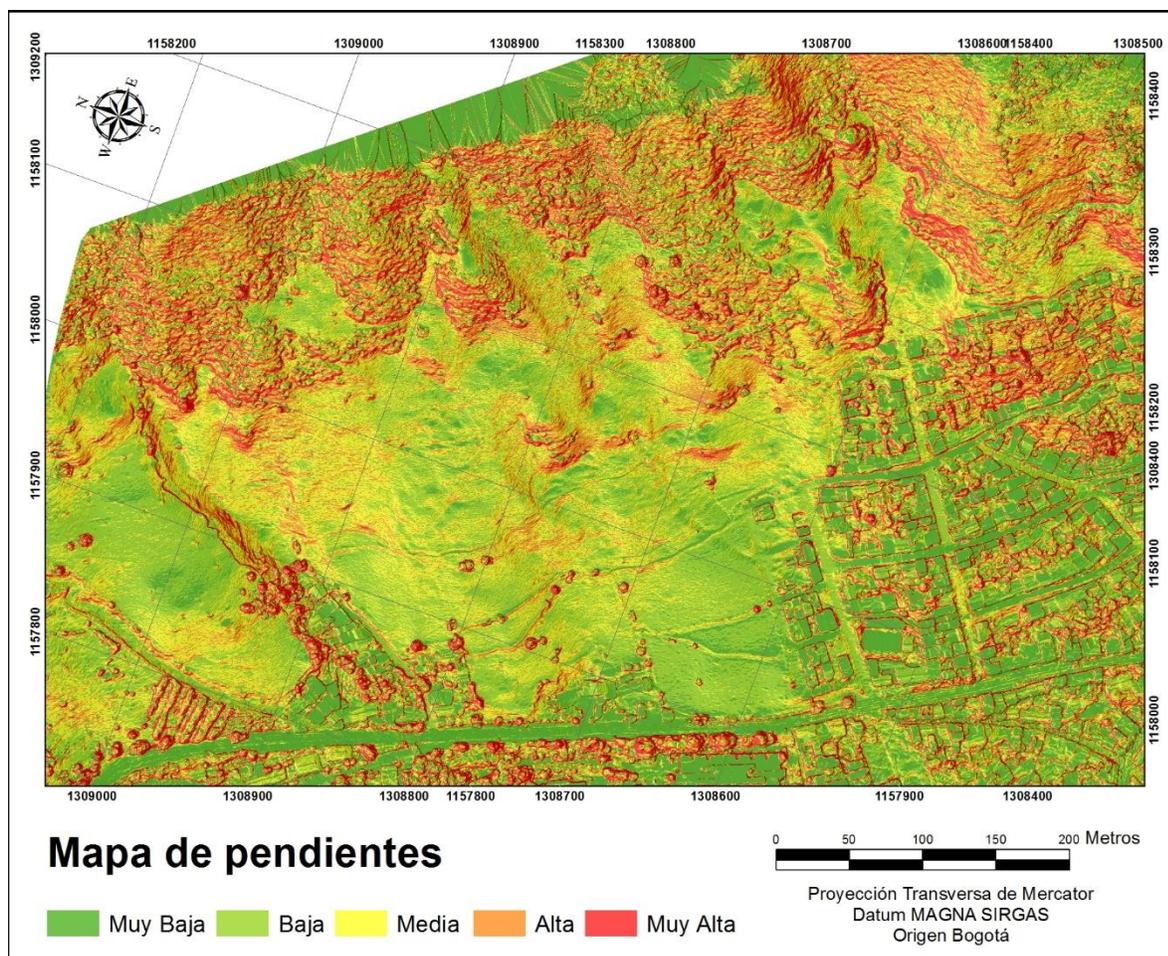


Ilustración 28 Mapa de pendientes
Fuente: Autores

5. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

5.1 Investigación del subsuelo

La investigación del subsuelo se realizó mediante la excavación de apiques siguiendo los lineamientos de la GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA del SGC 2015 y fueron distribuidos en la ladera de acuerdo a las condiciones morfométricas de la zona, con el propósito de extraer muestras para poder ejecutar ensayos de laboratorio. Las excavaciones ubicadas en el pie del talud que fueron nombradas como la N°10 y la N°14 presentaron un nivel freático demasiado alto a menos de 1 metro de profundidad, otro apique como el N°12 tuvieron la presencia de coluviones a una profundidad de metro y medio, que imposibilitaron continuar con la perforación.

Los apiques ubicados en la cresta del talud se caracterizaron por contar con más de un estrato y por no presentar nivel freático tan superficial. En términos generales promediando las excavaciones se deduce que la ladera posee una capa orgánica de aproximadamente 50 cm y un nivel freático en la parte media y baja no superior al metro y medio de la superficie.

A continuación, se muestra una tabla de las coordenadas (Tabla 12), de los apiques realizados. El sistema de coordenadas en el que se ilustran corresponde a Magna Colombia Bogota.

Tabla 12. Coordenadas planas

APIQUE	COORDENADAS	
	X	y
1	1158268	1308548
2	1158311	1308658
3	1158204	1308734
4	1158186	1308798
5	1158149	1308865
6	1158091	1308894
7	1158032	1308882
8	1157989	1309031
9	1157935	1309019
10	1157910	1308956
11	1157971	1308866
12	1157939	1308825
13	1157997	1308766
14	1158046	1308692

Fuente: Autores

5.2 Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los tipos de suelos encontrados en la zona montañosa, para esto, se analizaron muestras inalteradas y alteradas de cada uno de los apiques elaborados. Con el propósito de conocer los

parámetros de humedad, clasificación, peso unitario y resistencia, del talud ubicado entre los barrios Juan XXIII y San Luis.

Una vez realizada las excavaciones aplicando lo establecido en la ASTM D420-69, se extrajo la cantidad suficiente para los respectivos ensayos y se prepararon las muestras inalteradas. Los ensayos se realizaron usando las instalaciones del laboratorio de suelos de la Universidad de Pamplona.

Tabla 13 *Tipos de muestra*

ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICADA	TOTAL ENSAYOS
Granulometría	Alterada	ASTM D2487-11	18
Contenido de humedad	Alterada	ASTM D2216-11	18
Límites de Atterberg	Alterada	ASTM D4318-11	18
Gravedad específica	Alterada	ASTM D4254-11	18
Corte directo	Inalterada	ASTM D3080-11	18
Peso unitario	Inalterada	ASTM D4254-11	18

Fuente: Autores

5.2.1 Ensayo de granulometría y clasificación USCS. La tabla 11 se muestra los resultados de las granulometrías realizadas y sus respectivas clasificaciones.

Tabla 14 Ensayo de Granulometría y clasificación uscs

APIQUE	ESTRATO	CLASIFICACION	% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS
1	1	SM-SC	7,55	49,79	42,66
1	2	SW-SC	0,13	61,38	38,48
2	1	SC	2,97	52,73	44,30
2	2	ML	5,37	28,68	65,95
3	1	ML	1,54	29,69	68,76
4	1	CL	0,12	42,13	57,75
4	2	ML	0,38	34,92	64,70
5	1	SC	13,22	65,87	20,91
5	2	SM	10,04	66,02	23,94
6	1	ML	0	37,43	62,57
7	1	ML	0	46,24	53,76
8	1	SP	3,55	95,08	1,37
9	1	SP-SC	1,58	88,96	9,46
10	1	SP-SC	4,29	83,93	11,77
11	1	SM	1,83	81,52	16,65
12	1	SP	3,53	92,38	4,10
13	1	SM-SC	0,78	76,73	22,49
14	1	SC	0,08	55,23	44,70

Fuente: Autores

5.2.2 Ensayo de límites de Atterberg. En la tabla 12 se muestra los valores de límite líquido (L.L), límite plástico (L.P) y el índice de plasticidad (I.P).

Tabla 15 Ensayo de límites de Atterberg

APIQUE	ESTRATO	LIMITE	LIMITE	INDICE DE
		LIQUIDO (%)	PLASTICO (%)	PLASTICIDAD (%)
1	1	40,59	36,21	4,38
1	2	23,81	16,95	6,86
2	1	33,97	19,92	14,05
2	2	44,02	31,8	12,22
3	1	41,49	53,31	NP
4	1	33,65	21,76	11,89
4	2	38,12	37	1,12
5	1	36,09	23,57	12,52
5	2	41,23	20,39	20,74
6	1	40,05	33,93	6,12
7	1	40,51	29,91	10,6
8	1	38,56	38,24	0,32
9	1	36,21	31,21	5
10	1	27,72	7,68	20,04
11	1	47,61	44,1	3,51
12	1	34,89	32,9	1,99
13	1	35,99	32,99	3
14	1	49,65	26,48	23,17

Fuente: Autores

5.2.3 Ensayo de contenido de humedad. La tabla 13 indica los porcentajes de humedad de cada apique realizado, de acuerdo a su respectivo estrato.

Tabla 16 *Ensayo de contenido de humedad*

APIQUE	ESTRATO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	1	6,77
1	2	8,51
2	1	30,07
2	2	32,08
3	1	28,56
4	1	33,03
4	2	35,18
5	1	33,76
5	2	27,5
6	1	24,8
7	1	20,32
8	1	5,5
9	1	18,02
10	1	81,24
11	1	26,83
12	1	21,22
13	1	28,73
14	1	46,45

Fuente: Autores

5.2.4 Ensayo de corte directo. La tabla 14 muestra los resultados obtenidos del ensayo de corte directo y los parámetros arrojados por éste.

Tabla 17 *Ensayo de corte directo*

APIQUE	ESTRATO	CLASIFICACION	ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN
1	1	SM-SC	28.3	19.46
1	2	SW-SC	29.8	19.93
2	1	SC	21.4	21.52
2	2	ML	26.4	24.87
3	1	ML	29.8	26.87
4	1	CL	20.7	18.45
4	2	ML	27.4	25.87
5	1	SC	16.2	19.71
5	2	SM	19.5	32.5
6	1	ML	27.6	27.31
7	1	ML	26.1	21.63
8	1	SP	20.8	15.05
9	1	SP-SC	23.2	16.55
10	1	SP-SC	17.8	14.55
11	1	SM	28.7	32.47
12	1	SP	26.3	36.32
13	1	SM-SC	31.1	20.15
14	1	SC	25.6	32.46

Fuente: Autores

5.2.5 Ensayo de densidad aparente. A continuación se presentan los valores obtenidos de esta prueba.

Tabla 18 *Ensayo de densidad aparente*

APIQUE	ESTRATO	CLASIFICACION	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO
			(KN/M ³)	SATURADO (KN/M ²)
1	1	SM-SC	19,32	21.49
1	2	SW-SC	18,29	21.44
2	1	SC	13,03	17.80
2	2	ML	15,3	19.48
3	1	ML	14,7	18.63
4	1	CL	13,1	15.04
4	2	ML	14,7	12.15
5	1	SC	14	17.74
5	2	SM	14,9	18.67
6	1	ML	14,5	18.95
7	1	ML	16,43	19.96
8	1	SP	17,2	19.65
9	1	SP-SC	14,4	18.54
10	1	SP-SC	9,7	15.86
11	1	SM	15,76	19.88
12	1	SP	16,53	19.71
13	1	SM-SC	14,5	17.05
14	1	SC	12,7	18.17

Fuente: Autores

5.2.6 Ensayo de gravedad específica. La tabla 16 muestra los resultados obtenidos en los ensayos de gravedad específica.

Tabla 19 *Ensayo de gravedad especifica*

APIQUE	ESTRATO	CLASIFICACION	GRAVEDAD ESPECIFICA
1	1	SM-SC	2,53
1	2	SM-SC	2,75
2	1	SC	2,59
2	2	ML	2,72
3	1	ML	2,5
4	1	CL	2,77
4	2	ML	2,51
5	1	SC	2,31
5	2	SC	2,47
6	1	ML	2,71
7	1	ML	2,62
8	1	SP	2,34
9	1	SP-SC	2,54
10	1	SP-SC	2,66
11	1	SM	2,69
12	1	SP	2,72
13	1	SM-SC	2,13
14	1	SC	2,93

Fuente: Autores

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Clasificación de suelos

Se realizó la clasificación bajo las especificaciones establecidas por el sistema unificado de suelos (U.S.C.S), los datos para la respectiva clasificación se obtuvieron mediante la realización de los ensayos de límites de Atterberg y granulometría.

En la tabla 17 se muestra el porcentaje de los tipos de suelos encontrados de acuerdo al número de apiques realizados y a los estratos que aparecieron.

Tabla 20 Análisis Clasificación de suelos

CLASIFICACIÓN	NÚMERO DE	PORCENTAJE
U.S.C.S	VECES POR	(%)
	ESTRATO	
CL	1	5.56
SM	2	11.11
SP	2	11.11
SW-SC	1	5.56
SP-SC	2	11.11
SM-SC	2	11.11
SC	3	16.67
ML	5	27.77
Sumatoria	18	100

Fuente: Autores

A partir de la tabla se deduce que los limos orgánicos de baja plasticidad (ML), ocupan el mayor porcentaje de aparición en la ladera, pero son los suelos gruesos con fracciones finas los que en realidad predominan estos representan un porcentaje del 66.67%, desde las arenas limosas (SM), hasta las arenas arcillosas (SC) que son las de mayor frecuencia de aparición, también se encontraron arenas pobremente gradadas combinadas con arenas arcillosas (SP-SC), arena bien gradada combinada con arena arcillosa (SW-SC) y arenas limosas combinadas con arenas arcillosas (SM-SC). Los materiales finos encontrados son arcillas inorgánicas de baja plasticidad y limos orgánicos de baja plasticidad (ML), estos ocupan un porcentaje del 33.33%.

6.2 Corte directo

Según (CRESPO VILLALAZ, 2008) y citado por (Ramos Gomez & Martinez Ruiz, 2014), el ángulo de fricción interna depende de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y forma de los granos y de la presión lateral

A partir de la recolección de las muestras inalteradas, se realizaron los ensayos de corte directo, gracias a este se estableció los parámetros de ángulo de fricción interna y cohesión del suelo. En la siguiente tabla se muestran dichos valores.

Rango de valores de los ángulos de fricción y cohesiones del suelo.

Tabla 21 *Análisis Ensayo Corte Directo*

CLASIFICACIÓN U.S.C.S	ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (KN/CM ²)
CL	20.7°	18.45
SM	19.5°-28.7°	32.47-32.5
SP	20.8°-26.3	19.28-36.32
SW-SC	29.8°	19.93
SP-SC	17.8°-23.2	17.92-30.46

SM-SC	28.3°-31.1	19.46-20.15
SC	16.2°-25.6°	19.71-32.46
ML	26.1°-29.8°	21.63-27.31

Fuente: Autores

Los valores de ángulo de fricción arrojados por el ensayo de corte directo variaron entre 16.2° y 31.1° los cuales son valores para suelos con características arenosas que son los predominantes en la ladera y como está indicado en la clasificación y los valores de la cohesión para los suelos arenosos variaron entre 17.92 y 36.32 Kn/cm².

6.3 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg no solo indican el tipo de fino contenido en una muestra de suelo cualquiera, sino también se clasifican según su grado de plasticidad, (CRESPO VILLALAZ, 2008) sugiere la siguiente clasificación.

Tabla 22 *Grado de plasticidad del suelo*

IP	DESCRIPCIÓN
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Mediana plasticidad
20-40	Alta plasticidad
>40	Muy alta plasticidad

Fuente: (CRESPO VILLALAZ, 2008)

Tabla 23 *Porcentaje de aparición de suelo, Según índices de plasticidad*

DESCRIPCIÓN	%
No plástico	11.11
Ligeramente plástico	27.77
Baja plasticidad	16.67
Mediana plasticidad	27.77
Alta plasticidad	16.67
Muy alta plasticidad	0.00

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla se obtiene que para los índices de plasticidad descritos como ligeramente plástico y medianamente plástico cada uno presenta un porcentaje de 27.77%, de igual manera los suelos catalogados con baja y alta plasticidad, presentan un mismo porcentaje de aparición en el área de estudio y dicho porcentaje es de 16.67%. Se determinó que los suelos no plásticos tuvieron un menor porcentaje de presencia de 11.11% y los suelos de muy alta plasticidad no tuvieron lugar en la ladera.

6.4 Zonificación geomecánica

La zonificación geomecánica se determinó tomando como referencia cada apique que se asignó en la ladera y partir de estos se realizaron los debidos estudios y laboratorios para caracterizar el suelo y conocer las diferentes condiciones intrínsecas que condicionan la estabilidad del terreno, como el tipo de material, espesor, pendiente, condiciones de agua y la cobertura vegetal. Estos patrones de suelo son esenciales en la elaboración del modelo conceptual del talud, con el fin de conocer las diferentes litologías presentes en la zona de estudio. Conocer estos parámetros son de gran importancia a la hora de realizar un análisis de

estabilidad, puesto que si se dispone de todos estos estudios serán de gran ayuda cuando se pretenda realizar construcciones en la zona estudiada.

La ilustración 22 muestra la zonificación de suelos realizada en el talud, además, se observa que los suelos gruesos con fracciones finas (arena limosa, arena arcillosa, arena mal gradada, arena limosa-arena arcillosa y arena mal gradada-arena arcillosa), predominan en el área estudiada. La parte superior de la ladera esta abundada por formaciones rocosas y una pequeña porción la constituyen limos y arcillas inorgánicos. La zonificación se realizó tomando como base el tipo de suelo extraído y estudiado para su respectiva clasificación, a partir de estos se realizó el mapa buscando los cambios de pendiente en el terreno.

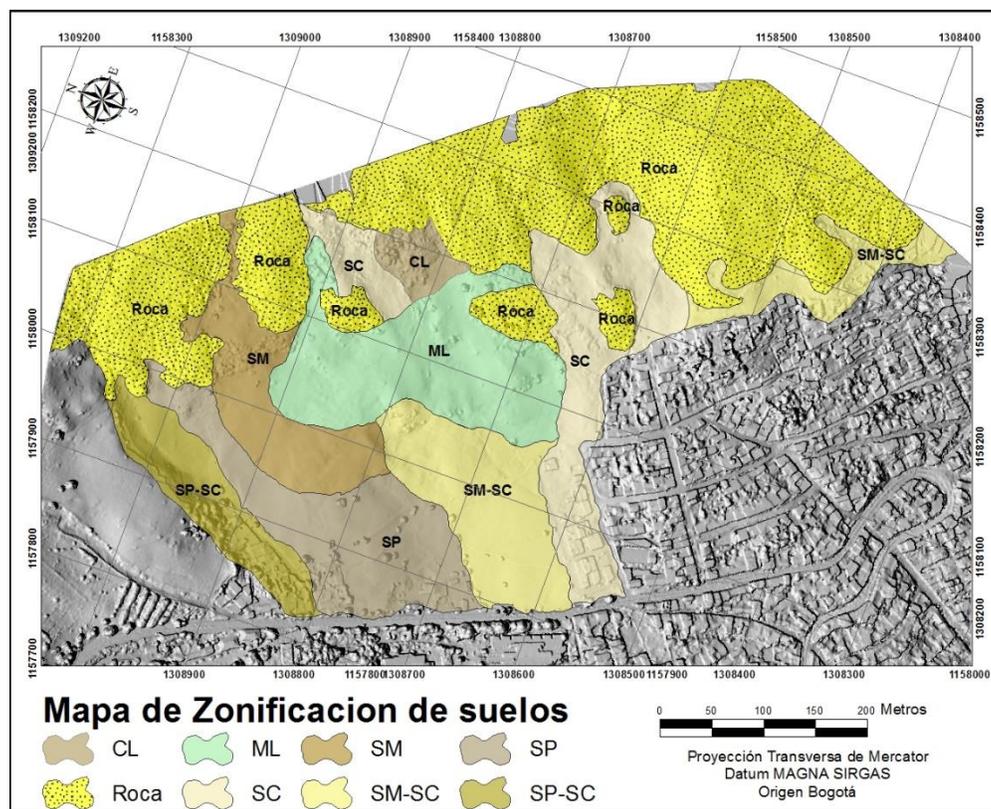


Ilustración 29 Zonificación Geomecánica

Fuente: Autores

6.5 Estabilidad de taludes

Con las visitas realizadas a la ladera, durante las diferentes etapas del proyecto, se pretendió observar y entender los procesos que están sucediendo en dicha ladera y que pueden ser indicios de un posible movimiento en masa. Este talud se encuentra ubicado en el municipio de Pamplona Norte de Santander entre los barrios Juan XXIII y San Luis, al encontrarse ubicada dentro del casco urbano también se verá afectada por procesos humanos que asimismo deben ser tenidos en cuenta a la hora de realizarse el análisis de estabilidad.

6.5.1 Erosión. La ladera presenta una erosión relativamente baja, pero en algunos sectores de ésta ya es notable que el suelo ha estado sufriendo procesos erosivos, que probablemente han sido causados por antiguos movimientos y por factores externos como el potencial erosivo de la lluvia, las condiciones de infiltración, la escorrentía superficial y la topografía del terreno. Otro factor influyente es la intervención humana, ya que esta ladera es aprovechada para actividades agrícolas y ganaderas.

6.5.2 Fenómenos de remoción en masa. En la zona de estudio han sido notorios muchos procesos de eventuales movimientos tal vez causados por antiguos fenómenos de remoción en masa de denominación lenta. Los procesos que está sufriendo la ladera son notables a simple vista como una gran cantidad de escarpes, algunos de gran tamaño, alta presencia de grietas de tensión, lóbulos de deslizamiento rotacional, la gran mayoría de los arboles crecen con el tallo inclinado lo cual puede ser un indicio de que el suelo ha estado sufriendo movimientos lentos. Adicionalmente la presencia del nivel freático está casi a nivel de superficie y teniendo en cuenta

que los apiques se realizaron un tiempo después de que terminó la temporada de lluvias, se deduce que el talud posee un flujo de drenaje lento.



Ilustración 30 Zona con posible movimiento

Fuente: Autores

6.6 Análisis de estabilidad

Teniendo en cuenta la topografía del terreno, los reconocimientos de campo, la recolección de muestras, la exploración del subsuelo y la aplicación de métodos no invasivos se procedió a elaborar tres perfiles con el propósito de analizar la estabilidad de cada uno de estos. Paré este

análisis fue necesario aplicar los resultados que arrojó el ensayo de sísmica, esto con el propósito de sectorizar los diferentes materiales encontrados y ubicarlos hasta su respectiva profundidad.

En este análisis de estabilidad se tuvo en cuenta las condiciones actuales del clima ya que durante las épocas invernales el nivel freático tiende a ubicarse en la superficie y en épocas de escasas lluvias el nivel freático tiende a descender muy poco lo cual indica que el suelo de este talud se encuentra en condiciones saturadas la mayor parte del tiempo.

6.6.1 Secciones

6.6.1.1 Sección 1

Tabla 24 *Condiciones iniciales de la primera sección*

MATERIAL	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	COHESIÓN (kN/m³)	PESO UNITARIO
SP-SC	17.8	15	14.4
SP	20.8	15	17.2
ARENISCA	30	0	16

Fuente: Autores

Tabla 25 Factores de seguridad sección 1

Talud: PERFIL 1	FACTOR DE SEGURIDAD			
	METODOS USADOS	Muestra no saturada y sin sismo	Muestra saturada sin sismo	Muestra no saturada con sismo
Método de Fellenius	1.717	1.006	0.979	0.667
Método de Morgenstern-Price	1.750	1.035	1.002	0.712
Método de Janbu	1.706	0.934	0.972	0.637
Método de Spencer	1.750	1.030	1.002	0.711

Fuente: Autores

6.6.1.2 Sección 2

Tabla 26 Condiciones iniciales de la segunda sección

MATERIAL	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	COHESIÓN (KPA)	PESO UNITARIO (kN/m³)
CL	20.7°	18.45	13.1
ML	27.4°	25.87	14.7
SM-SC	31.1°	20.15	14.5
ARENISCA	45°	16	0

Fuente: Autores

Tabla 27 *Factores de seguridad sección 2*

Talud: PERFIL 2 METODOS USADOS	FACTOR DE SEGURIDAD			
	Muestra no saturada y sin sismo	Muestra saturada sin sismo	Muestra no saturada con sismo	Muestra saturada con sismo
Método de Fellenius	1.846	1.129	1.286	0.904
Método de Morgenstern-Price	1.876	1.155	1.267	0.922
Método de Janbu	1.835	1.125	1.120	0.828
Método de Spencer	1.876	1.157	1.254	0.921

Fuente: Autores

6.6.1.3 Sección 3Tabla 28 *Condiciones iniciales de la tercera sección*

MATERIAL	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	COHESIÓN (KPA)	PESO UNITARIO (kN/m³)
SC	23.5	21.52	13.03
ML	26.4	24.87	15.3
ARENISCA	45	0	16

Fuente: Autores

Tabla 29 *Factores de seguridad sección 3*

Talud: PERFIL 3 MÉTODOS USADOS	FACTOR DE SEGURIDAD			
	Muestra no saturada y sin sismo	Muestra saturada sin sismo	Muestra no saturada con sismo	Muestra saturada con sismo
Método de Fellenius	2.584	1.498	1.132	0.792
Método de Morgenstern-Price	2.756	1.559	1.020	0,790
Método de Janbu	2.569	1.465	0.938	0.707
Método de Spencer	2.756	1.563	1.018	0.788

Fuente: Autores

7. EQUIPOS USADOS

7.1 Equipos ensayo de granulometría

Para granulometría en la tabla se muestran los equipos utilizados en el ensayo de granulometría

Tabla 30 *Equipos ensayo de granulometría*

EQUIPOS	ILUSTRACIÓN
<p>Juego de tamices</p> <p>Se utilizaron para separar las partículas de suelo, de acuerdo a su tamaño</p>	
<p>Tamizadora</p> <p>Éste equipo se usó para facilitar el proceso de tamizado</p>	
<p>Balanza</p> <p>Sirvió para registrar los pesos retenidos en cada tamiz</p>	

Fuente: Autores

7.2 Equipos ensayo de límites de Atterberg

Tabla 31 *Equipos ensayo de límites de Atterberg*

EQUIPOS	ILUSTRACION
<p>Tamiz N°40</p> <p>Este tamiz sirvió para obtener la muestra con la se ejecutó el ensayo de límites de Atterberg.</p>	
<p>Mortero</p> <p>Equipo para preparación de la muestra de Suelo .</p>	
<p>Cazuela de Casagrande</p> <p>Equipo para determinar número de golpes y calcular el límite líquido de la muestra.</p>	

Balanza

Sirvió para registrar los pesos de las muestras obtenidas.



Fuente: Autores

7.3 Equipos ensayo de contenido de humedad

Tabla 32 *Equipos ensayo de contenido de humedad*

EQUIPOS**ILUSTRACION**

Horno

Equipo con control de temperatura adecuado para obtener la muestra seca.



Recipientes para humedad

En éste se depositaron las diferentes muestras de suelo.



Fuente: Autores

7.4 Equipos ensayo de gravedad específica

Tabla 33 *Equipos ensayo de gravedad específica*

ENSAYO	ILUSTRACION
<p>Frasco volumétrico</p> <p>Se utilizó para crear la mezcla entre agua y suelo</p>	
<p>Bomba de vacío</p> <p>Este equipo fue fundamental para extraer el aire atrapado.</p>	
<p>Balanza</p> <p>Sirvió para registrar los pesos de las muestras obtenidas.</p>	

Fuente: Autores

7.5 Equipos usados para peso unitario

Tabla 34 *Equipos usados para peso unitario*

ENSAYO	ILUSTRACION
<p>Balanza hidrostática</p> <p>Este equipo sirvió para registrar los pesos secos y sumergidos.</p>	
<p>Mini estufa eléctrica</p> <p>Se utilizó para derretir la parafina.</p>	

Fuente: Autores

7.6 Equipos usados para topografía

Tabla 35 *Equipos usados para topografía*

ENSAYO	ILUSTRACION
<p>DRONE de referencia DJI</p> <p>Phantom 3 Profesional</p> <p>Con este equipo se registraron las fotografías aéreas del área de estudio.</p>	

CELULAR**SMARTPHONE**

Se utilizó para ordenar el plan de vuelo al DRONE.



Fuente: Autores

7.7 Equipos ensayo de refracción sísmica

Tabla 36 *Equipos ensayo de refracción sísmica*

ENSAYO	ILUSTRACION
MAZO (16 LB) Se usó como fuente para generar las ondas a través de una platina metálica.	
COMPUTADOR PORTATIL Se utilizó para almacenar los registros obtenidos que posteriormente fueron procesados.	

GEODE ULTRA-LITE

La función de este equipo fue recibir las señales de los geófonos, enviándolas al convertidor.



CABLE SÍSMICO (GOESPACE)

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.



Fuente: Autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos de la primera y segunda sección en condiciones reales (suelo saturado, sin sismo) no cumplen satisfactoriamente lo establecido en CODIGO DE CONSTRUCCION COLOMBIANO NSR 2010 TITULO H LITERAL H.7.5 de acuerdo método determinístico aplicado.

En condiciones ideales (suelo no saturado, sin sismo) para la primera y segunda sección, los valores de los factores de seguridad obtenidos en el modelamiento cumplen con el valor del factor mínimo de seguridad establecido CODIGO DE CONSTRUCCION COLOMBIANO NSR 2010 TITULO H LITERAL H.7.5

En base a los valores obtenidos en condiciones ideales (suelo no saturado, sin sismo) y reales (suelo saturado, sin sismo) para la primera y segunda sección, aplicando las cargas sísmicas de la región, se obtuvieron factores de seguridad por debajo de lo requerido en CODIGO DE CONSTRUCCION COLOMBIANO NSR 2010 TITULO H LITERAL H.7.5, lo cual indica mayor probabilidad ante un posible fenómeno de remoción en masa.

- En condiciones ideales los factores de seguridad calculados cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad mínimo requerido en CODIGO DE CONSTRUCCION COLOMBIANO NSR 2010 TITULO H LITERAL H.7.5, al presentar un factor de seguridad promedio de 2.66.

La tercera sección es la que presentó mayor estabilidad en condiciones reales, al arrojar factores de seguridad por encima de 1.5 (factor de seguridad mínimo según NSR10 TITULO H LITERAL H.7.8) por los métodos de Spencer y Morgenstern-Price, mientras que por los métodos de Fellenius y Janbu el factor de seguridad estuvo cerca de este valor, lo cual indica que la zona que colinda con el barrio Juan XXIII presenta mayor estabilidad.

El análisis de estabilidad se realizó de acuerdo a los parámetros obtenidos para efectuar el cálculo, pero existen variables determinísticas que pueden generar inestabilidad en el terreno que no fueron tenidos en cuenta en la modelación.

En el presente trabajo de grado se reconocieron los diferentes tipos de fallas presentes en los puntos a estudiar, por lo cual se recomienda estabilizaciones de talud con cortes en relación 1H:1.5V con sus respectivos drenajes para el control de las escorrentías superficiales presentes en las laderas.

El presente trabajo de grado presenta el alcance básico en la estabilización de taludes de los puntos en mención.

Se evidencia que el talud requiere, una evaluación más exhaustiva de su estabilidad y las estructuras de contención y protección que garanticen su desarrollo.

De acuerdo con el POT “ Plan de Ordenamiento Territorial” está susceptible a su desarrollo en los próximos años por lo cual se recomienda aumentar los estudios necesarios y requeridos para su desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 2216-71. (s.f.). *Society for texting and materials* .

ASTM D 2937-71. (s.f.).

ASTM D 3080-98. (s.f.).

ASTM D 422-63. (s.f.).

ASTM D 4318-00. (s.f.).

ASTM D 854-10. (s.f.).

Avila Alvarez, G. E., Cubillos Peña, C. E., Granados Becerra, A. E., Medina Bello, E.,
Rodriguez Castiblanco, E. A., Rodriguez Pineda, C. E., & Ruiz Peña, G. L. (2015). *GUIA
METODOLOGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO
POR MOVIMIENTO EN MASA*. BOGOTA D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.

Brabb E.E., H. B. (1989). *Deslizamientos de tierras: alcance y importancia económica* .
Rotterdam: Symposium on landslides, A.A.

CRESPO VILLALAZ, C. (2008). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. LIMUSA.

Díaz, J. O. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de
imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*.

DNP. (2015). *3.181 muertos y 12,3 millones de afectados: las cifras de desastres naturales entre
2006 y 2014*. 25: MAYO.

Duque Escobar, G. (2016). *MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Escobar Toro, L. J., & Valencia Gonzalez, Y. (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. *revistas.unal.edu.co*, 51.

GEMMA. (2007). *MOVIMIENTOS EN MASA EN LA REGIÓN ANDINA: UNA GUIA PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS*.

Gerscovich, D. M. (2012). *ESTABILIDAD DE TALUDES*. Sao Paulo SP Brasil: Editora Oficina de Textos, 2012 .

GUTIERREZ PICO, K. D., & BIUTRAGO HUERTAS, L. G. (2016). *CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA, REFLEXIÓN SÍSMICA, MASW Y REMI EN DEPÓSITOS SUPERFICIALES Y ZONAS CRÍTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA*. PAMPLONA.

J. A. (28 de ABRIL de 2015). *ZCOPTERS*. Obtenido de LOS DRONES Y LA TOPOGRAFIA.

MONTES, Y., UNDA, J., CASAS, K., TORRES, J., GUTIERREZ, D., CONTRERAS, M., & GOMEZ, J. (2016). *APLICACIÓN DE REFRACCION SISMICA Y TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA LA CARACTERIZACION GEOFISICA EN UNA*

LADERA DE JUAN XXIII EN LA CIUDAD DE PAMPLONA (Norte de Santander)

Artículo en construcción. PAMPLONA.

MONTOYA OROZCO, A. (ABRIL de 2009). *CONFIABILIDAD EN ESTABILIDAD DE*

TALUDES. Obtenido de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3476/montoyaorozco.pdf?sequence=1>

Pamplona, A. d. (s.f.). *Rehabilitación de los puntos críticos del sistema de acueducto.*

PBOT. (2002).

Poveda Orduña, J. J., & Vargas Aldana, G. (2006). *ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL PR
55 + 950 DE LA VÍA MANIZALES – MARIQUITA*. BOGOTÁ D.C.

Ramos Gomez, M. P., & Martinez Ruiz, N. M. (2014). *CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS
GEOMECANICO Y PROPUESTA DE ZONIFICACION DE LOS SUELOS EN EL
SECTOR URBANO EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, ANORTE DE SANTANDER.*
Pamplona.

ROSALES CLIMENT, C. I. (2001). *comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área
de Cañaveralejo*,. Cali.

SILVA HERRERA, J. (24 de MAYO de 2015). Tres de cada diez colombianos están expuestos a desastres. *EL TIEMPO*.

SISMORESISTENTE, C. A. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMORESISTENTE*. BOGOTA D.C.

Suarez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: UIS (Universidad Industrial de Santander).

Suarez Diaz, J. (2009). *Deskizamientos. Analisis geotecnico Vol.1*.

TORRES P, J. O. (2012). *DISEÑO OBRAS DE ESTABILIZACION URBANIZACIÓN VALLES DEL ESPIRITU SANTO*. PAMPLONA.

Wandurraga B., C. M., & Wandurraga J., L. (2015). *EXPLORACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL CORREDOR VIAL CORNEJO-PUENTE GOMEZ, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER*. BUCARAMANGA.

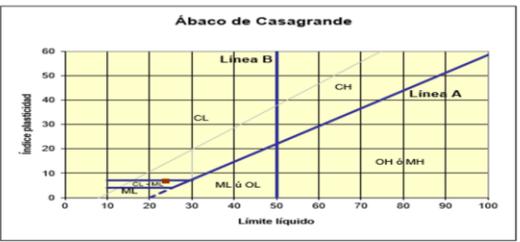
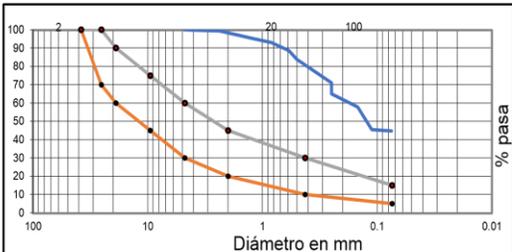
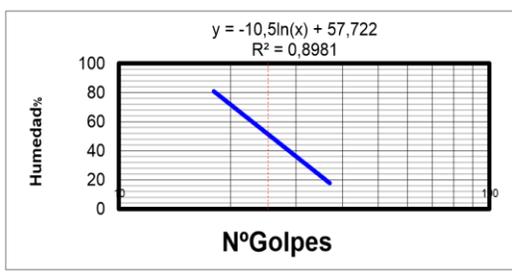
ANEXOS

Anexo 1. Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica

Tabla 37 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°1 E1

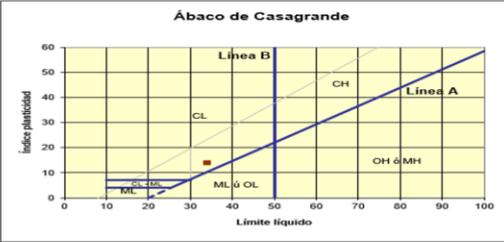
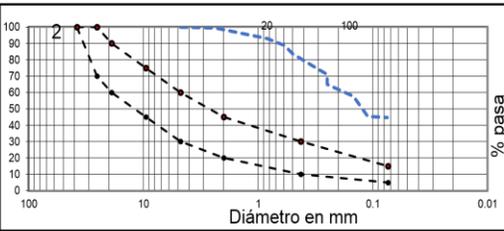
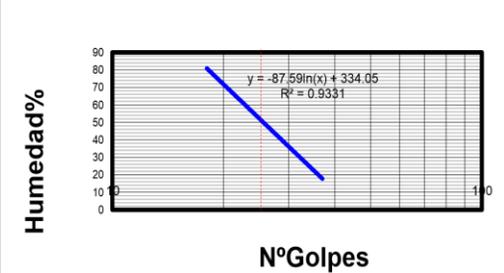
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO,DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 1	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 08/04/17	
ANEXO 1					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	11.37	7.85	7.54		
Wt+Wh	22.23	22.14	17.13		
Wt+Wd	18.93	18.06	14.48		
Wagua	3.3	4.08	2.65		
Wseco	7.56	10.21	6.94		
Humedad %	43.65	39.96	38.18		
N° Golpes	17	26	35		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	10.35	11.26			
Wt+Wh	11.16	12.26			
Wt+Wd	10.94	12			
Wagua	0.22	0.26			
Humedad%	37.29	35.14			
HUMEDAD NATURAL (%)			6.77		
LIMITE LIQUIDO			40.59		
LIMITE PLASTICO			36.21		
INDICE PLASTICO			4.38		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	7.55	C _u =	0.00		
%ARENAS	49.79	C _c =	0.00		
%FINOS	42.66				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)		19.32			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS		2.53			
SISTEMA UNIFIADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARENA LIMOSA ARCILLOSA SM-SC					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=598,87 gr					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	45.2	7.55	92.45		
8	86.6	14.46	77.99		
16	86.4	14.43	63.56		
20	14	2.34	61.23		
30	25	4.17	57.05		
40	15.2	2.54	54.51		
50	13	2.17	52.34		
60	6	1.00	51.34		
80	8.8	1.47	49.87		
100	11	1.84	48.04		
140	0	0.00	48.04		
200	32.2	5.38	42.66		
FONDO	255.47	42.66			
TOTAL	598.87	100			

Tabla 38 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°1 E2

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 1	ESTRATO: 2	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 08/04/17	
ANEXO 2					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	7	7.8	7.4		
Wt+Wh	14.88	20.81	17.6		
Wt+Wd	13.2	18.3	15.87		
Wagua	1.68	2.51	1.73		
Wseco	6.2	10.5	8.47		
Humedad %	27.10	23.90	20.43		
N° Golpes	18	28	32		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1				
Wtara	1.17				
Wt+Wh	1.86				
Wt+Wd	1.76				
Wagua	0.1				
Humedad%	16.95				
HUMEDAD NATURAL (%)					8.51
LIMITE LIQUIDO					23.81
LIMITE PLASTICO					16.95
INDICE PLASTICO					6.86
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.13	C _u =	0.00		
%ARENAS	61.38	C _c =	0.00		
%FINOS	38.48				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)					18.29
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS					2.75
					
SISTEMA UNIFIADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S)					
ARCILLOSAS BIEN GRADUADAS SW-SC ARENA					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=598,55					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	0.8	0.13	99.87		
8	6.6	1.10	98.76		
16	13.2	2.21	96.56		
20	4.4	0.74	95.82		
30	12.4	2.07	93.75		
40	15	2.51	91.25		
50	18.8	3.14	88.10		
60	15	2.51	85.60		
80	34.4	5.75	79.85		
100	56.2	9.39	70.46		
140	0	0.00	70.46		
200	191.4	31.98	38.48		
FONDO	230.35	38.48			
TOTAL	598.55	100			
					
					

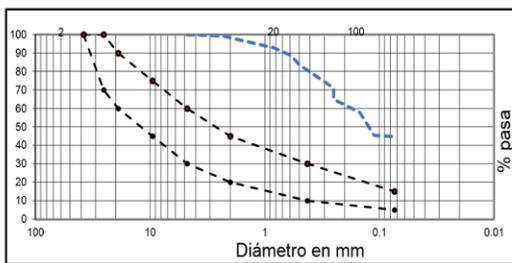
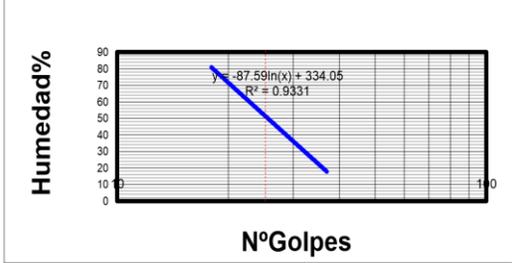
Fuente: Autores

Tabla 39 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°2 EI

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 2	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 09/04/17	
ANEXO 3					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.57	0.57	0.52		
Wt+Wh	6.26	5.4	8.1		
Wt+Wd	4.6	4.24	6.39		
Wagua	1.66	1.16	1.71		
Wseco	4.03	3.67	5.87		
Humedad %	41.19	31.61	29.13		
N° Golpes	17	26	39		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	6.58	6.89	6.82		
Wt+Wh	7.63	8.19	7.89		
Wt+Wd	7.45	7.96	7.73		
Wagua	0.18	0.23	0.16		
Humedad%	20.69	21.50	17.58		
HUMEDAD NATURAL (%)			30.07		
LIMITE LIQUIDO			33.97		
LIMITE PLASTICO			19.92		
INDICE PLASTICO			14.05		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	2.97	C _u =	0.00		
%ARENAS	52.73	C _c =	0.00		
%FINOS	44.30				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			13.03		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.59		
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARENA ARCILLOSA SC					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=600 g					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% PASA	QUE PASA	
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	17.8	2.97	97.03		
8	20.2	3.37	93.67		
16	23	3.83	89.83		
20	7.6	1.27	88.57		
30	0	0.00	88.57		
40	63.2	10.53	78.03		
50	46	7.67	70.37		
60	20.6	3.43	66.93		
80	32.4	5.40	61.53		
100	36.4	6.07	55.47		
140	0	0.00	55.47		
200	67	11.17	44.30		
FONDO	265.8	44.30			
TOTAL	600	100			
					
					

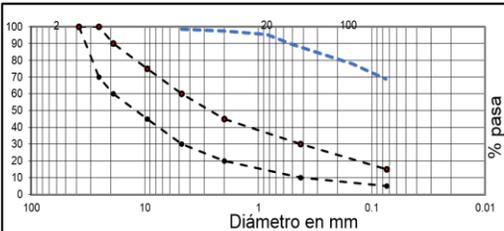
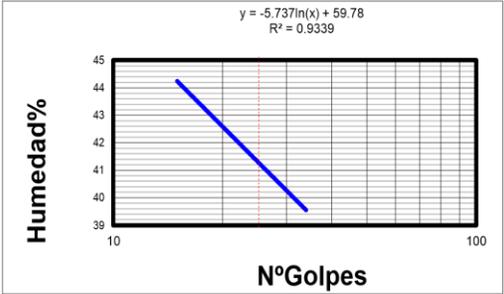
Fuente: Autores

Tabla 40 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°2 E2

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS			
		LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO,DENSIDAD APARENTE Y		GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS	
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 2	ESTRATO: 2	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 09/04/17	
ANEXO 4					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.49	0.55	0.67		
Wt+Wh	2.09	6.25	6.21		
Wt+Wd	1.53	4.6	4.7		
Wagua	0.56	1.65	1.51		
Wseco	1.04	4.05	4.03		
Humedad %	53.85	40.74	37.47		
N° Golpes	17	28	33		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	7.04	6.78	6.89		
Wt+Wh	8.74	8.21	8.23		
Wt+Wd	8.37	7.84	7.9		
Wagua	0.37	0.37	0.33		
Humedad%	27.82	34.91	32.67		
HUMEDAD NATURAL (%)				32.8	
LIMITE LIQUIDO				44.02	
LIMITE PLASTICO				31.8	
INDICE PLASTICO				12.22	
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	5.37	$C_u =$		0.00	
%ARENAS	28.68	$C_c =$		0.00	
%FINOS	65.95				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)				15.3	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS				2.72	
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
LIMOSINORGANICOS ML					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=600 gr					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% PASA	QUE PASA	
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	32.2	5.37	94.63		
8	46.4	7.73	86.90		
16	36.6	6.10	80.80		
20	6.8	1.13	79.67		
30	0	0.00	79.67		
40	22.6	3.77	75.90		
50	9	1.50	74.40		
60	4.5	0.75	73.65		
80	6	1.00	72.65		
100	8.8	1.47	71.18		
140	0	0.00	71.18		
200	31.4	5.23	65.95		
FONDO	395.7	65.95			
TOTAL	600	100			
					
					

Fuente: Autores

Tabla 41 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°3

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 3	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 09/04/17	
ANEXO 5					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	6.45	5.49	5.91		
Wt+Wh	12.43	11.74	12.74		
Wt+Wd	10.62	9.91	10.8		
Wagua	1.81	1.83	1.94		
Wseco	4.17	4.42	4.89		
Humedad %	43.41	41.40	39.67		
N° Golpes	17	27	31		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	7.12	6.53	4.78		
Wt+Wh	7.72	6.91	5.37		
Wt+Wd	7.52	6.75	5.21		
Wagua	0.2	0.16	0.16		
Humedad%	50.00	72.73	37.21		
HUMEDAD NATURAL (%)			28.56		
LIMITE LIQUIDO			41.49		
LIMITE PLASTICO			53.31		
INDICE PLASTICO			NP		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	1.54	C _i =	0.00		
%ARENAS	29.69	C _c =	0.00		
%FINOS	68.76				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			14.7		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.5		
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
LIMOS INORGANICOS ML					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=1114,07					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	3.6	0.32	99.68		
4	13.6	1.22	98.46		
8	0	0.00	98.46		
16	12	1.08	97.38		
20	22.6	2.03	95.35		
30	0	0.00	95.35		
40	66.4	5.96	89.39		
50	0	0.00	89.39		
60	0	0.00	89.39		
80	0	0.00	89.39		
100	128.6	11.54	77.85		
140	0	0.00	77.85		
200	101.2	9.08	68.76		
FONDO	766.07	68.76			
TOTAL	1114.07	100			
					
					

Fuente: Autores

Tabla 42 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°4 EI

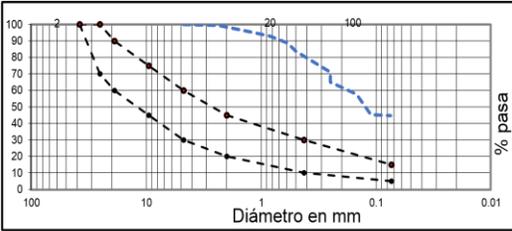
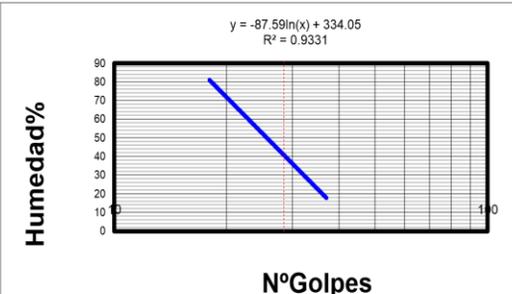
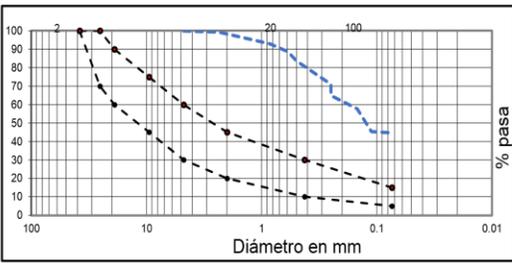
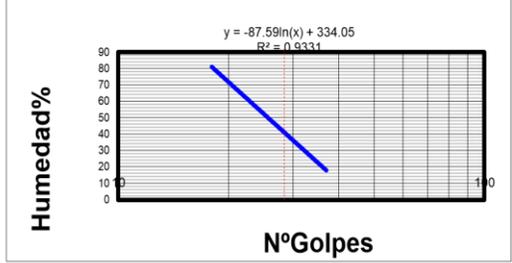
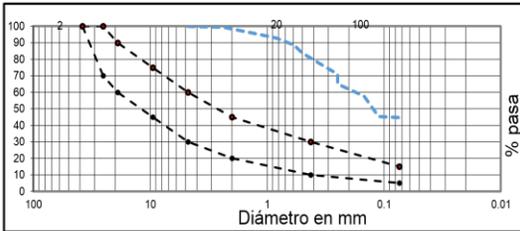
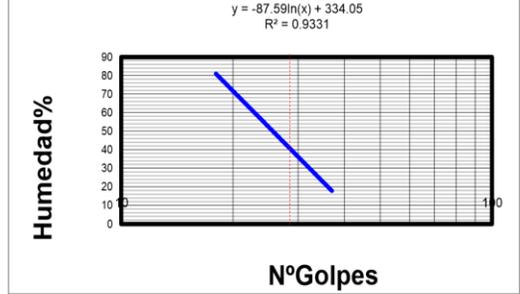
		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 4	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 09/04/17	
ANEXO 6					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.68	0.77	1		
Wt+Wh	3.79	5.21	9.28		
Wt+Wd	2.97	4.06	7.36		
Wagua	0.82	1.15	1.92		
Wseco	2.29	3.29	6.36		
Humedad %	35.81	34.95	30.19		
N° Golpes	15	23	31		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	0.53	0.55			
Wt+Wh	0.95	0.73			
Wt+Wd	0.87	0.7			
Wagua	0.08	0.03			
Humedad%	23.53	20.00			
HUMEDAD NATURAL (%)			33.03		
LIMITE LIQUIDO			33.65		
LIMITE PLASTICO			21.76		
INDICE PLASTICO			11.89		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.12	C _i =	0.00		
%ARENAS	42.13	C _c =	0.00		
%FINOS	57.75				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			13.1		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.77		
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARCILLA INORGANICA CL					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=999,2					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	1.2	0.12	99.88		
8	6.6	0.66	99.22		
16	6.4	0.64	98.58		
20	1.8	0.18	98.40		
30	4.2	0.42	97.98		
40	6.2	0.62	97.36		
50	13	1.30	96.06		
60	12.6	1.26	94.80		
80	39.2	3.92	90.87		
100	86	8.61	82.27		
140	0	0.00	82.27		
200	245	24.52	57.75		
FONDO	577	57.75			
TOTAL	999.2	100			
					
					

Tabla 43 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°4 E2

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 4	ESTRATO: 2	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 09/04/17	
ANEXO 7					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.8	0.75	0.99		
Wt+Wh	5.5	4.74	7.25		
Wt+Wd	4.2	3.63	5.54		
Wagua	1.3	1.11	1.71		
Wseco	3.4	2.88	4.55		
Humedad %	38.24	38.54	37.58		
N° Golpes	20	28	37		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	0.64	0.72			
Wt+Wh	1.3	1.58			
Wt+Wd	1.12	1.35			
Wagua	0.18	0.23			
Humedad%	37.50	36.51			
HUMEDAD NATURAL (%)				35.18	
LIMITE LIQUIDO				38.12	
LIMITE PLASTICO				37	
INDICE PLASTICO				1.12	
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.38	C _i =		0.00	
%ARENAS	34.92	C _c =		0.00	
%FINOS	64.70				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)					14.7
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS					2.51
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
LIMOS INORGANICOS ML					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=998,8					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	3.8	0.38	99.62		
8	16.8	1.68	97.94		
16	16.6	1.66	96.28		
20	3.8	0.38	95.90		
30	8.4	0.84	95.05		
40	5	0.50	94.55		
50	5.4	0.54	94.01		
60	6.8	0.68	93.33		
80	12.8	1.28	92.05		
100	28.4	2.84	89.21		
140	0	0.00	89.21		
200	244.8	24.51	64.70		
FONDO	646.2	64.70			
TOTAL	998.8	100			
					
					

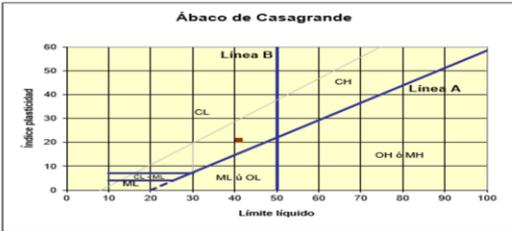
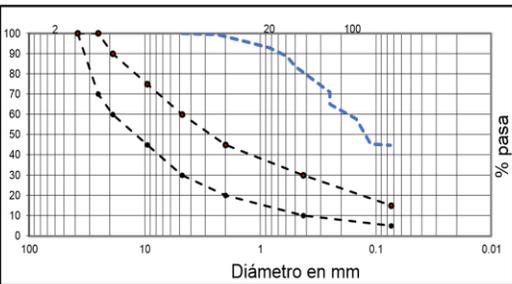
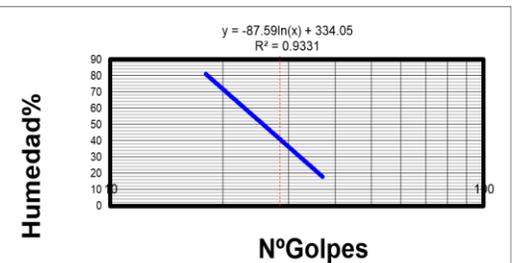
Fuente: Autores

Tabla 44 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°5 EI

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 5	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 07/04/17	
ANEXO 8					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	5.97	2.15	5.66		
Wt+Wh	12.8	6.61	9.21		
Wt+Wd	10.94	5.42	8.3		
Wagua	1.86	1.19	0.91		
Wseco	4.97	3.27	2.64		
Humedad %	37.42	36.39	34.47		
N° Golpes	18	26	35		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	5.94	6.57			
Wt+Wh	7.2	7.4			
Wt+Wd	6.92	7.27			
Wagua	0.28	0.13			
Humedad%	28.57	18.57			
HUMEDAD NATURAL (%)				33.76	
LIMITE LIQUIDO				36.09	
LIMITE PLASTICO				23.57	
INDICE PLASTICO				12.52	
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	13.22	C _i =		0.00	
%ARENAS	65.87	C _c =		0.00	
%FINOS	20.91				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)					14
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS					2.31
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S) ARCILLOSA SC					
ARENA					
ARCILLOSA SC					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=530,34					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	70.11	13.22	86.78		
8	49.59	9.35	77.43		
16	25.35	4.78	72.65		
20	0	0.00	72.65		
30	0	0.00	72.65		
40	40.8	7.69	64.96		
50	19.96	3.76	61.19		
60	0	0.00	61.19		
80	38.69	7.30	53.90		
100	39.96	7.53	46.36		
140	0	0.00	46.36		
200	135.01	25.46	20.91		
FONDO	110.87	20.91			
TOTAL	530.34	100			
					
					

Fuente: Autores

Tabla 45 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°5 E2

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 5	ESTRATO: 2	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 07/04/17	
ANEXO 9					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	2.18	2.11	2.13		
Wt+Wh	12.78	14.7	14.7		
Wt+Wd	8.74	11.73	11.73		
Wagua	4.04	2.97	2.97		
Wseco	6.56	9.62	9.6		
Humedad %	61.59	30.87	30.94		
N° Golpes	18	26	35		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	2.2	8.31			
Wt+Wh	2.64	8.7			
Wt+Wd	2.57	8.63			
Wagua	0.07	0.07			
Humedad%	18.92	21.87			
HUMEDAD NATURAL (%)			27.5		
LIMITE LIQUIDO			41.13		
LIMITE PLASTICO			20.39		
INDICE PLASTICO			20.74		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	10.04	C _u =	0.00		
%ARENAS	66.02	C _c =	0.00		
%FINOS	23.94				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			14.9		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.47		
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S) LIMOSA SM ARENA					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=456,74					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	45.86	10.04	89.96		
8	34.03	7.45	82.51		
16	27.13	5.94	76.57		
20	0	0.00	76.57		
30	0	0.00	76.57		
40	41.91	9.18	67.39		
50	20.25	4.43	62.96		
60	0	0.00	62.96		
80	31.21	6.83	56.13		
100	29.75	6.51	49.61		
140	0	0.00	49.61		
200	117.27	25.68	23.94		
FONDO	109.33	23.94			
TOTAL	456.74	100			
					
					

Fuente: Autores

Tabla 46 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°6

UNIVERSIDAD DE BAMBOLÓ COLOMBIA		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 6	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 10/04/17	
ANEXO 10					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.71	0.84	0.83		
Wt+Wh	5.84	9.3	6.41		
Wt+Wd	4.15	7.08	4.95		
Wagua	1.69	2.22	1.46		
Wseco	3.44	6.24	4.12		
Humedad %	49.13	35.58	35.44		
N° Golpes	19	22	35		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.69	0.71	0.49		
Wt+Wh	1.61	1.44	1.22		
Wt+Wd	1.39	1.25	1.03		
Wagua	0.22	0.19	0.19		
Humedad%	31.43	35.19	35.19		
HUMEDAD NATURAL (%)			24.8		
LIMITE LIQUIDO			40.05		
LIMITE PLASTICO			33.93		
INDICE PLASTICO			6.12		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.00	C _i =	0.00		
%ARENAS	37.43	C _c =	0.00		
%FINOS	62.57				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			14.5		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.71		
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S) INORGANICOS ML LIMOS					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=928,2					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	0	0.00	100.00		
8	14.8	1.59	98.41		
16	22.2	2.39	96.01		
20	0	0.00	96.01		
30	17.2	1.85	94.16		
40	0	0.00	94.16		
50	31.2	3.36	90.80		
60	0	0.00	90.80		
80	0	0.00	90.80		
100	104.8	11.29	79.51		
140	0	0.00	79.51		
200	157.2	16.94	62.57		
FONDO	580.8	62.57			
TOTAL	928.2	100			

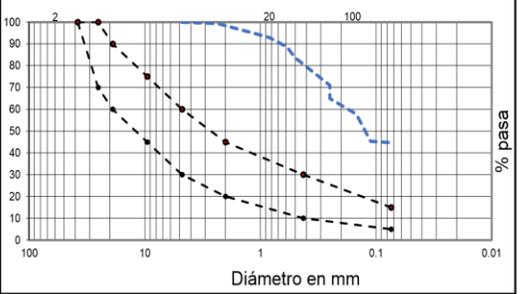
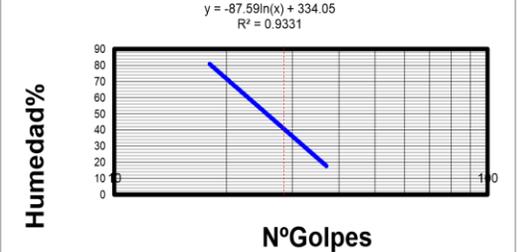
Fuente: Autores

Tabla 47 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°7

UNIVERSIDAD DE BAMBOLÓN COLOMBIA		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 7	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 08/04/17	
ANEXO 11					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.47	0.8	0.71		
Wt+Wh	3.62	3.4	4.33		
Wt+Wd	2.64	2.66	3.36		
Wagua	0.98	0.74	0.97		
Wseco	2.17	1.86	2.65		
Humedad %	45.16	39.78	36.60		
N° Golpes	16	23	36		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	7.94	7.36			
Wt+Wh	8.81	8.27			
Wt+Wd	8.62	8.05			
Wagua	0.19	0.22			
Humedad%	27.94	31.88			
HUMEDAD NATURAL (%)			20.32		
LIMITE LIQUIDO			40.51		
LIMITE PLASTICO			29.91		
INDICE PLASTICO			10.6		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.00	C _i =	0.00		
%ARENAS	46.24	C _c =	0.00		
%FINOS	53.76				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			16.43		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.62		
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S) INORGANICOS ML					
LIMOS					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=745,6 gr					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	0	0.00	100.00		
8	0	0.00	100.00		
16	10.6	1.42	98.58		
20	17.6	2.36	96.22		
30	54.2	7.27	88.95		
40	44.6	5.98	82.97		
50	0	0.00	82.97		
60	9	1.21	81.76		
80	44.6	5.98	75.78		
100	101.8	13.65	62.12		
140	0	0.00	62.12		
200	62.4	8.37	53.76		
FONDO	400.8	53.76			
TOTAL	745.6	100			

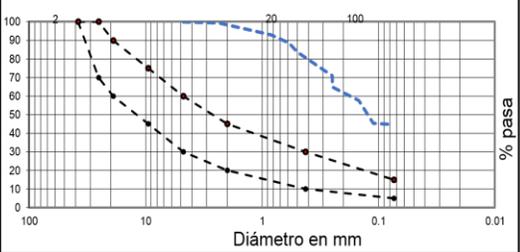
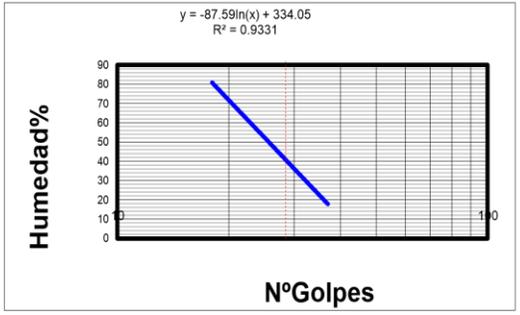
Fuente: Autores

Tabla 48 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°8

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS		APIQUE # 8	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 06/04/17
ANEXO 12					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	1.8	1.6	1.8		
Wt+Wh	12	20.6	12.8		
Wt+Wd	9.07	15.45	9.76		
Wagua	2.93	5.15	3.04		
Wseco	7.27	13.85	7.96		
Humedad %	40.30	37.18	38.19		
N° Golpes	17	26	36		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1				
Wtara	0.93				
Wt+Wh	1.4				
Wt+Wd	1.27				
Wagua	0.13				
Humedad%	38.24				
HUMEDAD NATURAL (%)			5.5		
LIMITE LIQUIDO			38.56		
LIMITE PLASTICO			38.24		
INDICE PLASTICO			0.32		
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	3.55	C _u =	3.00		
%ARENAS	95.08	C _c =	2.08		
%FINOS	1.37				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			17.2		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.34		
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARENA MAL GRADUADA SP					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=248,1					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	8.8	3.55	96.45		
8	0	0.00	96.45		
16	0	0.00	96.45		
20	75.8	30.55	65.90		
30	0	0.00	65.90		
40	124.3	50.10	15.80		
50	0	0.00	15.80		
60	0	0.00	15.80		
80	0	0.00	15.80		
100	20	8.06	7.74		
140	0	0.00	7.74		
200	15.8	6.37	1.37		
FONDO	3.4	1.37			
TOTAL	248.1	100			
					
					

Fuente: Autores

Tabla 49 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°9

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 9	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 07/04/17	
ANEXO 13					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	4.37	4.53	4.44		
Wt+Wh	8.1	7.27	11.12		
Wt+Wd	7.11	6.53	9.37		
Wagua	0.99	0.74	1.75		
Wseco	2.74	2	4.93		
Humedad %	36.13	37.00	35.50		
N° Golpes	20	25	30		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	4				
Wtara	0.5				
Wt+Wh	2.77				
Wt+Wd	2.23				
Wagua	0.54				
Humedad%	31.21				
HUMEDAD NATURAL (%)				18.02	
LIMITE LIQUIDO				36.21	
LIMITE PLASTICO				31.21	
INDICE PLASTICO				5	
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	1.58	$C_u =$		6.25	
%ARENAS	88.96	$C_c =$		1.00	
%FINOS	9.46				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)				14.4	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS				2.54	
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARENA MAL GRADUADA CON ARCILLA SP-CS					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=317					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	5	1.58	98.42		
8	0	0.00	98.42		
16	39	12.30	86.12		
20	61	19.24	66.88		
30	0	0.00	66.88		
40	33	10.41	56.47		
50	0	0.00	56.47		
60	0	0.00	56.47		
80	0	0.00	56.47		
100	113	35.65	20.82		
140	0	0.00	20.82		
200	36	11.36	9.46		
FONDO	30	9.46			
TOTAL	317	100			
					
					

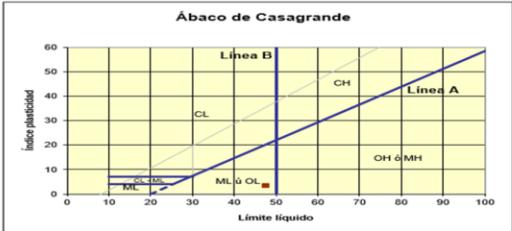
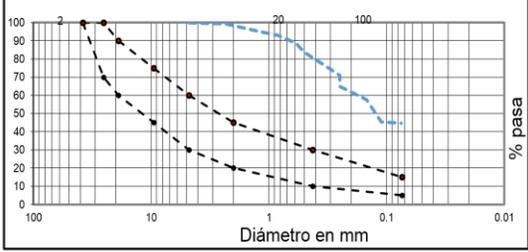
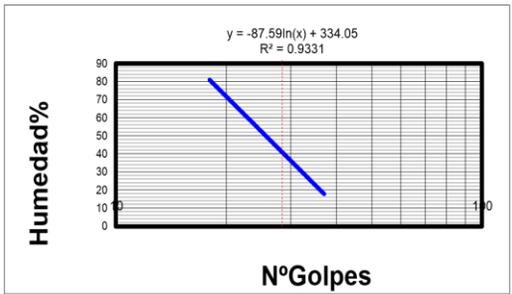
Fuente: Autores

Tabla 50 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°10

UNIVERSIDAD DE BAMBOLÓN COLOMBIA		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 10	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 06/04/17	
ANEXO 14					
LIMITE LIQUIDO			GRANULOMETRIA		
TAPA N°	1	2	3	PESO INICIAL=801,76	
Wtara	1.79	1.88	1.81	# TAMIZ	PESO RETNIDO gr
Wt+Wh	11.49	11.32	14.73		% RETENDIDO
Wt+Wd	9.86	9.02	11.69		% PASA
Wagua	1.63	2.3	3.04	3/4"	56.14
Wseco	8.07	7.14	9.88	3/8"	32.65
Humedad %	20.20	32.21	30.77	4	34.43
N° Golpes	18	24	31	8	0
LIMITE PLASTICO			16	92.49	11.54
TAPA N°	1		20	82.99	10.35
Wtara	1.79		30	0	0.00
Wt+Wh	12.45		40	158.27	19.74
Wt+Wd	11.69		50	0	0.00
Wagua	0.76		60	0	0.00
Humedad%	7.68		80	0	0.00
HUMEDAD NATURAL (%)			100	327.97	40.91
LIMITE LIQUIDO			140	0	0.00
LIMITE PLASTICO			200	11.22	1.40
INDICE PLASTICO			FONDO	5.6	0.70
			TOTAL	801.76	100
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	4.29	C _i =	0.00		
%ARENAS	83.93	C _c =	0.00		
%FINOS	11.77				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			9.7		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.66		
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S) ARENA MAL GRADUADA CON ARCILLA SP-CS					

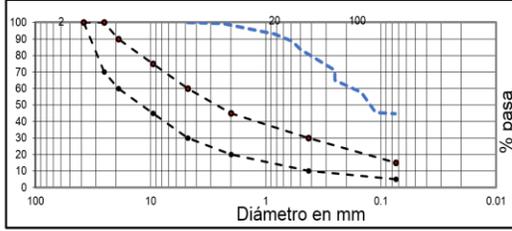
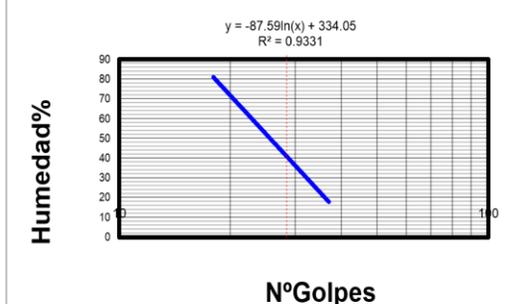
Fuente: Autores

Tabla 51 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°11

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 11	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 11/04/17	
ANEXO 15					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	6.5	6.74	6.74		
Wt+Wh	8.59	8.23	8.19		
Wt+Wd	7.98	7.74	7.69		
Wagua	0.61	0.49	0.5		
Wseco	1.48	1	0.95		
Humedad %	41.22	49.00	52.63		
N° Golpes	17	28	37		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1				
Wtara	6.55				
Wt+Wh	9.85				
Wt+Wd	8.84				
Wagua	1.01				
Humedad%	44.10				
HUMEDAD NATURAL (%)				26.83	
LIMITE LIQUIDO				47.61	
LIMITE PLASTICO				44.1	
INDICE PLASTICO				3.51	
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	1.83	C _u =		0.00	
%ARENAS	81.52	C _c =		0.00	
%FINOS	16.65				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)				15.76	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS				2.69	
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARENA LIMOSA SM					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=383,11					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	48.6	12.69	87.31		
4	7	1.83	98.17		
8	8.2	2.14	96.03		
16	10.8	2.82	93.21		
20	0	0.00	93.21		
30	17.8	4.65	88.57		
40	0	0.00	88.57		
50	46.31	12.09	76.48		
60	0	0.00	76.48		
80	0	0.00	76.48		
100	106.2	27.72	48.76		
140	0	0.00	48.76		
200	123	32.11	16.65		
FONDO	15.2	3.97			
TOTAL	383.11	100			
					
					

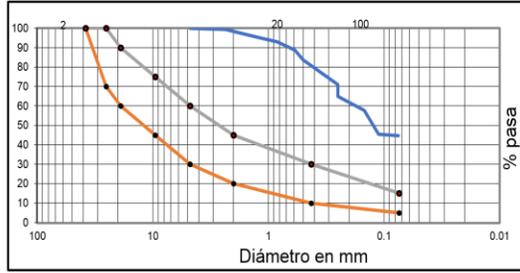
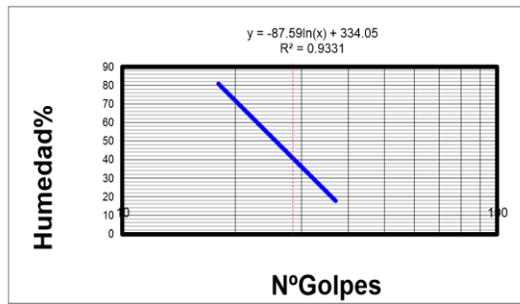
Fuente: Autores

Tabla 52 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°12

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 12	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 13/04/17	
ANEXO 16					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	0.35	0.52	0.4		
Wt+Wh	2.45	3.9	3.5		
Wt+Wd	2	2.8	2.79		
Wagua	0.45	1.1	0.71		
Wseco	1.65	2.28	2.39		
Humedad %	27.27	48.25	29.71		
N° Golpes	19	27	35		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1				
Wtara	0.34				
Wt+Wh	6.48				
Wt+Wd	4.96				
Wagua	1.52				
Humedad%	32.90				
HUMEDAD NATURAL (%)				21.22	
LIMITE LIQUIDO				34.89	
LIMITE PLASTICO				32.9	
INDICE PLASTICO				1.99	
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	3.53	C _u =		2.62	
%ARENAS	92.38	C _c =		0.59	
%FINOS	4.10				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)				16.53	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS				2.72	
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
ARENA MAL GRADUADAS SP					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=527,4					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	14.2	2.69	97.31		
4	18.6	3.53	96.47		
8	0	0.00	96.47		
16	31.2	5.92	90.56		
20	41.2	7.81	82.75		
30	0	0.00	82.75		
40	53.2	10.09	72.66		
50	0	0.00	72.66		
60	0	0.00	72.66		
80	0	0.00	72.66		
100	169.6	32.16	40.50		
140	0	0.00	40.50		
200	192	36.41	4.10		
FONDO	7.4	1.40			
TOTAL	527.4	100			
					
					

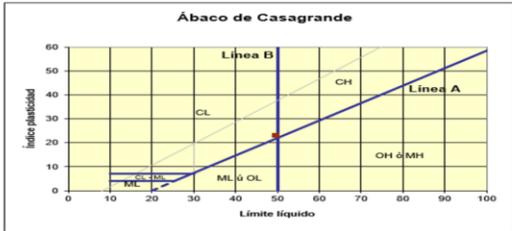
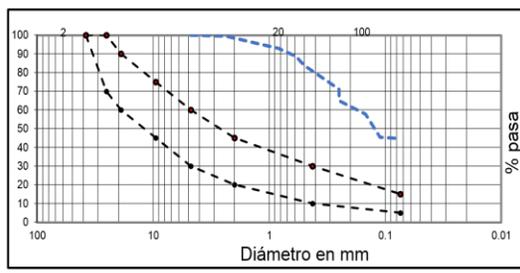
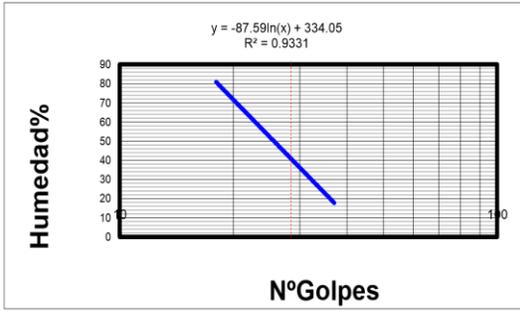
Fuente: Autores

Tabla 53 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°13

		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS			
		LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y		GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS	
BARRIO: SAN LUIS	APIQUE # 13	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 13/04/17	
ANEXO 17					
LIMITE LIQUIDO					
TAPA N°	1	2	3		
Wtara	2.06	2.06	2.06		
Wt+Wh	3.56	3.82	3.36		
Wt+Wd	3.14	3.35	3.04		
Wagua	0.42	0.47	0.32		
Wseco	1.08	1.29	0.98		
Humedad %	38.89	36.43	32.65		
N° Golpes	19	27	32		
LIMITE PLASTICO					
TAPA N°	1	2			
Wtara	2.06	3.06			
Wt+Wh	3.36	3.82			
Wt+Wd	3.04	3.63			
Wagua	0.32	0.19			
Humedad%	32.65	33.33			
HUMEDAD NATURAL (%)					28.73
LIMITE LIQUIDO					35.99
LIMITE PLASTICO					32.99
INDICE PLASTICO					3
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.78	C _i =		0.00	
%ARENAS	76.73	C _c =		0.00	
%FINOS	22.49				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)					14.5
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS					2.13
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS					
GRANULOMETRIA					
PESO INICIAL=893,8					
# TAMIZ	PESO RETNIDO gr	% RETENDIDO	% QUE PASA		
3/4"	0	0.00	100.00		
3/8"	0	0.00	100.00		
4	7	0.78	99.22		
8	0	0.00	99.22		
16	144	16.11	83.11		
20	47.4	5.30	77.80		
30	107.4	12.02	65.79		
40	105.2	11.77	54.02		
50	65.6	7.34	46.68		
60	50.8	5.68	40.99		
80	58.6	6.56	34.44		
100	93.4	10.45	23.99		
140	0	0.00	23.99		
200	13.4	1.50	22.49		
FONDO	201	22.49			
TOTAL	893.8	100			
					
					

Fuente: Autores

Tabla 54 Resultados uscs, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, gravedad específica APIQUE n°14

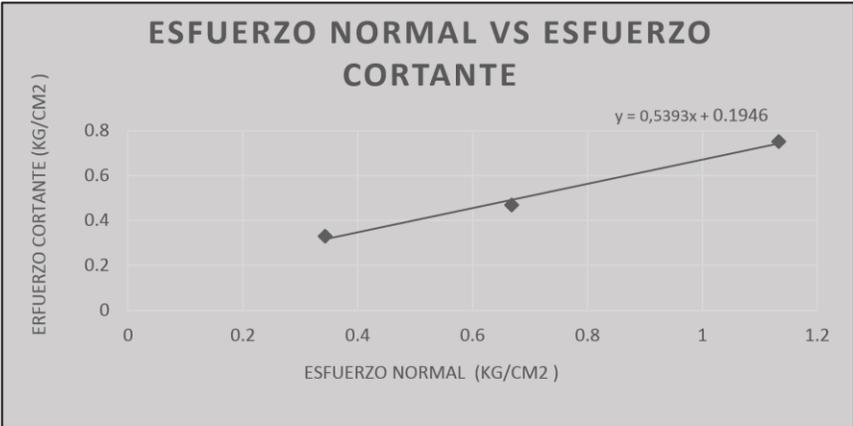
		CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS U.S.C.S. - ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS LIMITE LIQUIDO -LIMITE PLASTICO, DENSIDAD APARENTE Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS			
BARRIO: JUAN XXIII	APIQUE # 14	ESTRATO: 1	PROFUNDIDAD(m): 2,50	FECHA: 08/04/17	
ANEXO 18					
LIMITE LIQUIDO			GRANULOMETRIA		
TAPA N°	1	2	3	PESO INICIAL=800	
Wtara	7.6	7.4	7.8	# TAMIZ	PESO RETNIDO gr
Wt+Wh	9.2	9.4	10.8		% RETENDIDO
Wt+Wd	8.51	8.78	10.14		% QUE PASA
Wagua	0.69	0.62	0.66	3/4"	0
Wseco	0.91	1.38	2.34	3/8"	0
Humedad %	75.82	44.93	28.21	4	0.6
N° Golpes	20	25	34	8	4.4
LIMITE PLASTICO			16	34.2	4.28
TAPA N°	1	2	20	17.2	2.15
Wtara	7.6	11	30	34.2	4.28
Wt+Wh	15	18	40	39.6	4.95
Wt+Wd	13.6	16.4	50	75	9.38
Wagua	1.4	1.6	60	26.8	3.35
Humedad%	23.33	29.63	80	48.4	6.05
HUMEDAD NATURAL (%)			100	57.8	7.23
LIMITE LIQUIDO			140	99	12.38
LIMITE PLASTICO			200	5.2	0.65
INDICE PLASTICO			FONDO	357.6	44.70
			TOTAL	800	100
GRADACION		INDICES			
%GRAVAS	0.08	C _i =	0.00		
%ARENAS	55.23	C _c =	0.00		
%FINOS	44.70				
DENSIDAD APAENTE (Kn/m3)			12.7		
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS			2.93		
					
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS ARENA ARCILLOSAS SC					
					
					

Fuente: Autores

Anexo 2. Resultado ensayos de corte

Tabla 55 Ensayo de corte directo Apique n°1 E1

		INTEROBRAS DE SANTADER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 1	COORDENADAS	X:1158268	Y:1308548	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 19	PROFUNDIDAD (m): 1,80	ESTRATO: 1	
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTATE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.330	0.343	19.32	6.77
MUESTRA N° 2	0.469	0.668	19.34	6.77
MUESTRA N° 3	0.752	1.133	19.31	6.77



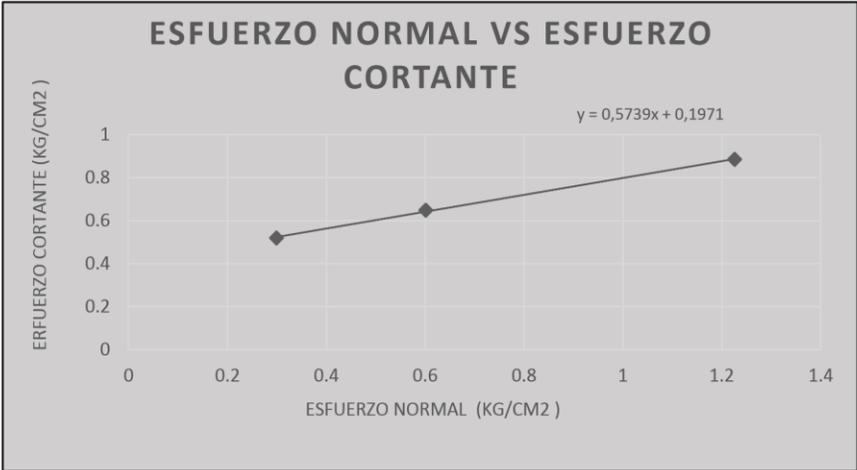
ANGULO DE FRICCION Φ	28,3°
COHESION (Kg/cm2)	0.1946


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Fuente: Autores

Tabla 56 Ensayo de corte directo Apique n°1 E2

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 1	COORDENADAS	X:1158268	Y:1308548	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 20	PROFUNDIDAD (m): 2,50	ESTRATO: 2	
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.323	0.300	18.29	8.51
MUESTRA N° 2	0.658	0.545	18.31	8.51
MUESTRA N° 3	1.109	0.756	18.32	8.51



ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

$y = 0,5739x + 0,1971$

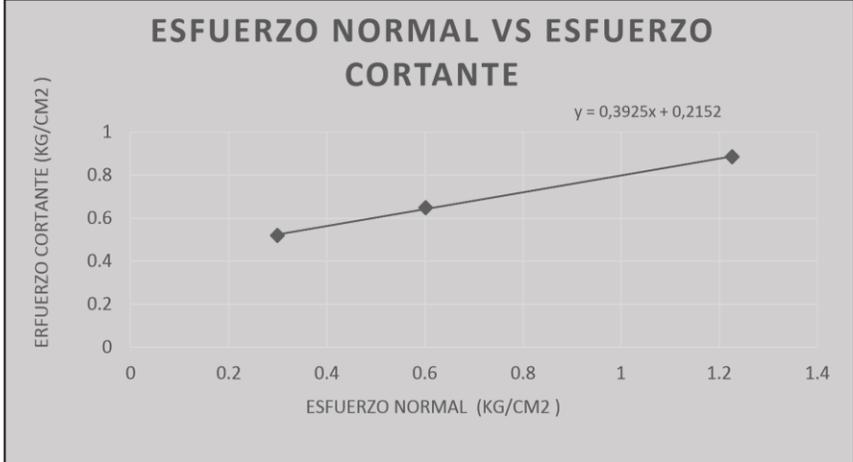
ANGULO DE FRICCION Φ	29,8°
COHESION (Kg/cm2)	0.1971


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

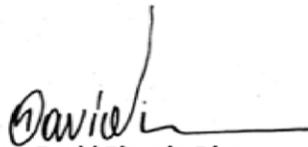
Fuente: Autores

Tabla 57 Ensayo de corte directo Apique n°2 E1

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 2	COORDENADAS	X:1158311	Y:1308658	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 21	PROFUNDIDAD (m): 1,30		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.299	0.519	13.03	30.07
MUESTRA N° 2	0.601	0.648	13.01	30.07
MUESTRA N° 3	1.226	0.885	13.04	30.07



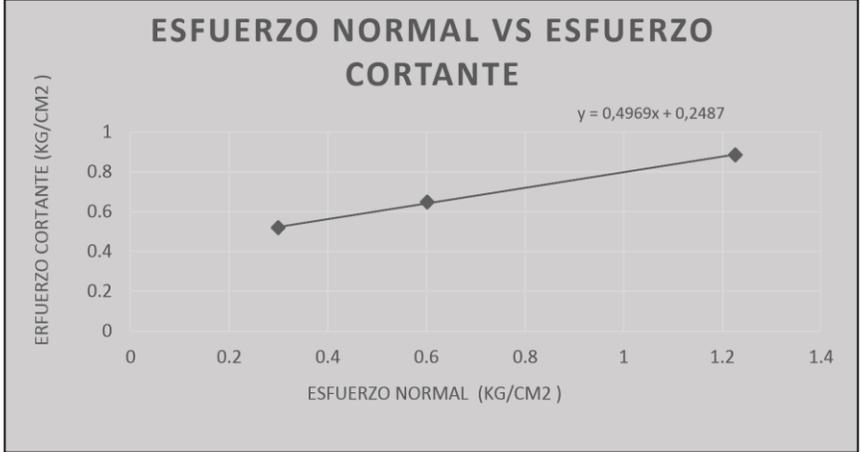
ANGULO DE FRICCION Φ	21,4°
COHESION (Kg/cm2)	0.2152


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

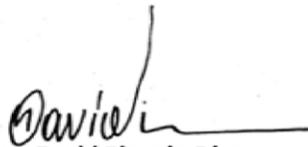
Fuente: Autores

Tabla 58 Ensayo de corte directo Apique n°2 E2

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 2	COORDENADAS	X:1158311	Y:1308658	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 22	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 2
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.376	0.581	15.3	32.8
MUESTRA N° 2	0.607	0.692	15.2	32.8
MUESTRA N° 3	1.197	0.988	15.4	32.8



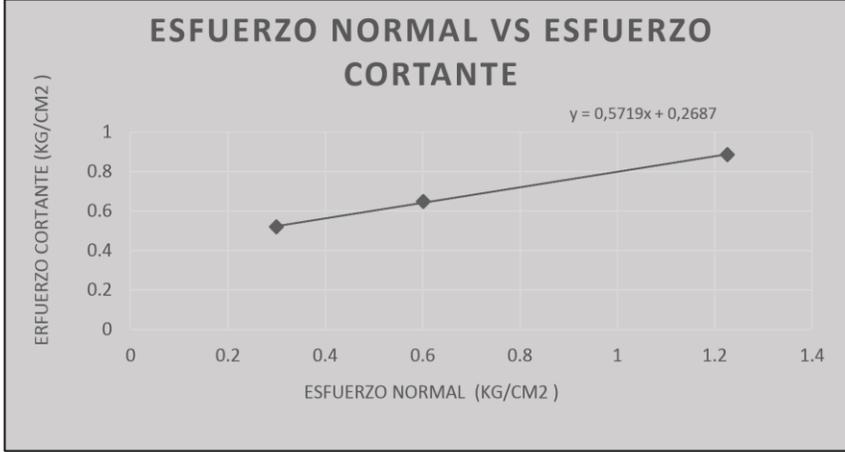
ANGULO DE FRICCION Φ	26,4°
COHESION (Kg/cm2)	0.2487


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

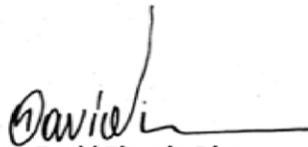
Fuente: Autores

Tabla 59 Ensayo de corte directo Apique n°3

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 3	COORDENADAS	X:1158204	Y:1308734	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 23	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.297	0.436	14.7	28.56
MUESTRA N° 2	0.409	0.51	14.6	28.56
MUESTRA N° 3	1.058	0.875	14.8	28.56



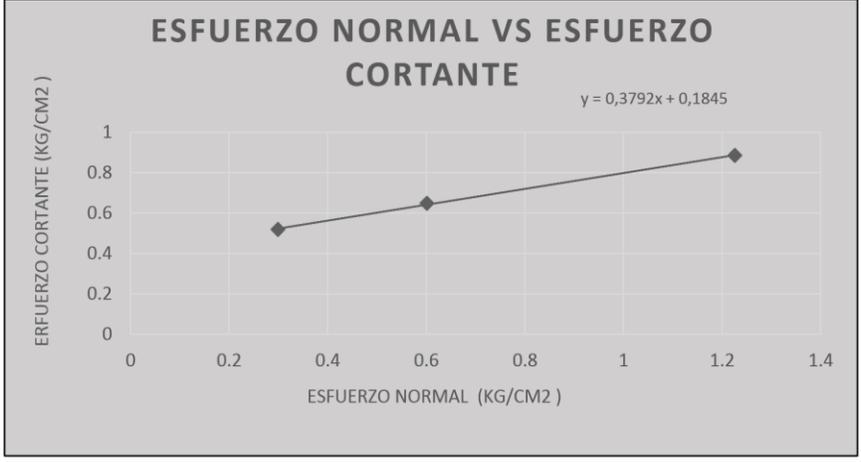
ANGULO DE FRICCION Φ	29,8°
COHESION (Kg/cm2)	0.2687


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Fuente: Autores

Tabla 60 Ensayo de corte directo Apique n°4 E1

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 4	COORDENADAS	X:1158186	Y:1308734	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 24	PROFUNDIDAD (m): 1,90		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.303	0.432	13.1	33.03
MUESTRA N° 2	0.478	0.519	13.1	33.03
MUESTRA N° 3	1.231	0.791	13.1	33.03



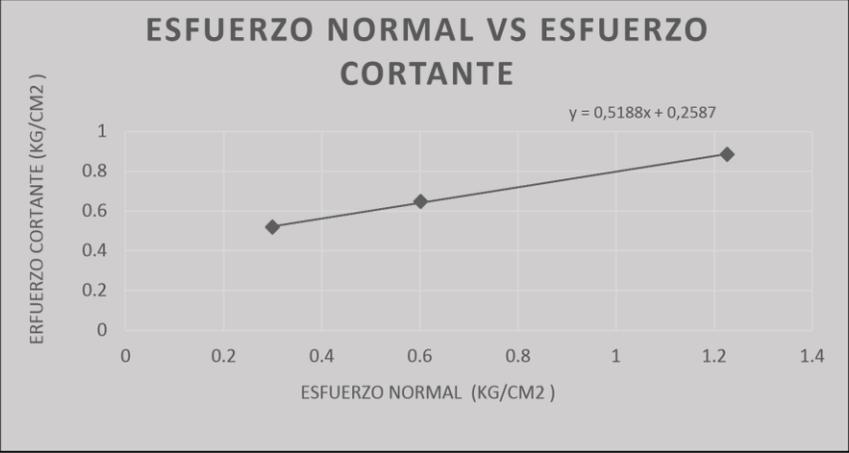
ANGULO DE FRICCION Φ	20,7°
COHESION (Kg/cm2)	0.1845


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Fuente: Autores

Tabla 61 Ensayo de corte directo Apique n°4 E2

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 4	COORDENADAS	X:1158186	Y:1308734	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 25	PROFUNDIDAD (m): 2,50	ESTRATO: 2	
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.342	0.415	3.9	35.18
MUESTRA N° 2	0.473	0.528	4.1	35.18
MUESTRA N° 3	1.122	0.836	3.8	35.18



ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

$y = 0,5188x + 0,2587$

ANGULO DE FRICCION Φ	27,4°
COHESION (Kg/cm2)	0.2587

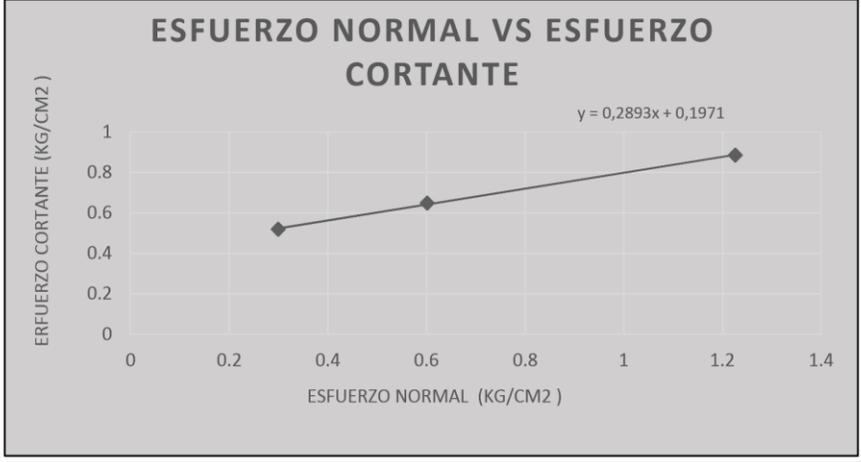


Ing. David Ricardo Díaz
Representante Legal

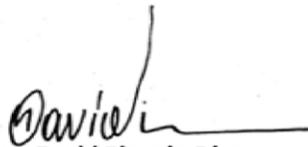
Fuente: Autores

Tabla 62 Ensayo de corte directo Apique n°5 E1

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 5	COORDENADAS	X:1158149	Y:1308865	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 26	PROFUNDIDAD (m): 1,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.302	0.415	14	33.76
MUESTRA N° 2	0.474	0.519	14	33.76
MUESTRA N° 3	1.266	0.713	14	33.76



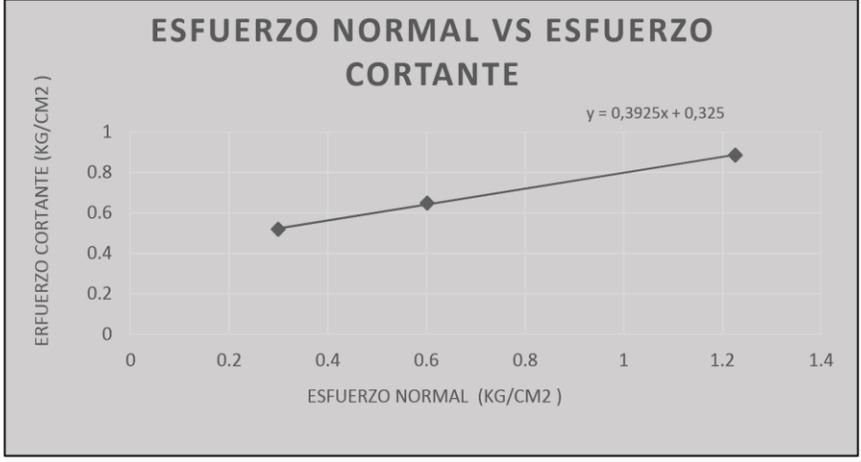
ANGULO DE FRICCION Φ	16,1°
COHESION (Kg/cm2)	0.1971


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

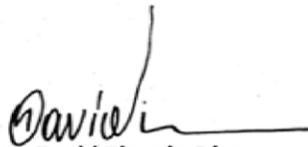
Fuente: Autores

Tabla 63 Ensayo de corte directo Apique n°5 E2

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 5	COORDENADAS	X:1158149	Y:1308865	FECHA:05/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 27	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 2
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.326	0.489	14.9	27.5
MUESTRA N° 2	0.507	0.636	14.9	27.5
MUESTRA N° 3	1.266	0.851	14.9	27.5



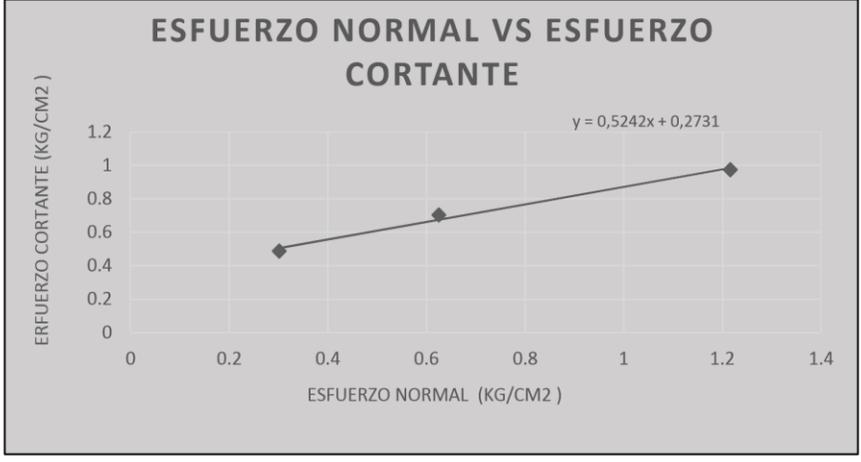
ANGULO DE FRICCION Φ	19,5°
COHESION (Kg/cm2)	0.325


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

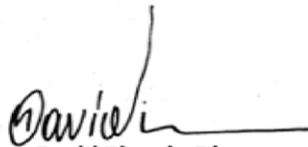
Fuente: Autores

Tabla 64 Ensayo de corte directo Apique n°6 E1

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 6	COORDENADAS	X:1158091	Y:1308894	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 28	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.301	0.487	14.5	24.8
MUESTRA N° 2	0.625	0.704	14.6	24.8
MUESTRA N° 3	1.216	0.975	14.4	24.8



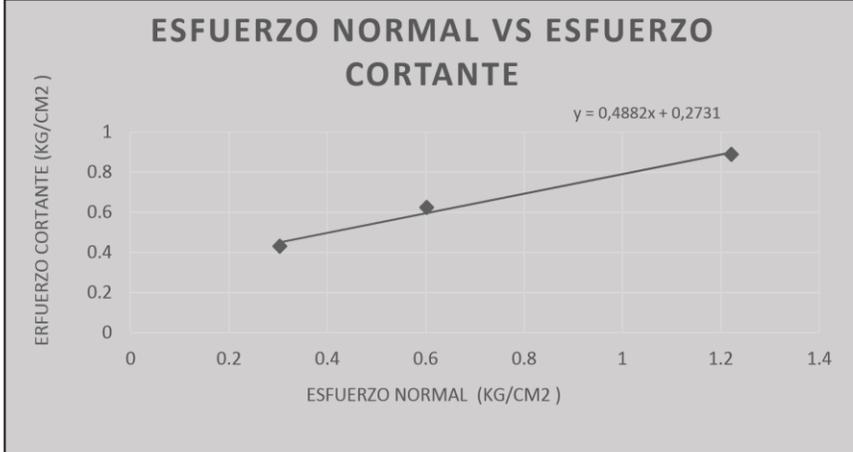
ANGULO DE FRICCION Φ	27,6°
COHESION (Kg/cm2)	0.2731


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

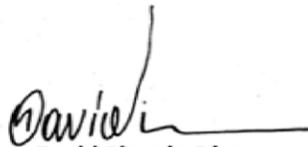
Fuente: Autores

Tabla 65 Ensayo de corte directo Apique n°7

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 7	COORDENADAS	X:1158032	Y:1308882	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 29	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.303	0.431	16.43	20.32
MUESTRA N° 2	0.602	0.624	16.4	20.32
MUESTRA N° 3	1.221	0.889	16.41	20.32



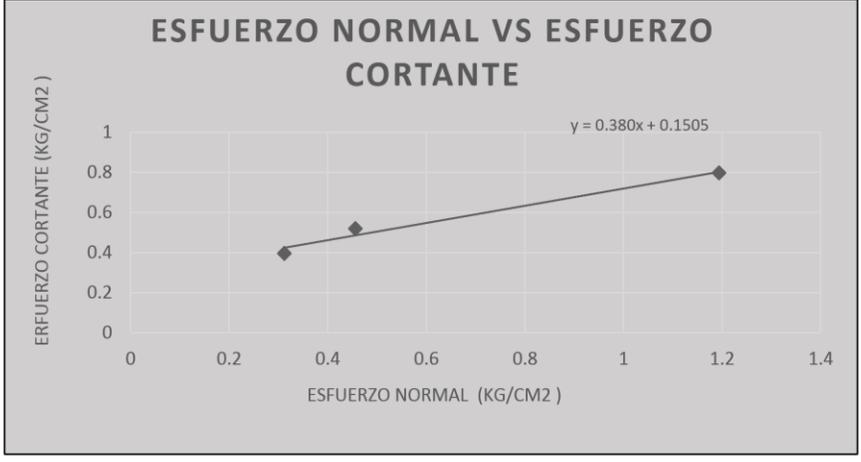
ANGULO DE FRICCION Φ	26,1°
COHESION (Kg/cm2)	0.2731


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

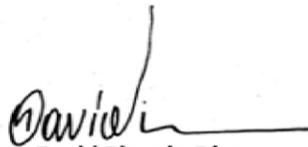
Fuente: Autores

Tabla 66 Ensayo de corte directo Apique n°8

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 8	COORDENADAS	X:1157989	Y:1309031	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 30	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.302	0.471	17.2	5.5
MUESTRA N° 2	0.534	0.602	17.3	5.5
MUESTRA N° 3	1.234	0.837	17.4	5.5



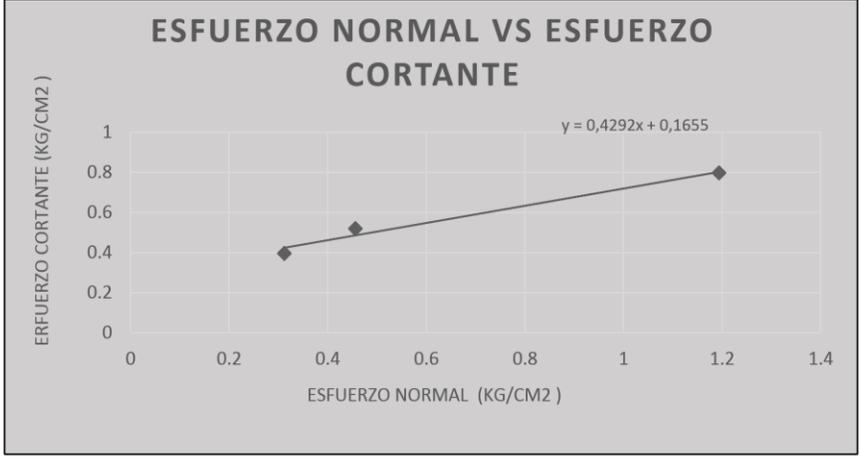
ANGULO DE FRICCION Φ	20,8°
COHESION (Kg/cm2)	0.1505


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Fuente: Autores

Tabla 67 Ensayo de corte directo Apique n°9

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 9	COORDENADAS	X:1157935	Y:1309919	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 31	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.312	0.396	14.4	18.02
MUESTRA N° 2	0.456	0.519	14.4	18.02
MUESTRA N° 3	1.194	0.797	14.4	18.02



ANGULO DE FRICCION Φ	23,2°
COHESION (Kg/cm2)	0.1655

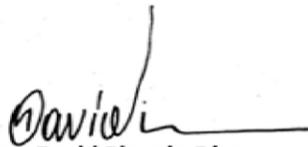
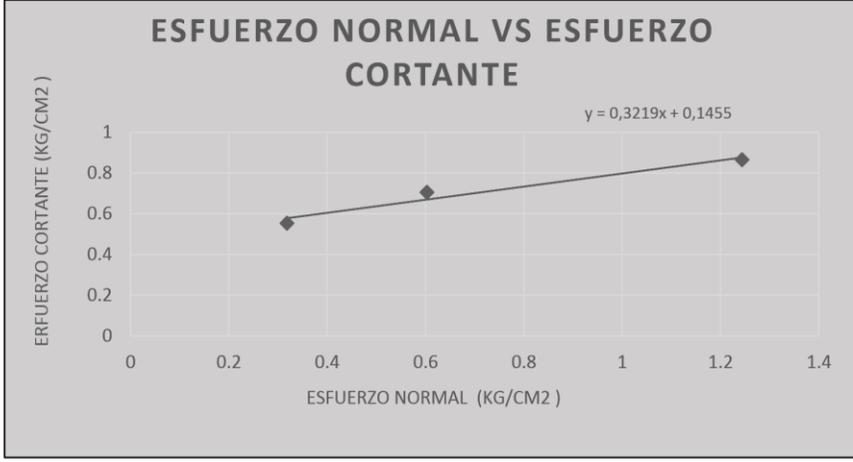
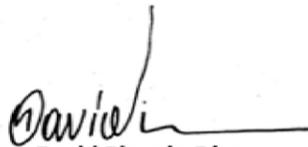

Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Tabla 68 Ensayo de corte directo Apique n°10

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 10	COORDENADAS	X:1157910	Y:1308956	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION: SAN LUIS	ANEXO 32	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.318	0.553	9.7	81.24
MUESTRA N° 2	0.603	0.706	9.5	81.24
MUESTRA N° 3	1.244	0.865	9.8	81.24



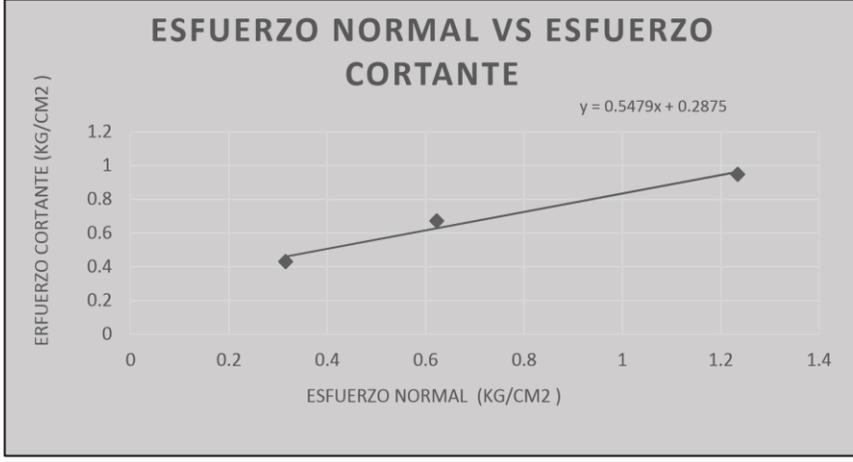
ANGULO DE FRICCION Φ	17,8°
COHESION (Kg/cm2)	0.1455


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

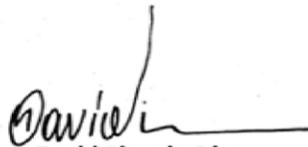
Fuente: Autores

Tabla 69 Ensayo de corte directo Apique n°11

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 11	COORDENADAS	X:1157971	Y:1308866	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 33	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.315	0.431	15.76	26.83
MUESTRA N° 2	0.622	0.672	15.72	26.83
MUESTRA N° 3	1.234	0.949	15.74	26.83



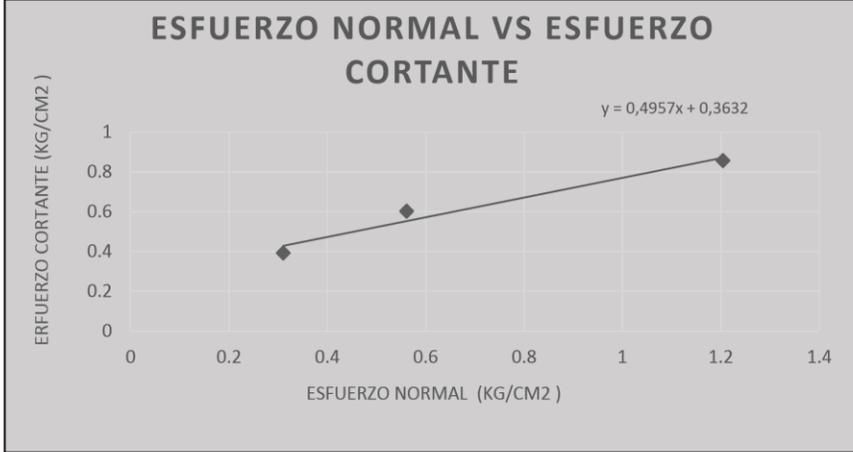
ANGULO DE FRICCION Φ	28,7°
COHESION (Kg/cm2)	0.3247


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

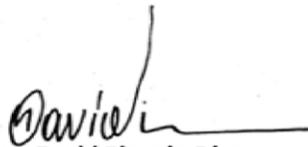
Fuente: Autores

Tabla 70 Ensayo de corte directo Apique n°12

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 12	COORDENADAS	X:1157939	Y:1308766	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 34	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.310	0.392	16.53	21.22
MUESTRA N° 2	0.561	0.602	16.52	21.22
MUESTRA N° 3	1.204	0.857	16.51	21.22



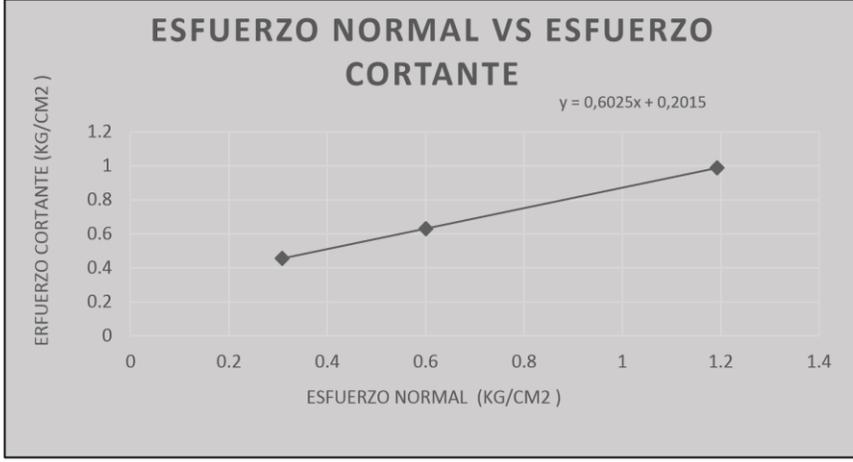
ANGULO DE FRICCION Φ	26,3°
COHESION (Kg/cm2)	0.3632


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Fuente: Autores

Tabla 71 Ensayo de corte directo Apique n°13

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 13	COORDENADAS	X:1157997	Y:1308766	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:SAN LUIS	ANEXO 35	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.308	0.457	14.5	28.73
MUESTRA N° 2	0.600	0.63	14.5	28.73
MUESTRA N° 3	1.192	0.989	14.5	28.73



ANGULO DE FRICCION Φ	31,1°
COHESION (Kg/cm2)	0.2015

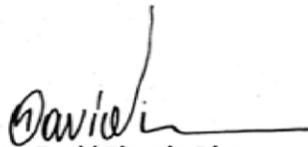
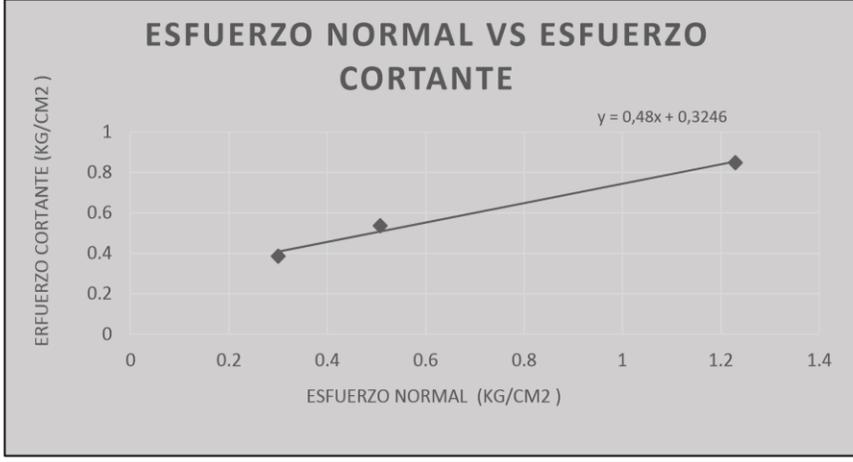
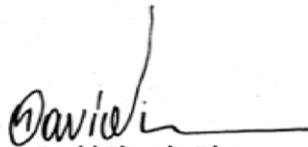

Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Tabla 72 Ensayo de corte directo Apique n°14

		INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S NIT: 900.572.636-2		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E-154				
APIQUE # 14	COORDENADAS	X:1158046	Y:1303692	FECHA:06/05/2017
LOCALIZACION:JUAN XXIII	ANEXO 36	PROFUNDIDAD (m): 2,50		ESTRATO: 1
	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm2)	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm2)	PESO UNITARIO (KN/m3)	HUMEDAD NATURAL (%)
MUESTRA N° 1	0.300	0.386	12.7	46.45
MUESTRA N° 2	0.507	0.537	12.8	46.45
MUESTRA N° 3	1.229	0.848	12.9	46.45



ANGULO DE FRICCION Φ	25,6°
COHESION (Kg/cm2)	0.3246


Ing. David Ricardo Díaz
 Representante Legal

Fuente: Autores

Anexo 3. Perfiles estratigráficos

Tabla 73 Columna estratigráfica apique n°1

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 1					SECTOR: JUAN XXIII					
FECHA DE INICIO: 08/04/2017					FECHA DE TERMINACION: 08/04/2017					
COORDENADAS					X:1158268			Y:1308548		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: NP					ANEXO 37			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F	Estrato	Columna Estratigráfica	U.S.C.S.	DESCRIPCION	Humedad Natural	Índice de Plasticidad	Angulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm ²)	Gravedad Especifica
0,0-0,8					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,8-1,8		1		SM-SC	Arena limosa arcillosa de color gris.	6,77	4,38	28,3	0,1946	2,53
1,8-2,5		2		SW-SC	Arena arcillosa bien graduadas de color rojizo.	8,51	6,86	29,8	0,1971	2,75

Tabla 74 Columna estratigráfica apique n°2

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 2					SECTOR: JUAN XXIII					
FECHA DE INICIO:09/04/17					FECHA DE TERMINACION:09/04/17					
COORDENADAS					X:1158311			Y:1308658		
INGENIEROS CIVILES:					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:SI					ANEXO 38			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-0,4					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,4-1,3		1		SC	Arena arcillosa de color oscuro vetado con marrón.	30,07	14,05	21,4	0,2152	2,59
1,3-1,5		2		MI	Limos inorgánicos de color marrón vetado	32,8	12,22	26,4	0,2487	2,72
										

Fuente: Autores

Fuente: Autores

Tabla 75 Columna estratigráfica apique n°3

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 3					SECTOR: JUAN XXIII					
FECHA DE INICIO:09/04/17					FECHA DE TERMINACION: 09/04/17					
COORDENADAS					X:1158204			Y:1308734		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: SI					ANEXO 39			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F(m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-0,9					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,9-2,5	1,3	1		ML	Limos inorgánicos de color gris.	28,56	NP	29,8	0,2687	2,5

Fuente: Autores

Tabla 76 Columna estratigráfica apique n°4

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 4					SECTOR: JUAN XXIII					
FECHA DE INICIO: 09/04/17					FECHA DE TERMINACION: 09/04/17					
COORDENADAS					X: 1158186			Y: 1308734		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: SI					ANEXO 40			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm ²)	Gravedad Especifica
0,0-0,6					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,6-1,9	1,8	1		CL	Arcillas inorgánicas de color oscuro	33,03	11,89	20,7	0,1845	2,77
1,9-2,5		2		ML	Limos inorgánicos de color café vetado con gris.	35,18	1,12	27,4	0,2587	2,51

Fuente: Autores

Tabla 77 Columna estratigráfica apique n°5

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 5					SECTOR: JUAN XXIII					
FECHA DE INICIO: 07/04/17					FECHA DE TERMINACION: 07/04/17					
COORDENADAS					X: 1158149			Y: 1308865		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: SI					ANEXO 41			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F(m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm ²)	Gravedad Especifica
0,0-0,3					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,3-1,5		1		SC	Arena arcillosa de color marrón veteados con gris.	33,76	12,52	16,1	0,1971	2,31
1,5-2,5	2	2		SM	Arena limosa de color gris veteados con marrón.	27,5	20,74	19,5	0,325	2,47

Fuente: Autores

Tabla 78 Columna estratigráfica apique n°6

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 6					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO:10/04/17					FECHA DE TERMINACION: 10/04/17					
COORDENADAS					X:1158091			Y:1308894		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:NP					ANEXO 42			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural	Índice de Plasticidad	Angulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-1,0					Materia orgánica con presencia de raíces.					
1,0-2,5		1		ML	Limos inorgánicos de color café vetado con gris.	24,8	6,12	27,6	0,2731	2,71

Fuente: Autores

Tabla 79 Columna estratigráfica apique n°7

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 7					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO: 08/04/16					FECHA DE TERMINACION: 08/04/16					
COORDENADAS					X:1158032			Y:1308882		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:NP					ANEXO 43			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-08					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,8-2,5		1		ML	Limos inorgánicos de color gris vetado con café.	20,32	10,6	26,1	0,2731	2,62

Fuente: Autores

Tabla 80 Columna estratigráfica apique n°8

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 8					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO:06/O4/17					FECHA DE TERMINACION: 06/O4/17					
COORDENADAS					X:1157989			Y:1309031		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:SI					ANEXO 44			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F(m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (φ)	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-1,2					Materia orgánica con presencia de raíces.					
1,2-2,5	1,5	1		SP	Arena mal graduada de color marrón.	5,5	0,32	20,8	0,1928	2,34

Fuente: Autores

Tabla 81 Columna estratigráfica apique n°9

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 9					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO: 07/05/17					FECHA DE TERMINACION: 07/05/17					
COORDENADAS					X:1157935			Y:1309919		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:SI					ANEXO 45			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-0,9					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,9-2,5	1,9	1		SP-SC	Arena arcillosa mal graduadas de color marrón.	18,02	5	23,2	0,3036	2,54

Fuente: Autores

Tabla 82 Columna estratigráfica apique n°10

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 10					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO: 06/04/17					FECHA DE TERMINACION: 06/04/17					
COORDENADAS					X: 1157910			Y: 1308956		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: SI					ANEXO 46			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm ²)	Gravedad Especifica
0,0-1,3	0,4				Materia orgánica con presencia de raíces.					
1,3-2,5		1		SP-SC	Arena arcillosa mal graduadas de color oscuro.	81,24	20,04	17,8	0,1792	2,66

Fuente: Autores

Tabla 83 Columna estratigráfica apique n°11

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 11					SECTOR: SAM LUIS					
FECHA DE INICIO: 11/04/17					FECHA DE TERMINACION: 11/04/17					
COORDENADAS					X: 1157971			Y: 1308866		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: NP					ANEXO 47			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm ²)	Gravedad Especifica
0,0-0,7					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,7-2,5		1		SM	Arena limosa de color marrón veteadas con gris.	26,83	3,51	28,7	0,3247	2,69

Fuente: Autores

Tabla 84 Columna estratigráfica apique n°12

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 12					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO:13/04/17					FECHA DE TERMINACION: 13/04/17					
COORDENADAS					X:1157939			Y:1308766		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:NP					ANEXO 48			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-0,5					Materia orgánica con presencia de raíces.					
0,5-1,6		1		SP	Arena mal graduada de color gris vetado con marrón.	21,22	1,99	26,3	0,3632	2,72

Fuente: Autores

Tabla 85 Columna estratigráfica apique n°13

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 13					SECTOR: SAN LUIS					
FECHA DE INICIO:13/04/17					FECHA DE TERMINACION:13/04/17					
COORDENADAS					X:1157997		Y:1308766			
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO:NP					ANEXO 48		TIPO DE APIQUE: MANUAL			
Prof. (m)	N. F	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción (φ)	Cohesión (Kg/cm2)	Gravedad Especifica
0,0-1,0					Materia orgánica con presencia de raíces.					
1,0-2,5		1		SM-SC	Arena limosa arcillosa de color café veteadado con gris.	28,73	3	31,1	0,2015	2,13

Fuente: Autores

Tabla 86 Columna estratigráfica apique n°14

COLUMNA ESTRATIGRAFICA										
CARACTERIZACION Y ANALISIS GEOMECANICO EN EL SECTOR URBANO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER										
APIQUE # 14					SECTOR: JUAN XXIII					
FECHA DE INICIO: 08/04/17					FECHA DE TERMINACION: 08/04/17					
COORDENADAS					X: 1158046			Y: 1303692		
INGENIEROS DE CAMPO					CAMILO JIMENEZ BREINER AMESQUITA					
NIVEL FREATICO: SI					ANEXO 50			TIPO DE APIQUE: MANUAL		
Prof. (m)	N. F (m)	Estrato	Columna Estratigráfica	USCS	DESCRIPCION	Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad (%)	Angulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm ²)	Gravedad Especifica
0,0-1,0	0,4				Materia orgánica con presencia de raíces.					
1,0-2,5		1		SC	Arena arcillosa de color oscuro.	46,45	23,17	26,5	0,3246	2,93

Fuente: Autores

Anexo 4. Factores de seguridad por GEOSLOPE

PRIMERA SECCION

CONDICION:

SATURADA

METODO DE



NO

SIN SISMO,

FELLENIUS.

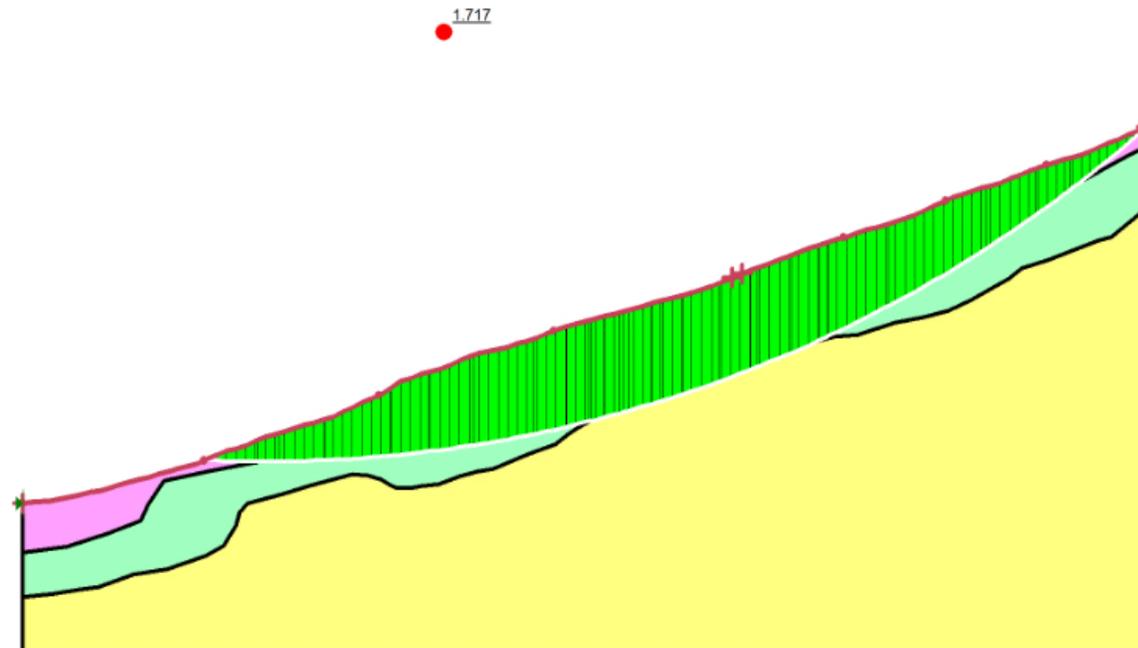
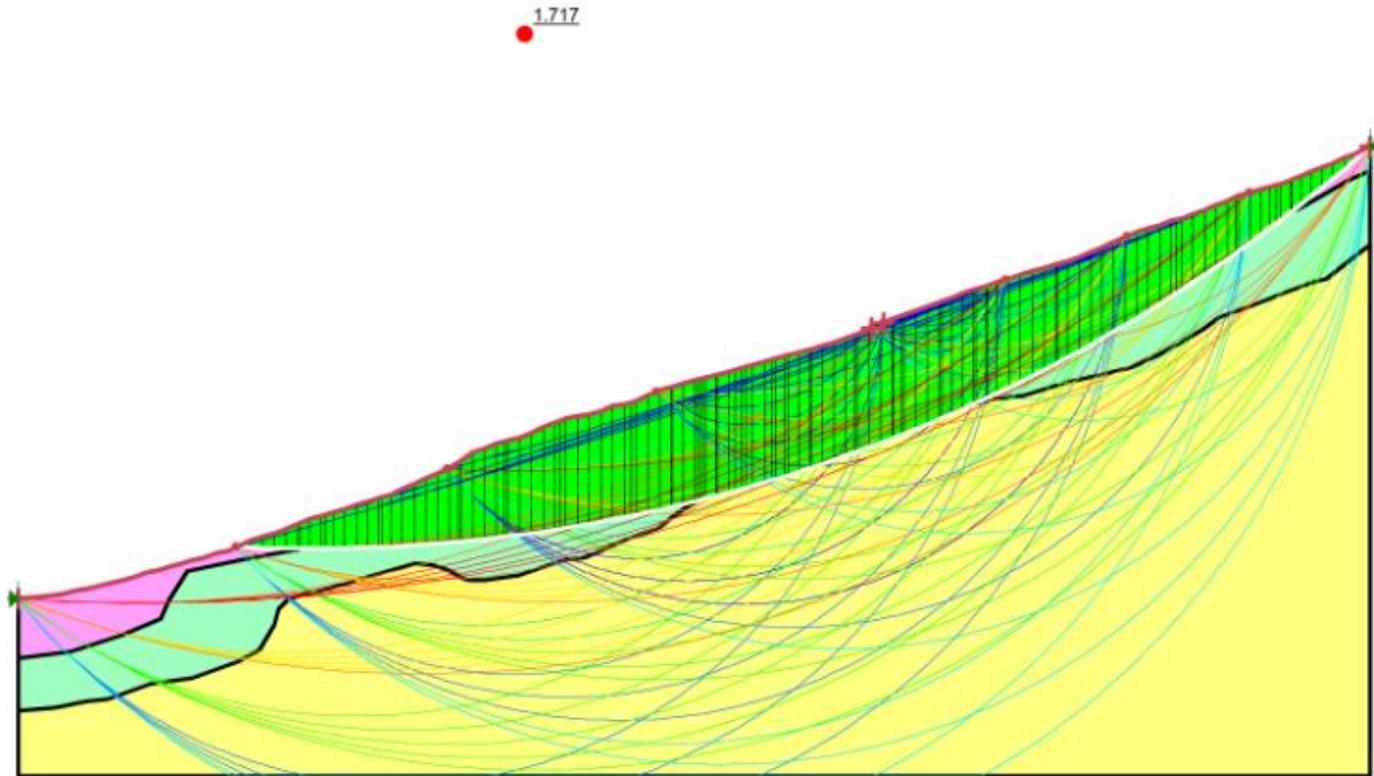


Ilustración 31 Factor de seguridad Método Fellenius, Condición: no saturada sin sismo

Fuente: Autores



*Ilustración 32 Superficies de falla Método Fellenius, Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores*

PRIMERA SECCION

CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE JANBU.

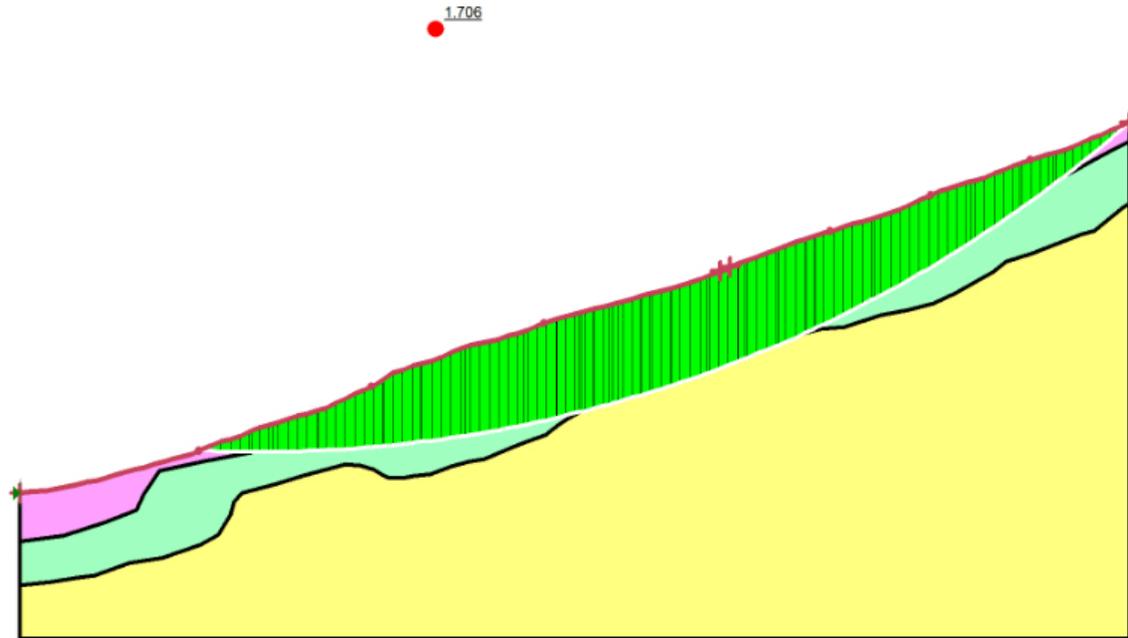


Ilustración 33 Factor de seguridad Método Janbu, Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

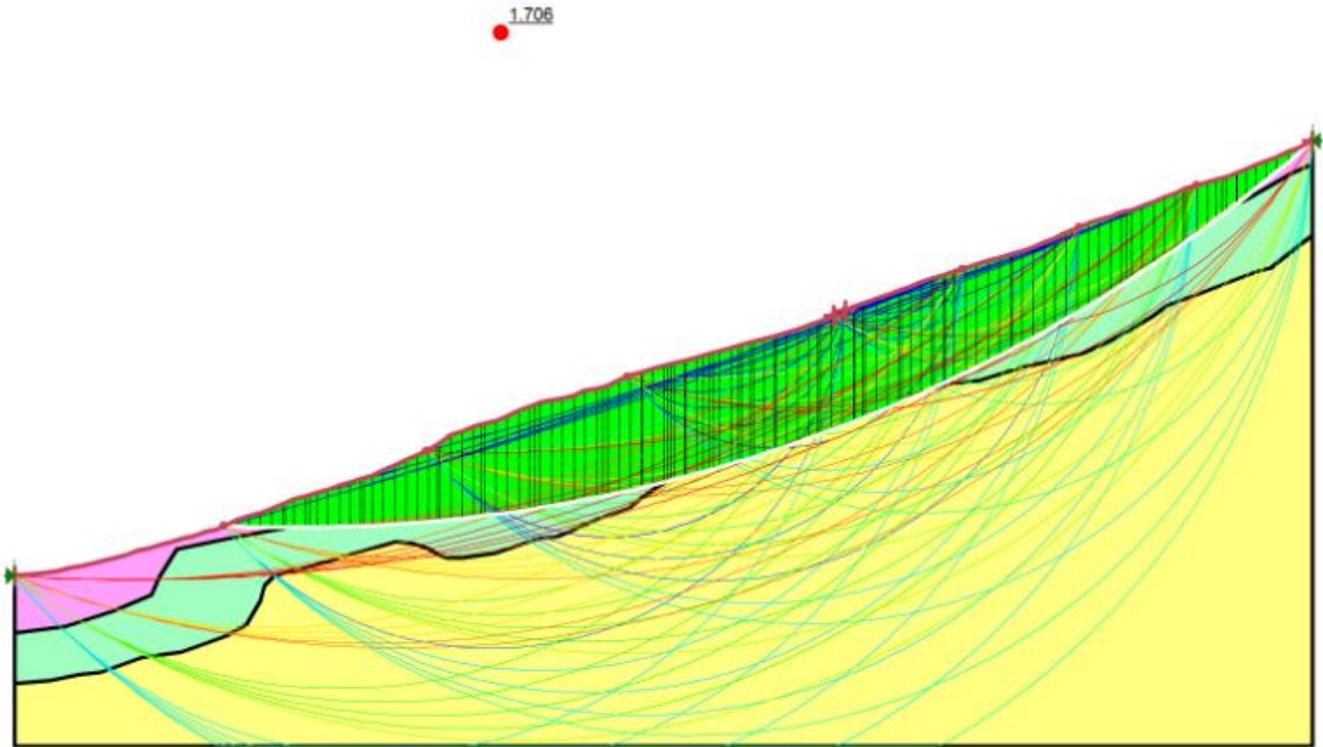


Ilustración 34 Superficies de falla Método Janbu, Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

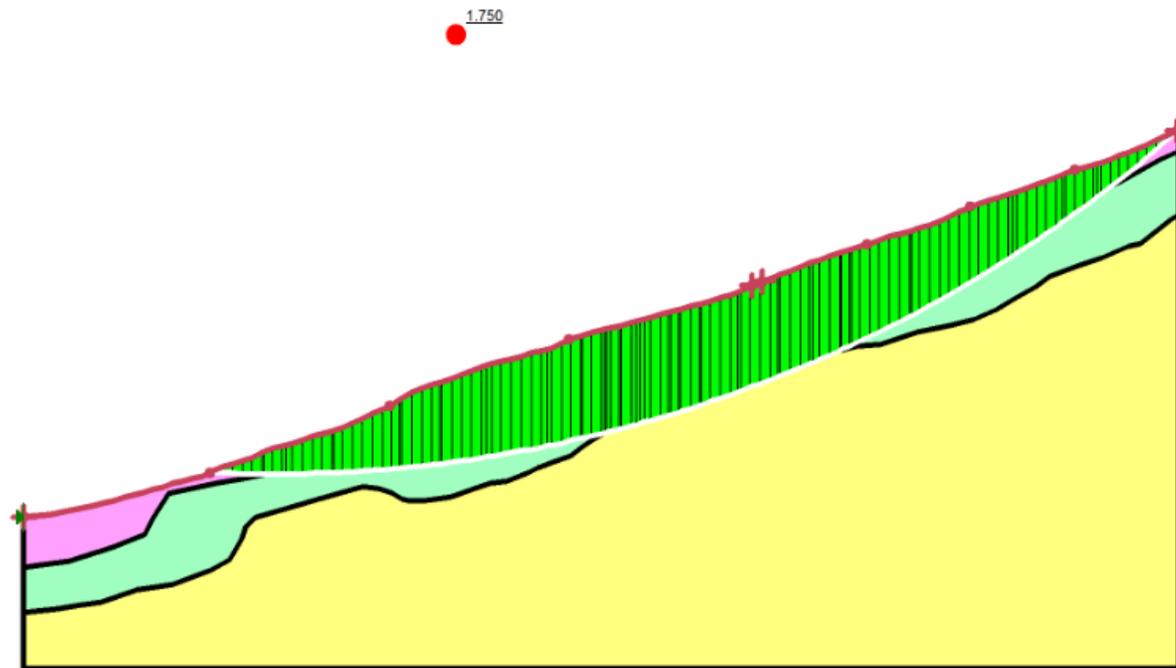
PRIMERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 35 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

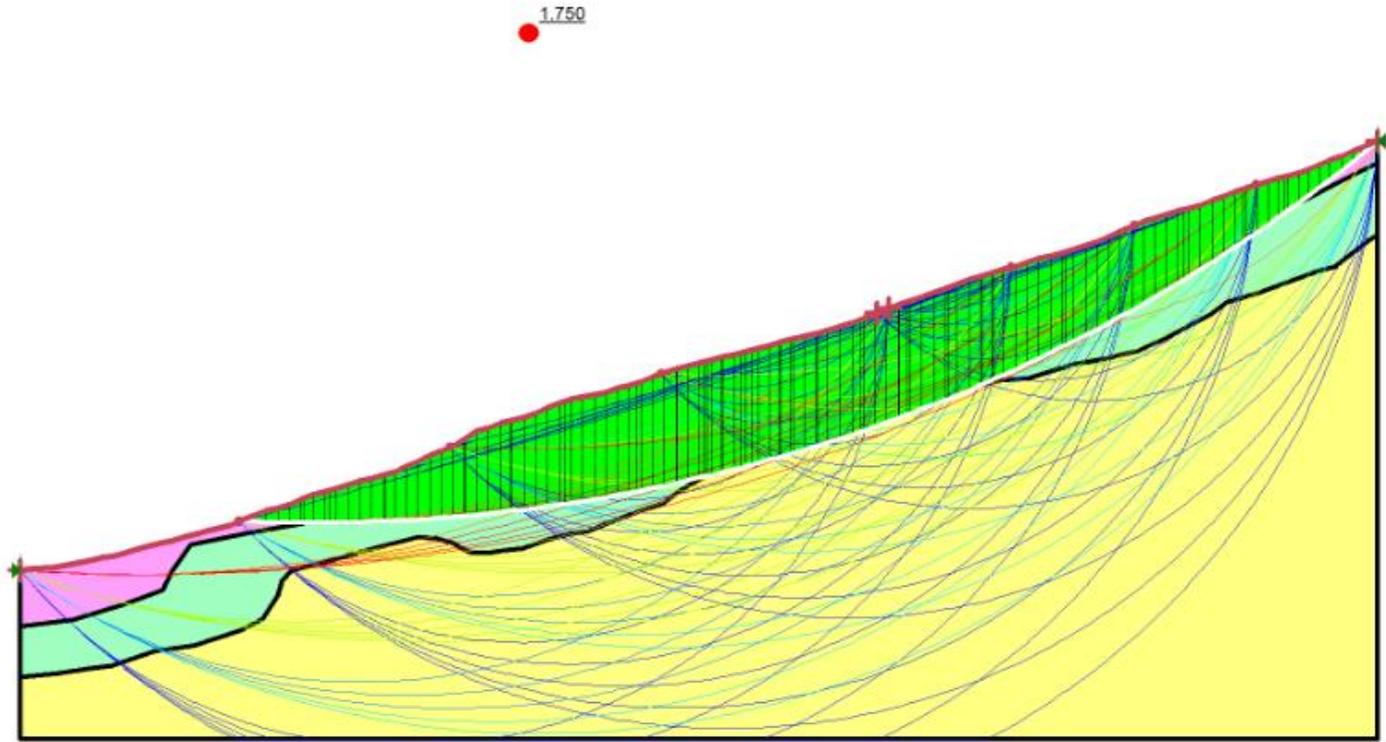


Ilustración 36 Superficies de falla Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

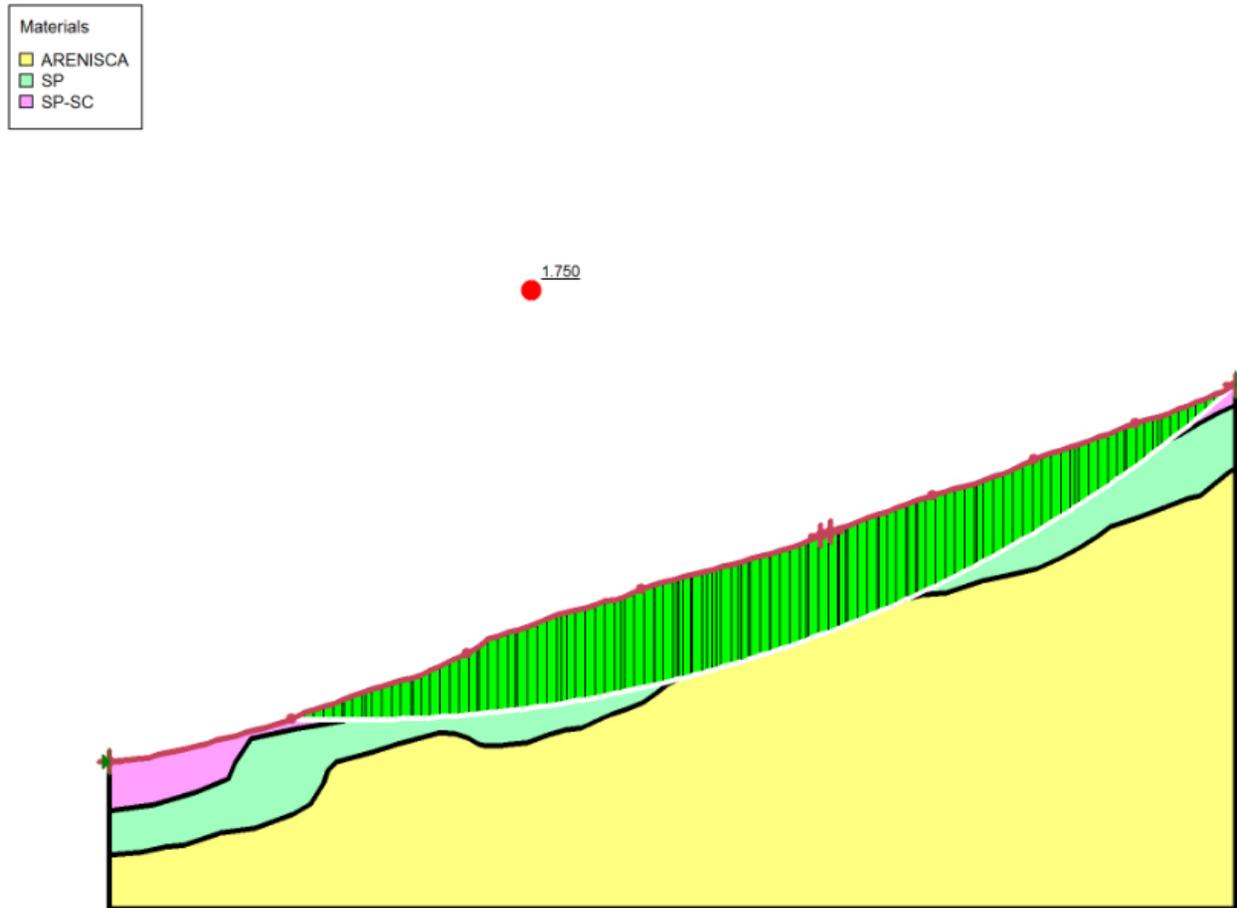
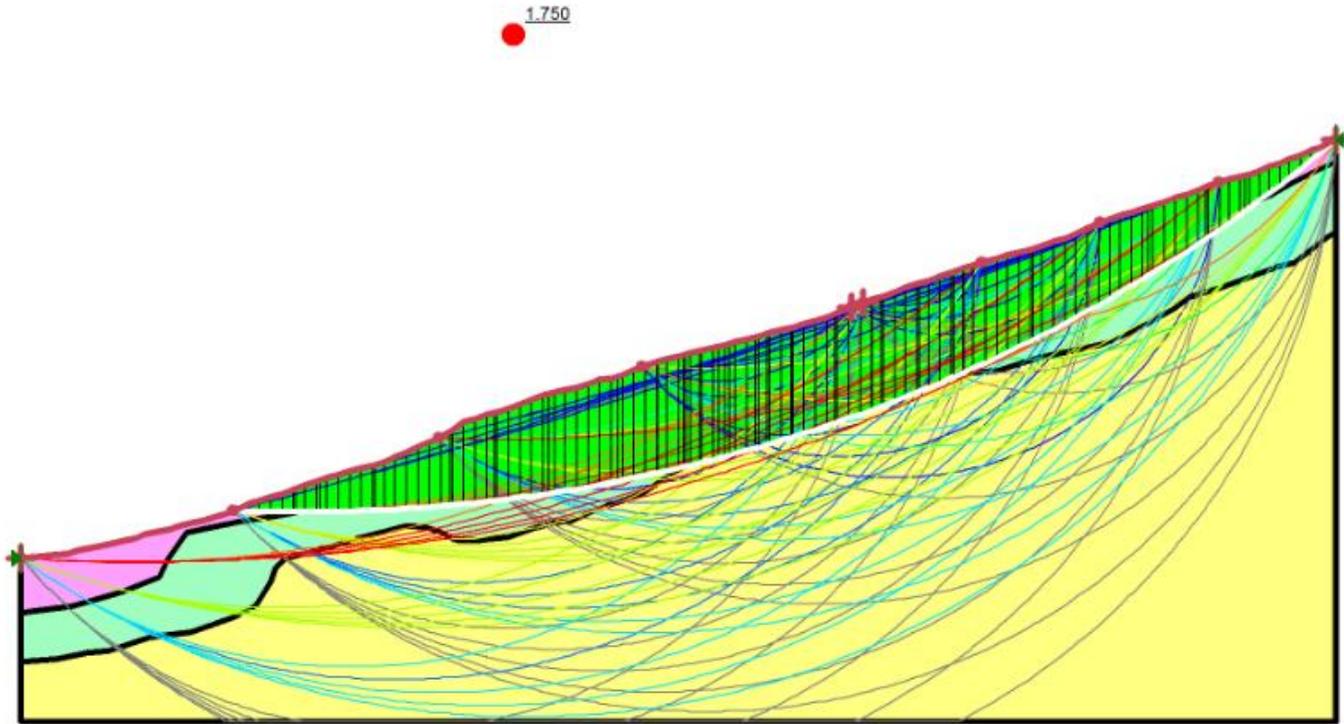
PRIMERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 37 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: no saturada sin sismo

Fuente: Autores



*Ilustración 38 Superficies de falla Método Spencer Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores*

PRIMERA SECCION
CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE FELLENIUS.

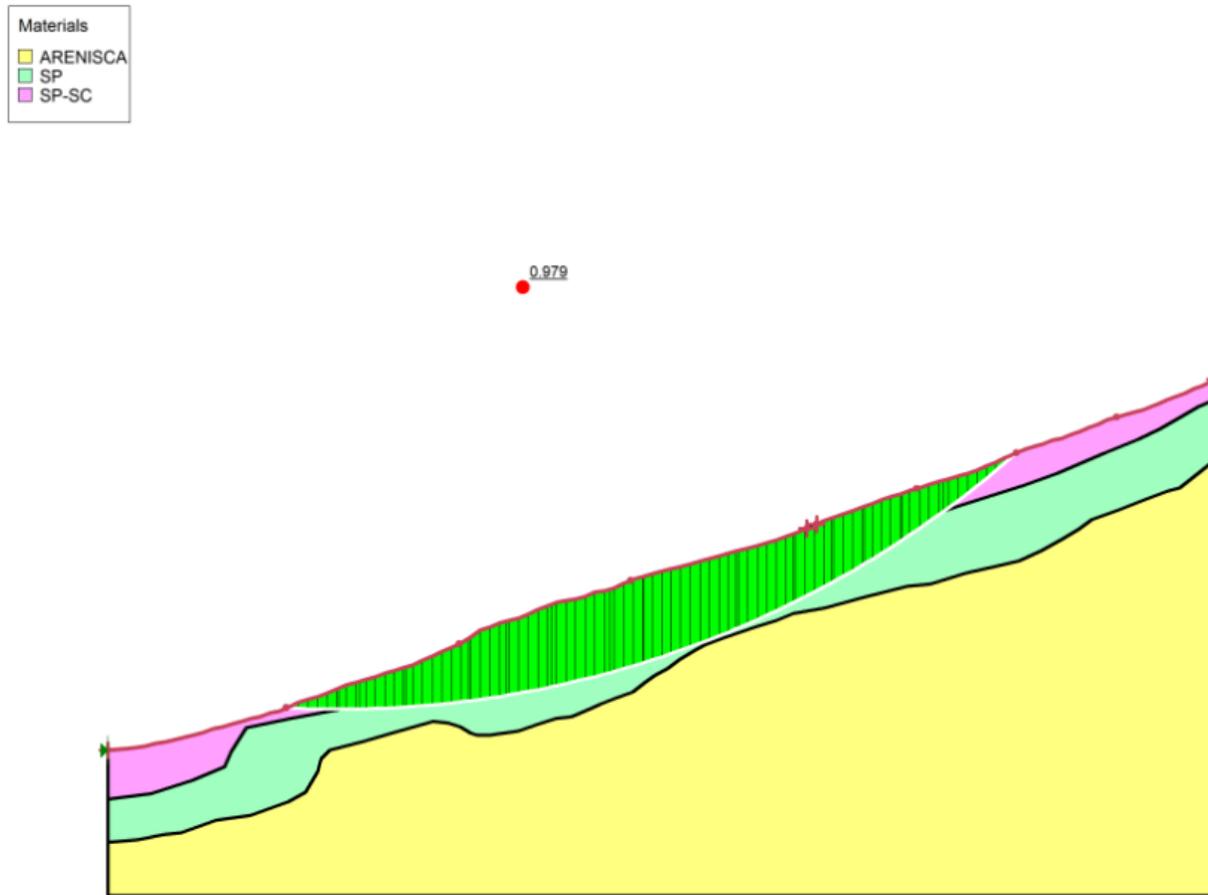


Ilustración 39 Factor de seguridad Método Fellenius, Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

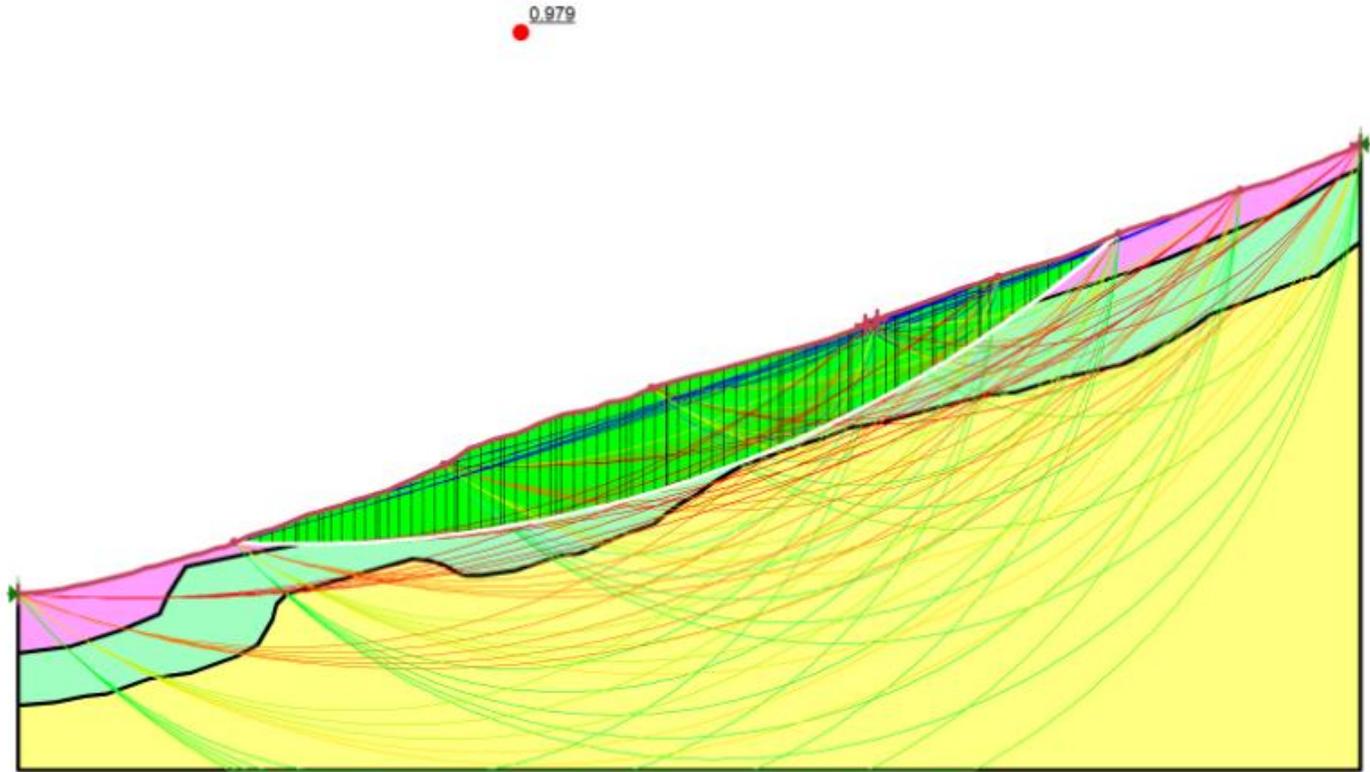


Ilustración 40 Superficies de falla Método Fellenius, Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

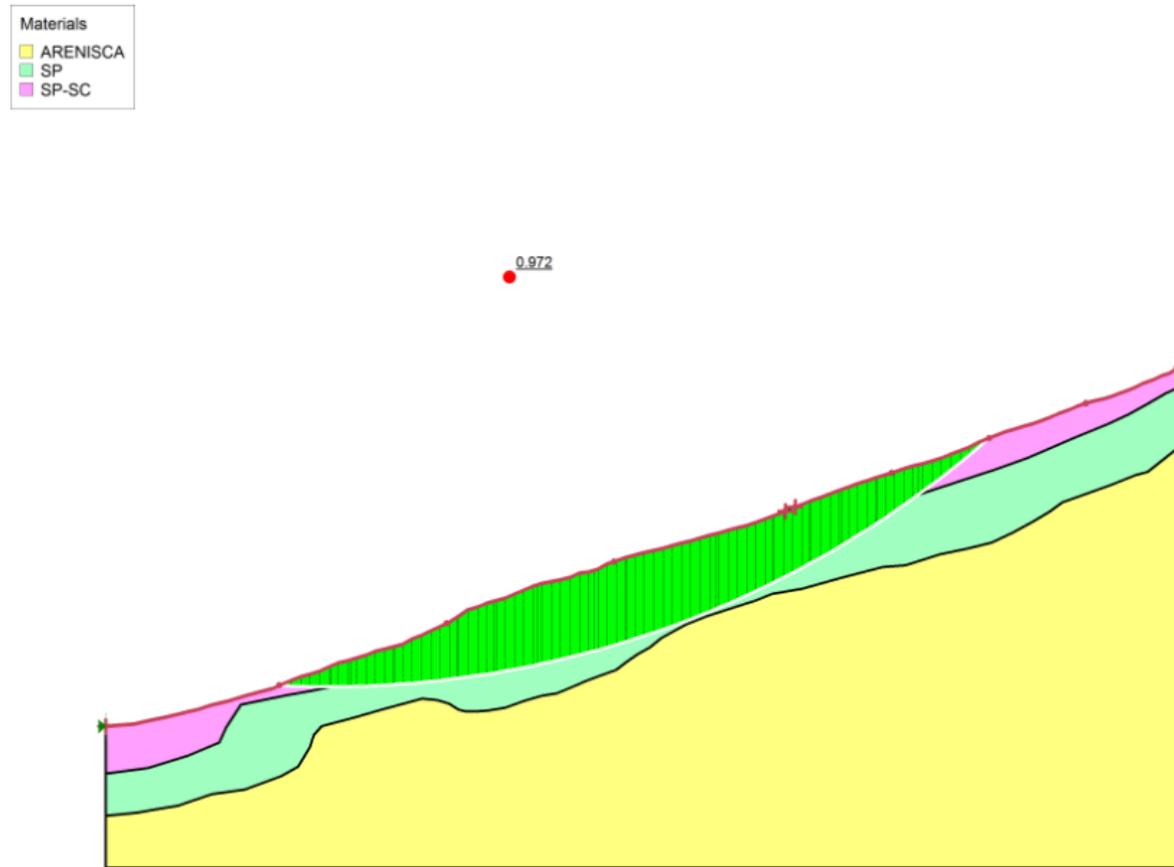
PRIMERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 41 Factor de seguridad Método Janbu, Condición: no saturada con sismo

Fuente: Autores

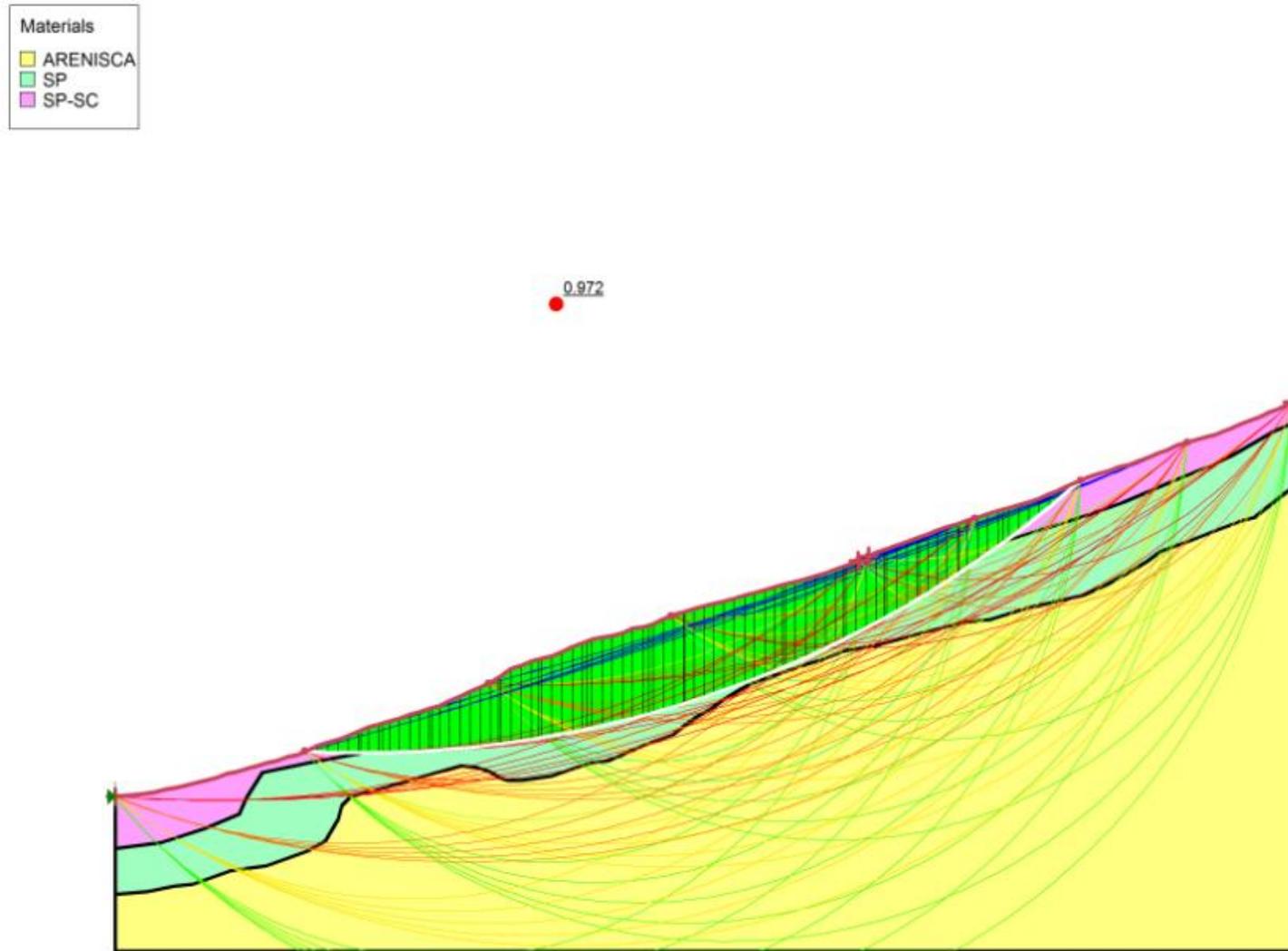


Ilustración 42 Superficies de falla Método Janbu. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

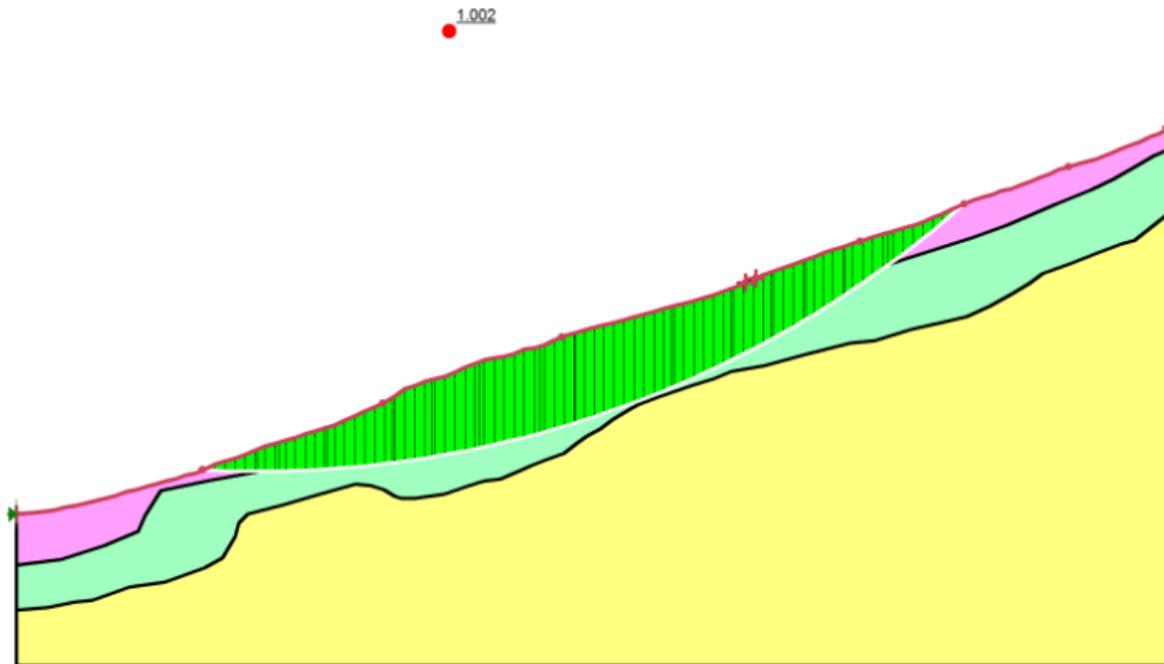
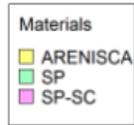
PRIMERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE MORGENSTER-PRICE.**

Ilustración 43 Factor de seguridad Mét. Morgenster-Price Condición: no saturada con sismo

Fuente: Autores

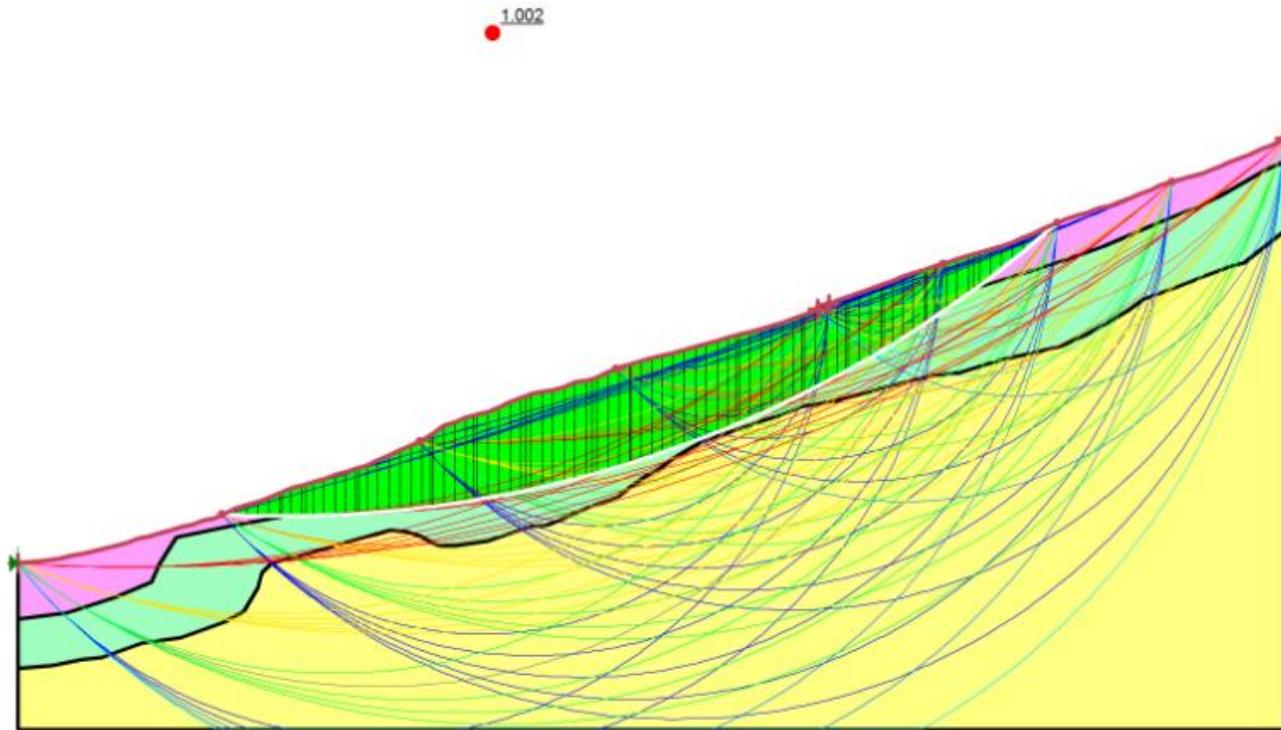
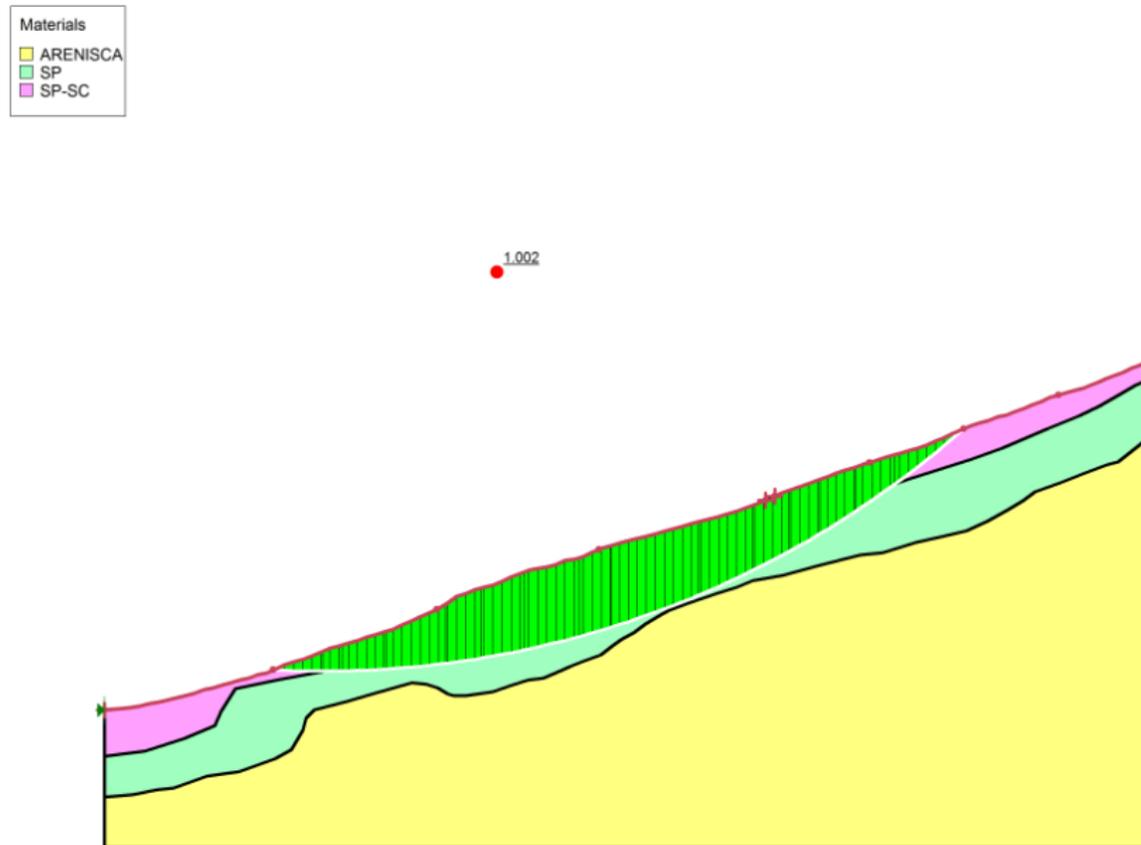


Ilustración 44 Superficies de falla Mét. Morgenster-Price Condición: no saturada con sismo

Fuente: Autores

PRIMERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE SPENCER.**

*Ilustración 45 Factor de seguridad método spencer Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores*

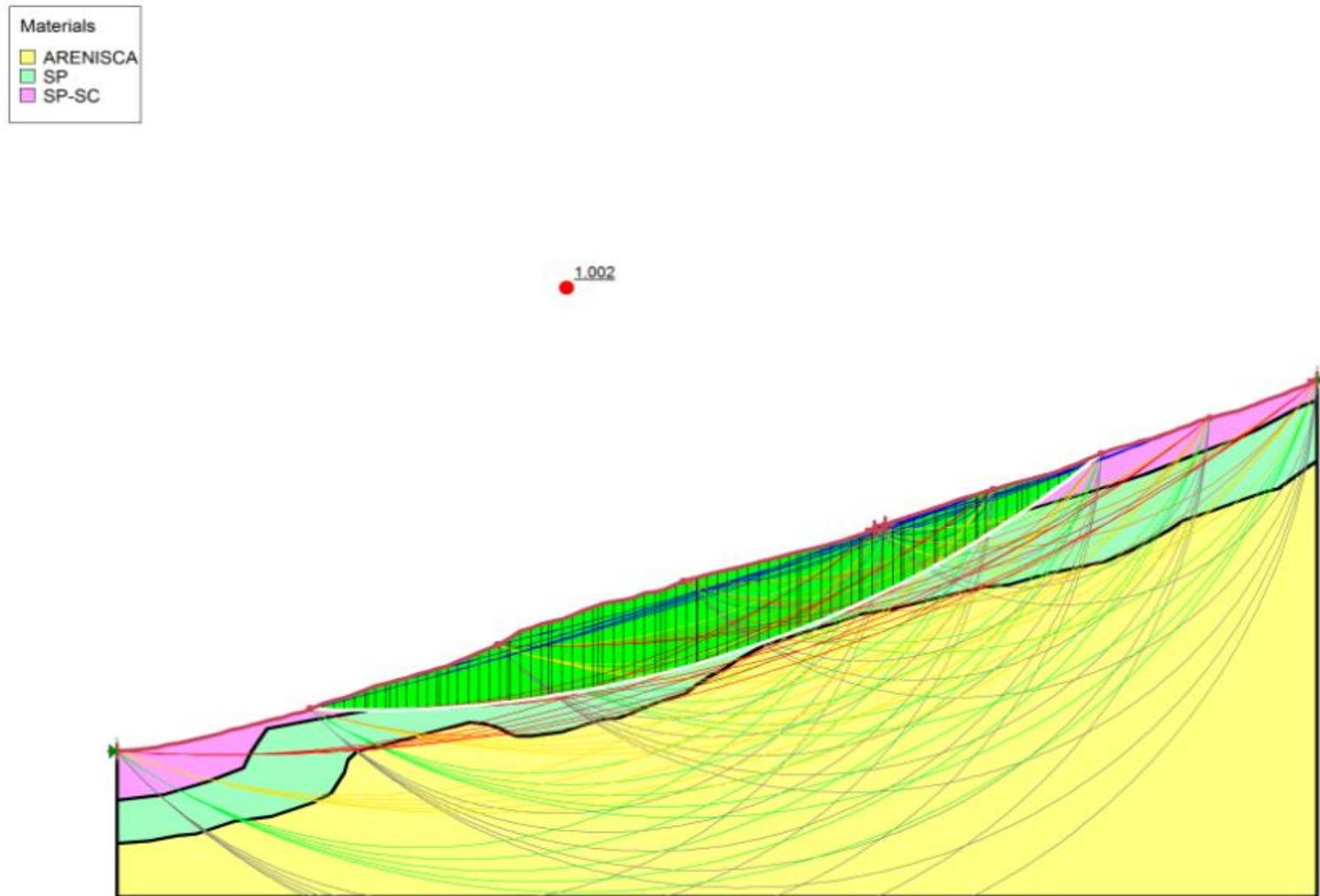


Ilustración 46 Superficies de falla Método Spencer. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

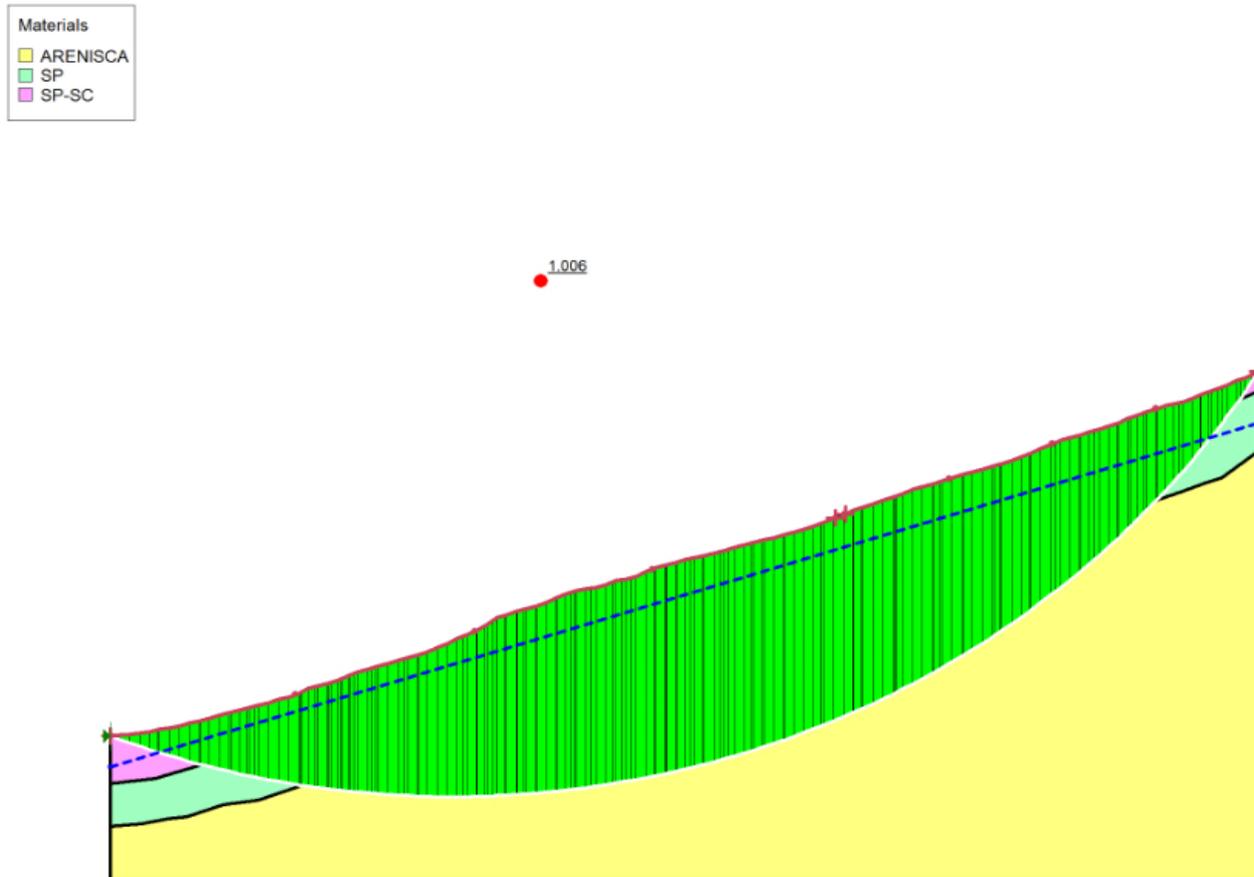
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 47 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo

Fuente: Autores

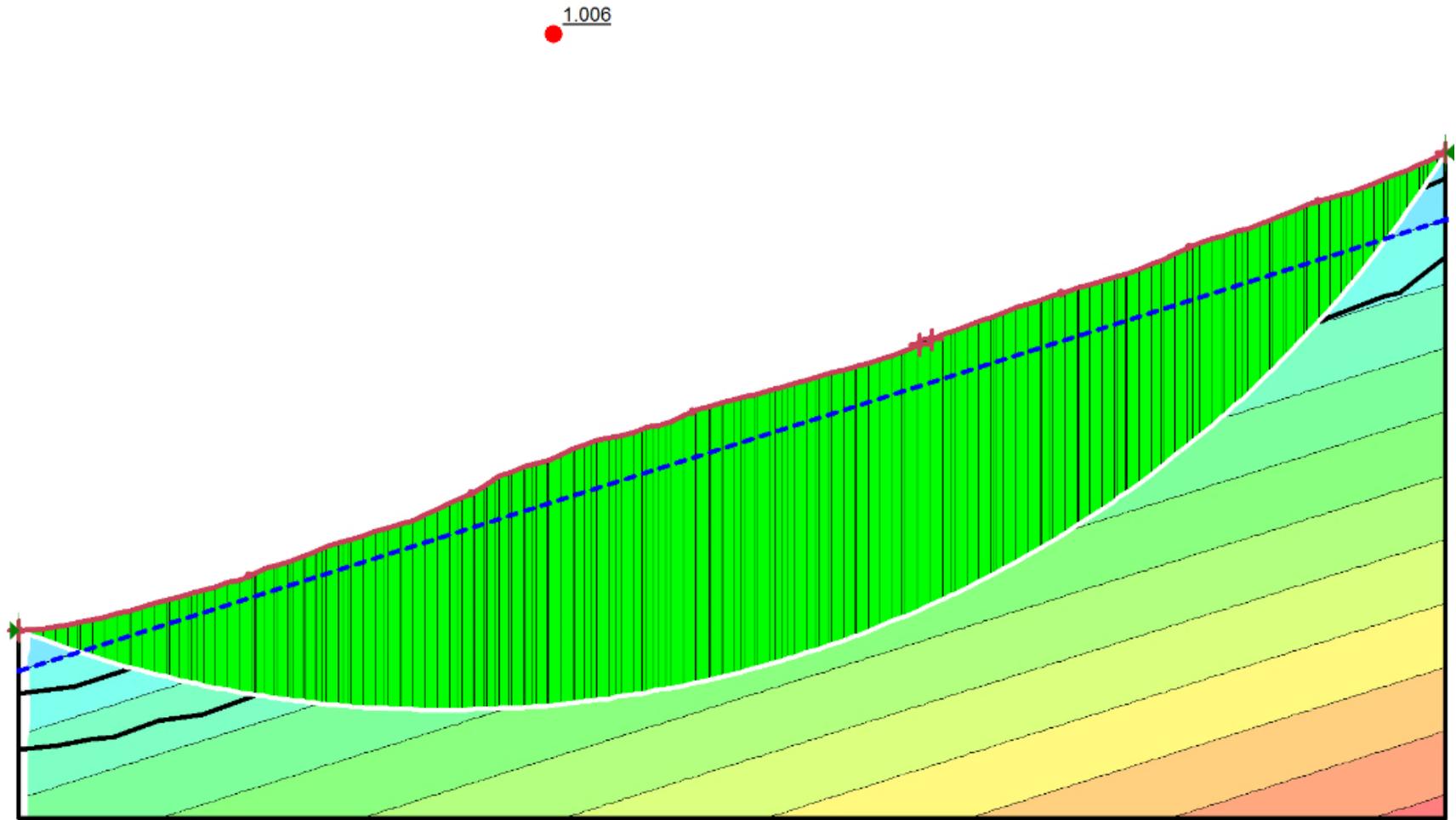


Ilustración 48 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

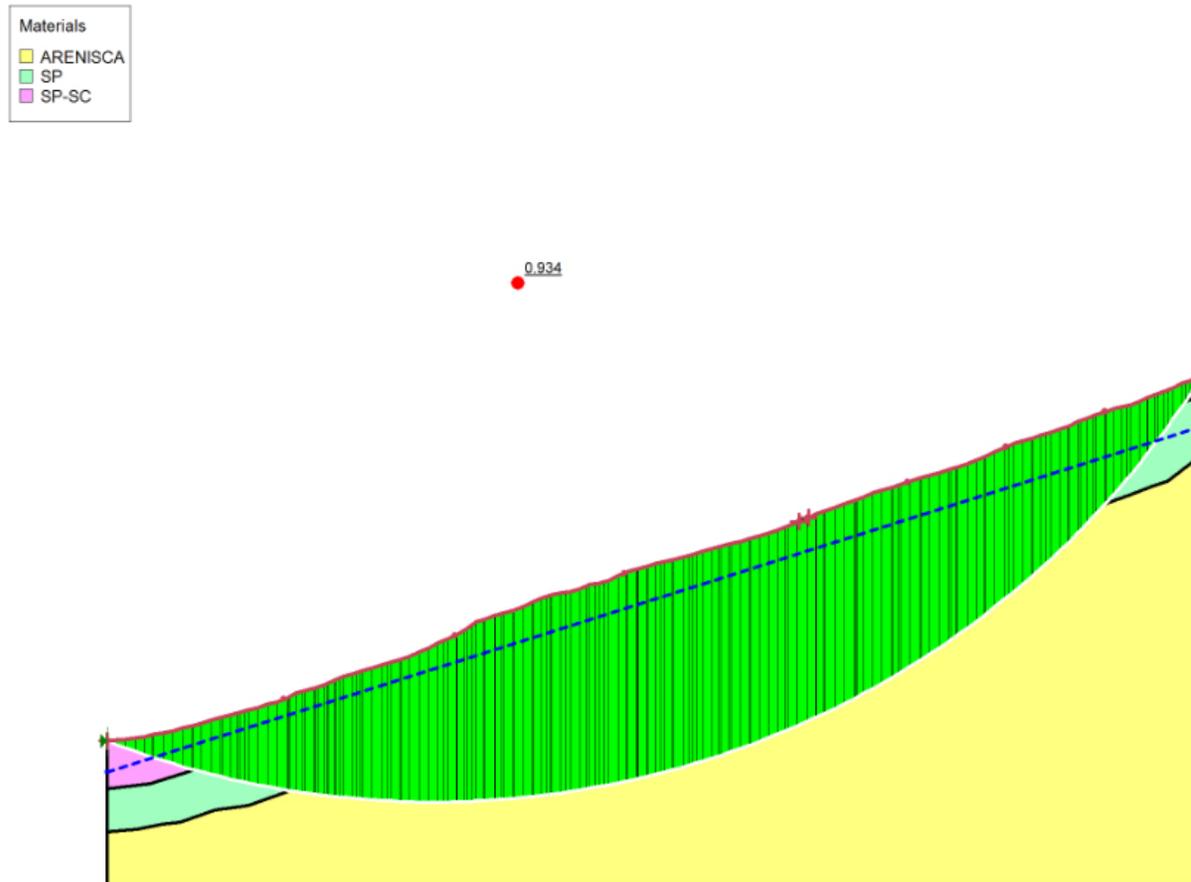
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 49 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

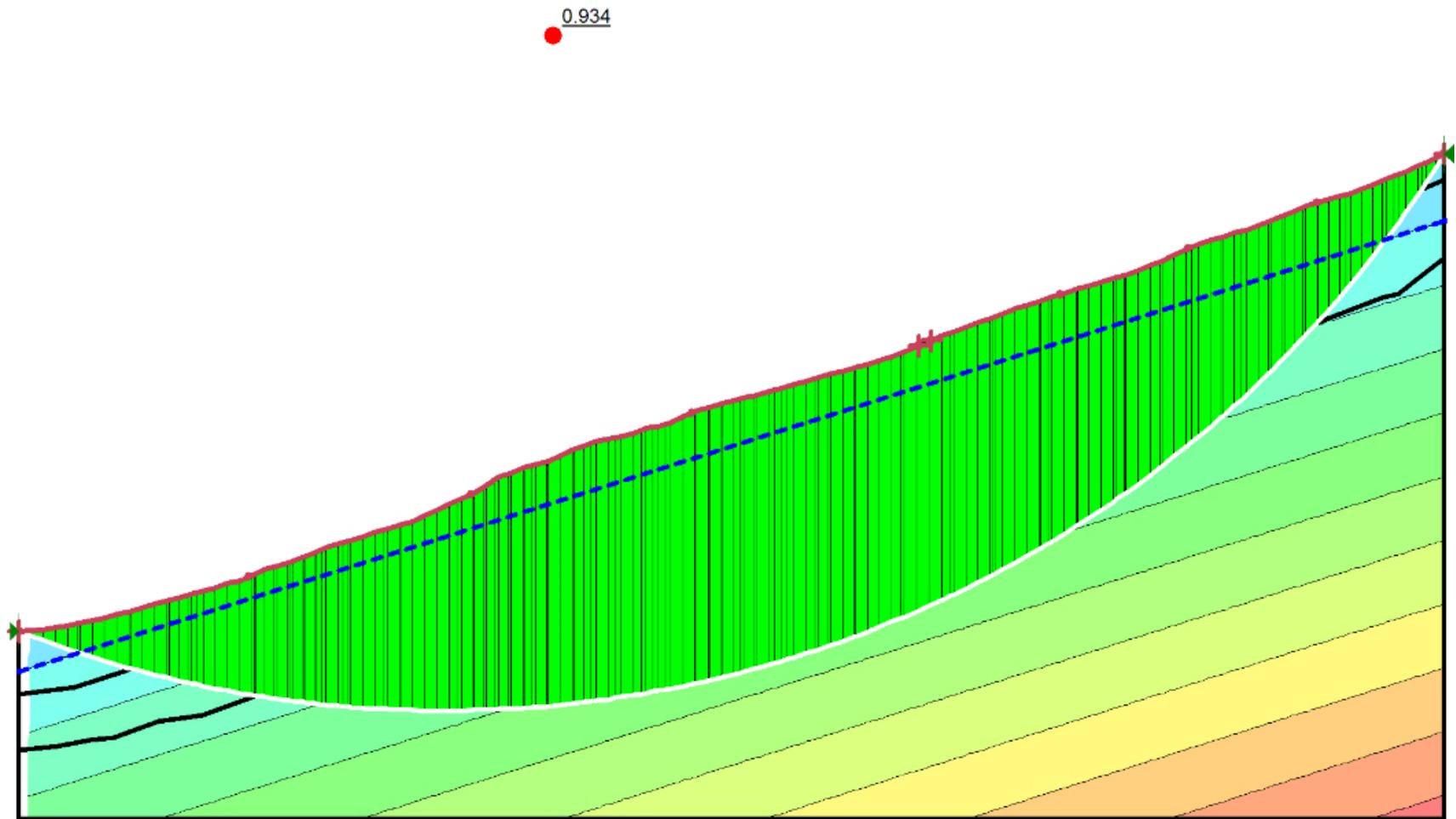


Ilustración 50 Presión de poros Método Janbu. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

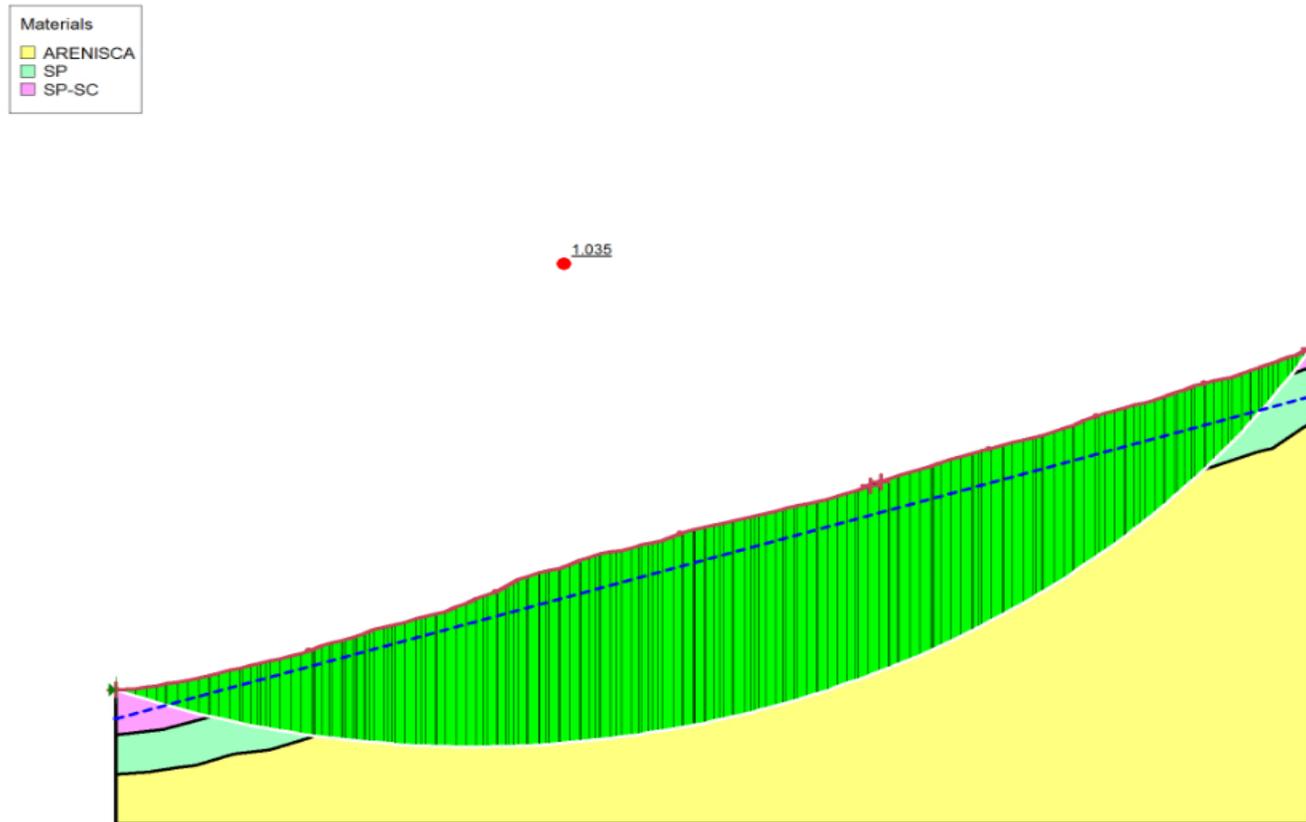
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENESTERN-PRICE.**

Ilustración 51 Factor de seguridad Mét. Morgenestern-Price. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

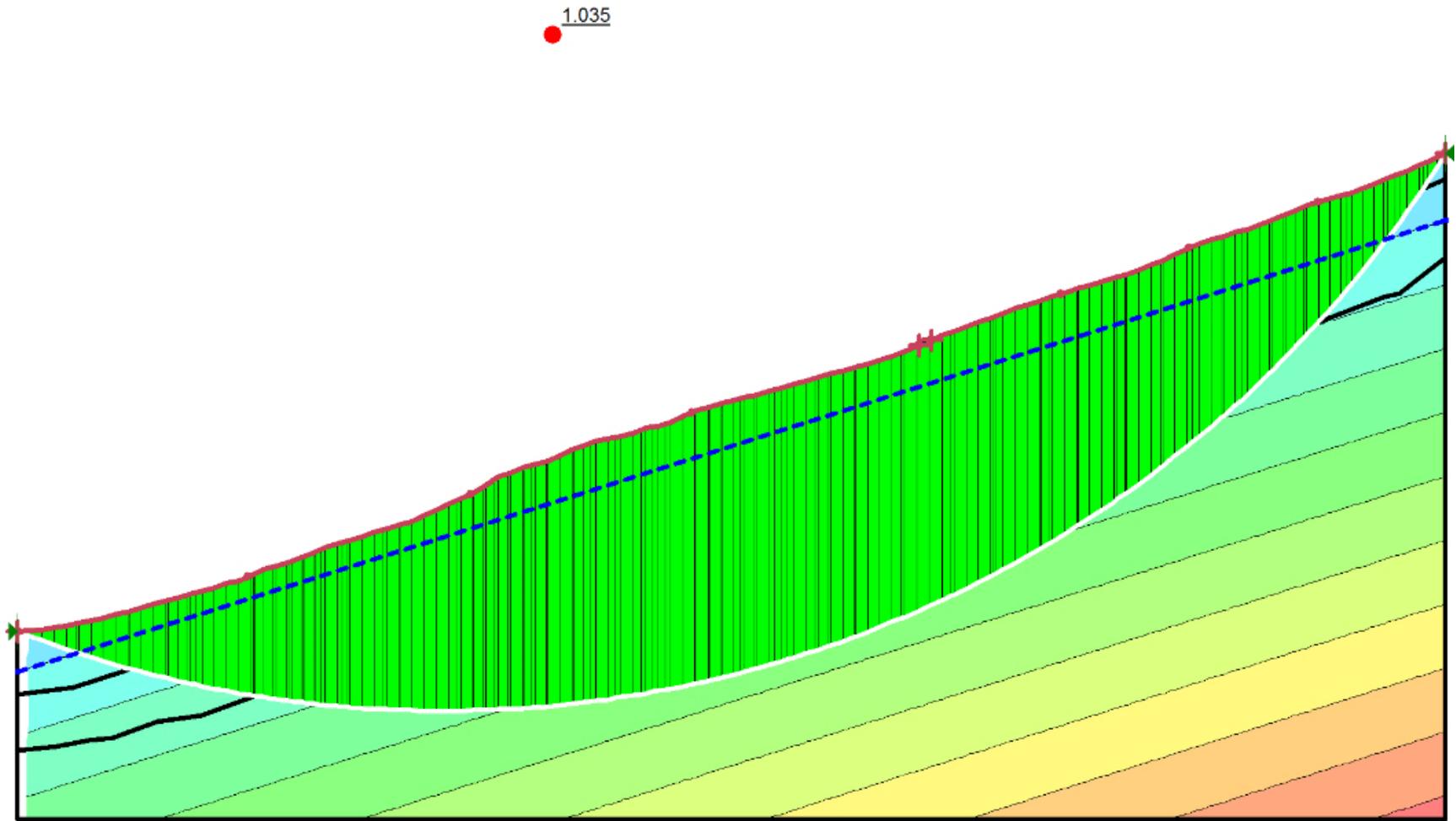


Ilustración 52 Presión de poros Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

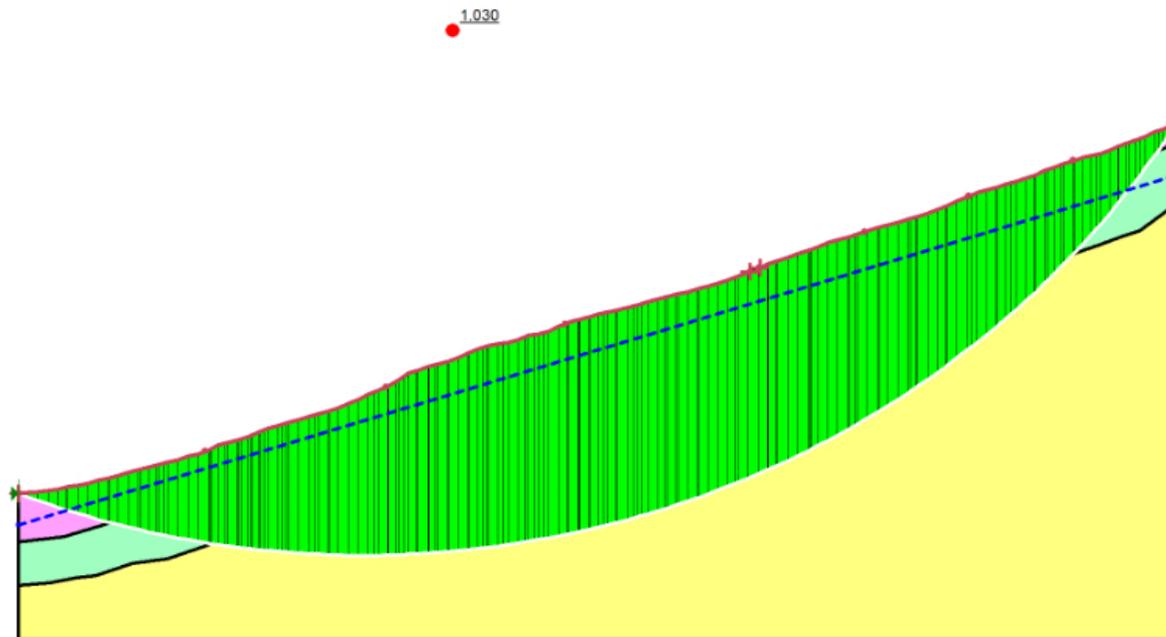
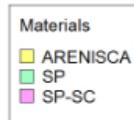
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 53 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada sin sismo

Fuente: Autores

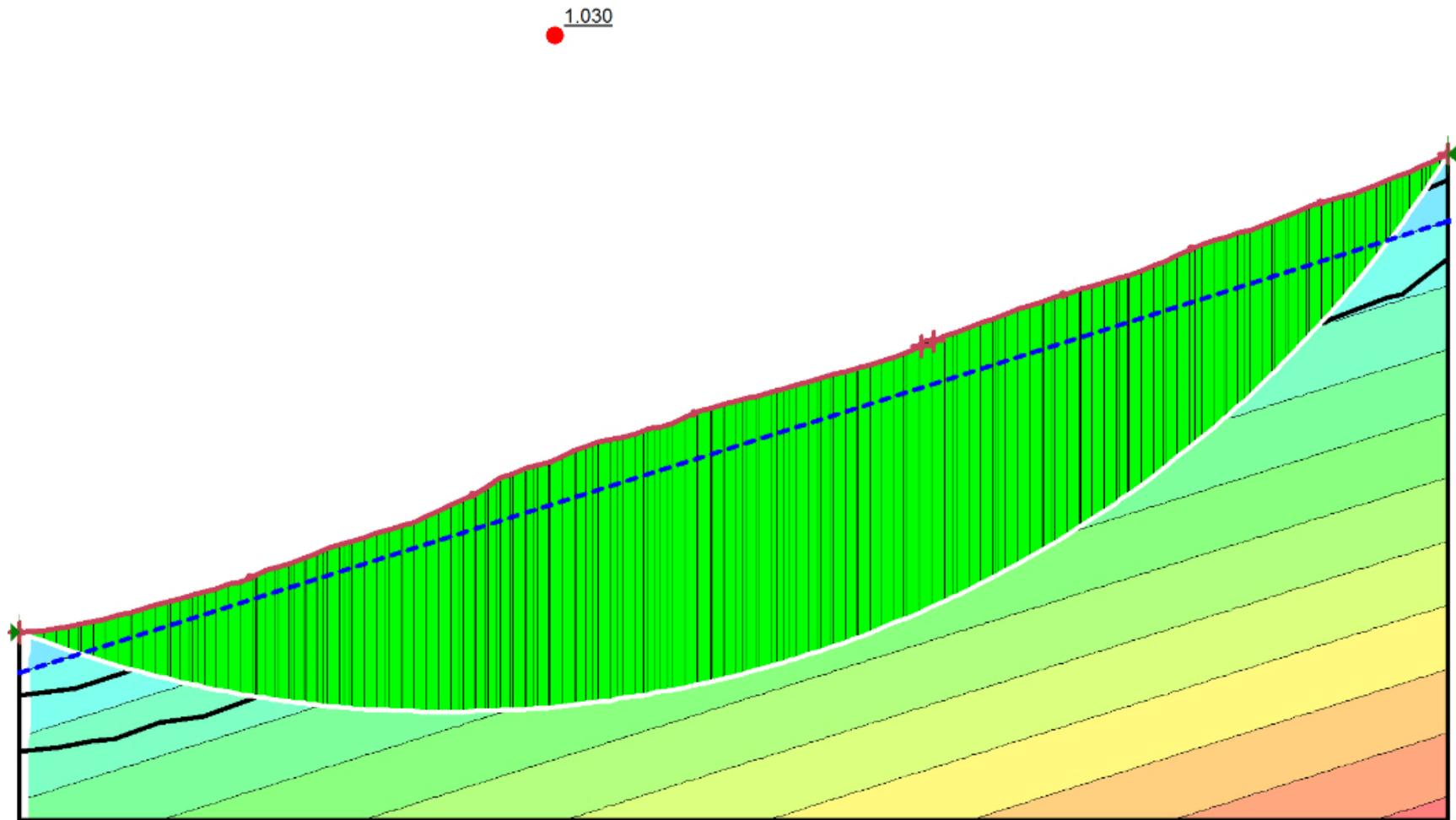


Ilustración 54 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

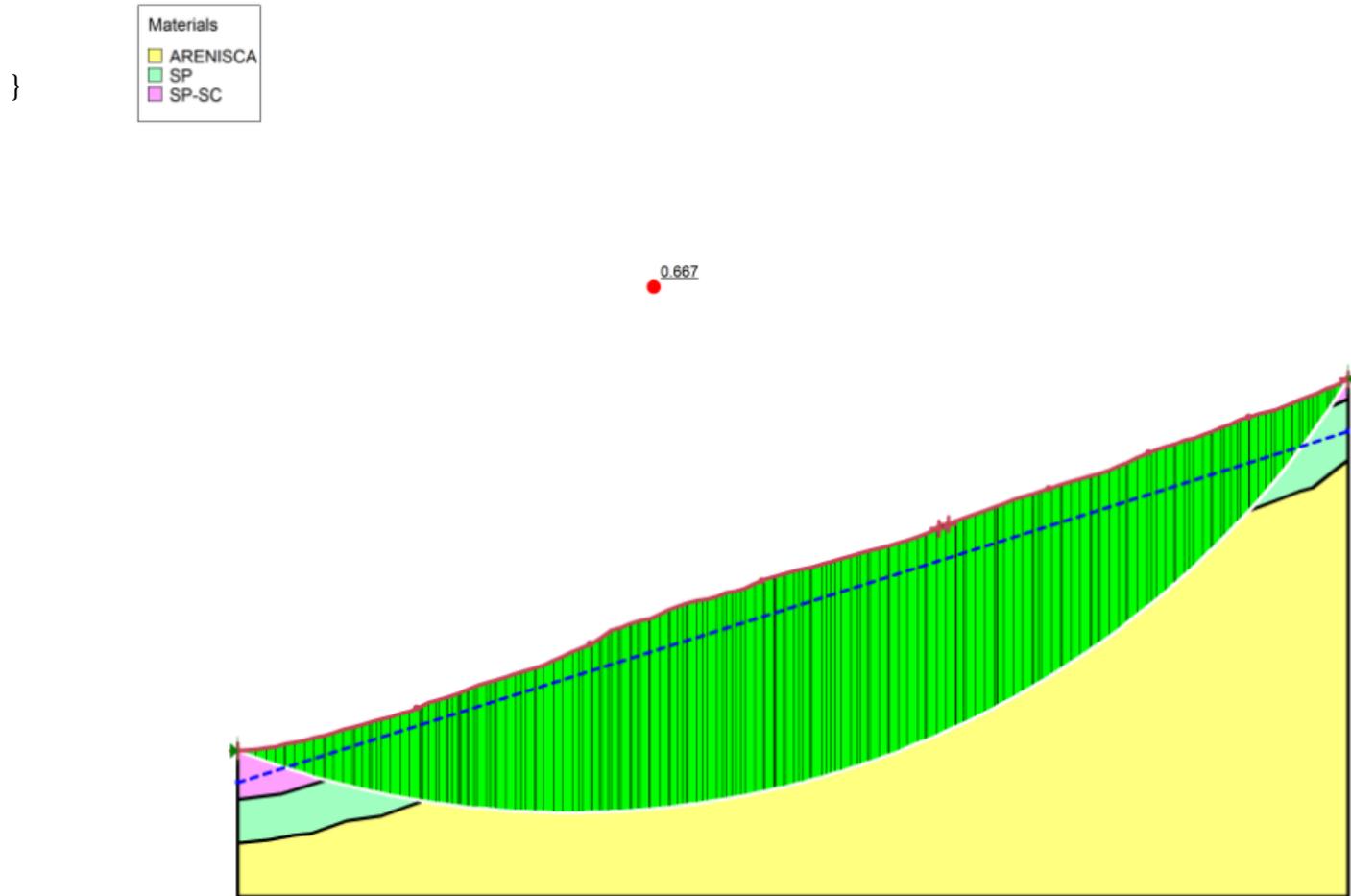
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 55 Factor de seguridad Método Felleniu. Condición: saturada con sismo

Fuente: Autores

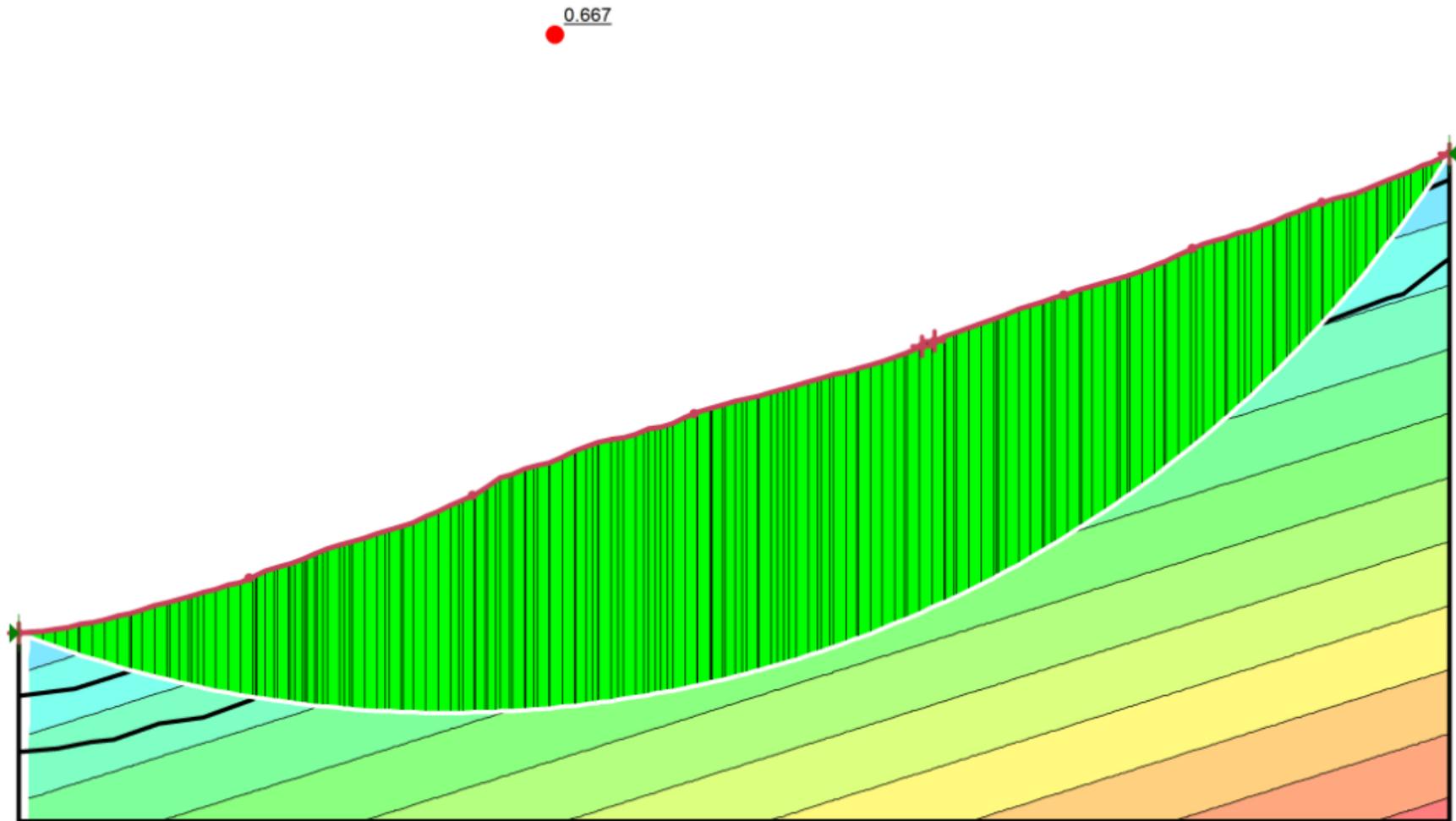


Ilustración 56 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

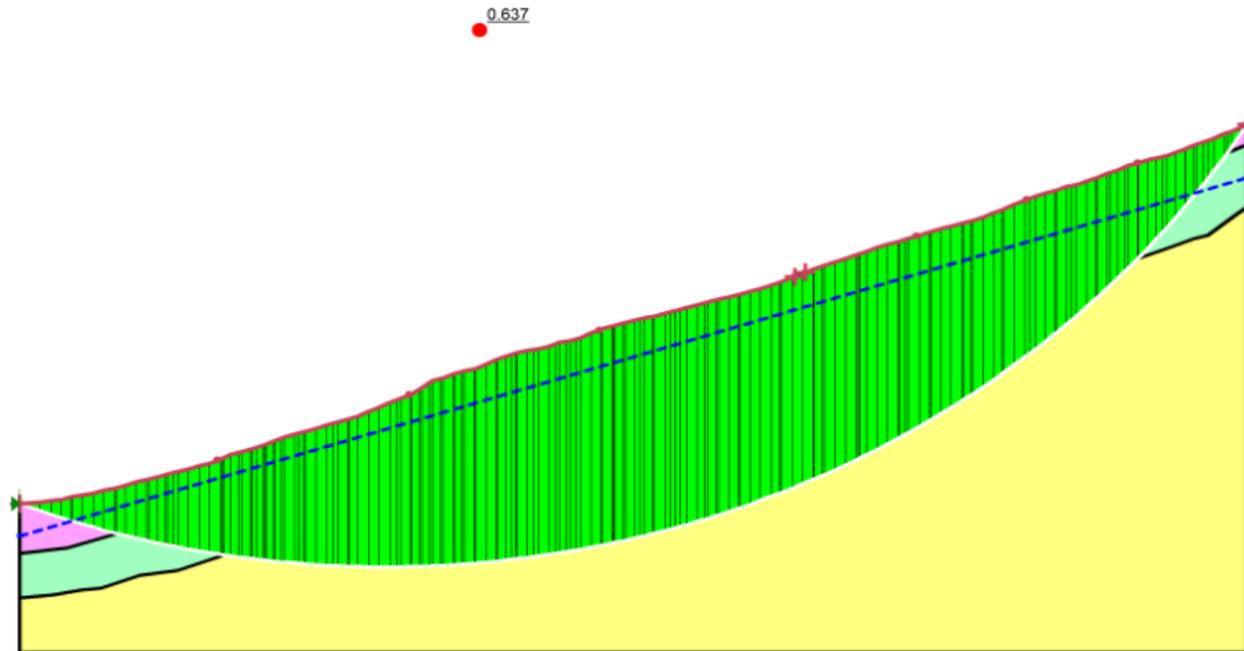
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 57 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada con sismo

Fuente: Autores

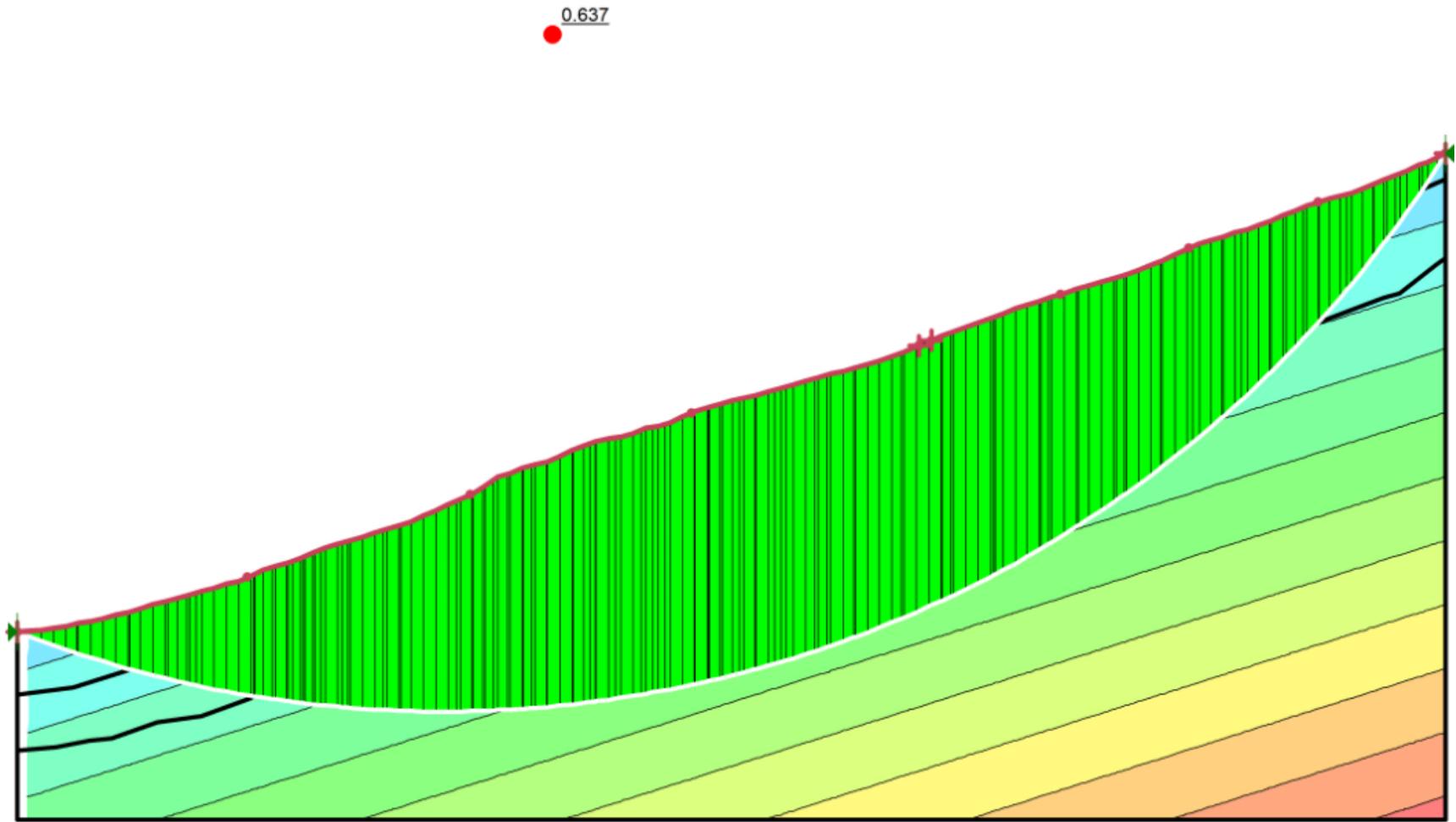


Ilustración 58 Presión de poros Método Janbu..Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

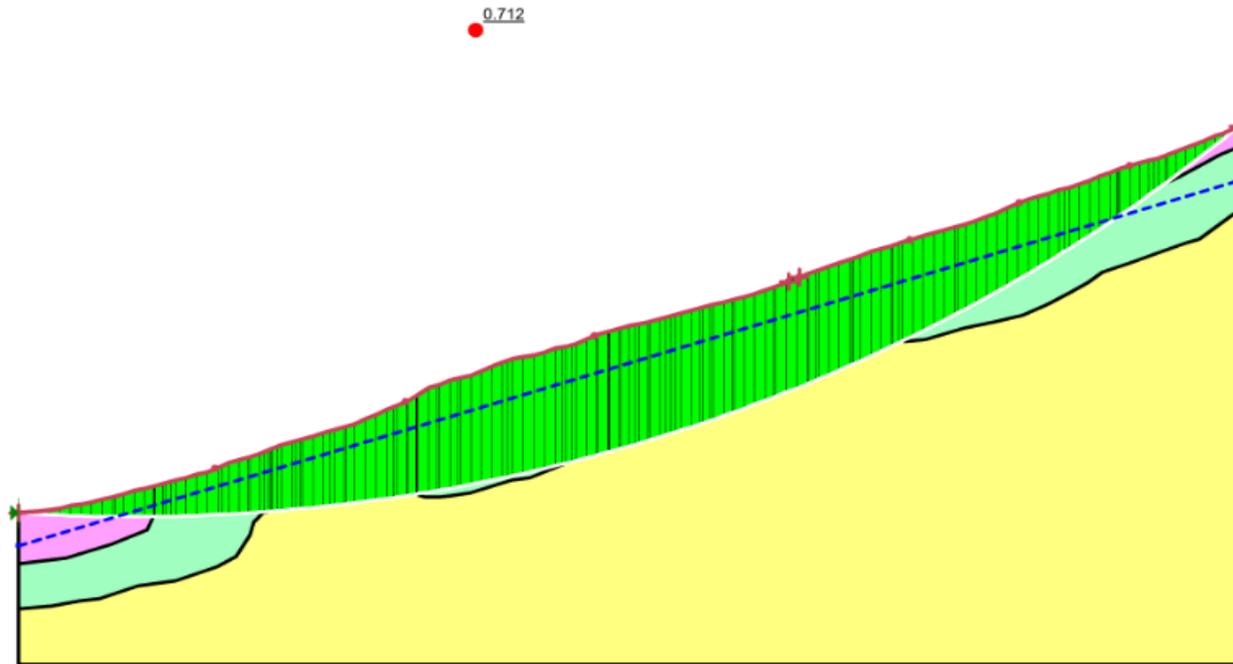
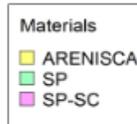
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE MORGENSTER-PRICE.**

Ilustración 59 Factor de seguridad Mét. Morgenster-Price. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

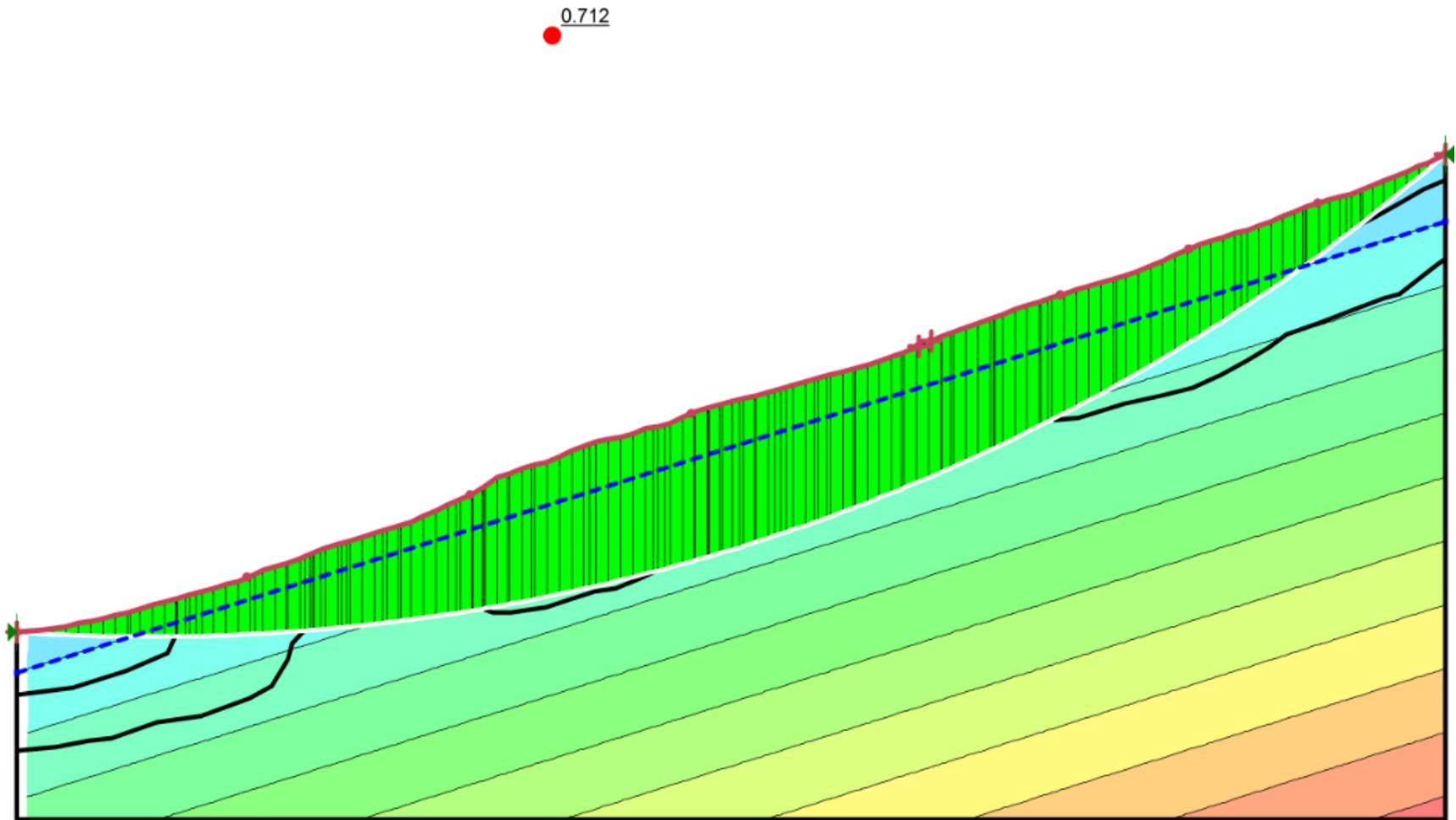


Ilustración 60 Presión de poros Mét. Morgenster-Price. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

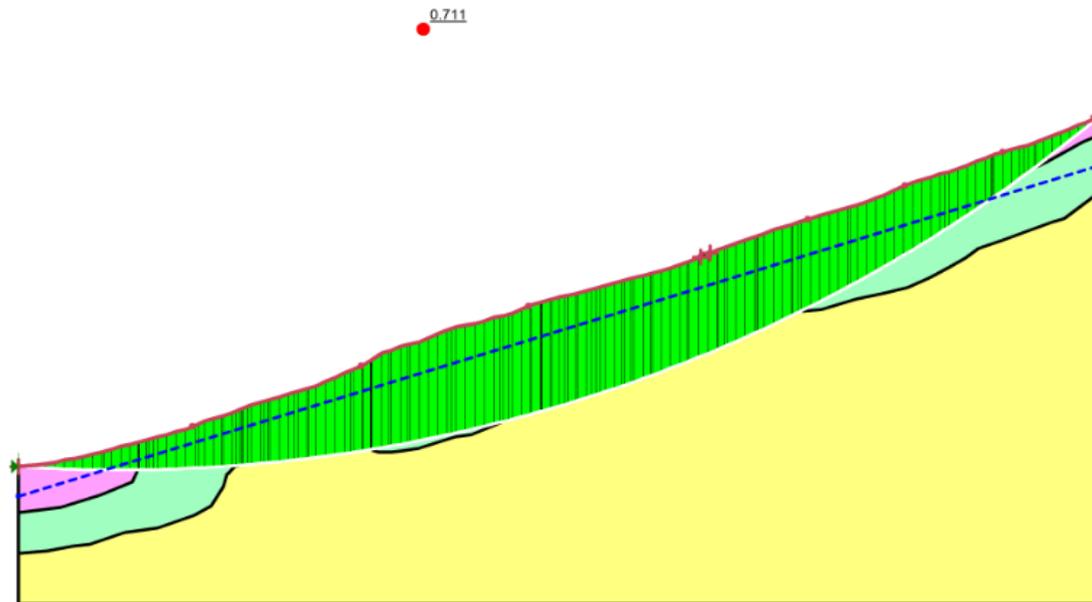
PRIMERA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 61 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

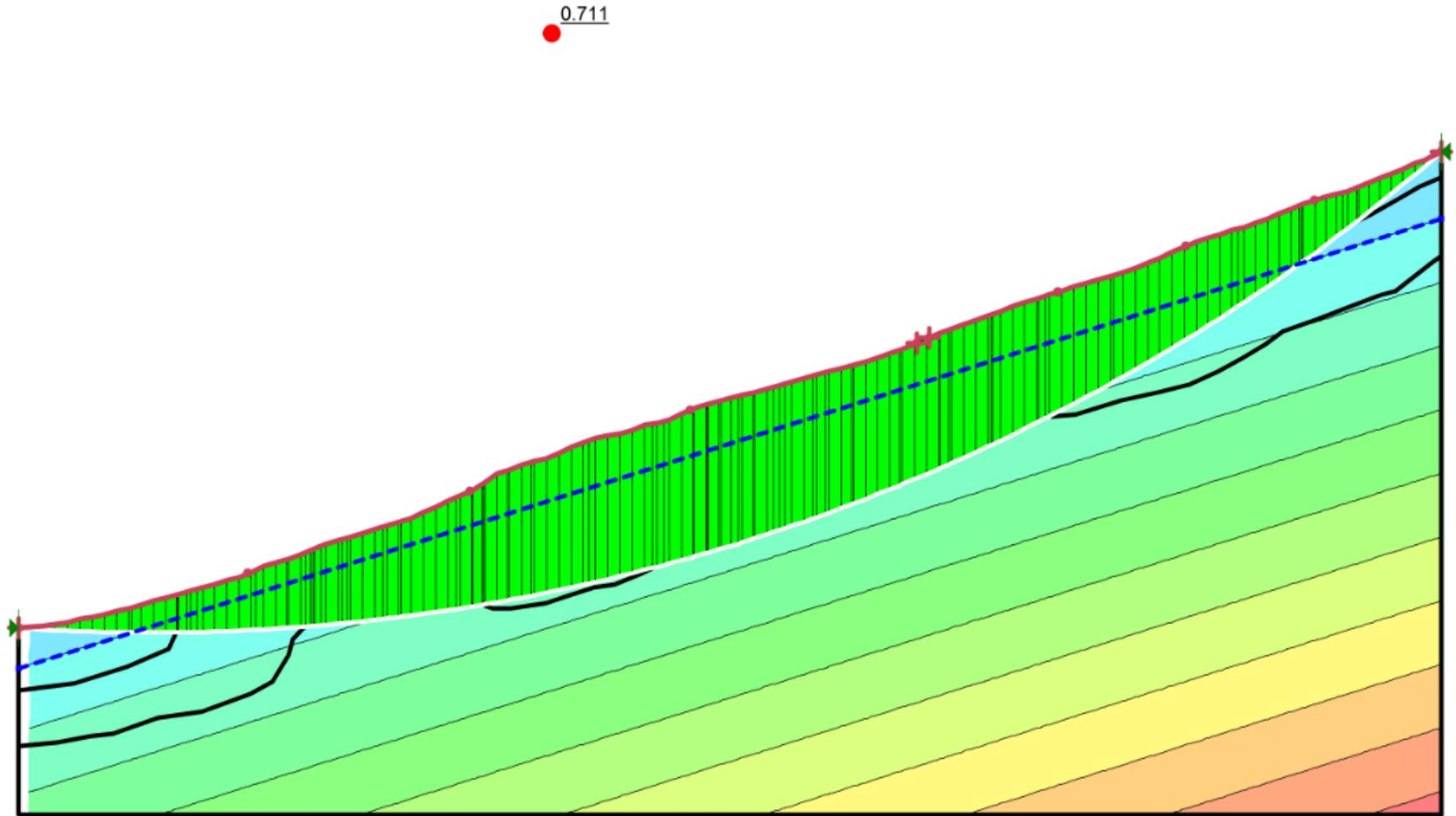


Ilustración 62 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

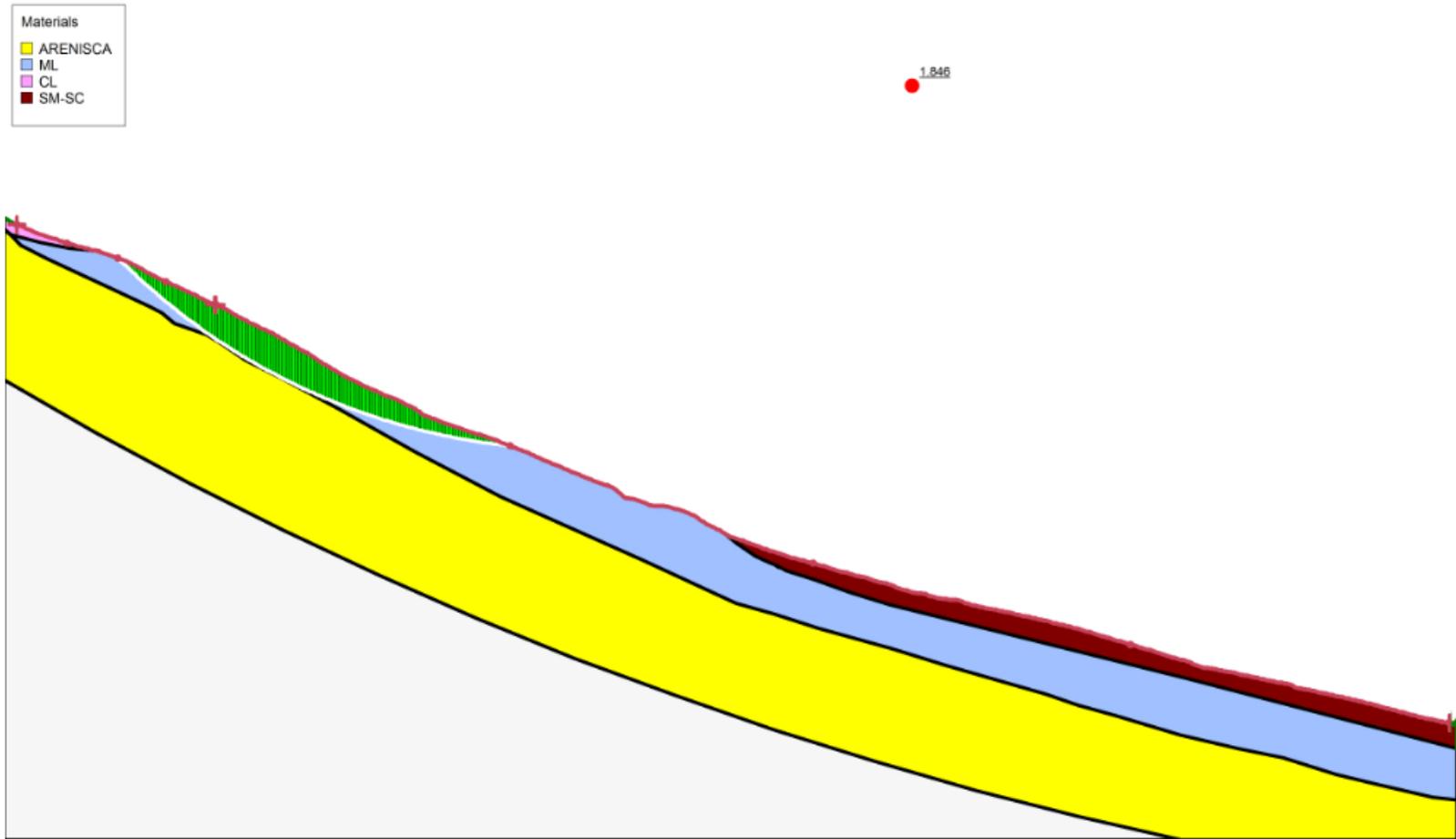
SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 63 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

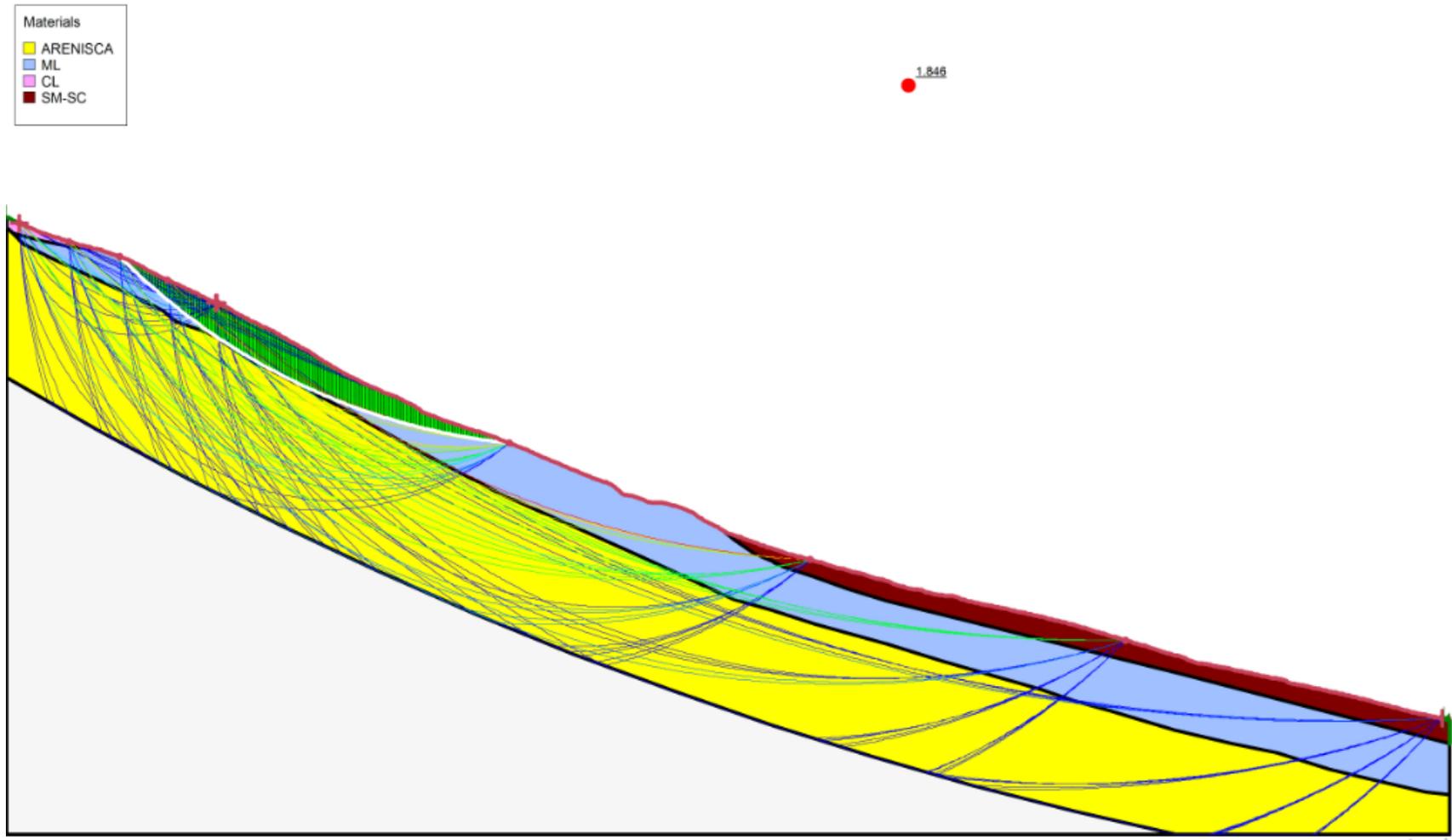


Ilustración 64 Superficies de falla Método Fellenius. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

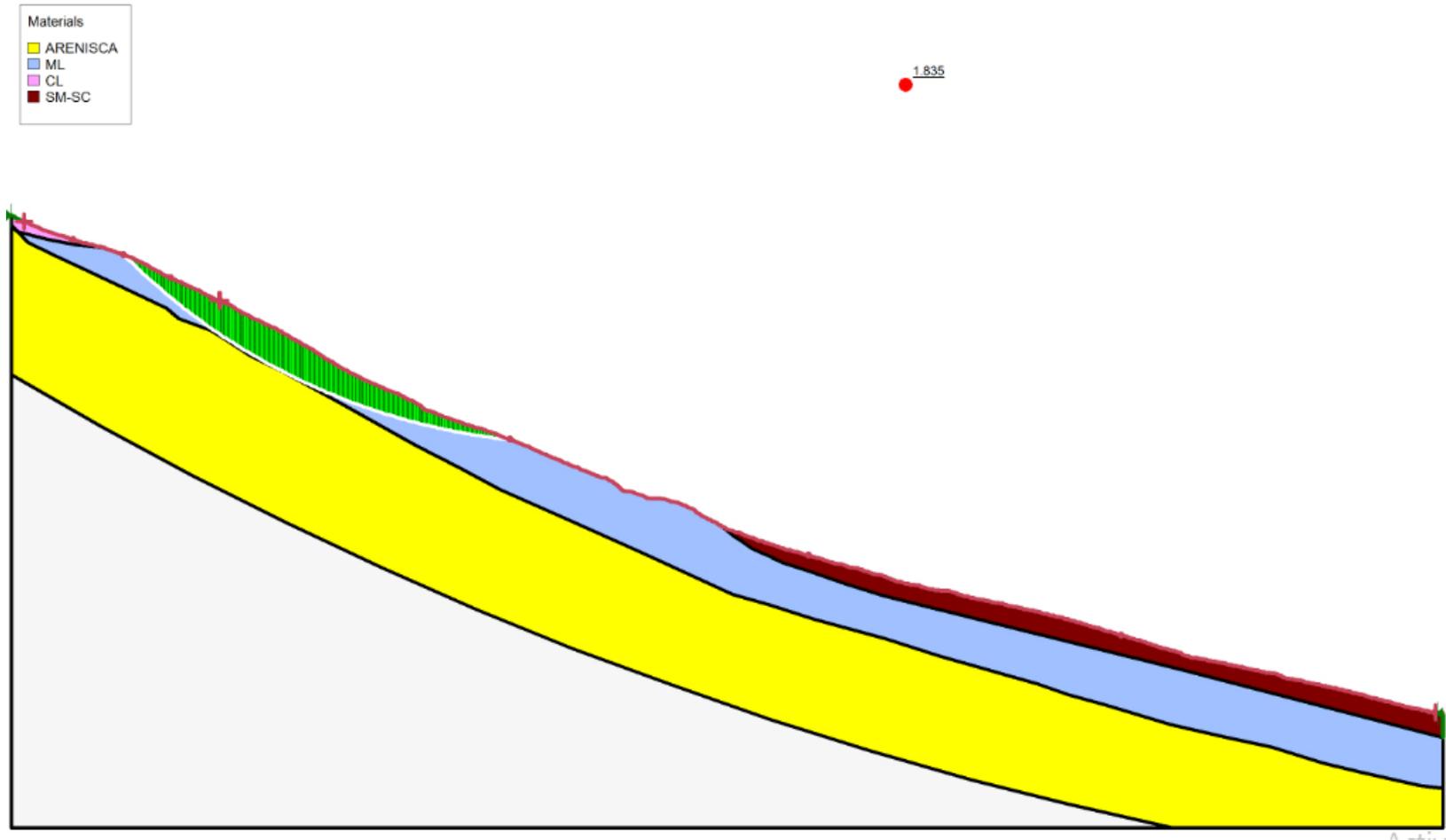
SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 65 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: no saturada sin sismo

Fuente: Autores

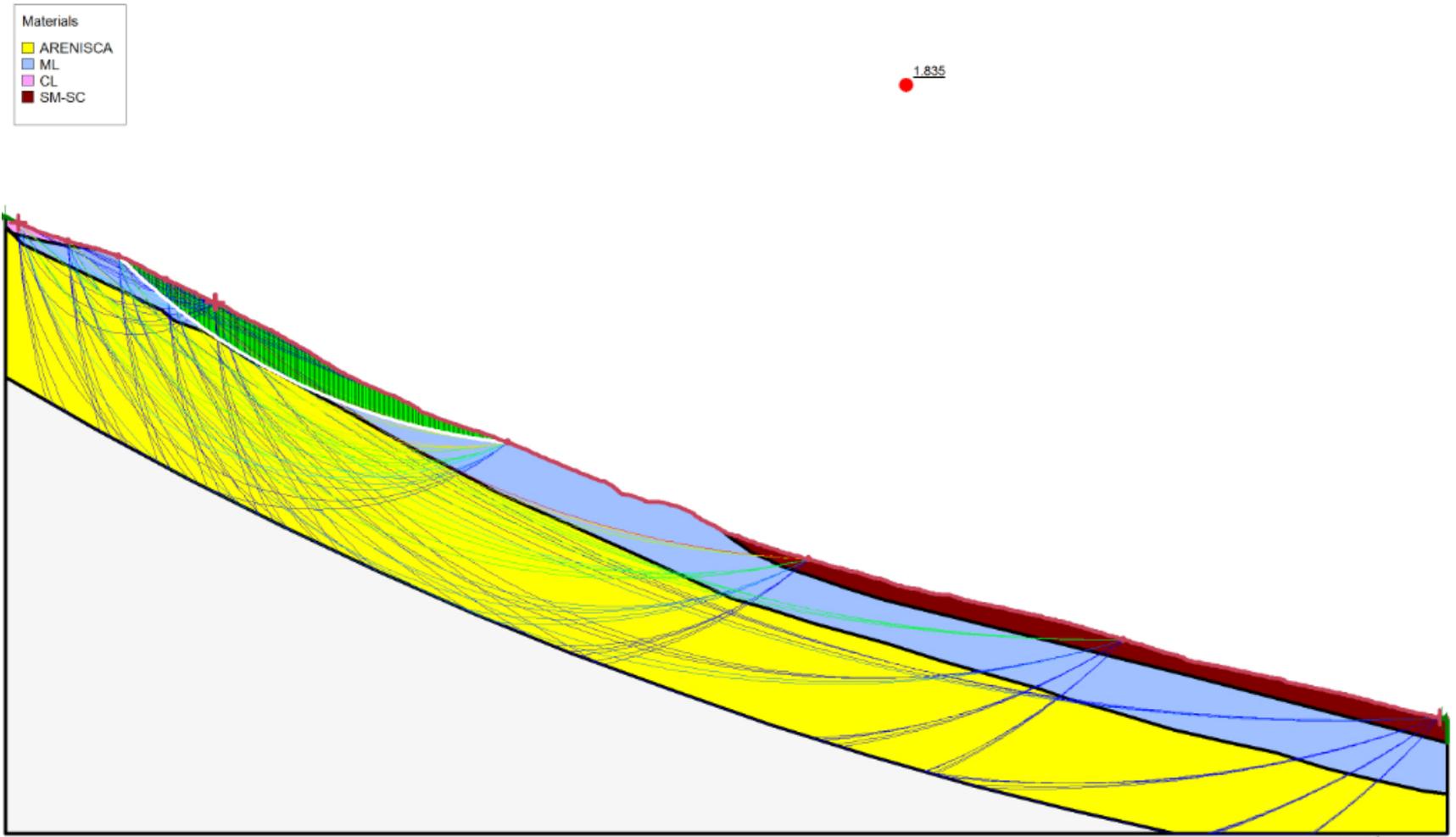


Ilustración 66 Superficies de falla Método Janbu. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

SEGUNDA SECCION

CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.

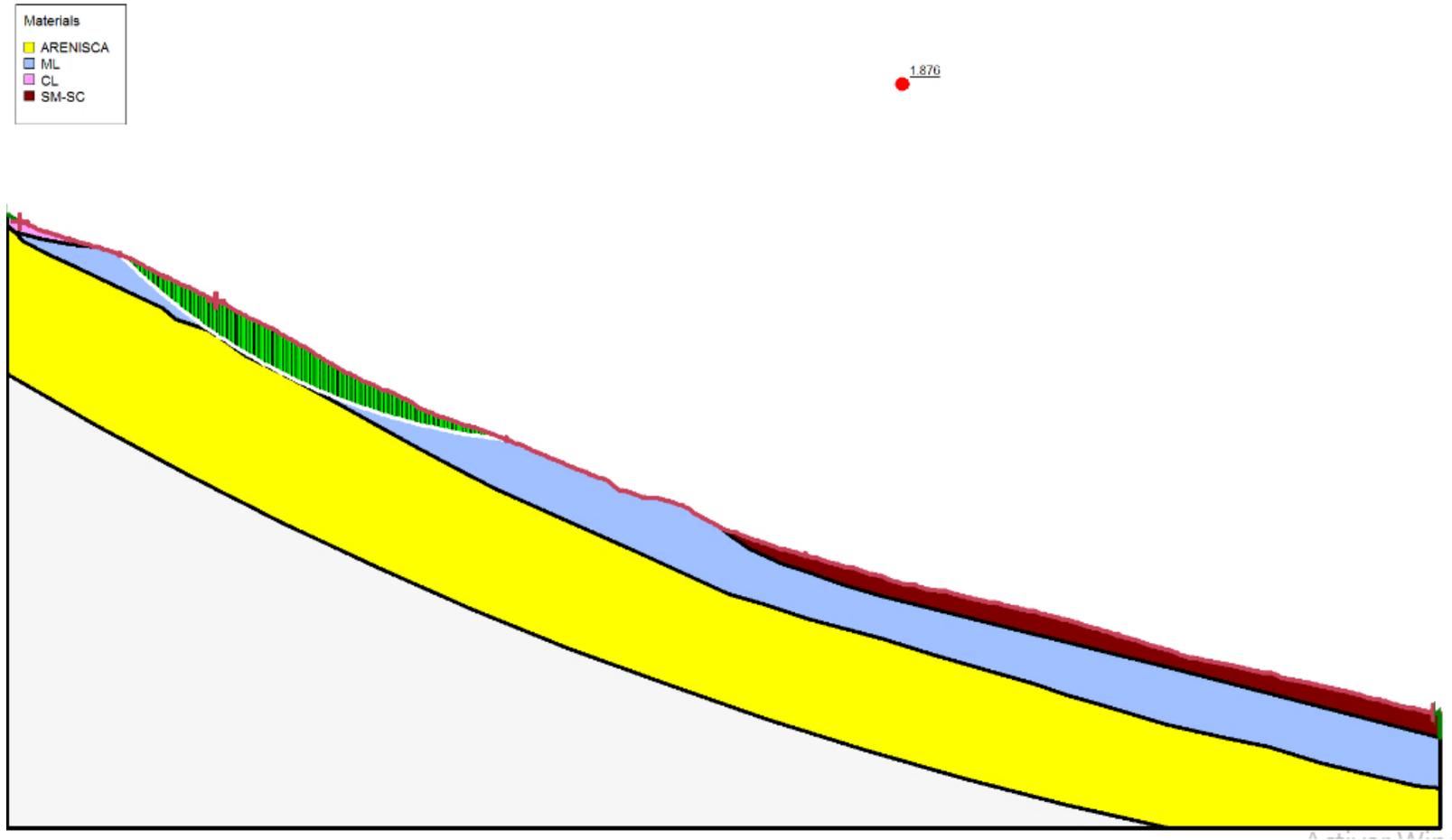


Ilustración 67 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

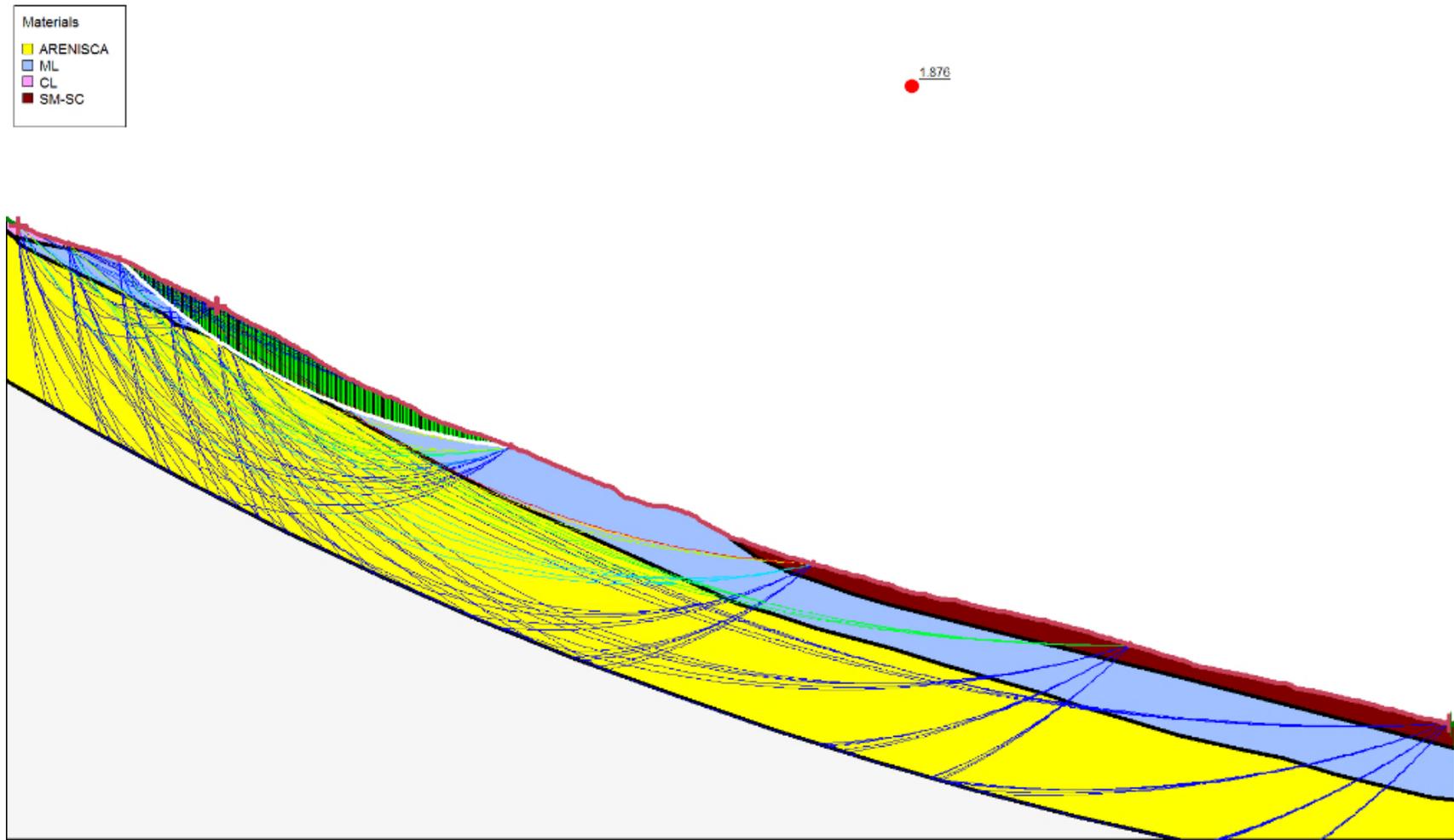
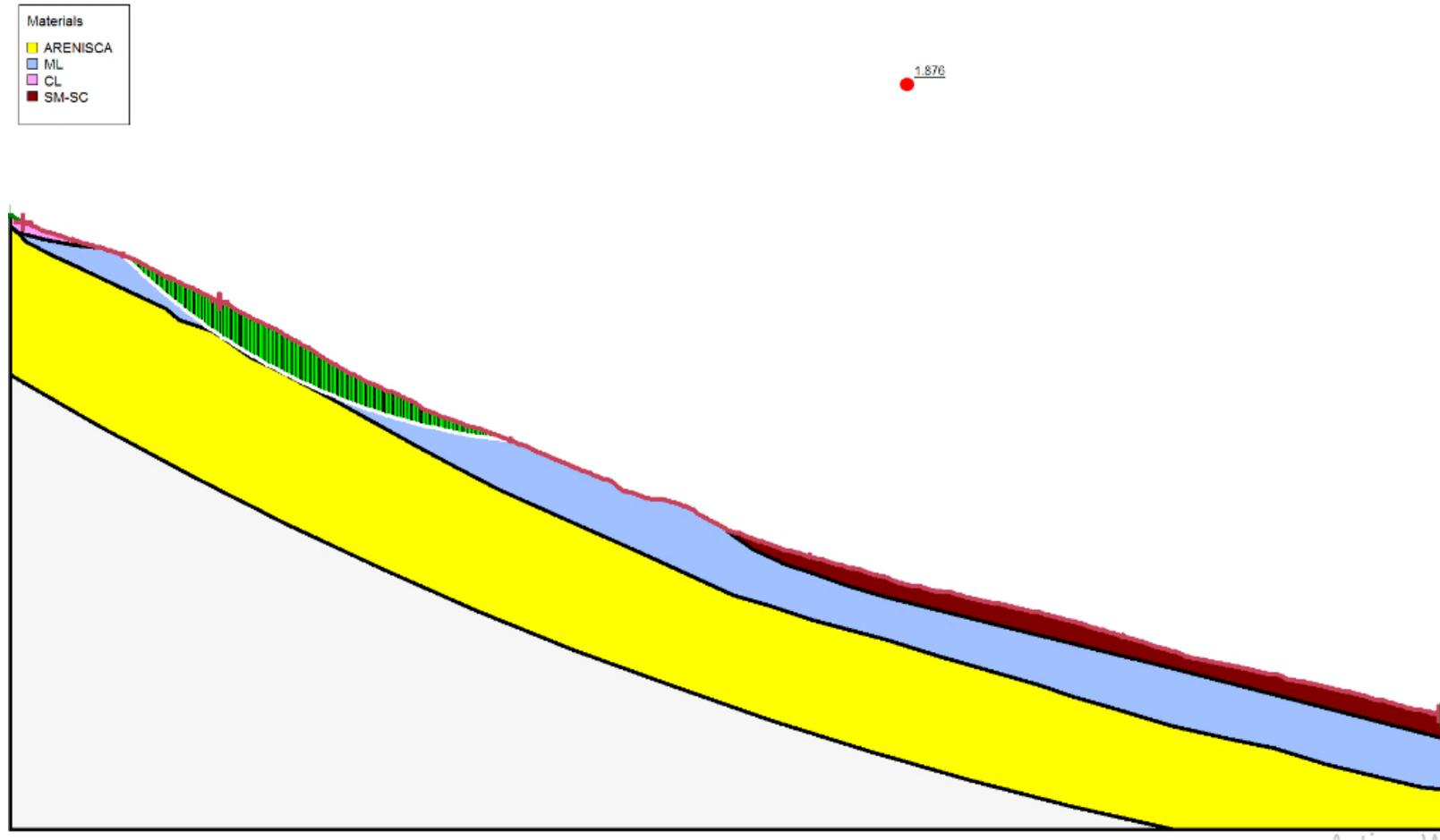


Ilustración 68 Superficies de falla Mét Morgenstern-Price. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores

SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE SPENCER.**

*Ilustración 69 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: no saturada sin sismo
Fuente: Autores*

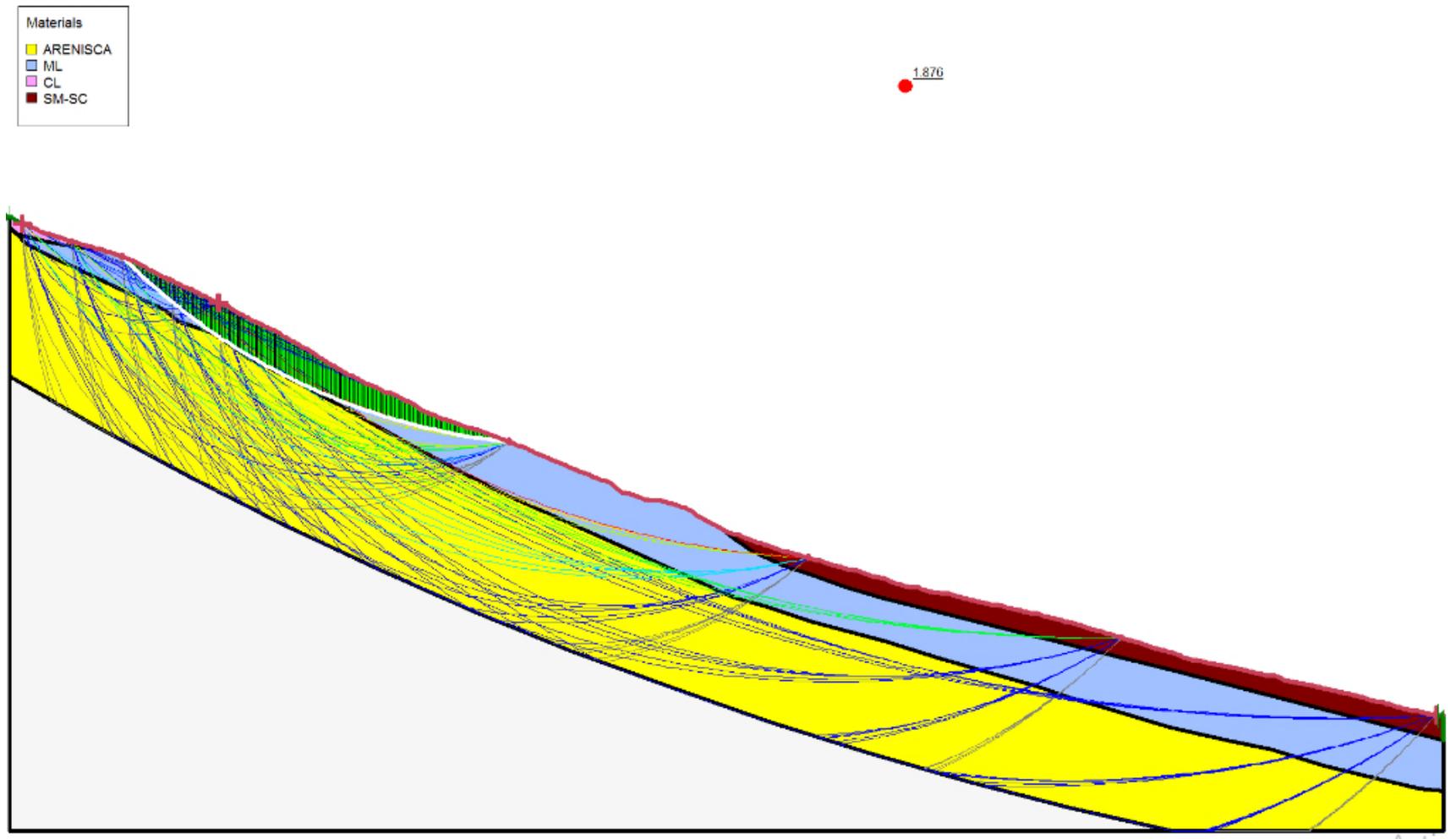


Ilustración 70 Superficies de falla Método Spencer. Condición: no saturada sin sismo

Fuente: Autores

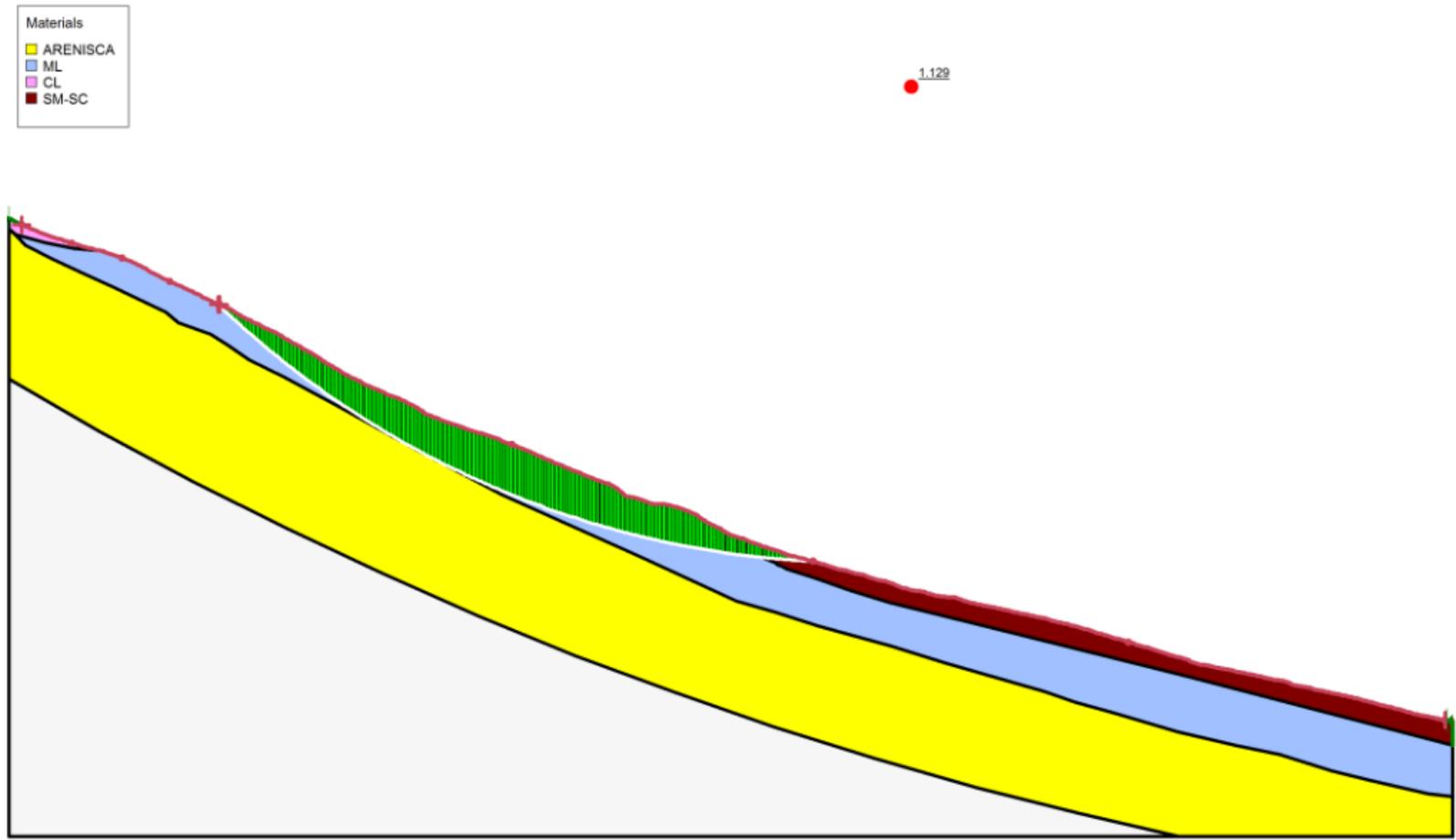
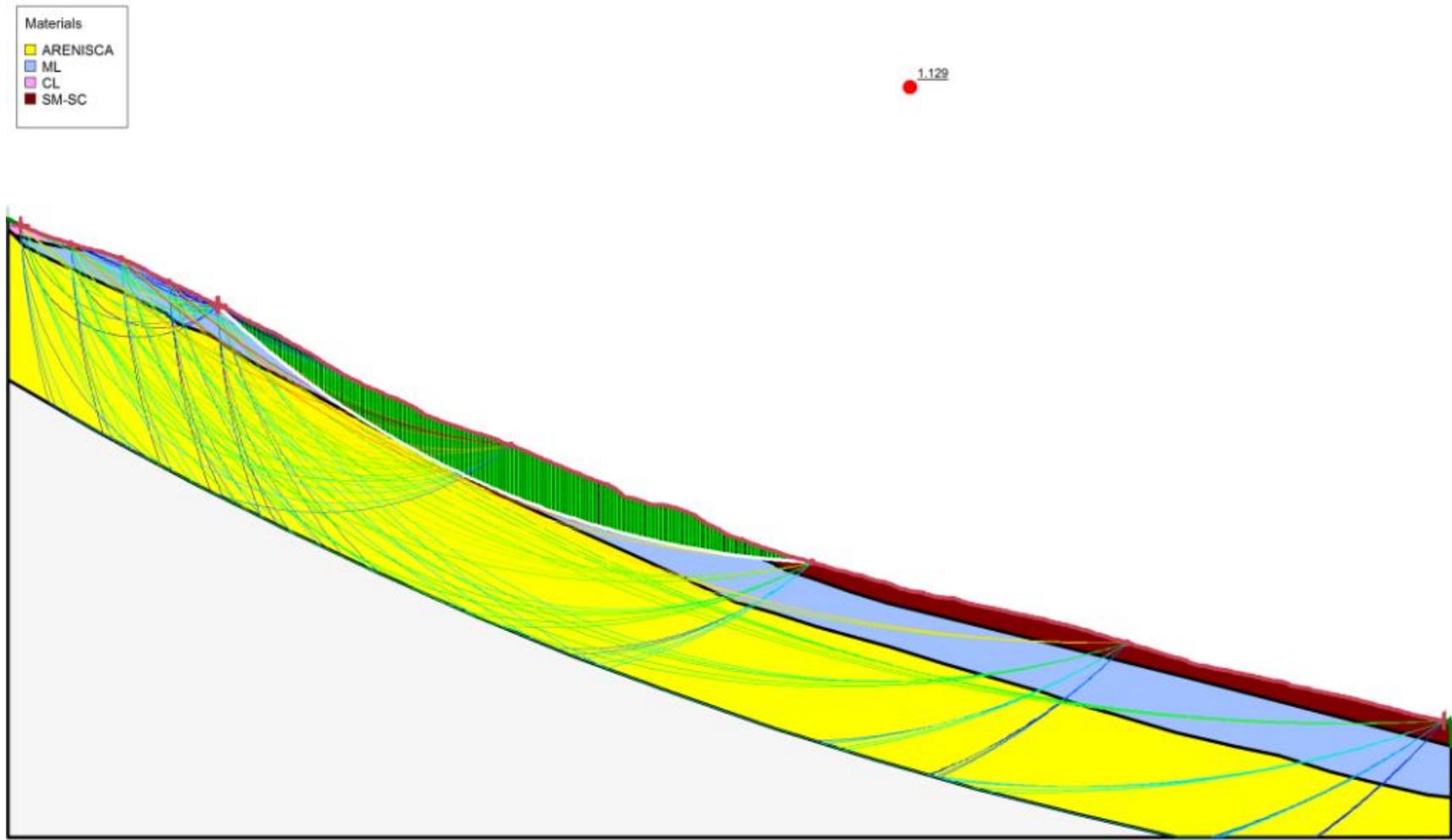
SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 71 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores



*Ilustración 72 Superficies de falla Método Fellenius. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores*

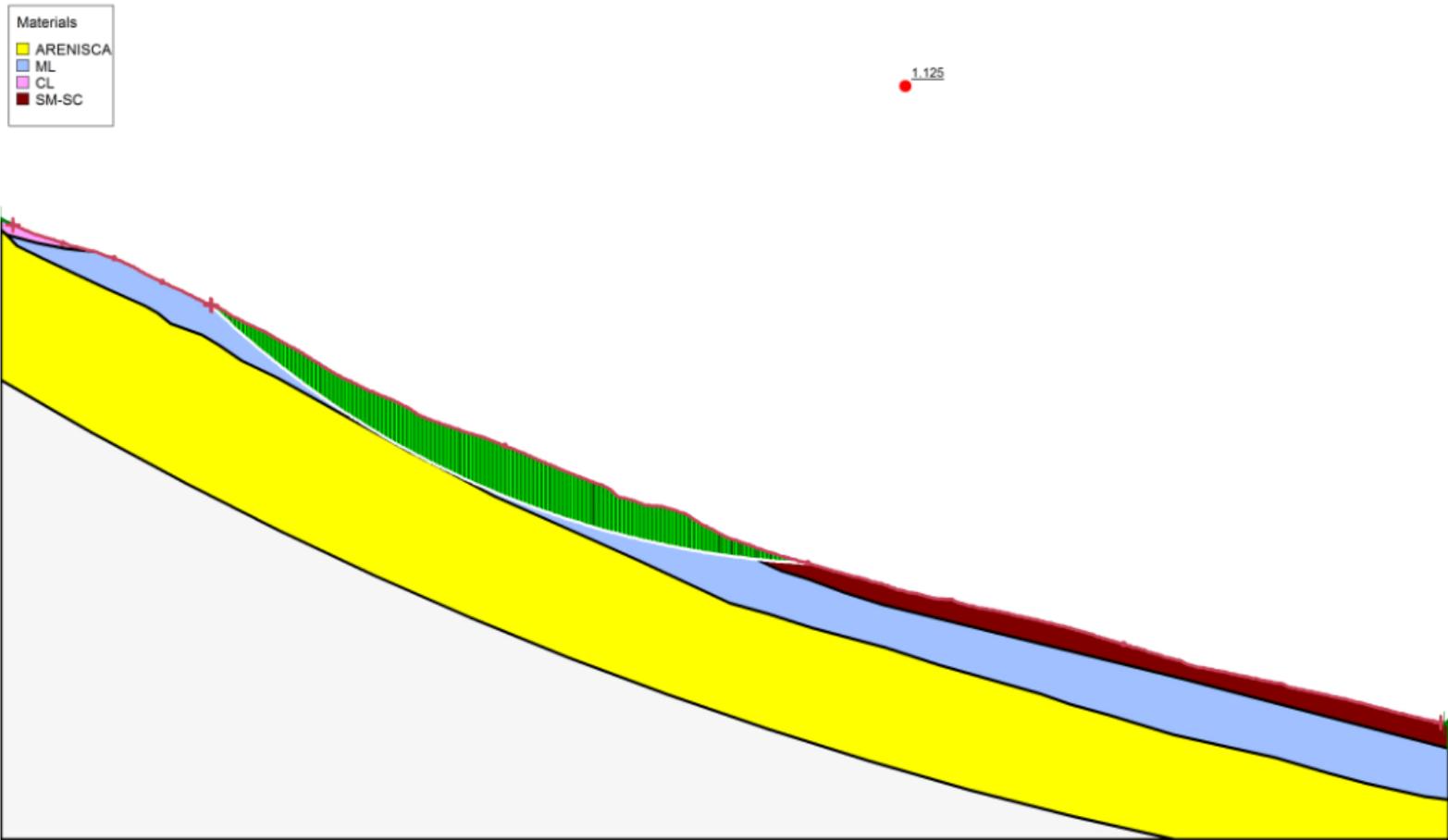
SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 73 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: no saturada con sismo

Fuente: Autores

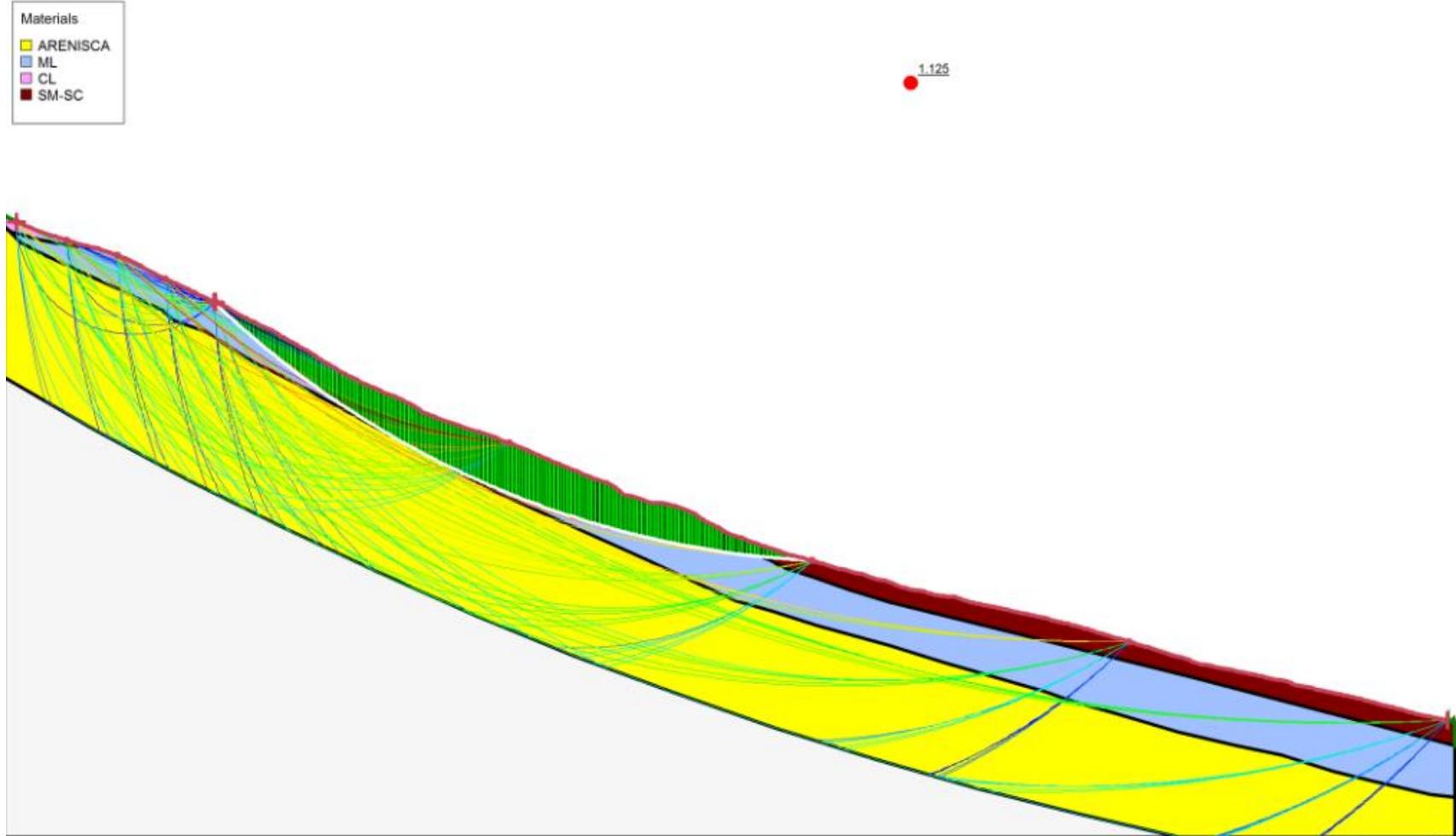


Ilustración 74 Superficies de falla Método Janbu. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

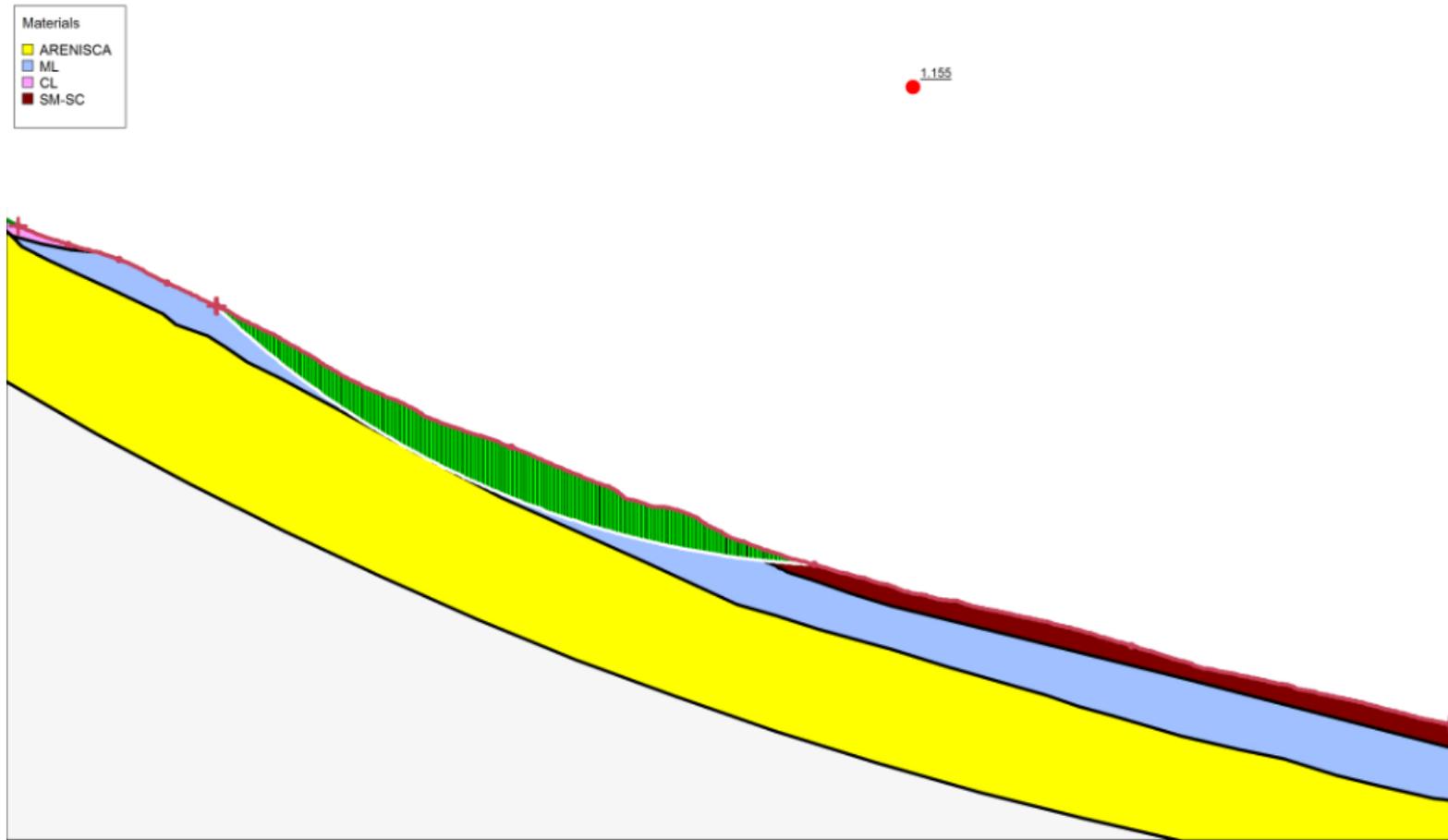
SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 75 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

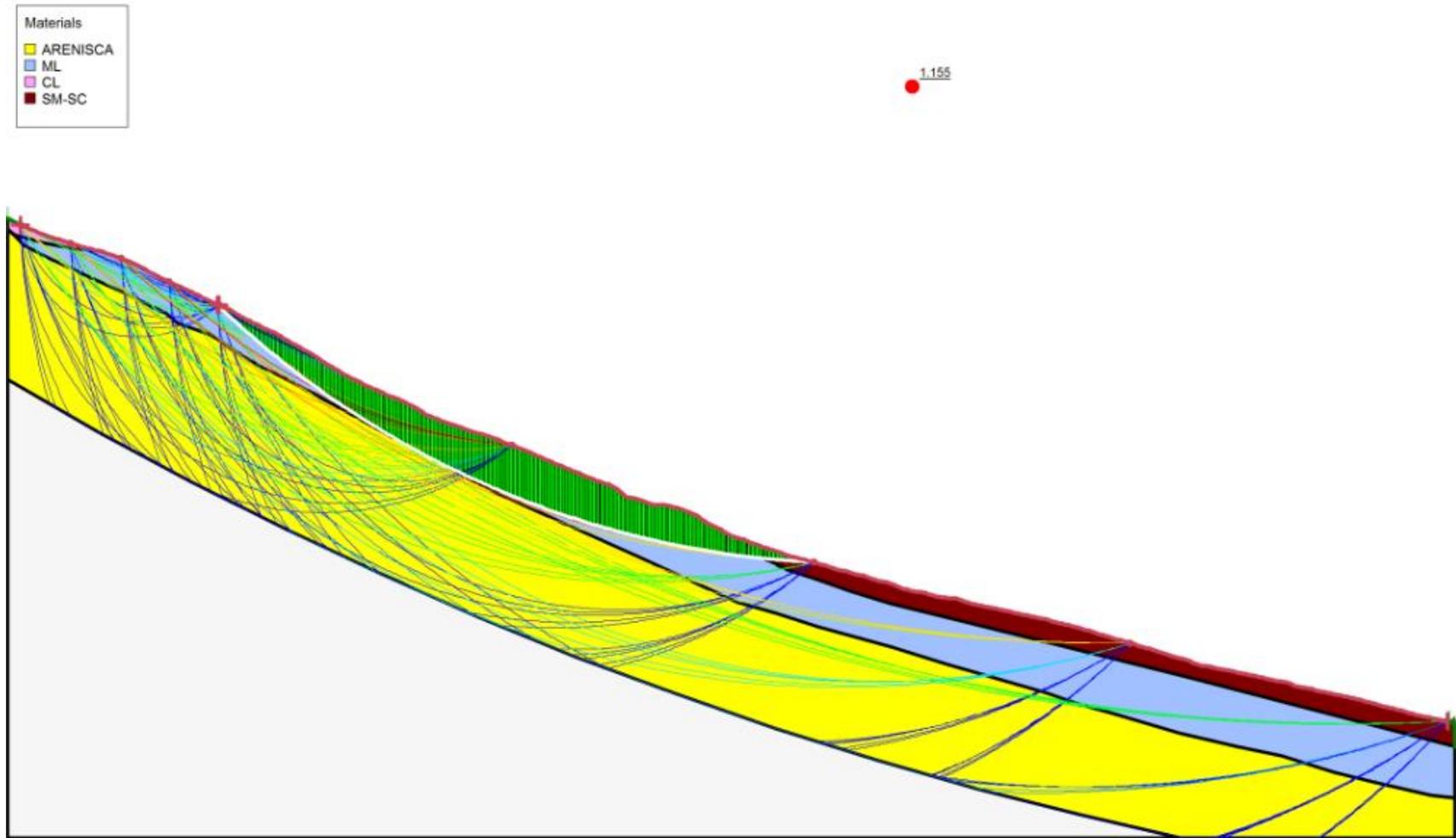


Ilustración 76 Superficies de falla Mét. Morgenstern-Price. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

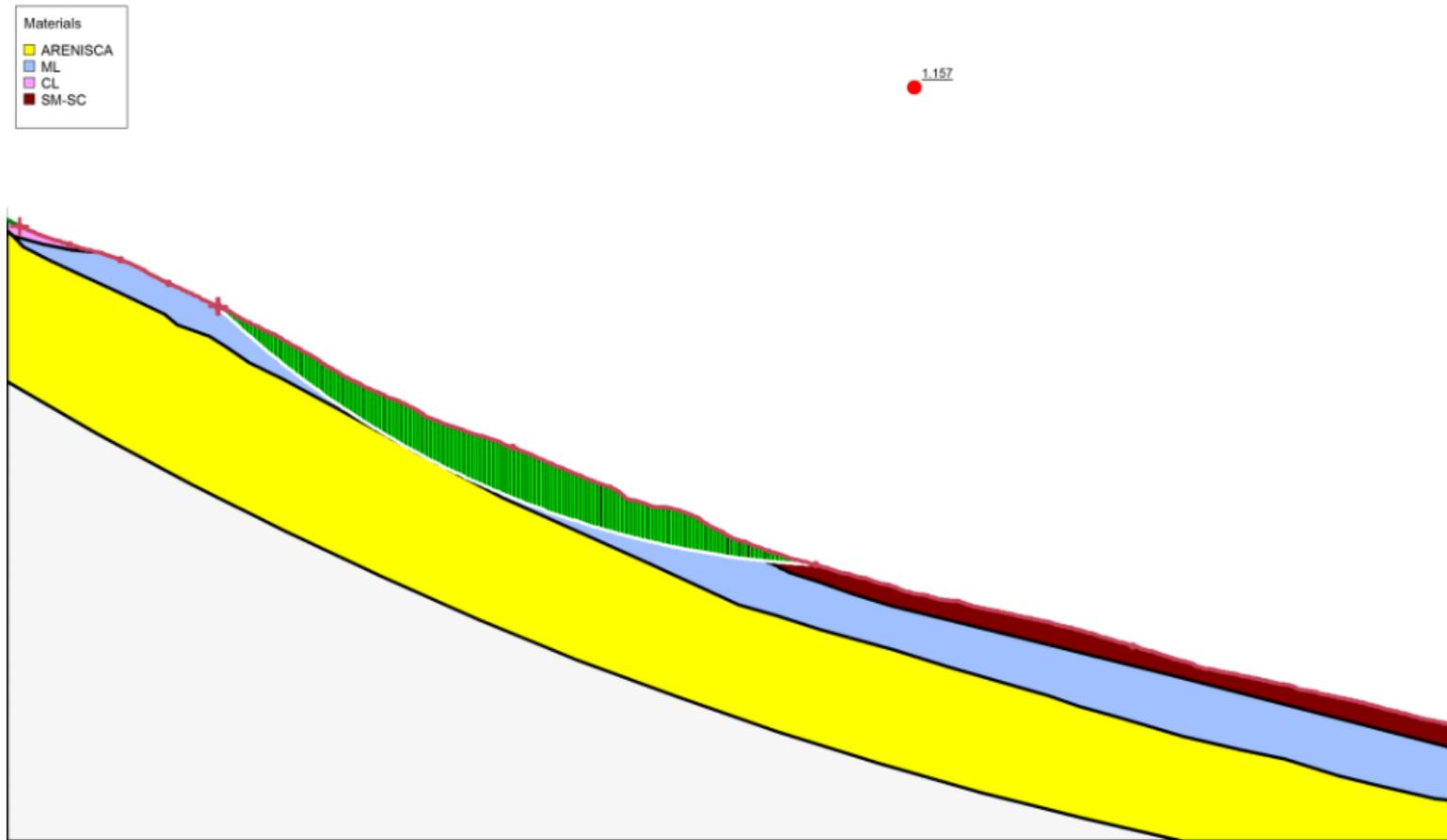
SEGUNDA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 77 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

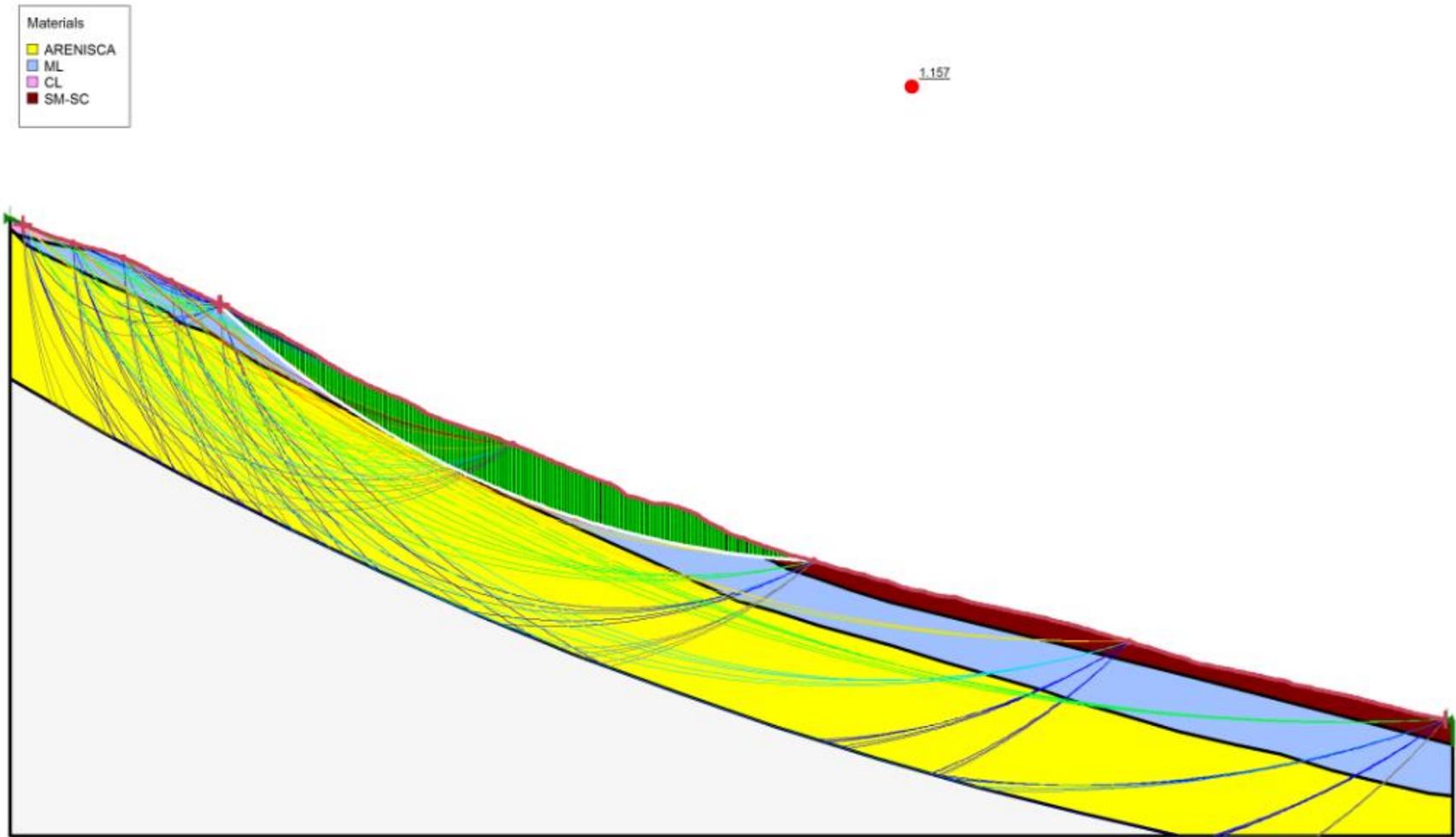


Ilustración 78 Superficies de falla Método Spencer. Condición: no saturada con sismo
Fuente: Autores

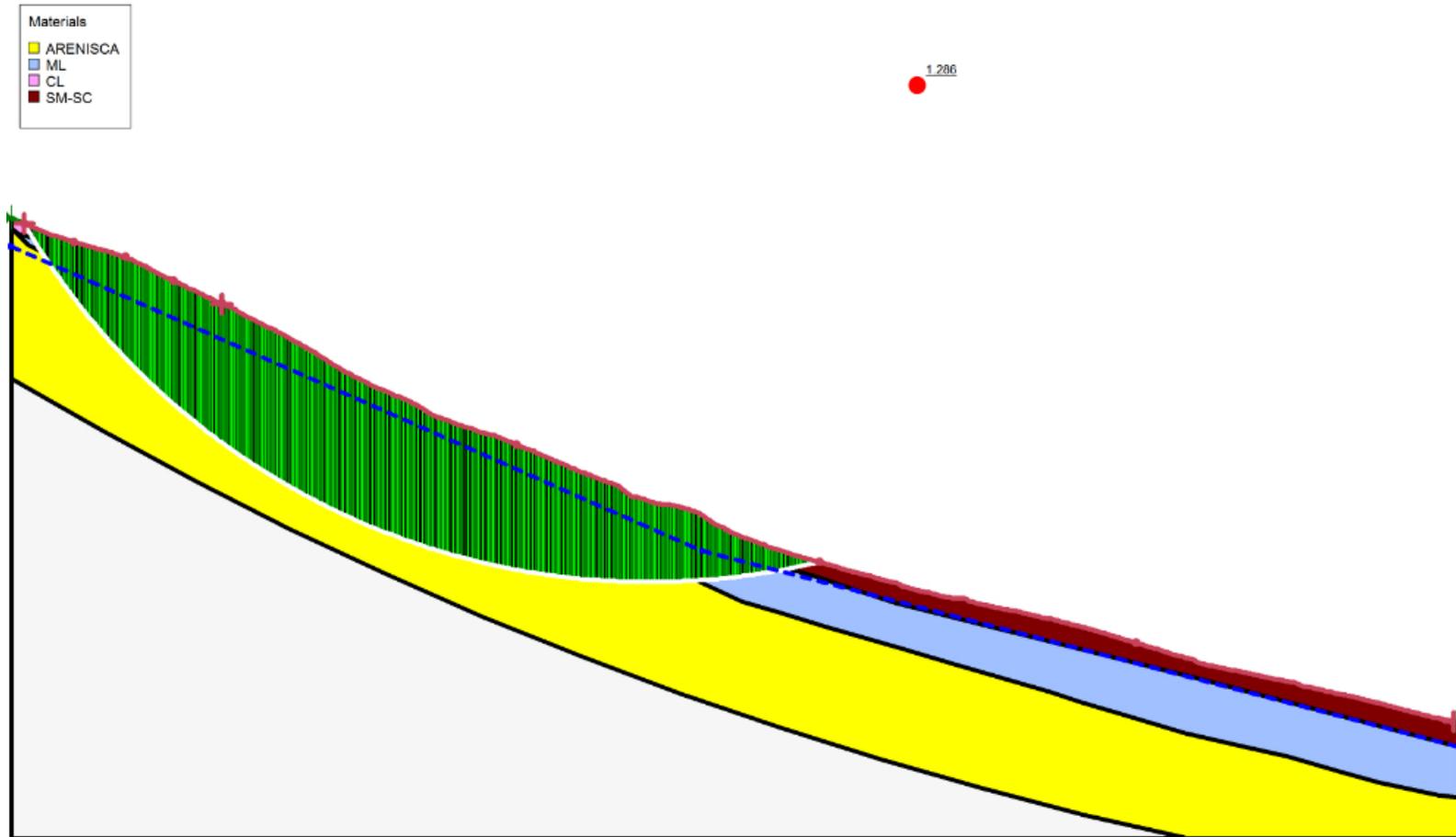
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 79 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo
Fuente: autores

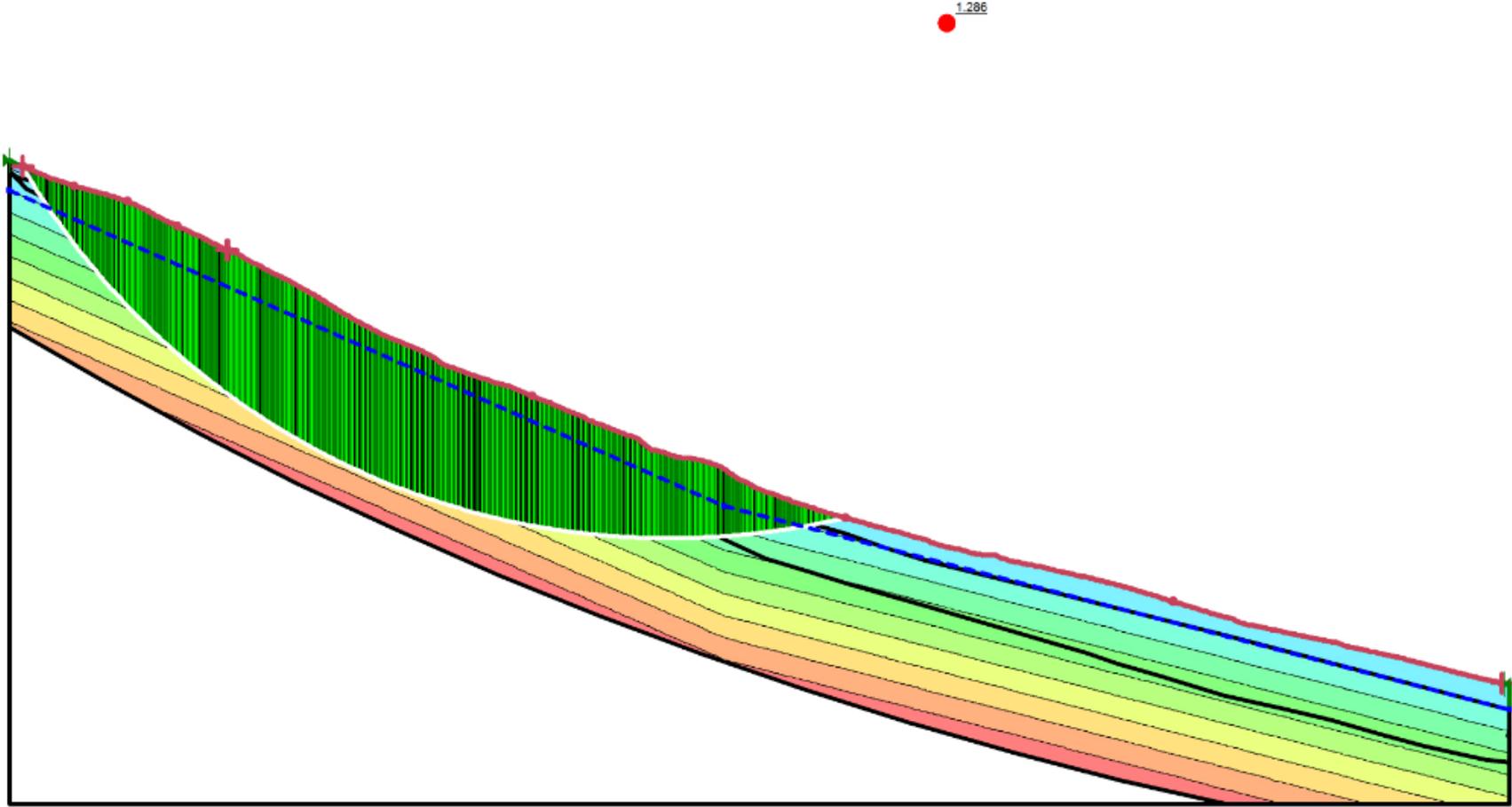


Ilustración 80 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

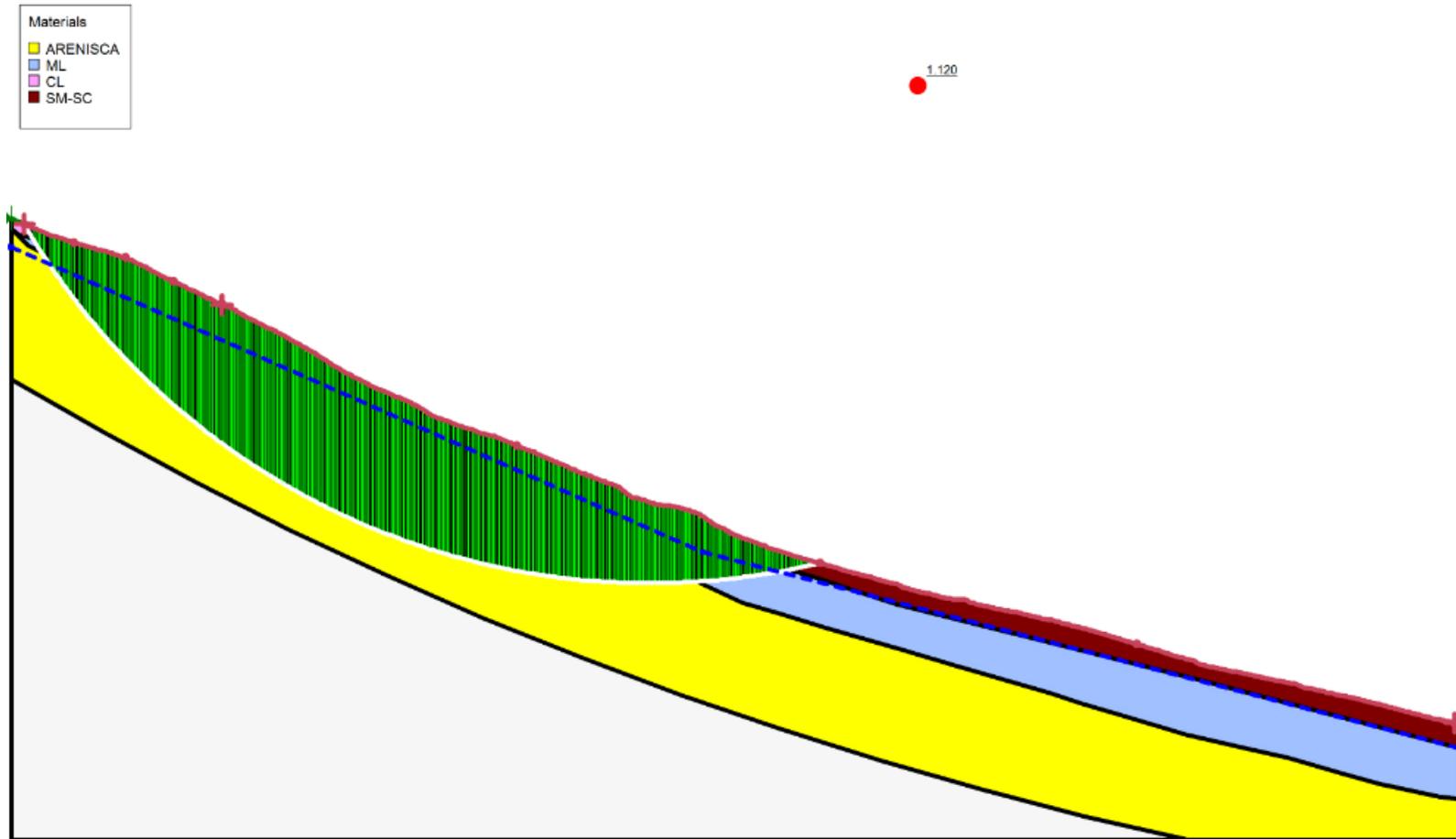
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 81 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada sin sismo
Fuente autores

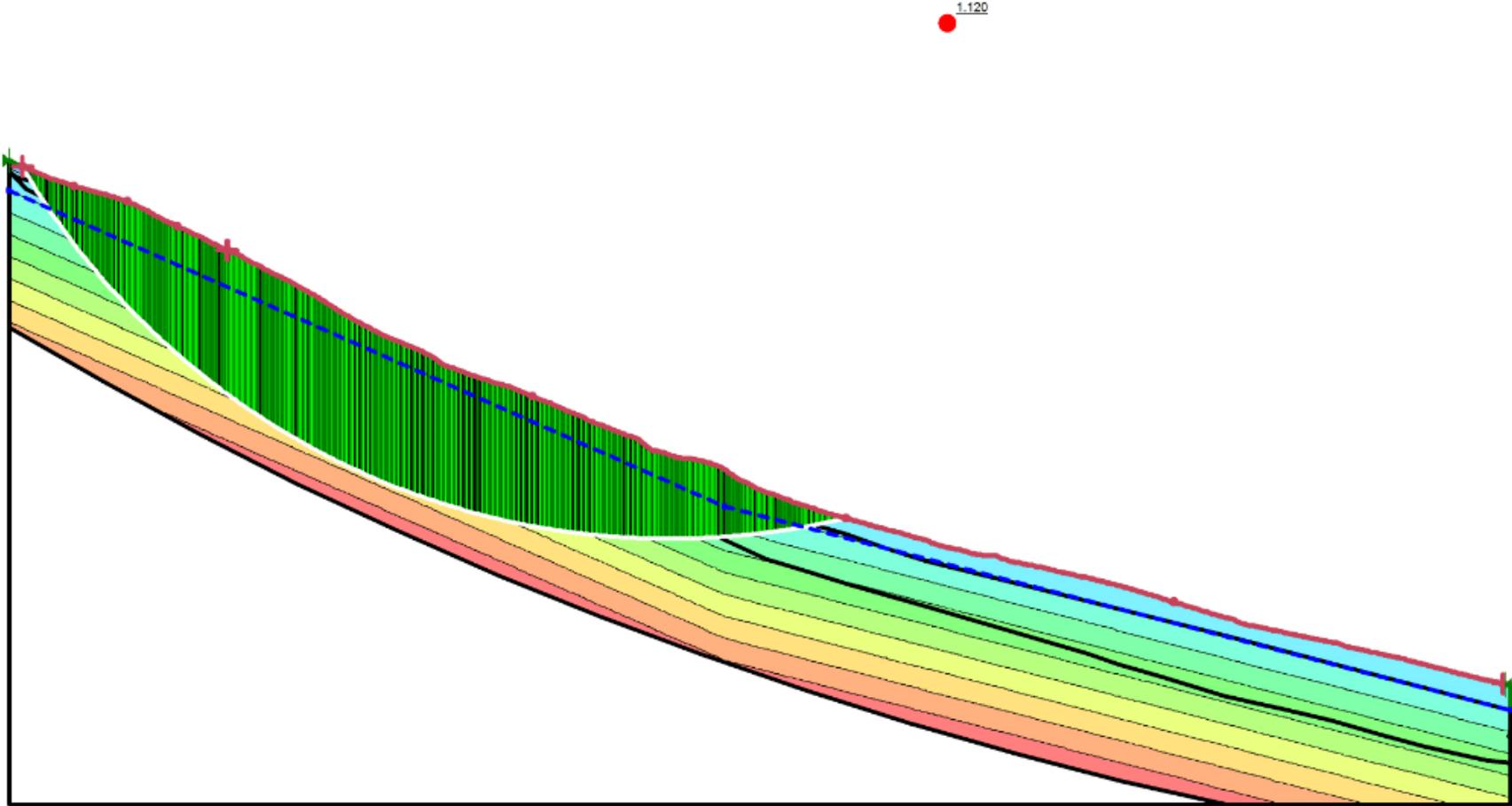


Ilustración 82 Presión de poros Método Janbu. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

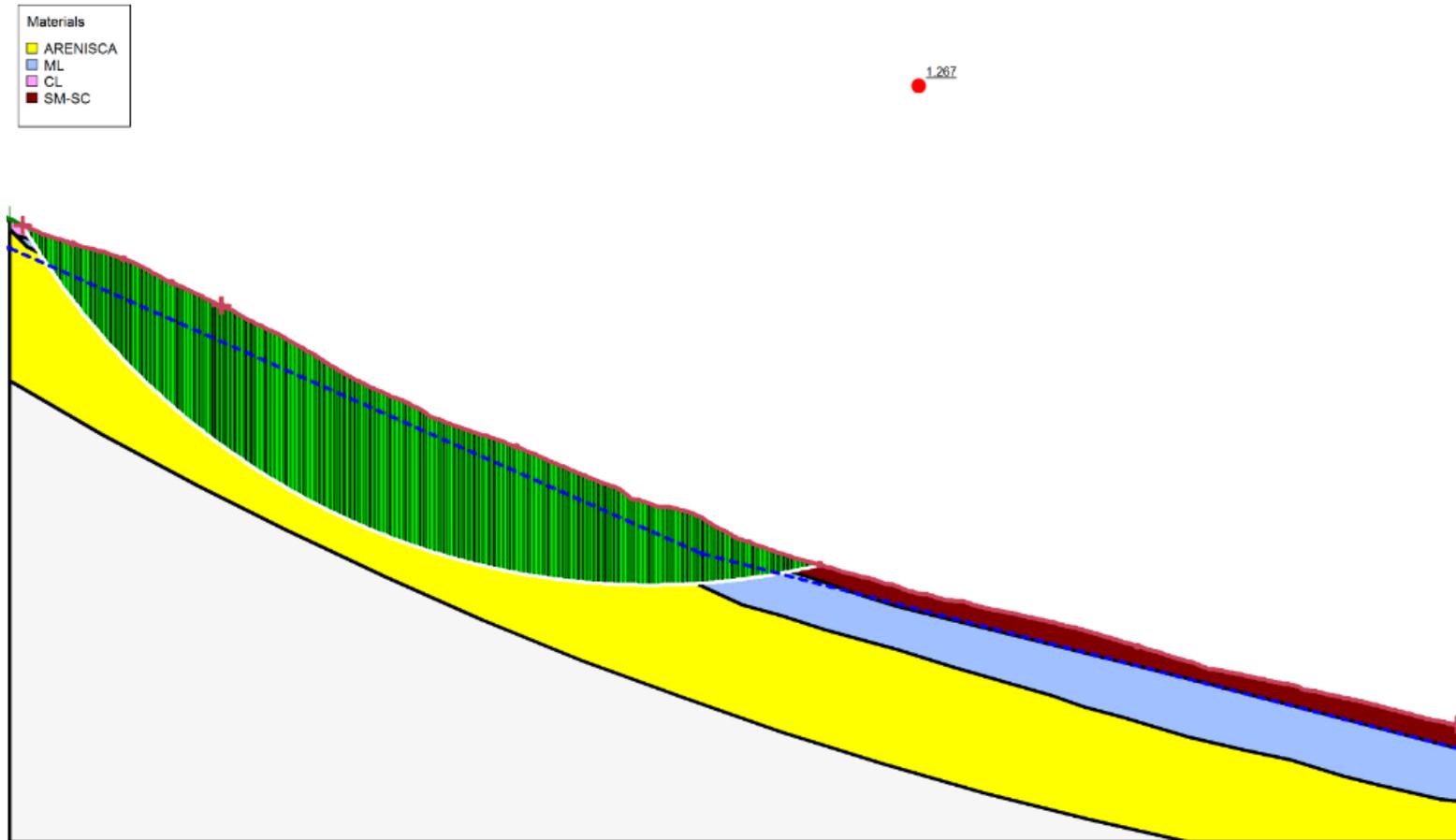
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 83 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo

Fuente: Autores

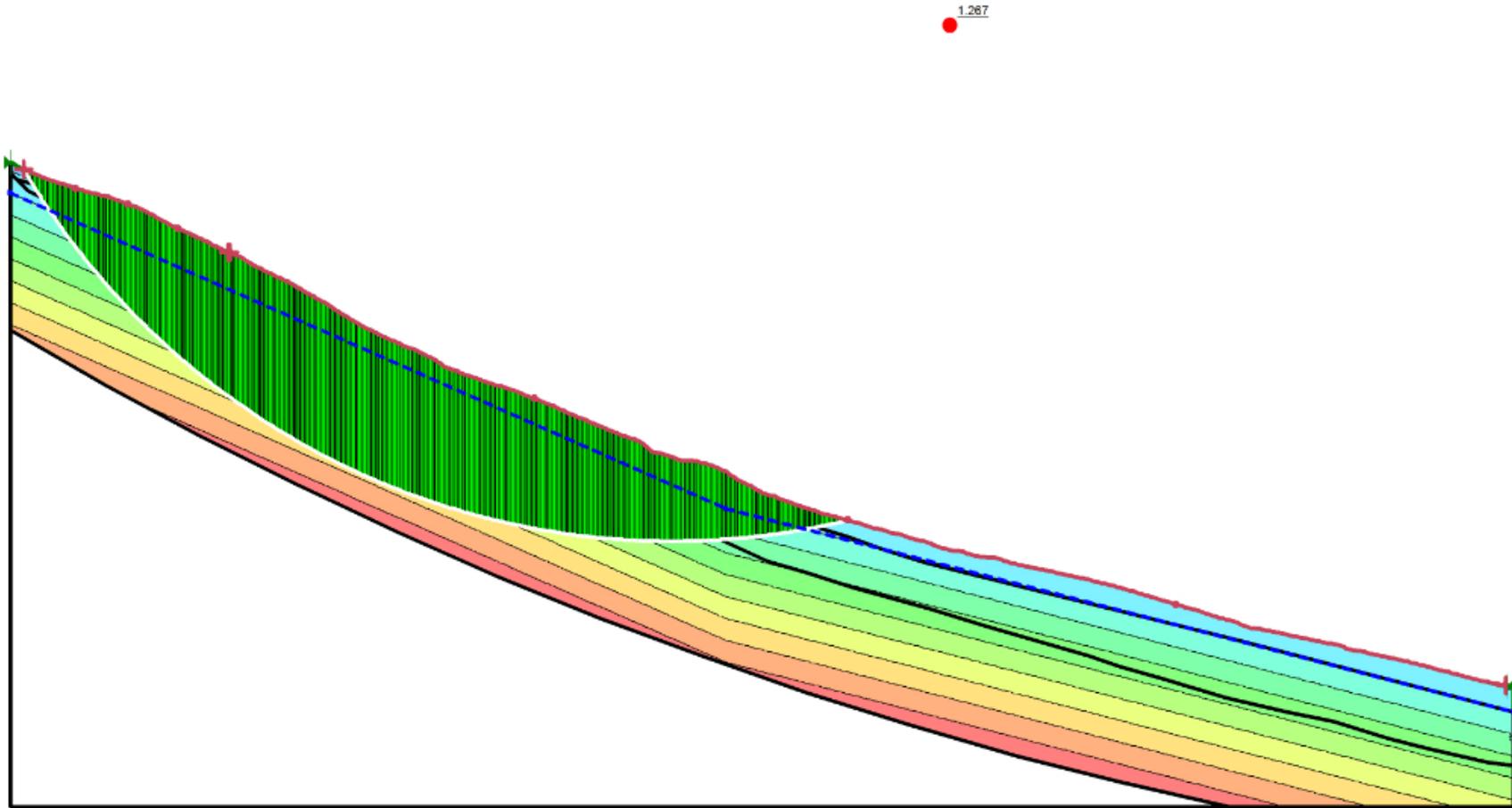


Ilustración 84 Presión de poros Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada sin sismo

Fuente: Autores

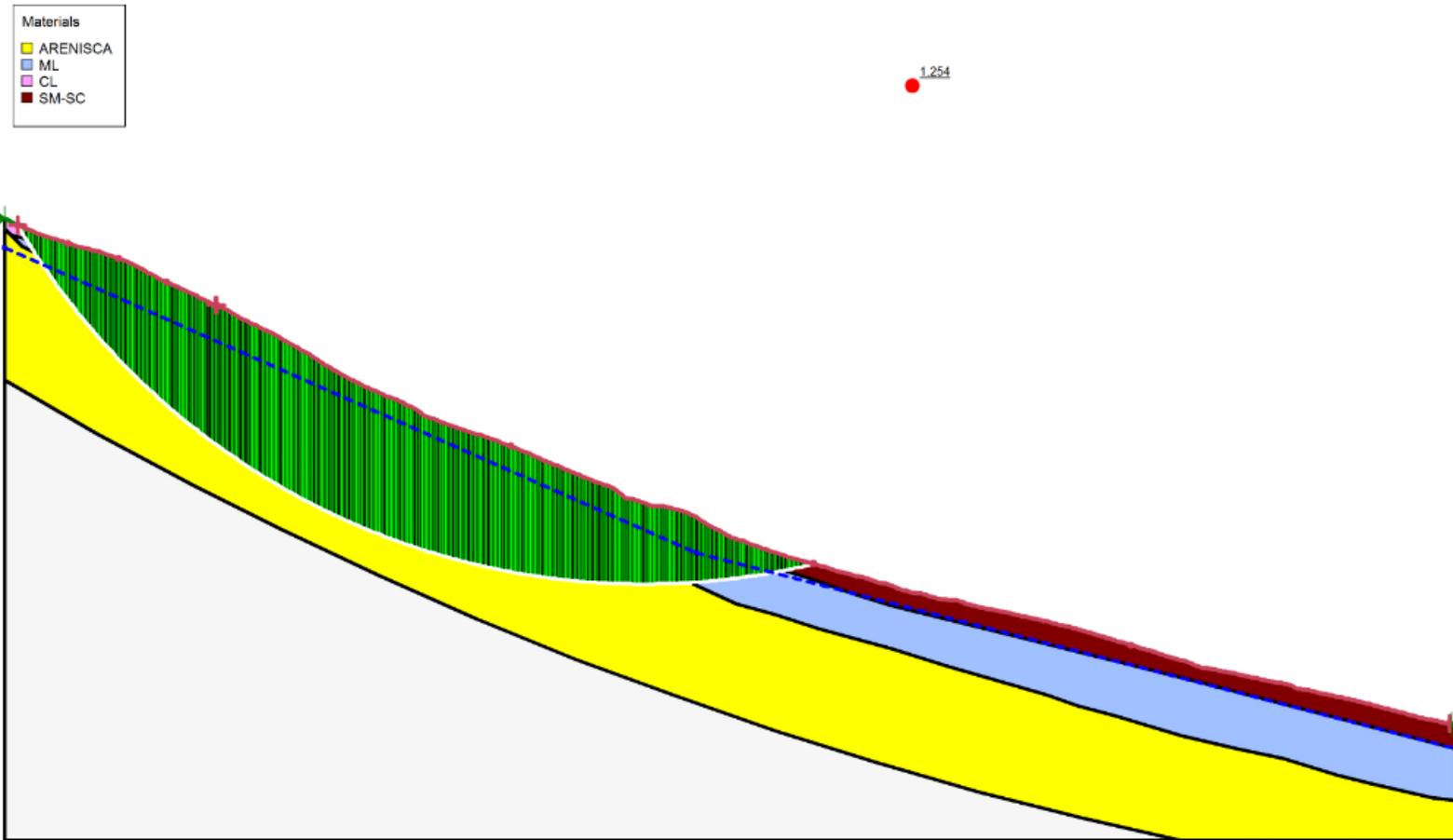
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 85 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada sin sismo
Fuente: Autores

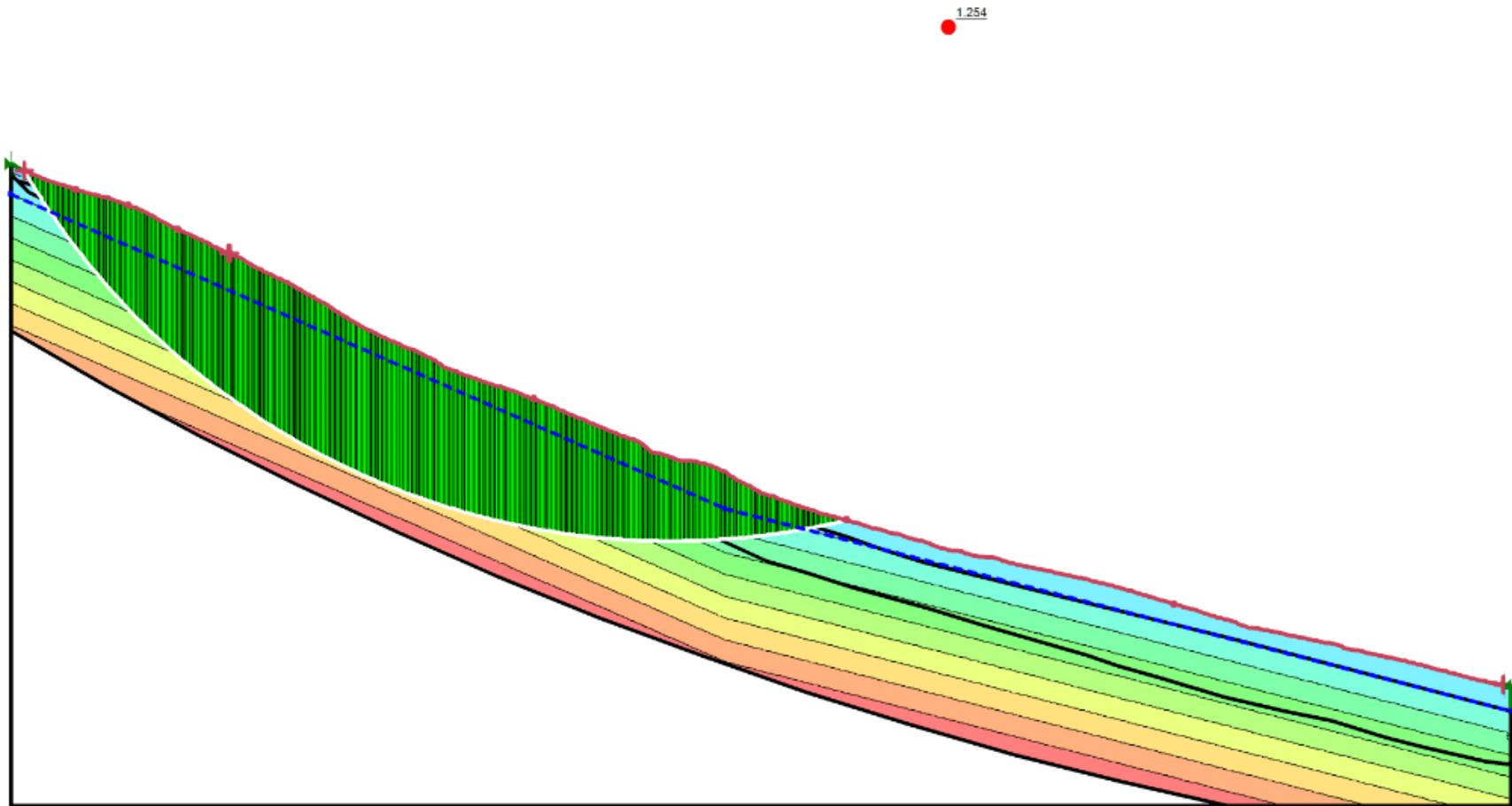


Ilustración 86 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada sin sismo

Fuente: Autores

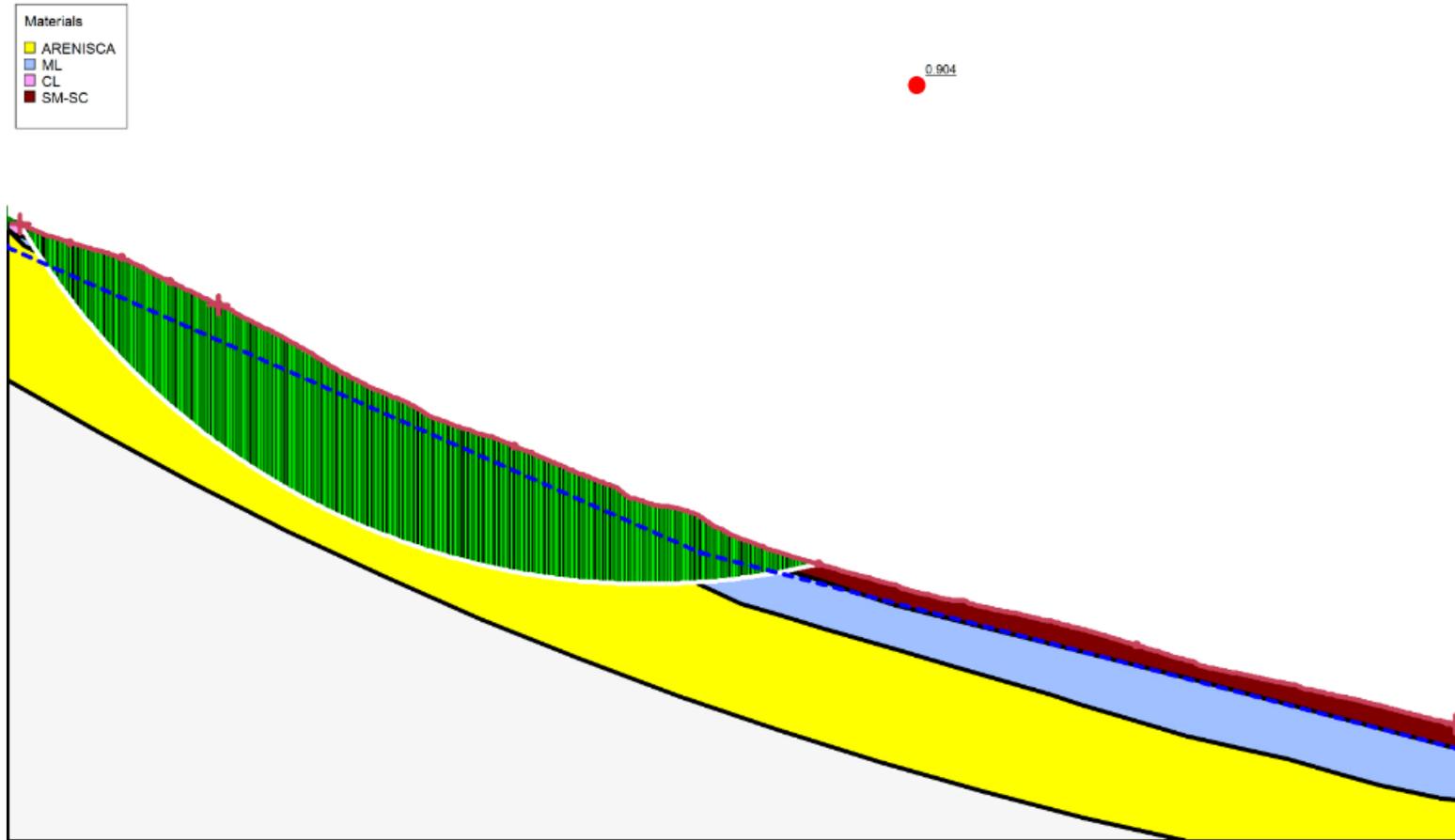
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 87 Factor de seguridad Método Fellenius. Condición: saturada con sismo

Fuente: Autores

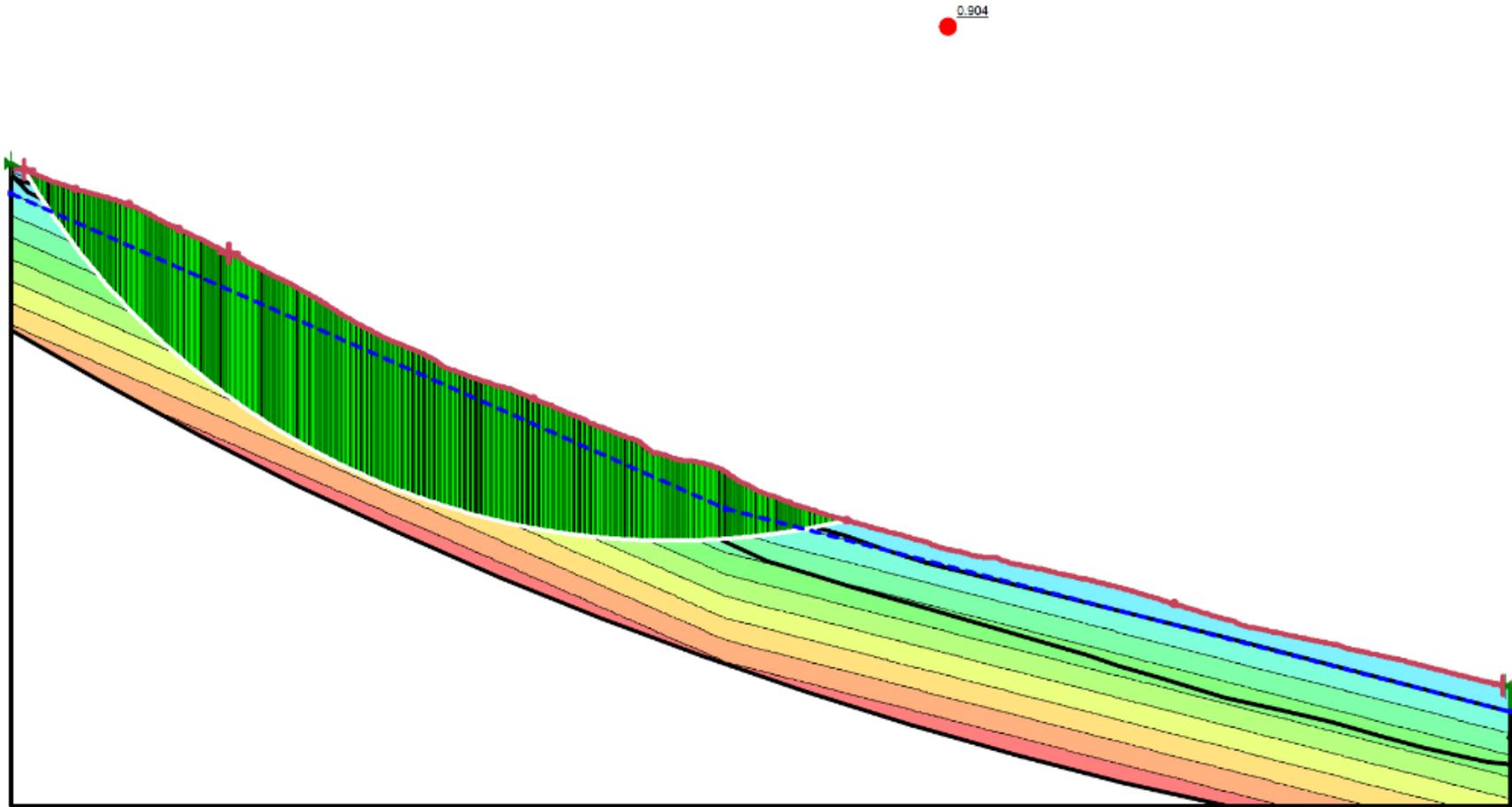


Ilustración 88 Presión de poros Método Fellenius. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

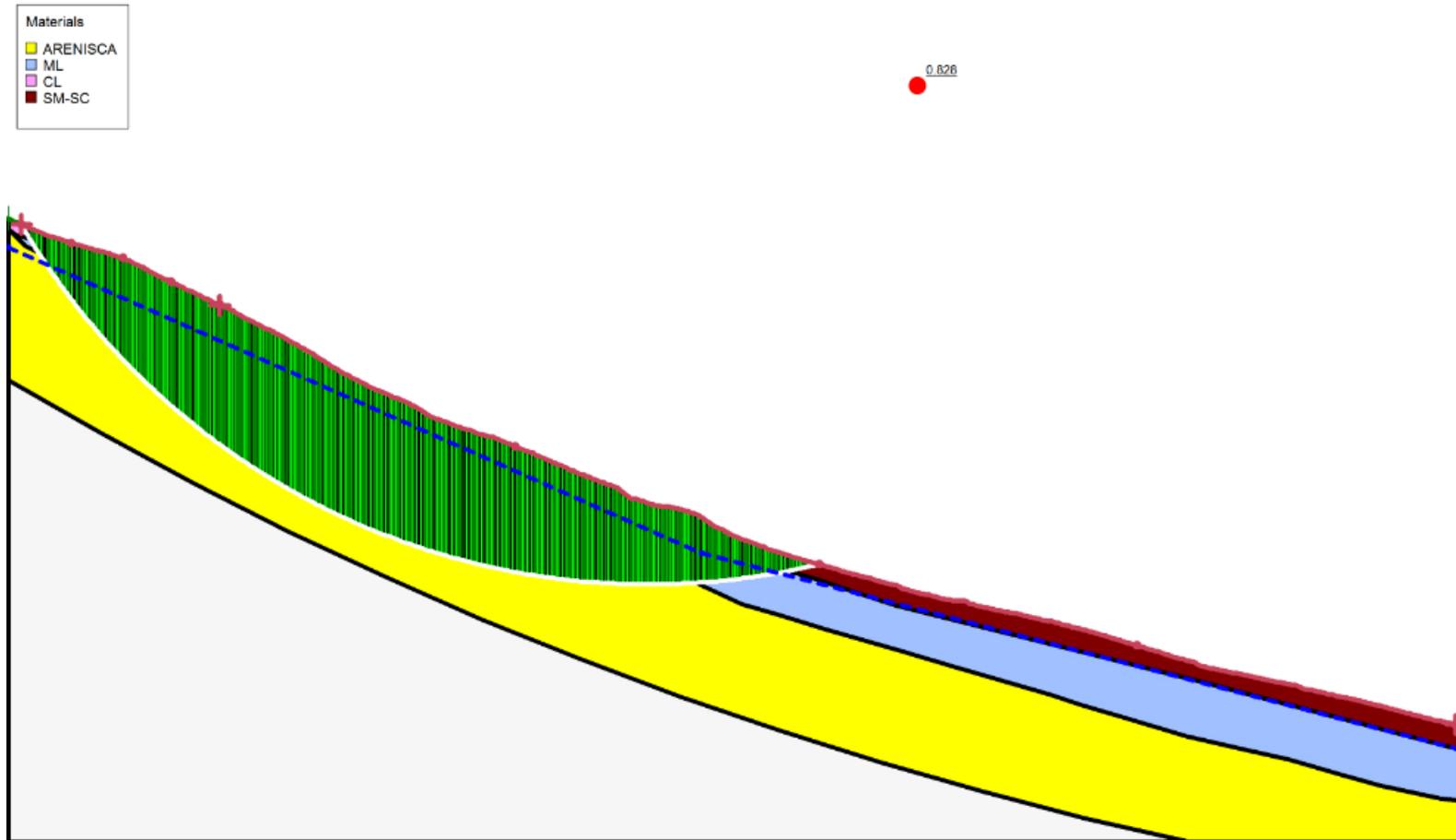
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 89 Factor de seguridad Método Janbu. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

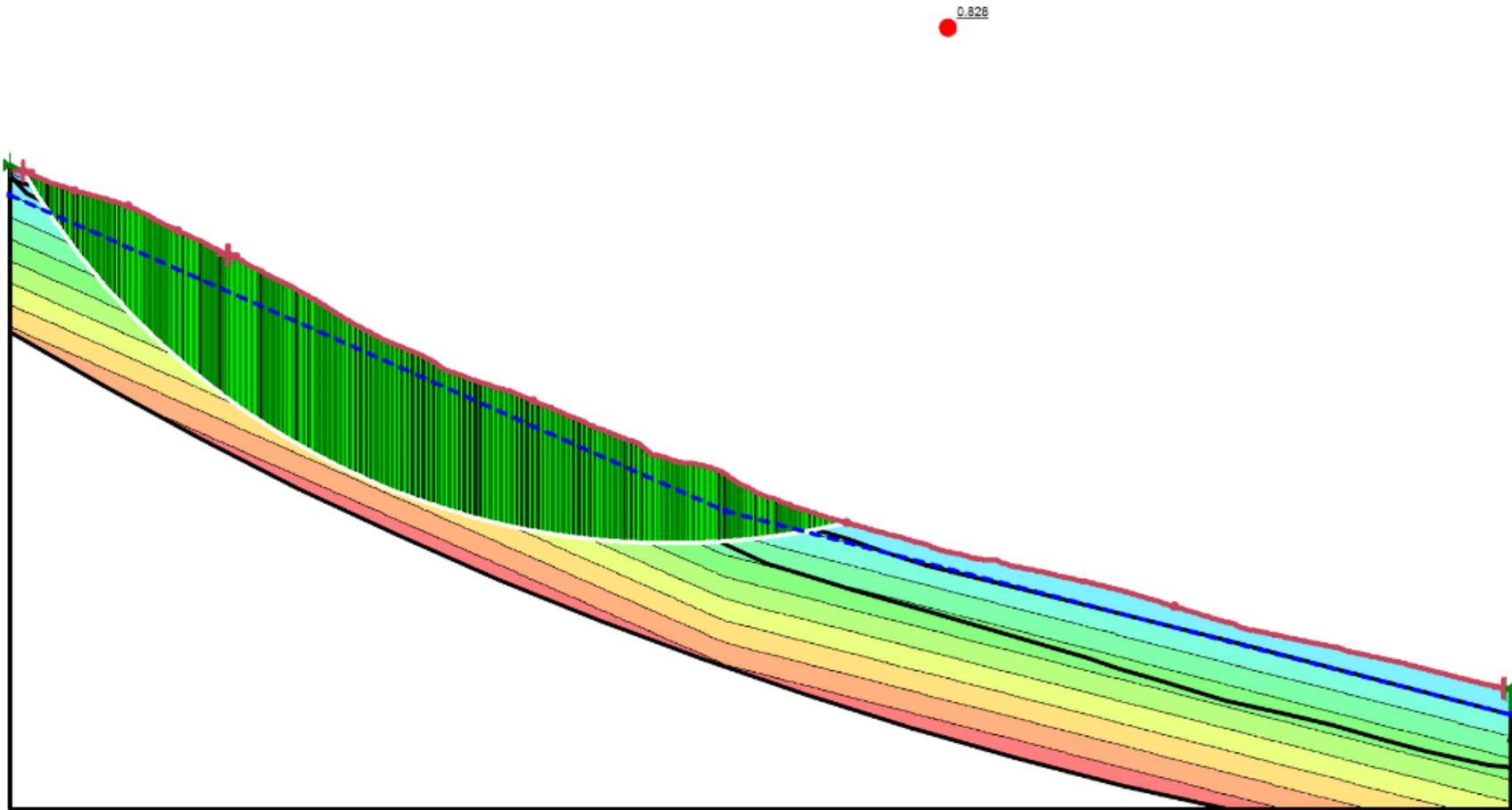


Ilustración 90 Presión de poros Método Janbu. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

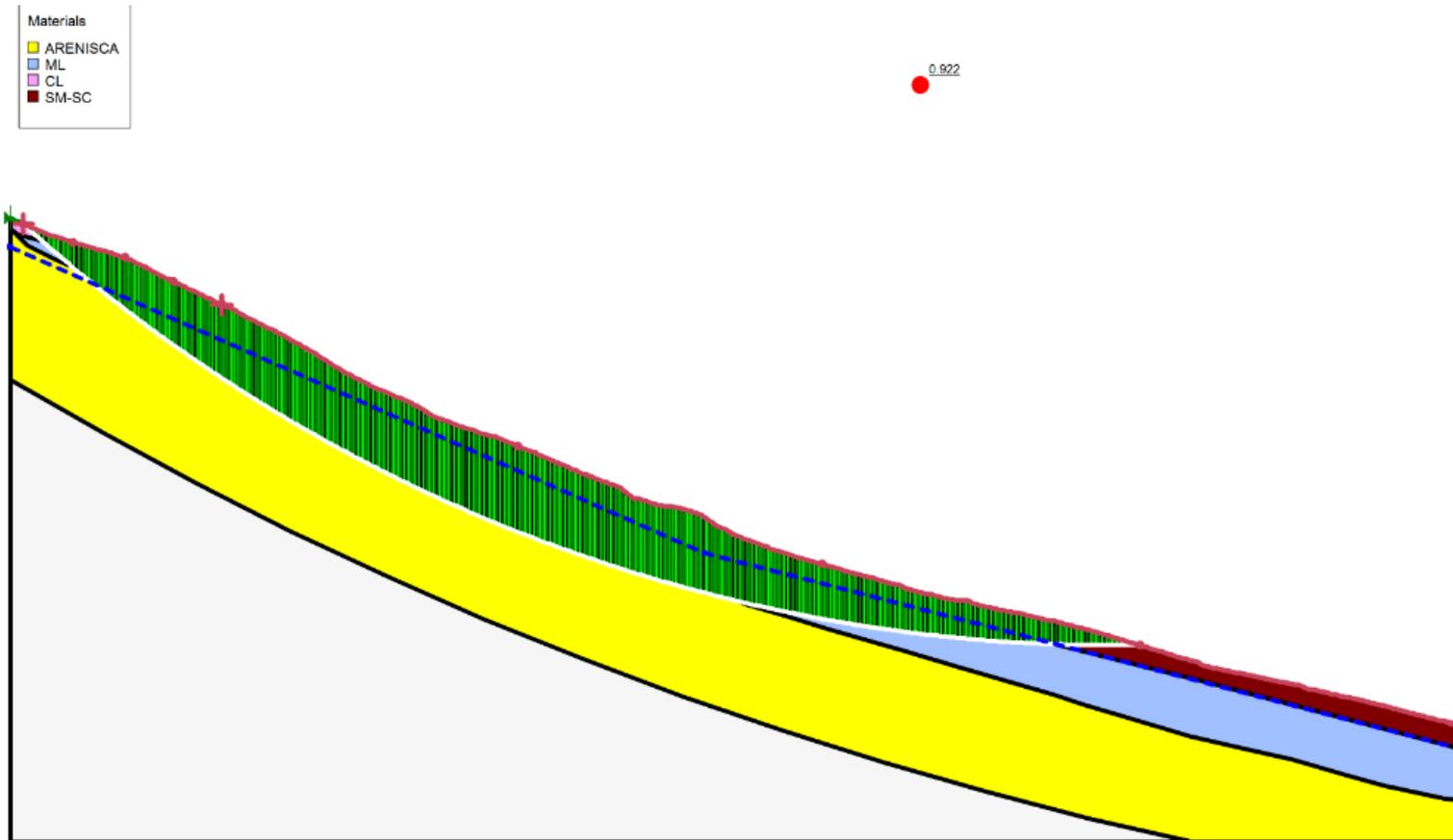
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 91 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

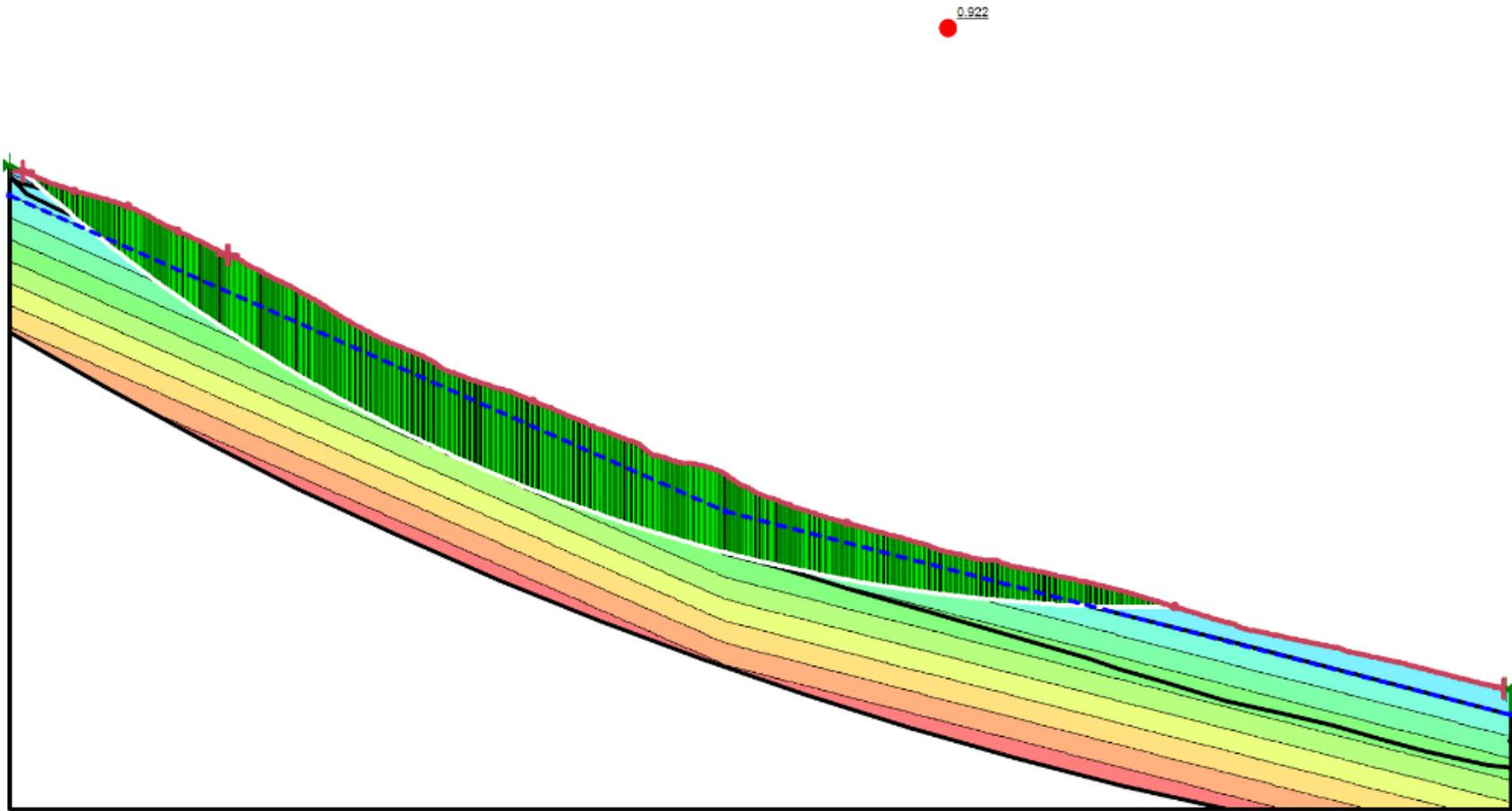


Ilustración 92 Presión de poros Mét. Morgenstern-Price. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

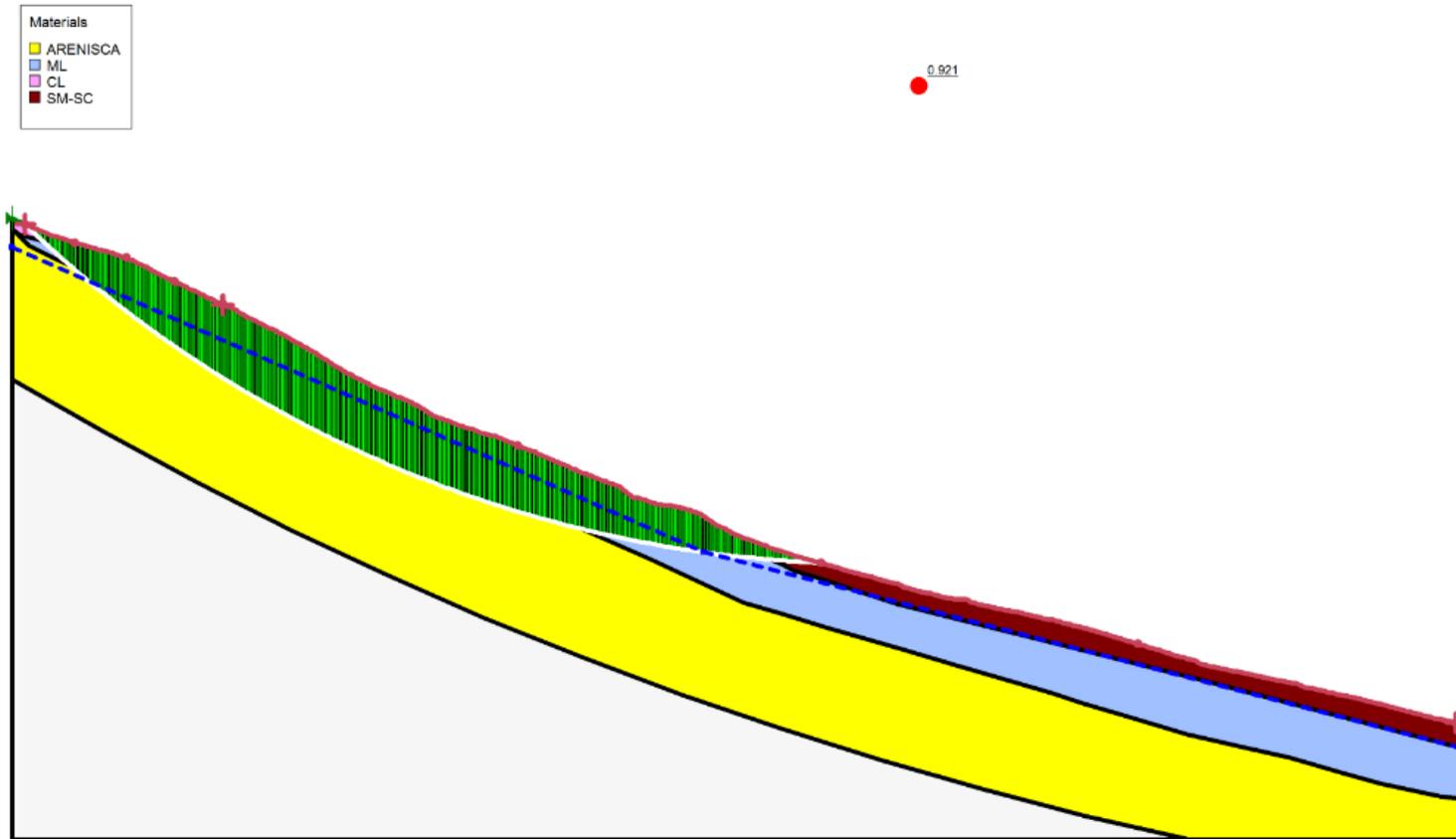
SEGUNDA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 93 Factor de seguridad Método Spencer. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

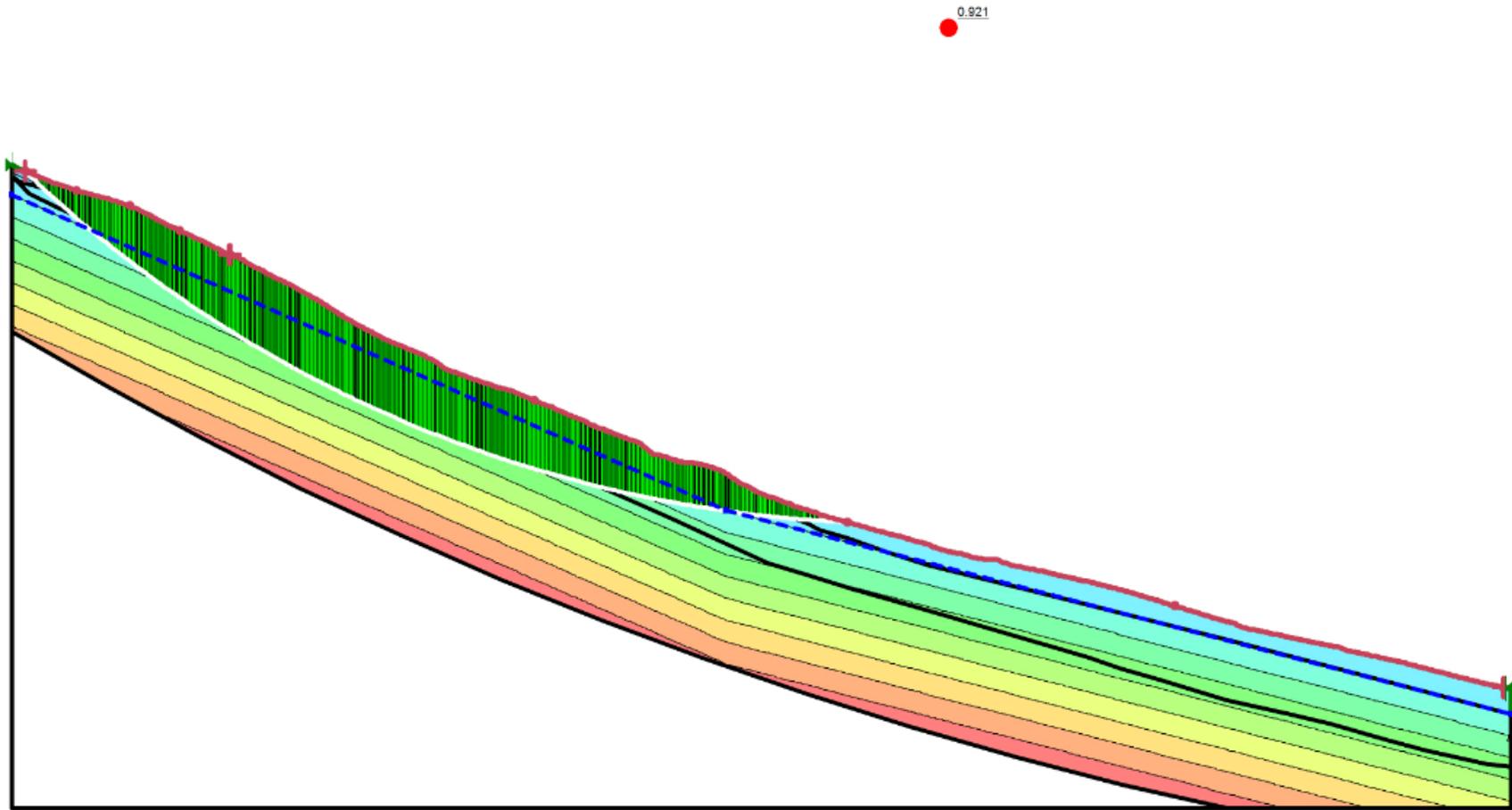


Ilustración 94 Presión de poros Método Spencer. Condición: saturada con sismo
Fuente: Autores

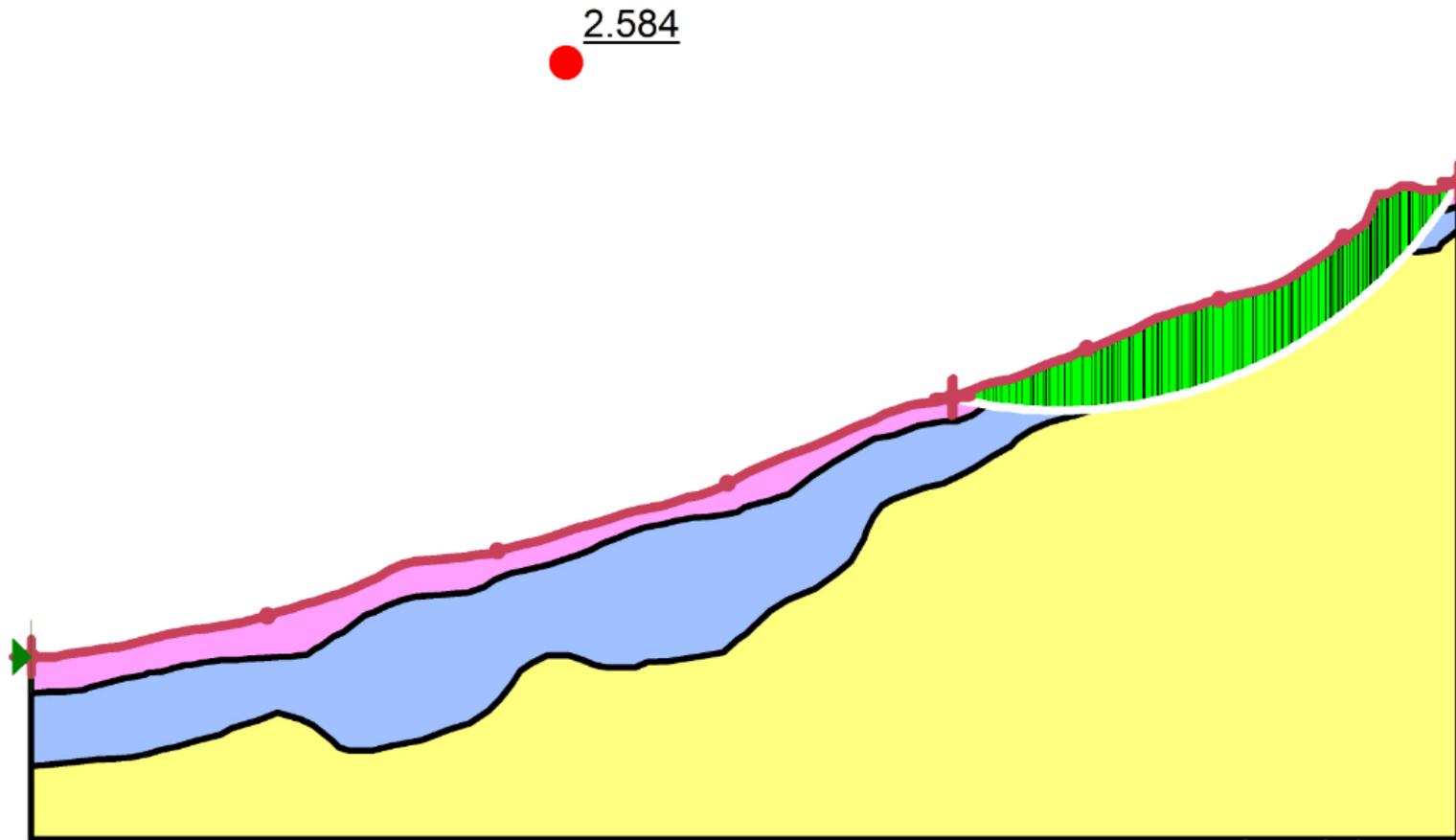
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 95 Factor de seguridad Método Fellenius.

Fuente: Autores

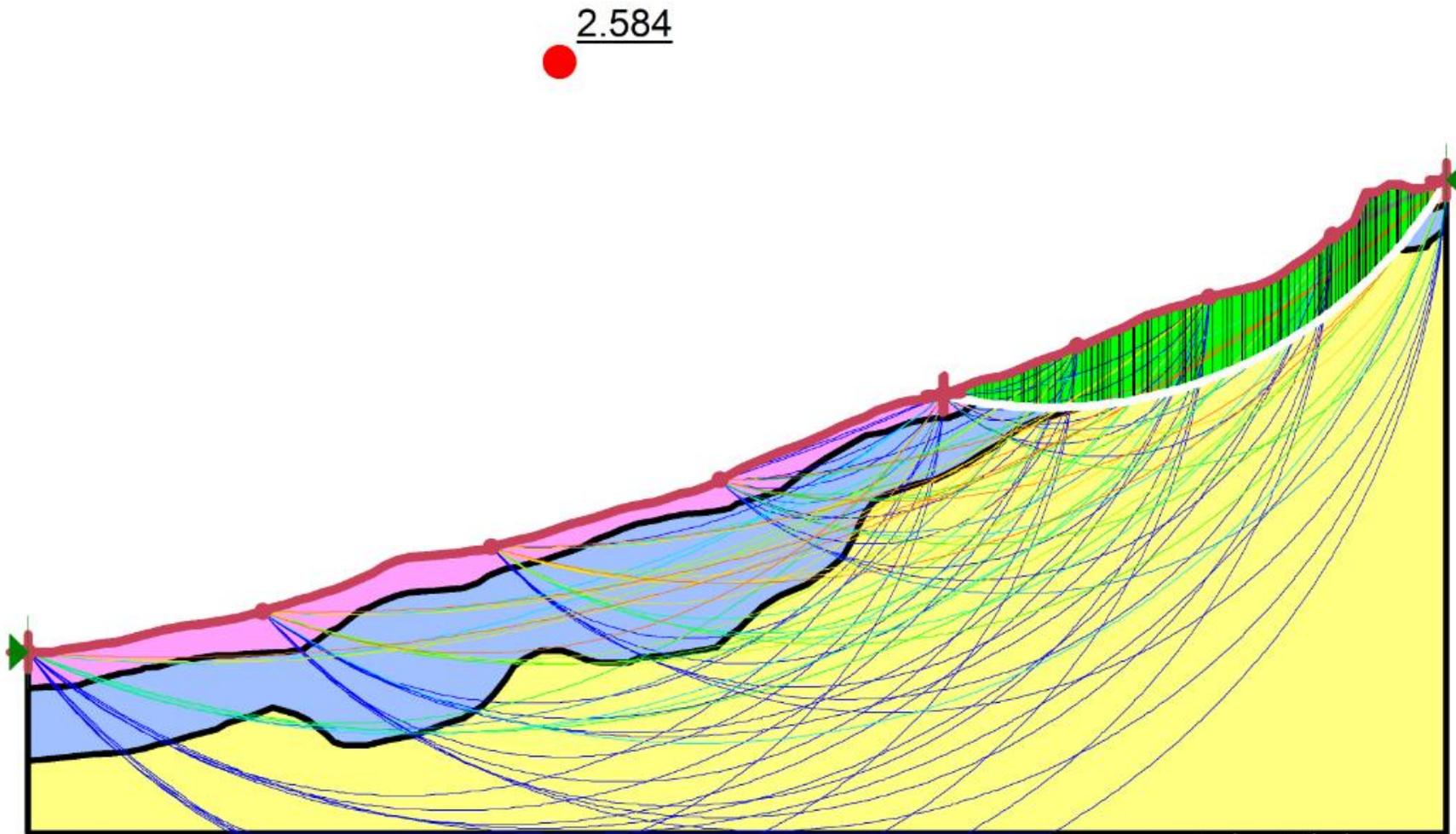


Ilustración 96 Superficies de falla Método Fellenius.
Fuente: Autores

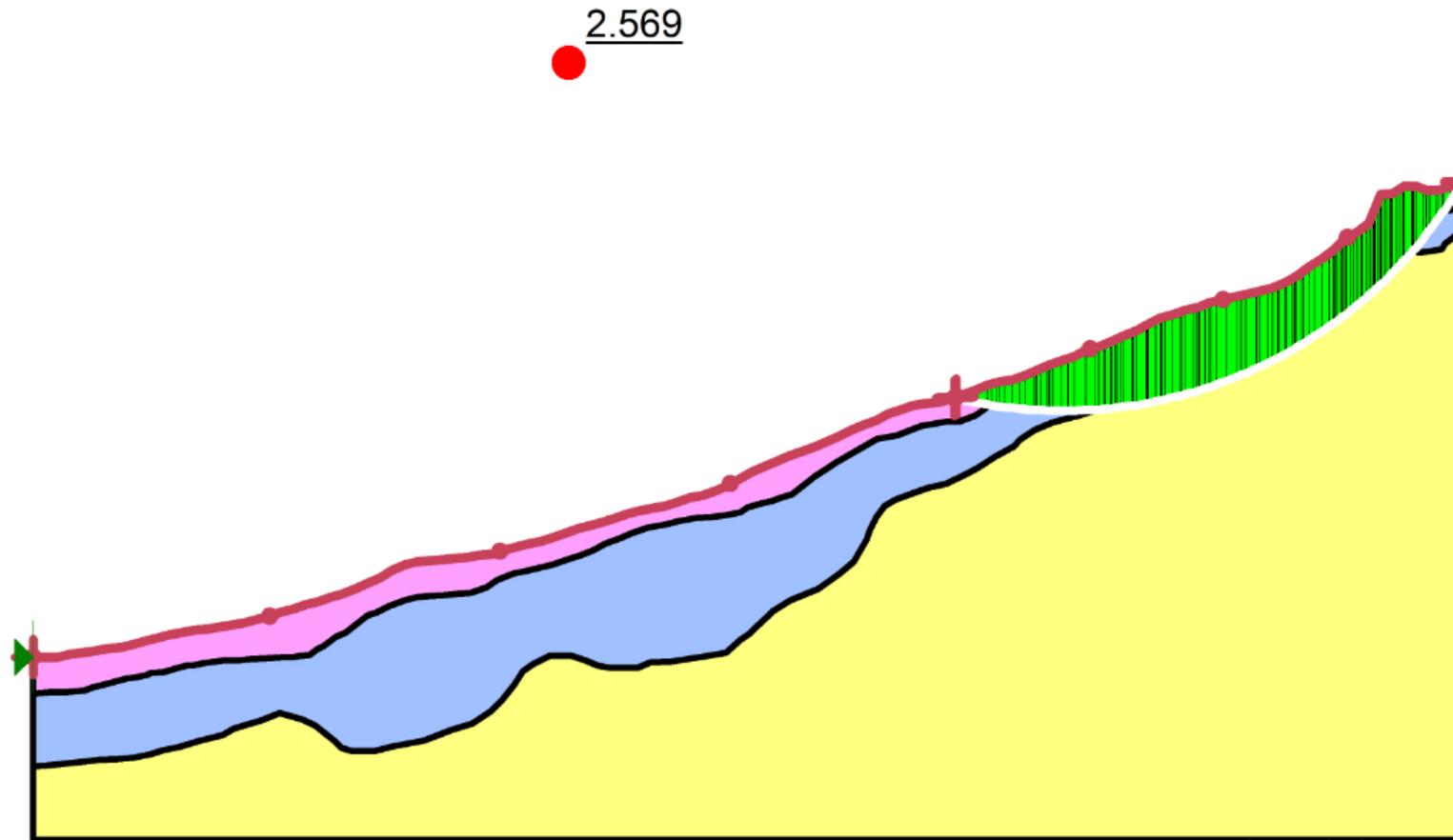
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 97 Factor de seguridad Método Janbu.

Fuente: Autores

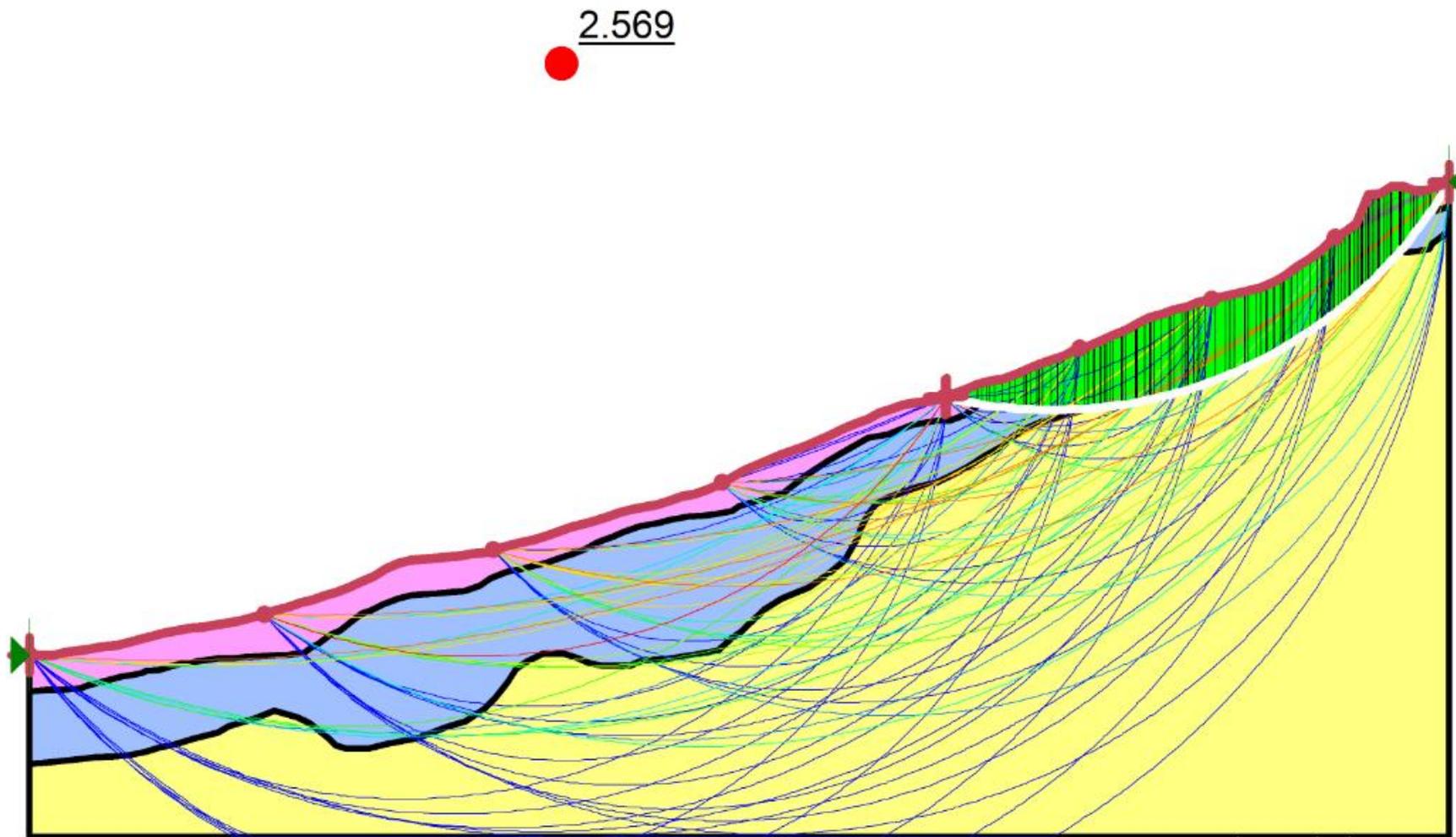


Ilustración 98 Superficies de falla Método Janbu.
Fuente: Autores

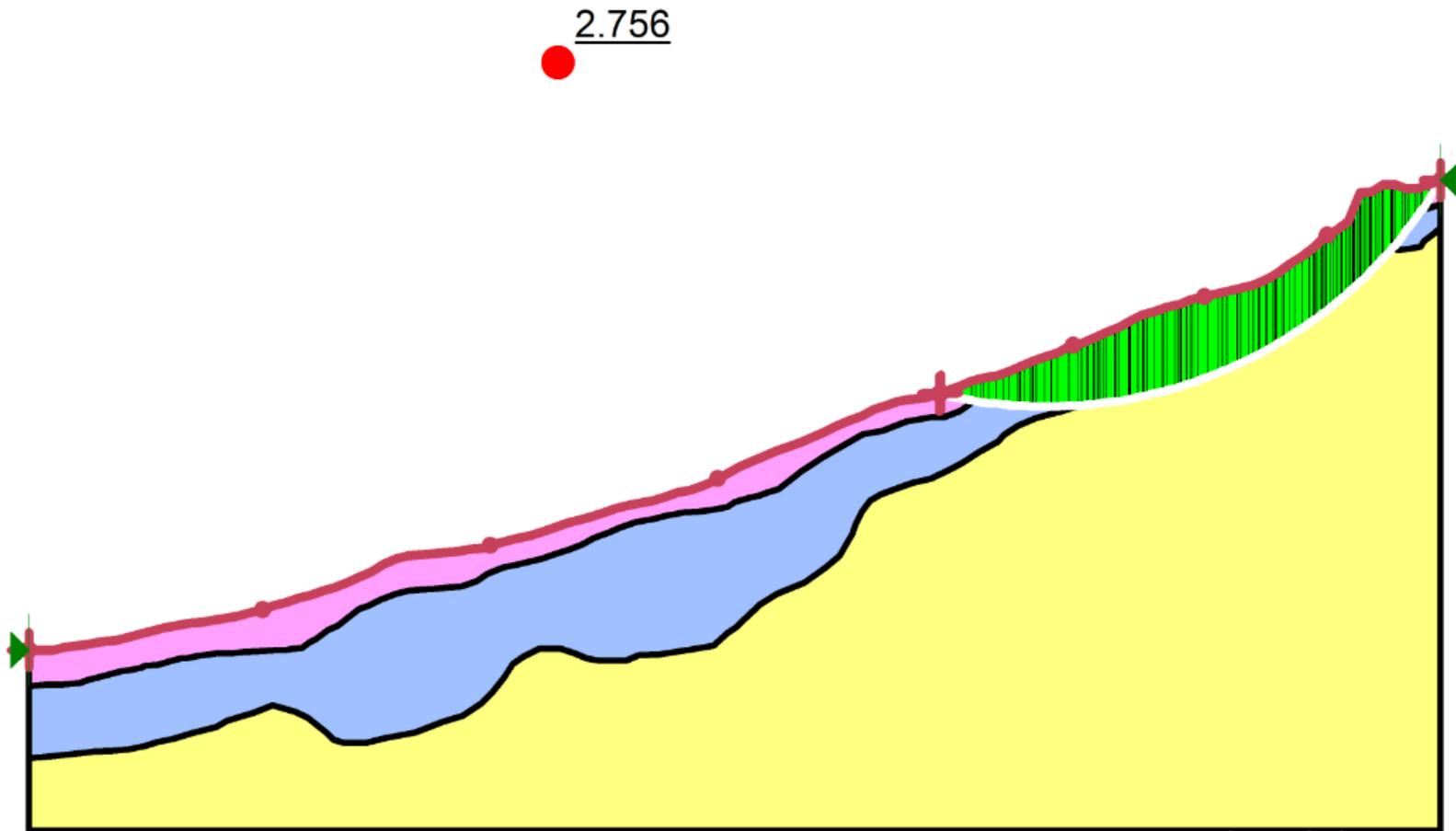
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 99 Factor de seguridad Mét. Morgenstern-Price

Fuente: Autores

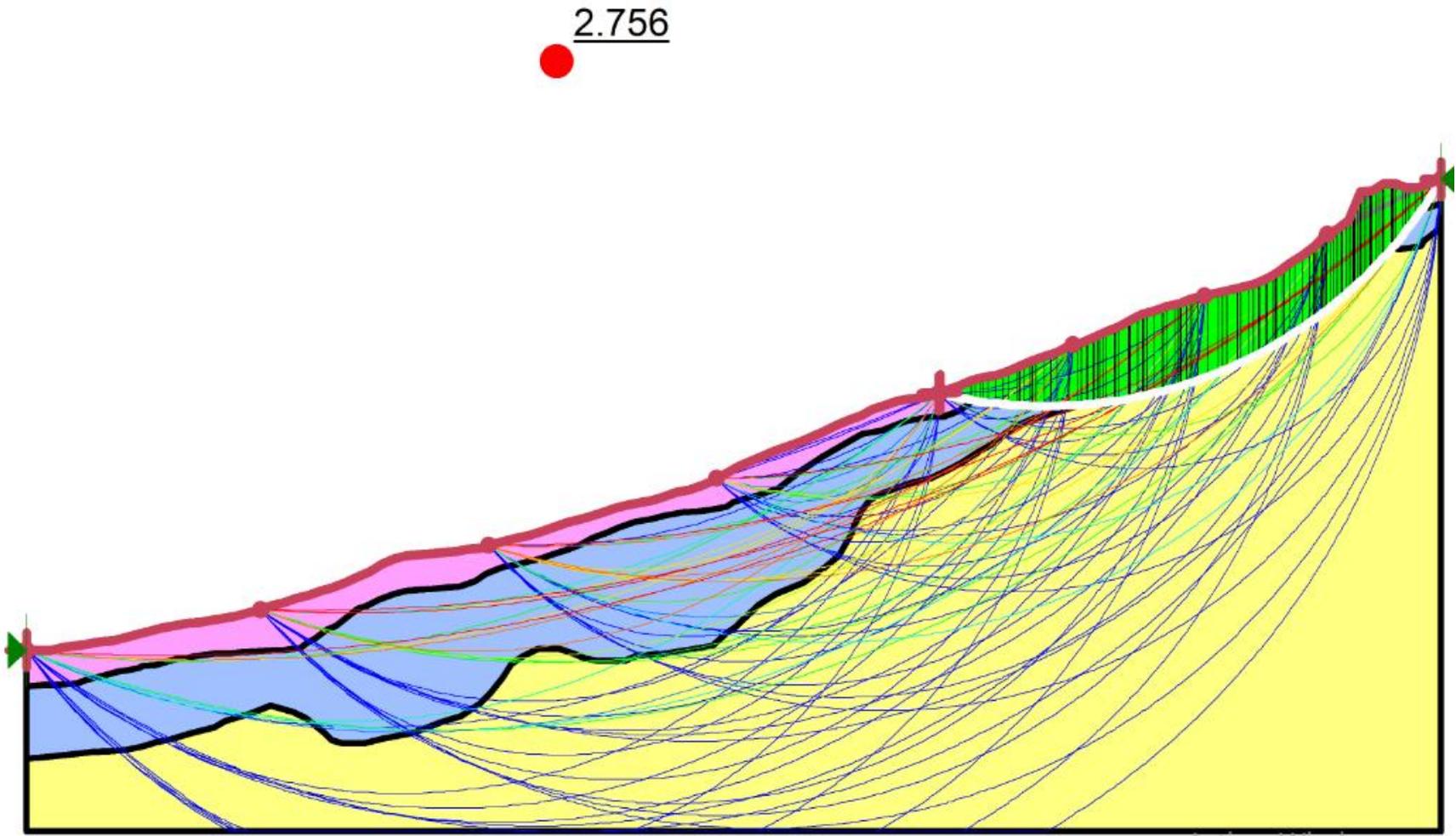


Ilustración 100 Superficies de falla Mét. Morgenstern-Price.
Fuente: Autores

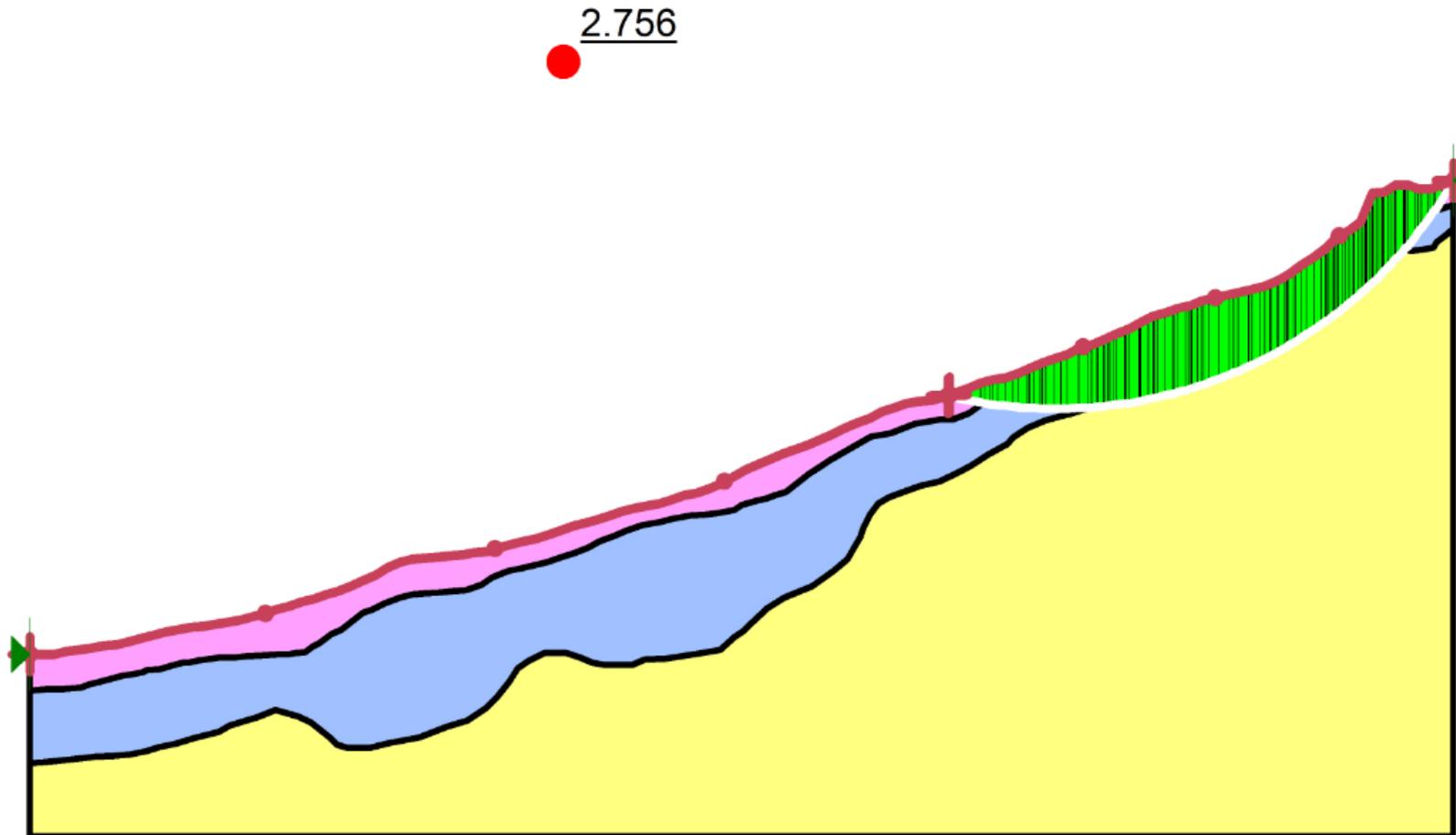
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA SIN SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 101 Factor de seguridad Método Spencer.

Fuente: Autores

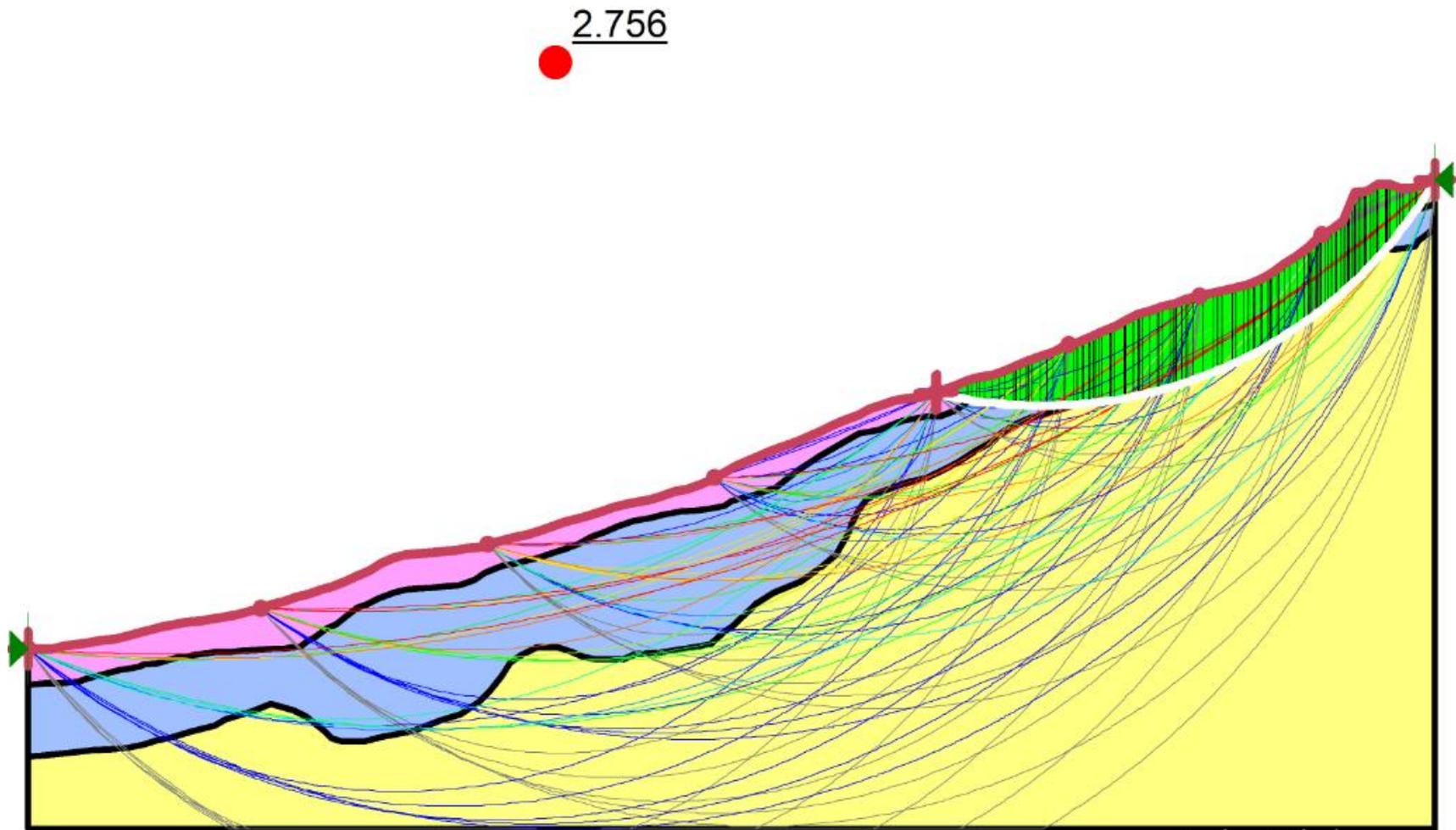
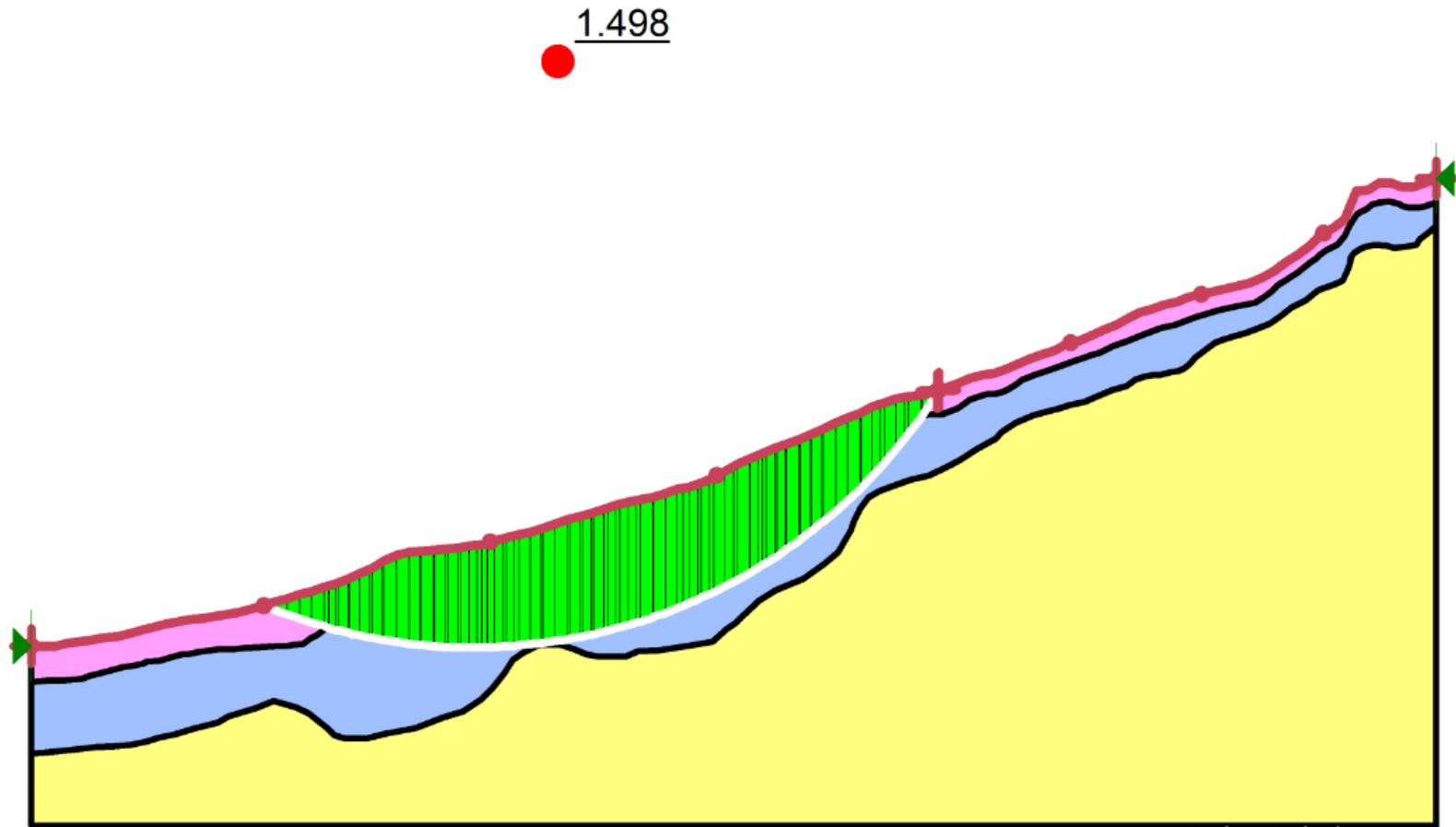


Ilustración 102 Superficies de falla Método Spencer
Fuente: Autores

TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE FELLENIUS.***Ilustración 103 Factor de seguridad Método Fellenius.*

Fuente: Autores

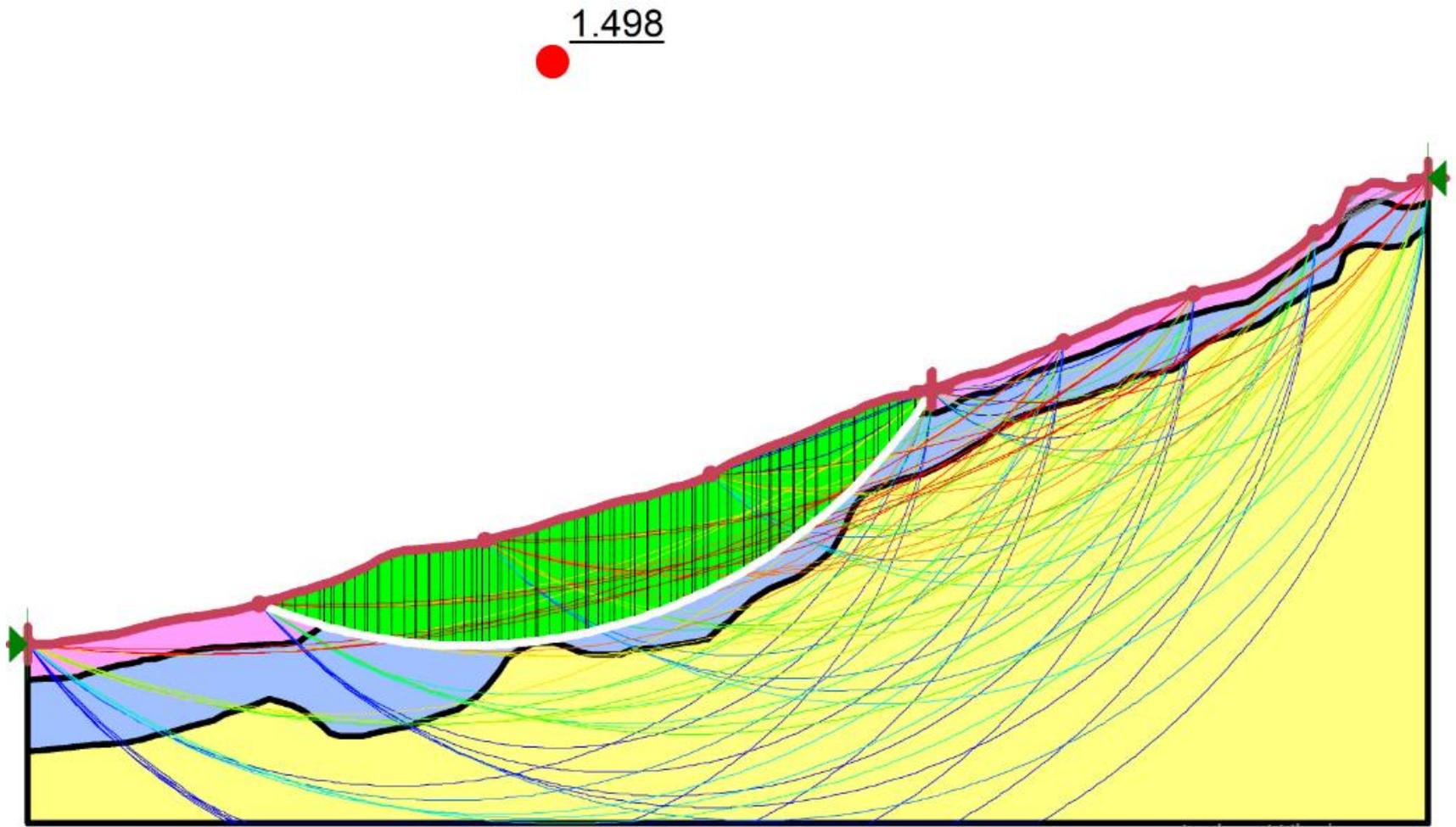


Ilustración 104 Superficies de falla Método Fellenius
Fuente: Autores

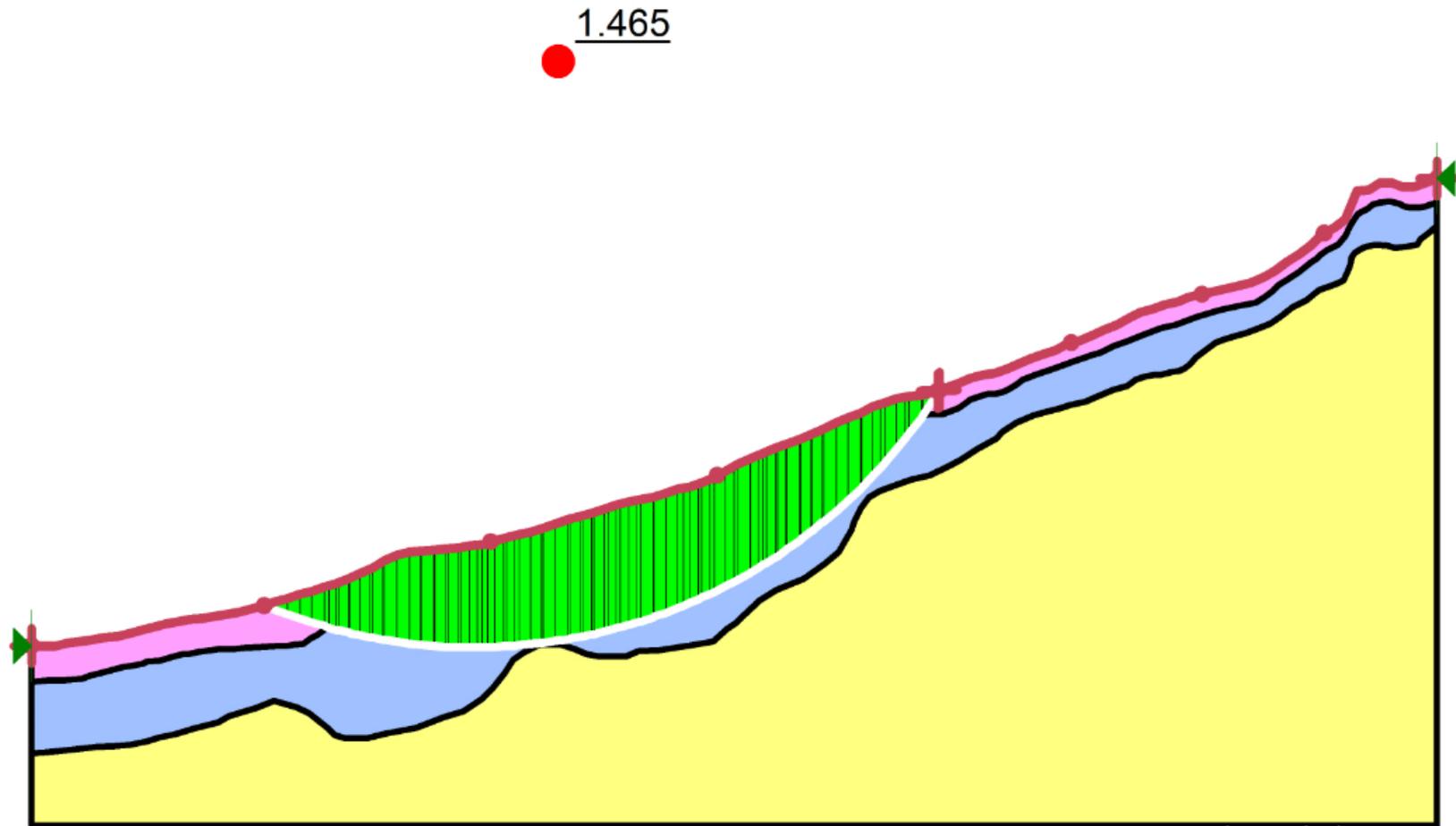
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 105 Factor de seguridad Método Janbu.

Fuente: Autores

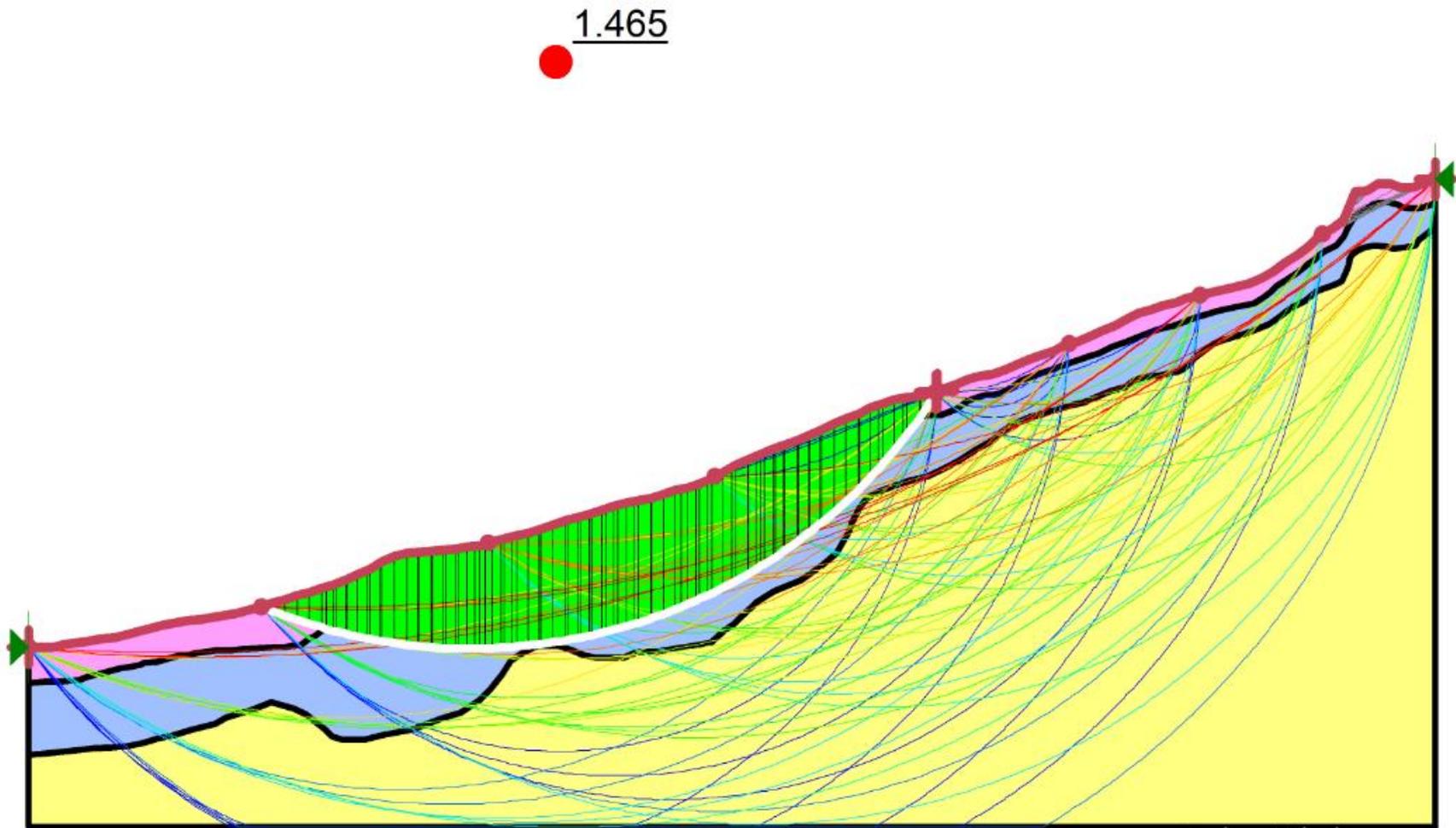


Ilustración 106 Superficies de falla Método Janbu
Fuente: Autores

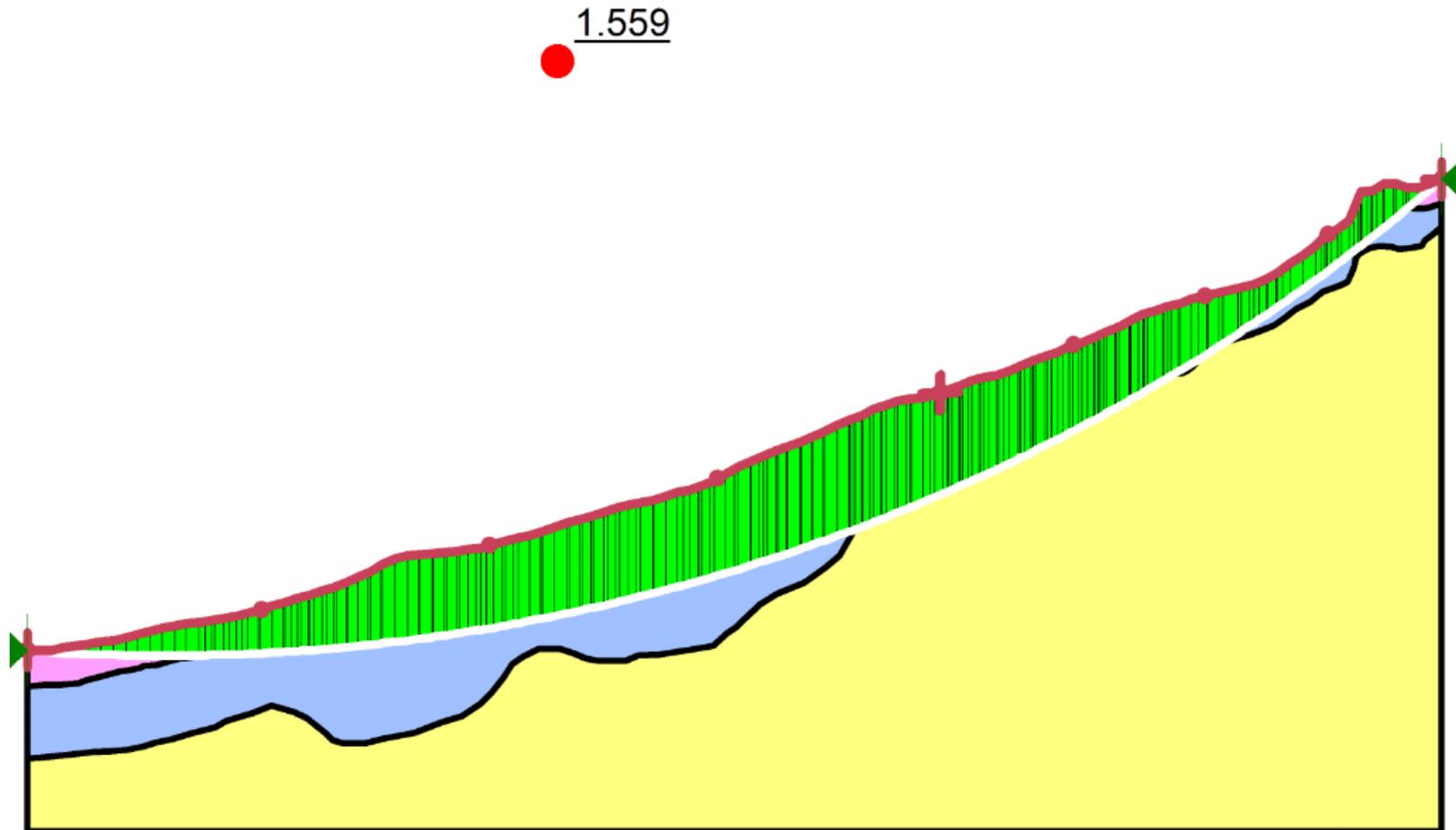
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.**

Ilustración 107 Factor de seguridad Método Morgenstern-Price.

Fuente: Autores

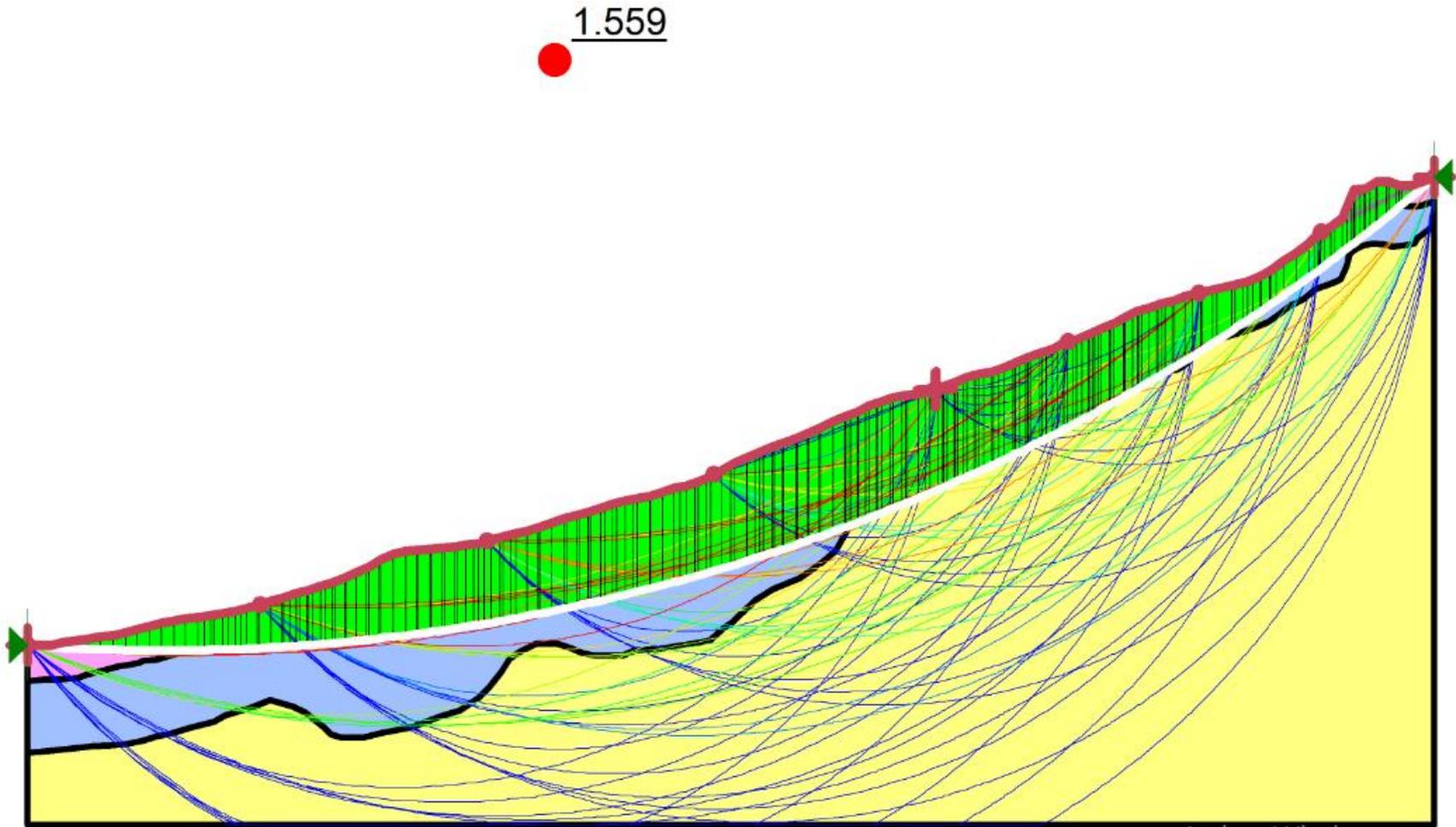


Ilustración 108 Superficies de falla Método Morgenstern-Price.
Fuente: Autores

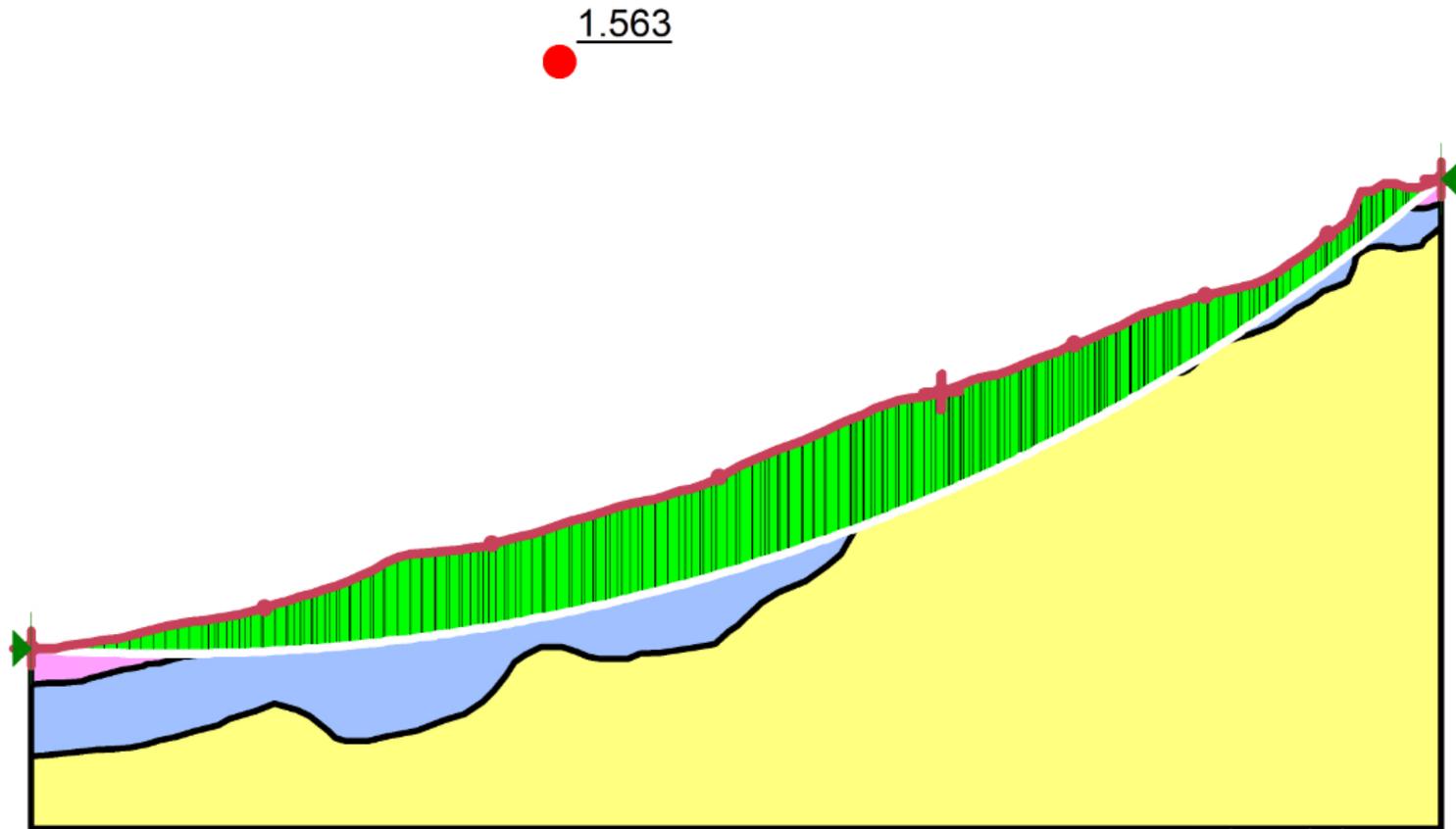
TERCERA SECCION**CONDICION: NO SATURADA CON SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 109 Factor de seguridad Método Spencer.

Fuente: Autores

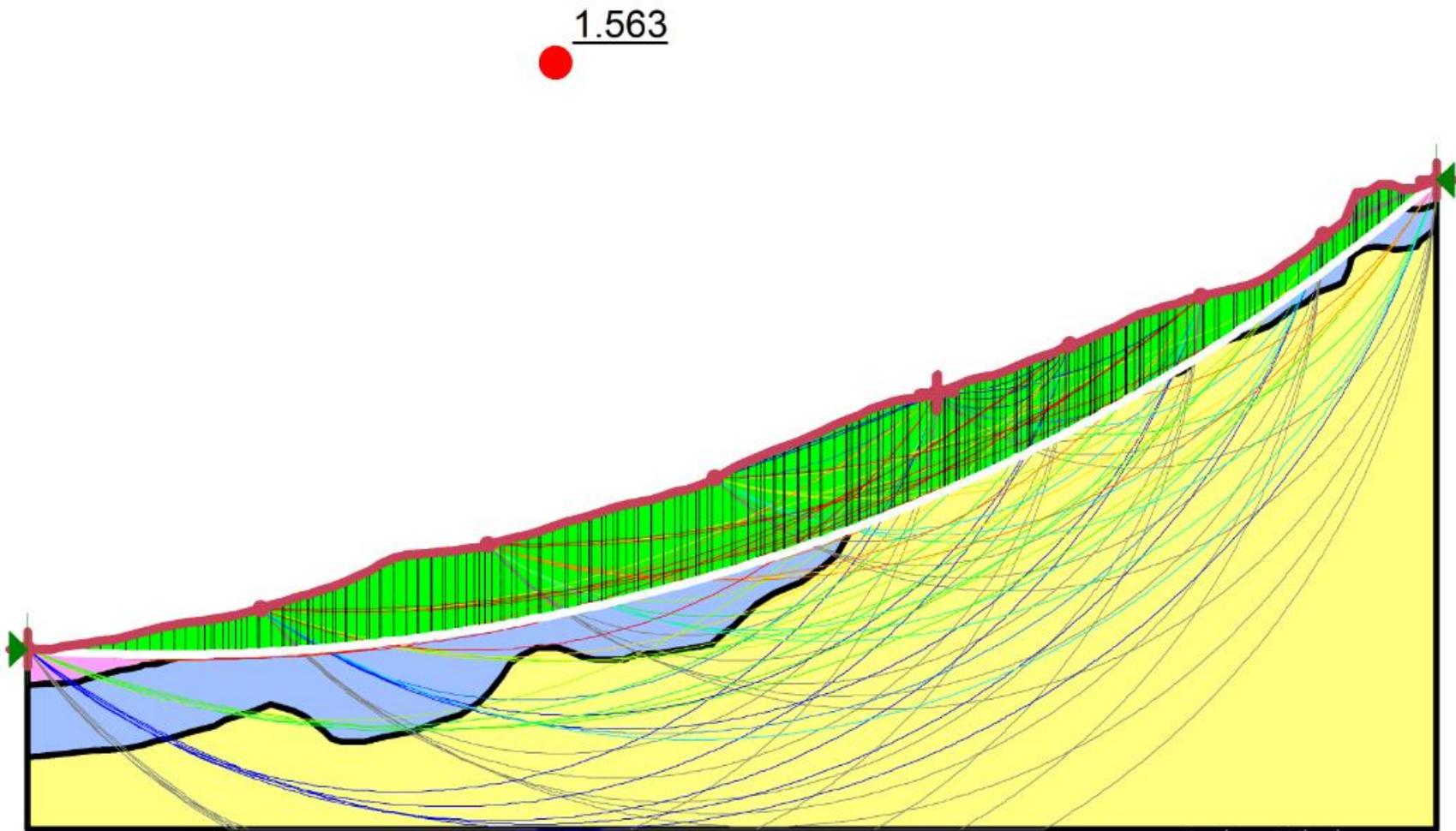
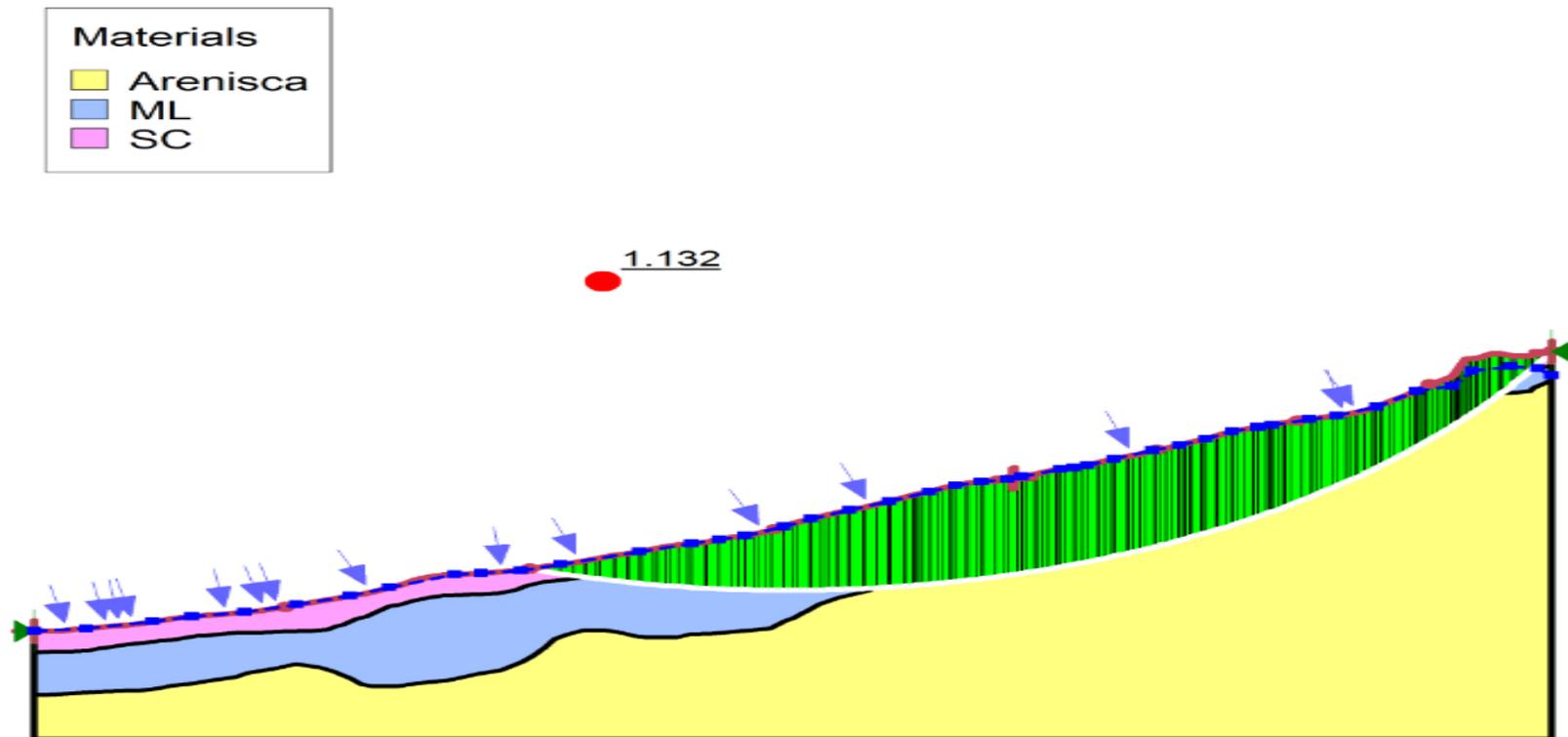


Ilustración 110 Superficies de falla Método Spencer.
Fuente: Autores

TERCERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE FELLENIUS.***Ilustración 111 Factor de seguridad Método Fellenius.*

Fuente: Autores

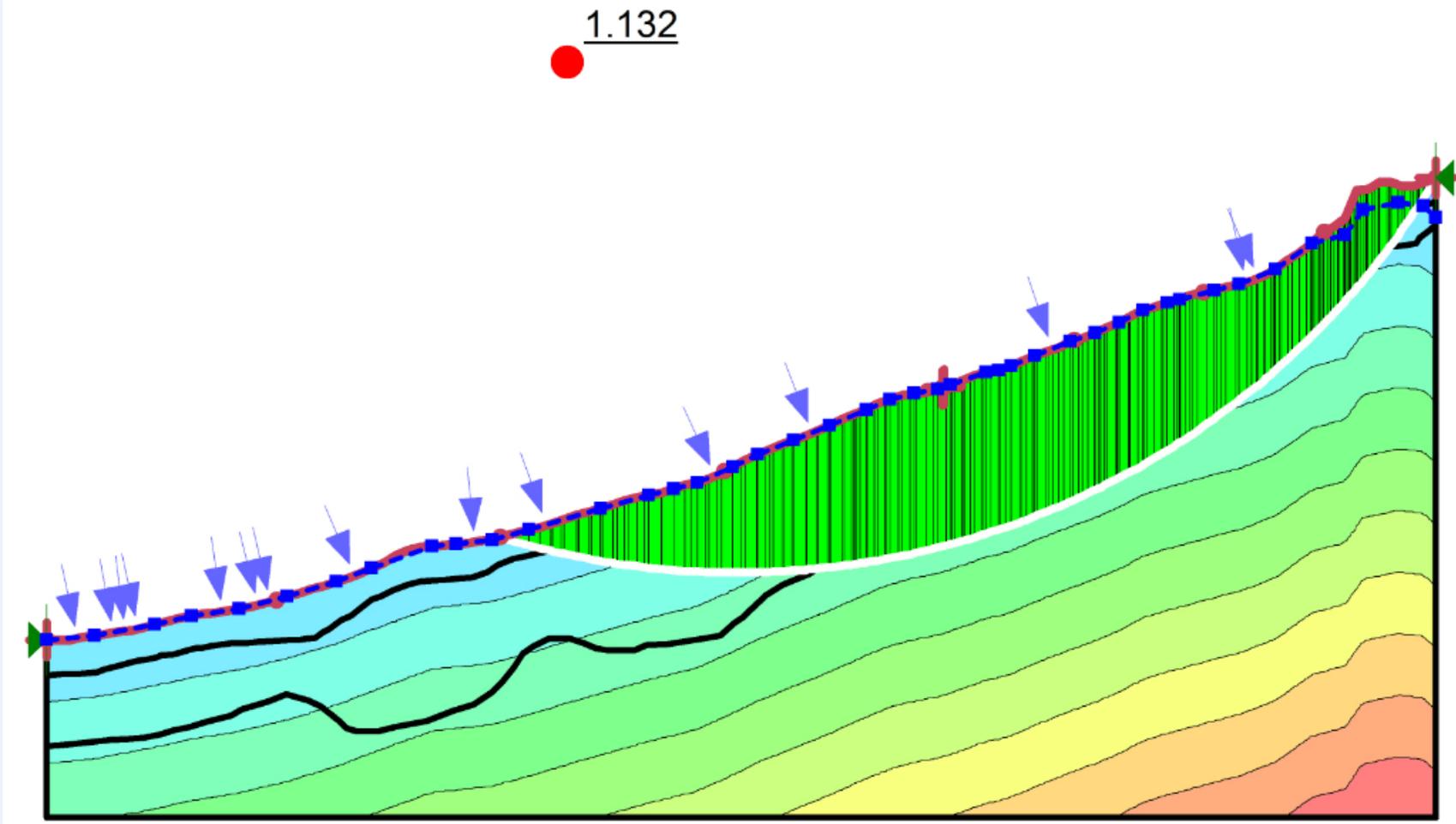


Ilustración 112 Presión de poros Método Fellenius.
Fuente: Autores

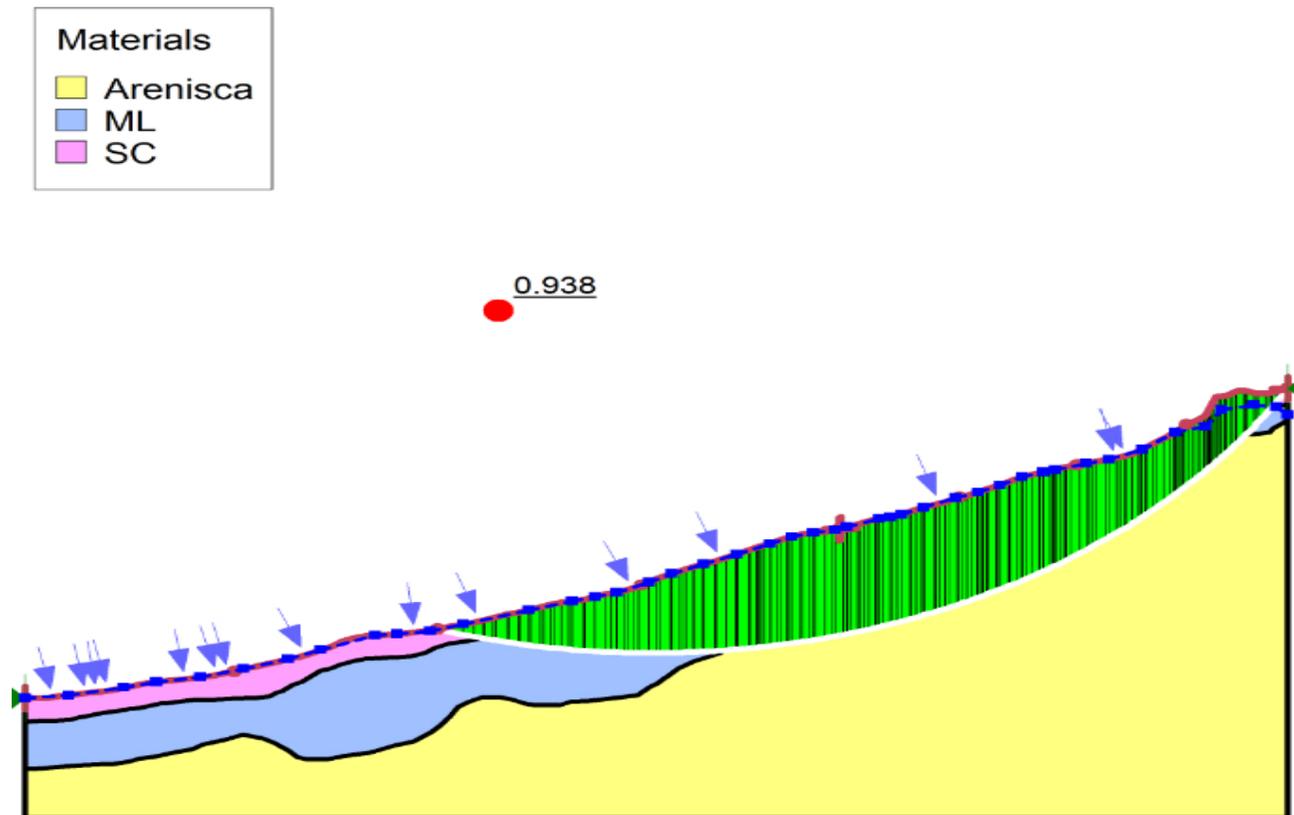
TERCERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 113 Factor de seguridad Método Janbu

Fuente: Autores

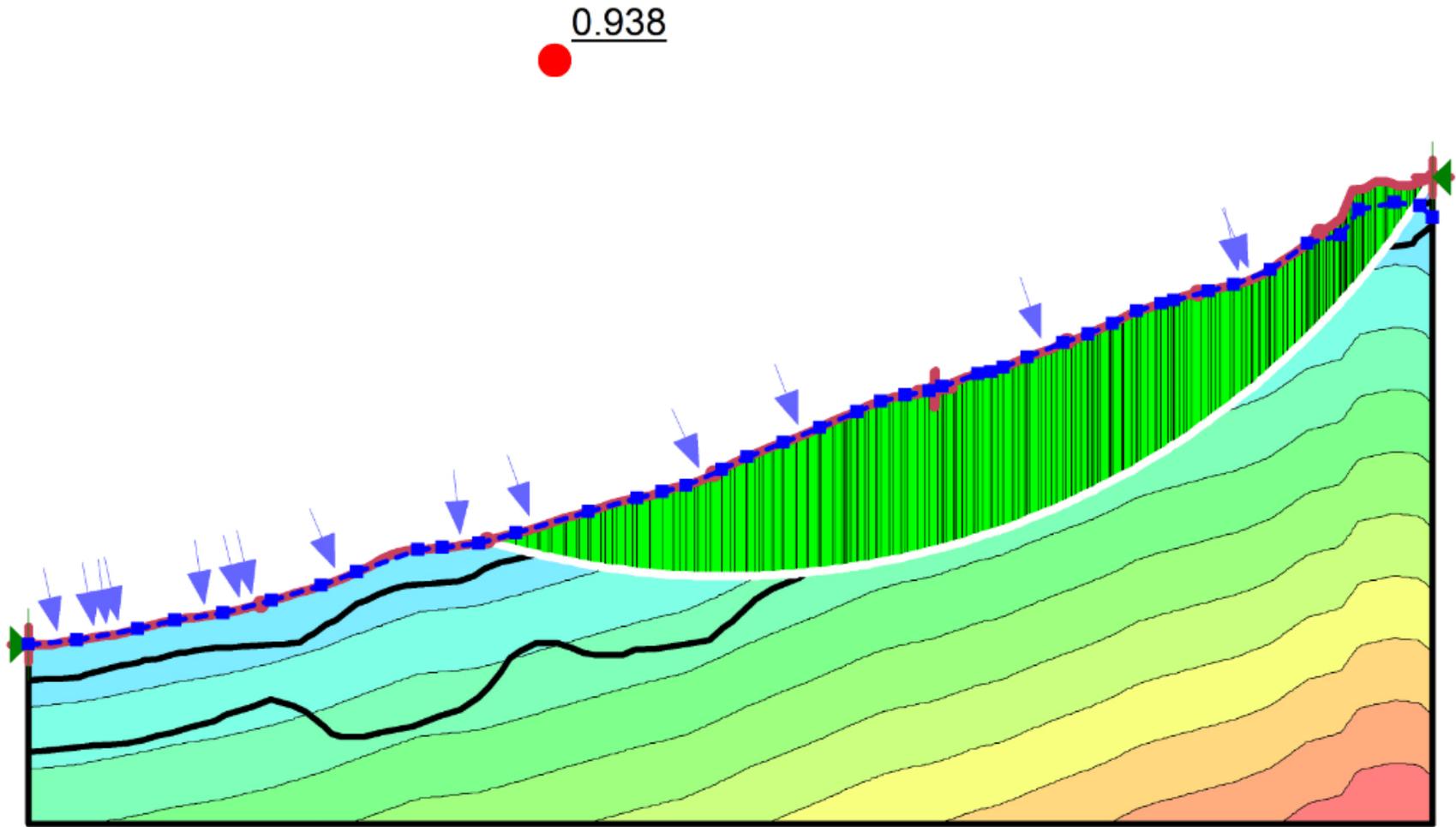


Ilustración 114 Presión de poros Método Janbu
Fuente: Autores

TERCERA SECCION

CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.

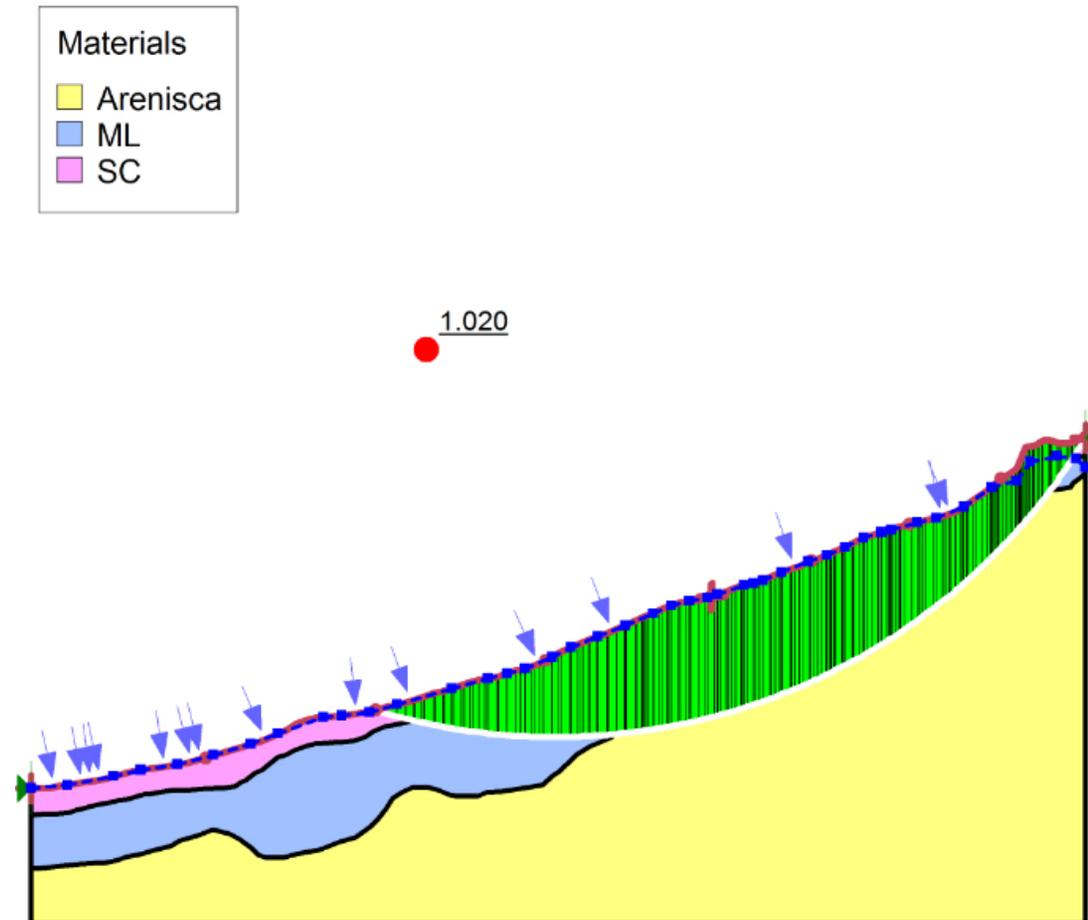


Ilustración 115 Factor de seguridad Método Morgenstern-Price
Fuente: Autores

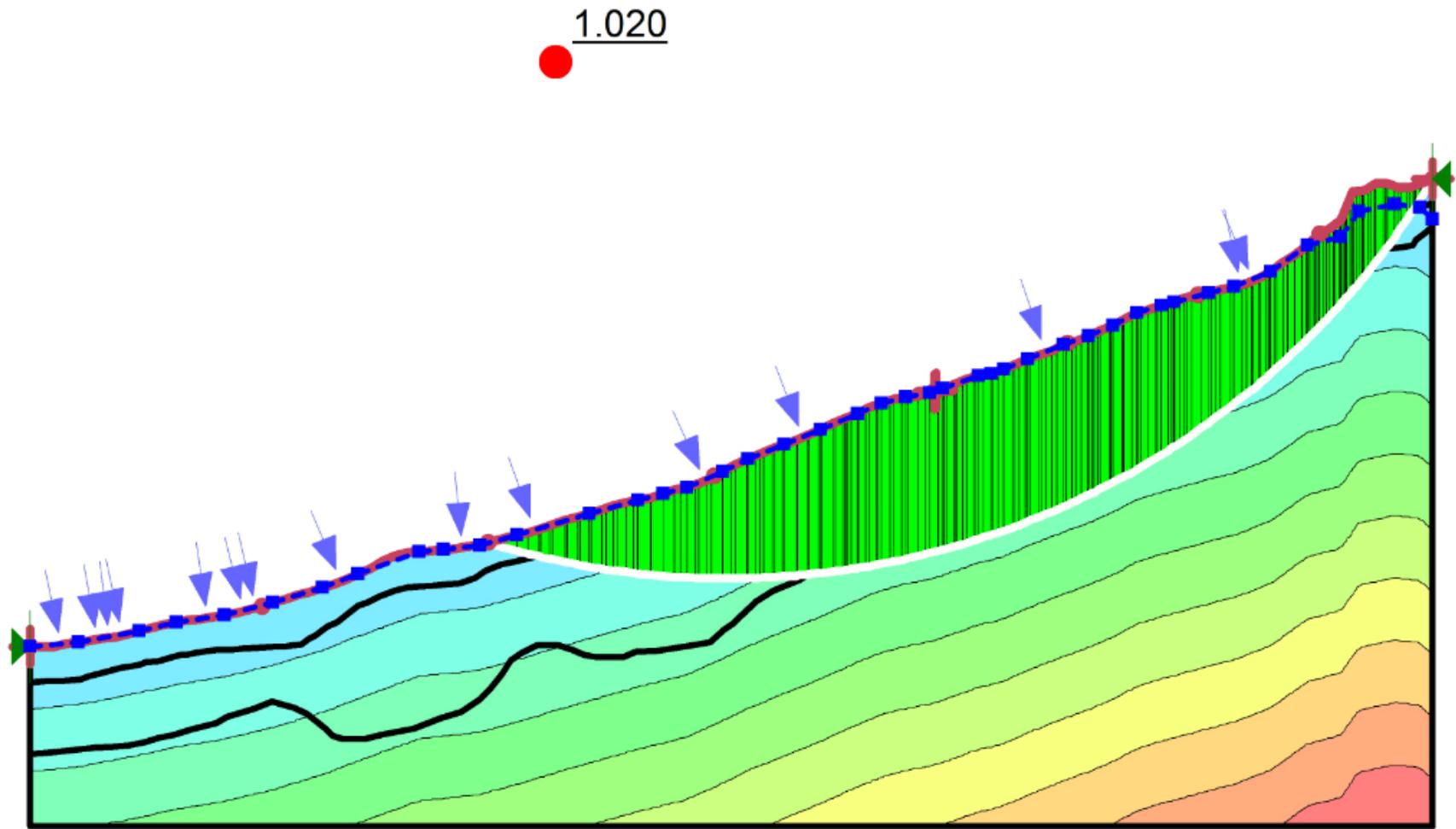


Ilustración 116 Presión de poros Método Morgenstern-Price
Fuente: Autores

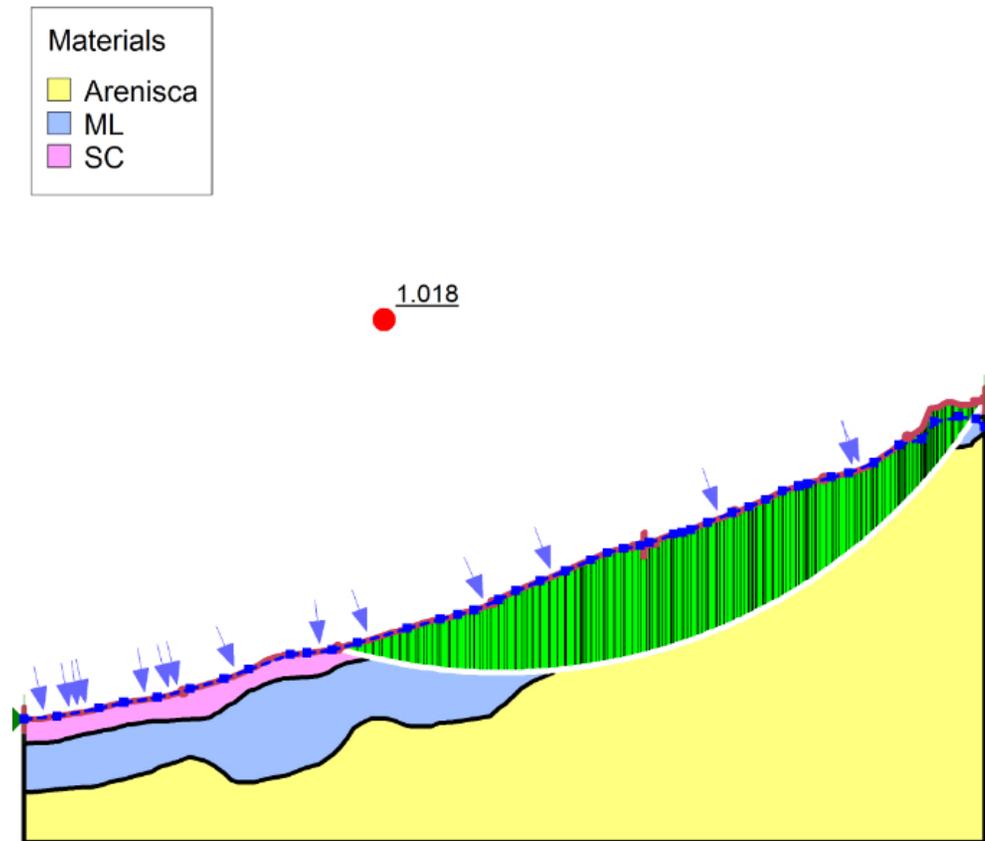
TERCERA SECCION**CONDICION: SATURADA SIN SISMO, METODO DE SPENCER.**

Ilustración 117 Factor de seguridad Método Spencer

Fuente: Autores

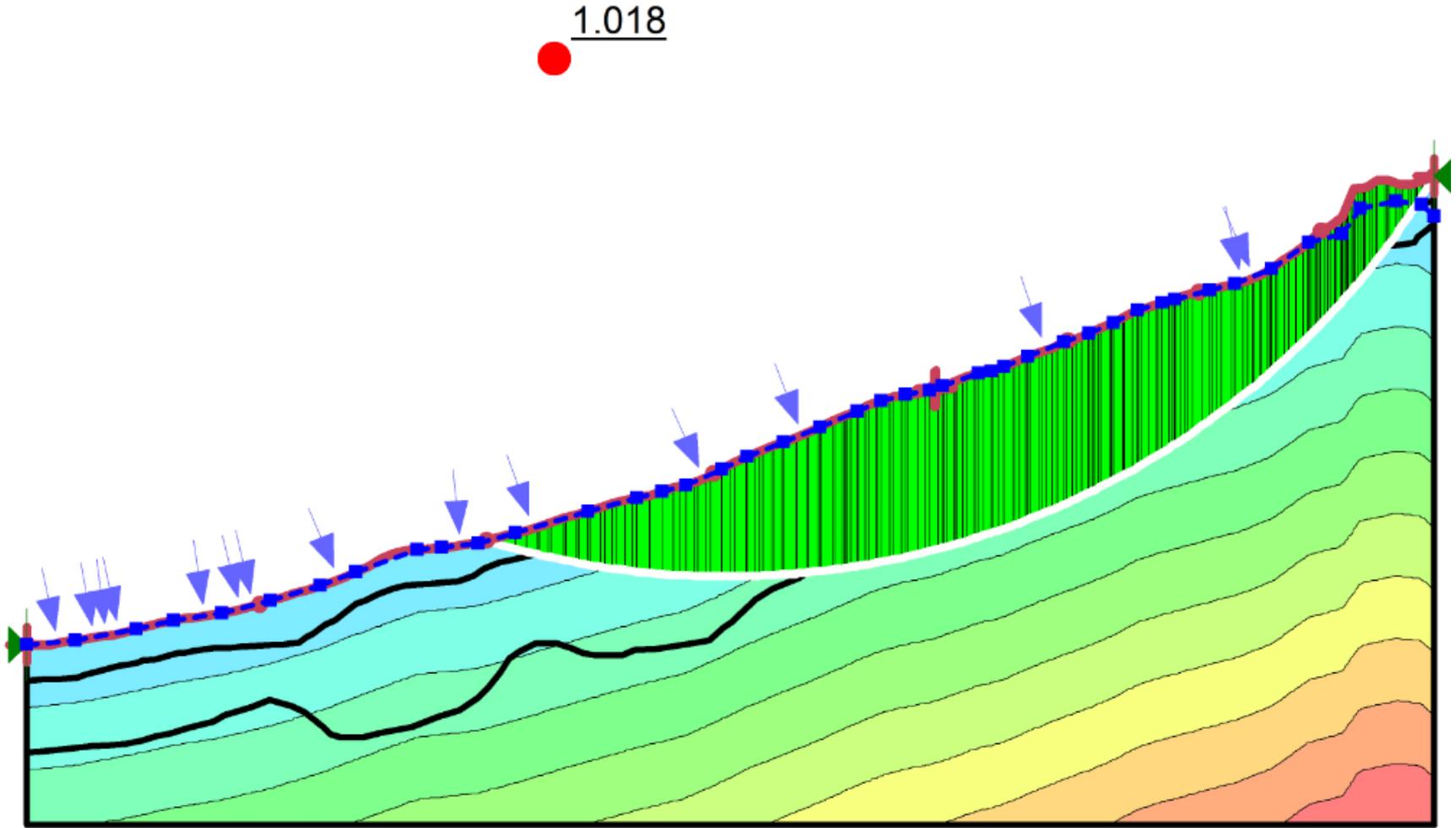


Ilustración 118 Presión de poros Método Spencer
Fuente: Autores

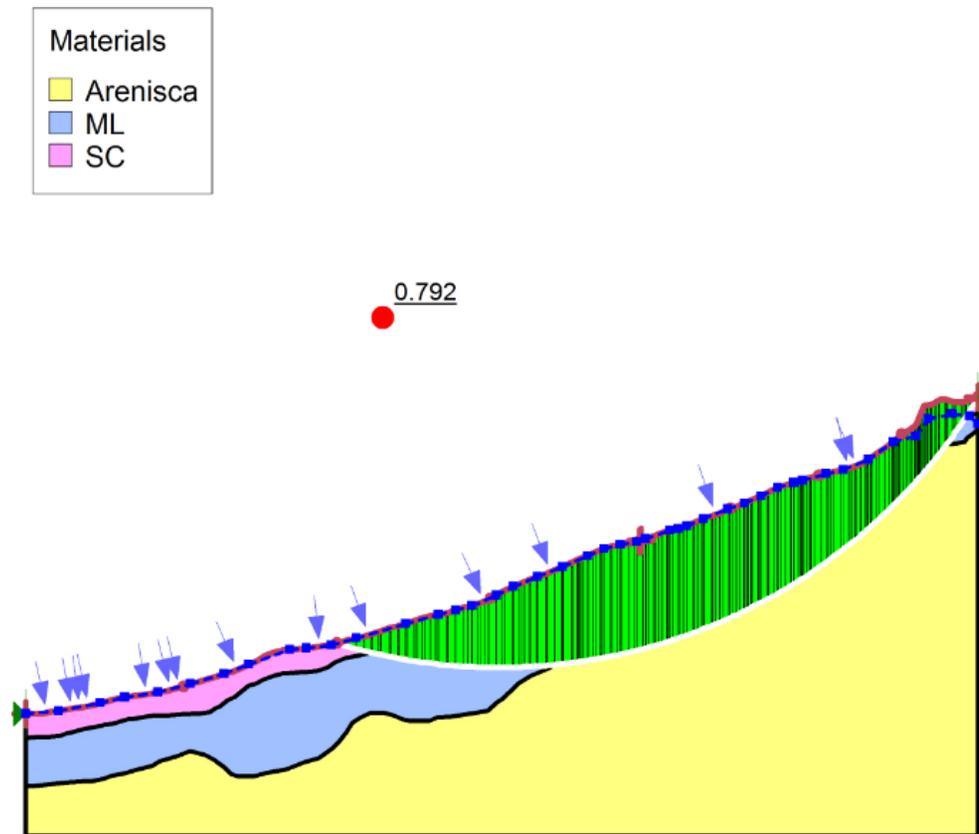
TERCERA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE FELLENIUS.**

Ilustración 119 Factor de seguridad Método Fellenius

Fuente: Autores

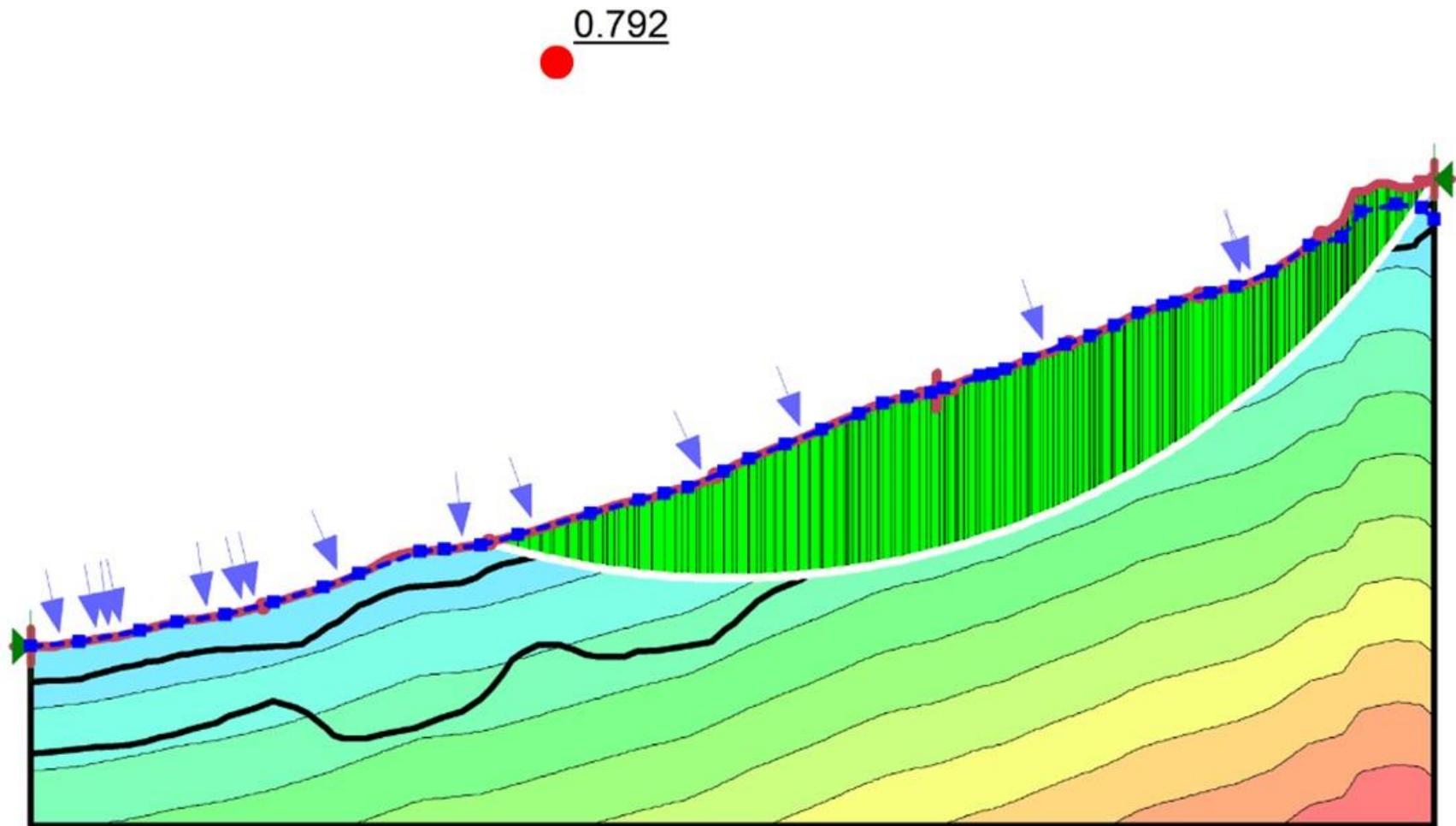


Ilustración 120 Presión de poros Método Fellenius
Fuente: Autores

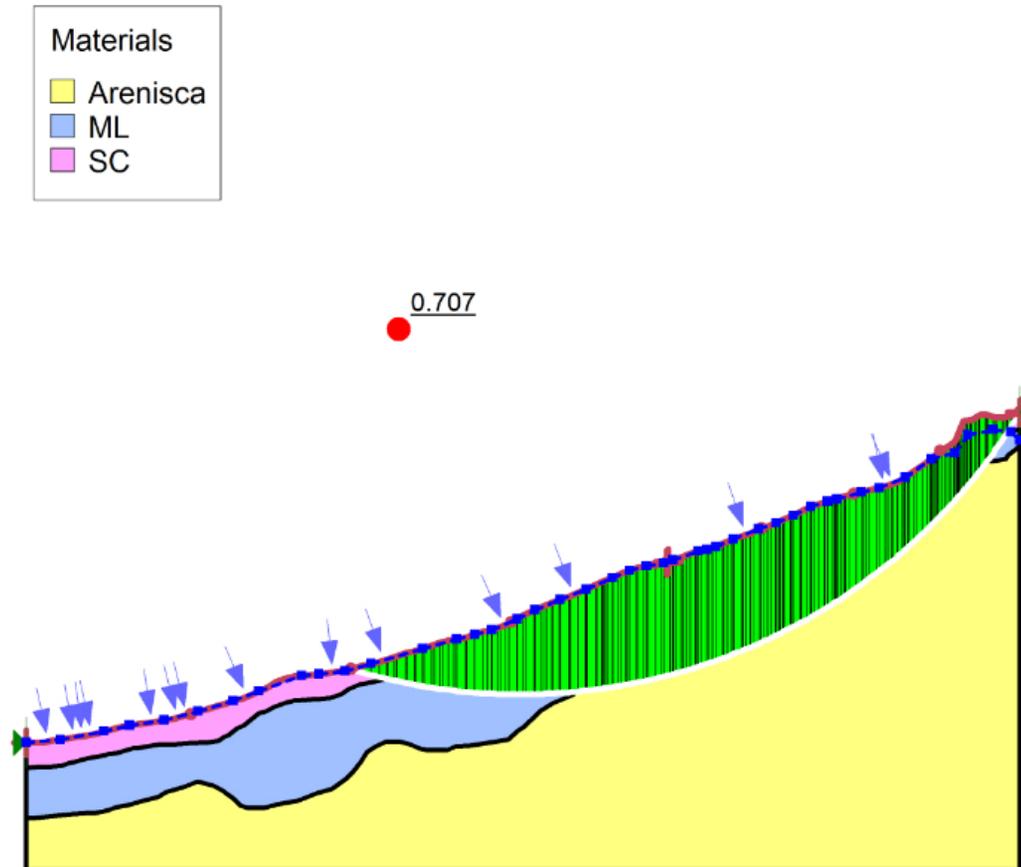
TERCERA SECCION**CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE JANBU.**

Ilustración 121 Factor de seguridad Método Janbu

Fuente: Autores

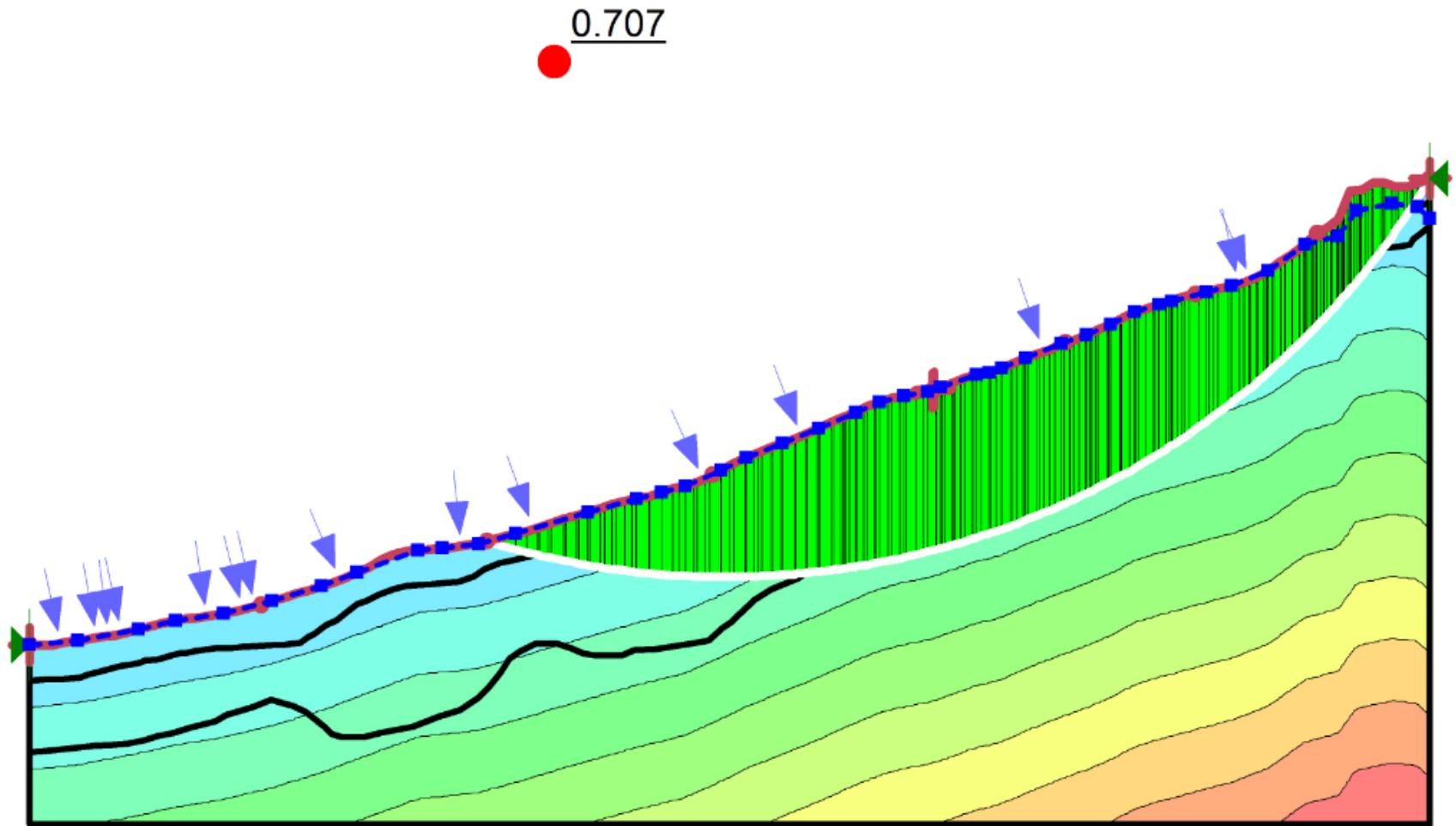


Ilustración 122 Presión de poros Método Janbu.
Fuente: Autores

TERCERA SECCION

CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE MORGENSTERN-PRICE.

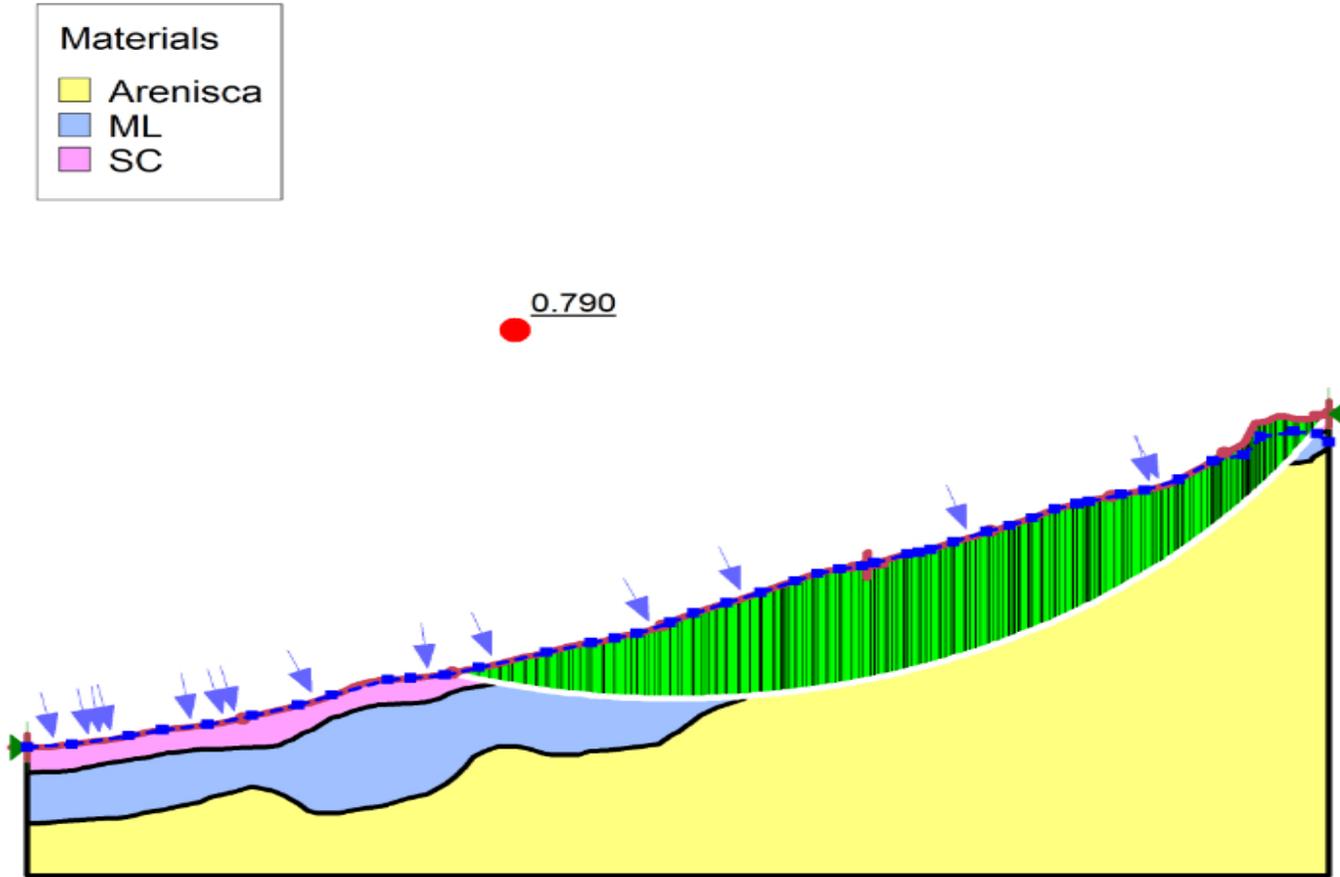


Ilustración 123 Factor de seguridad Método Morgenstern-Price
Fuente: Autores

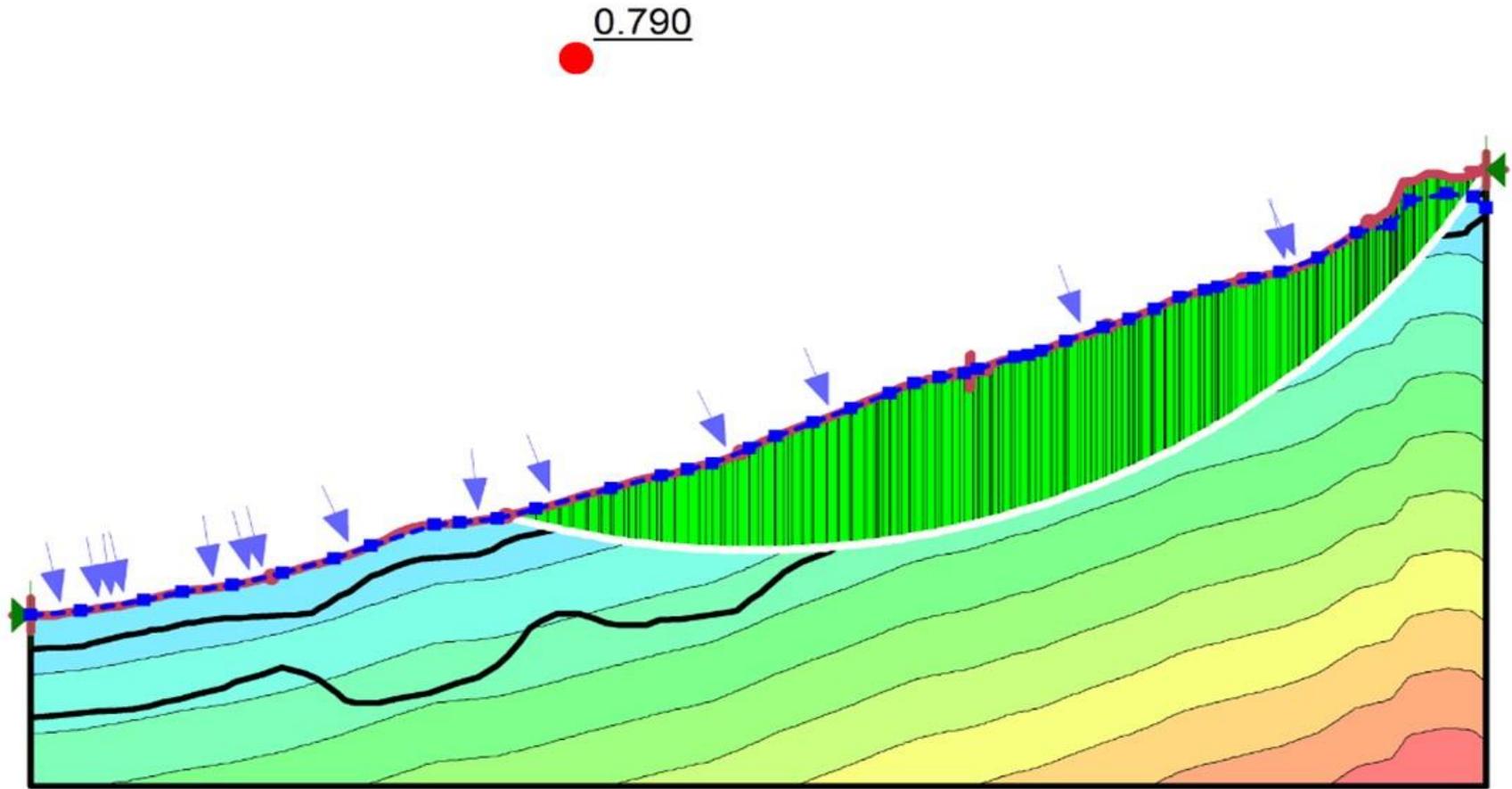


Ilustración 124 Presión de poros Método Morgenstern-Price
Fuente: Autores

TERCERA SECCION

CONDICION: SATURADA CON SISMO, METODO DE SPENCER.

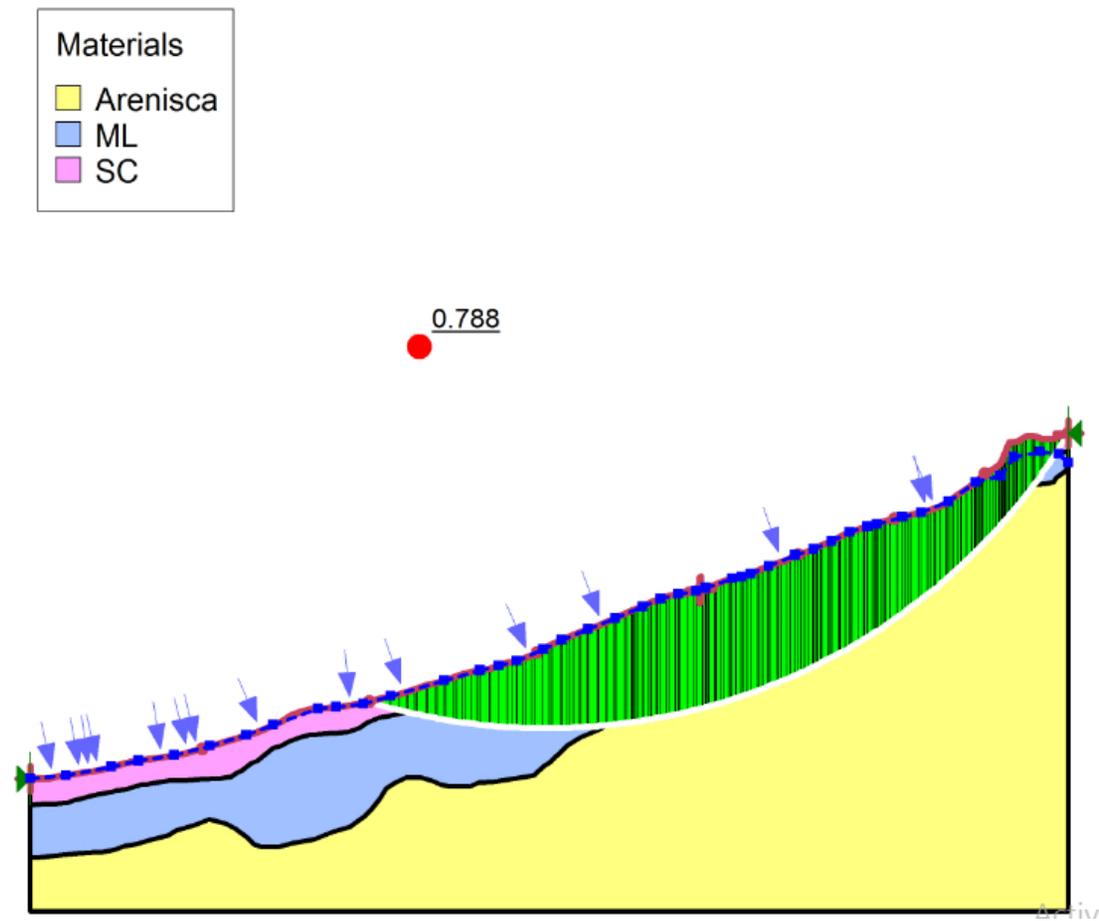


Ilustración 125 Factor de seguridad Método Spencer

Fuente: Autores

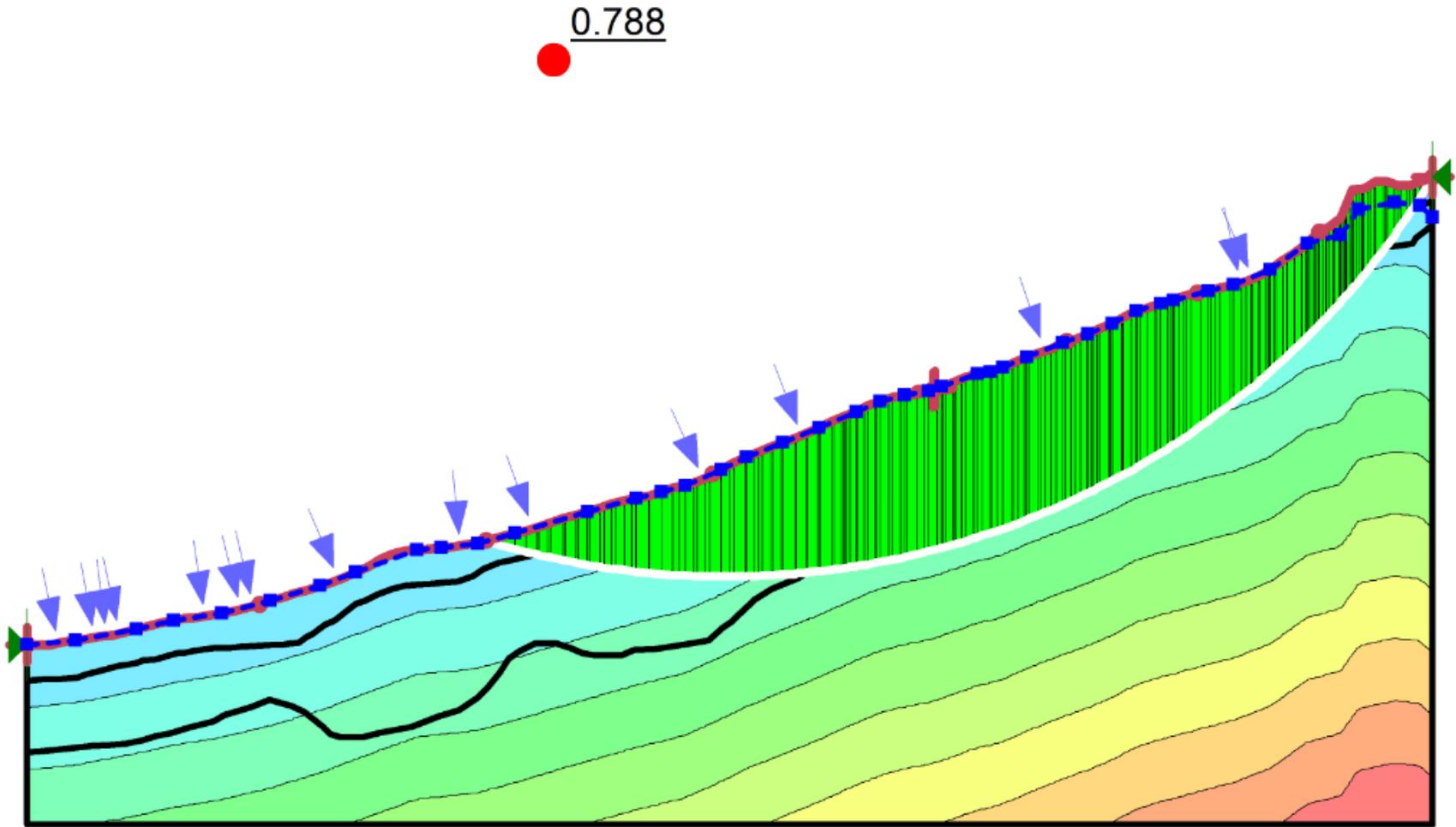


Ilustración 126 Presión de poros Método Spencer

Fuente: Autores

Anexo 5. Evidencias fotográficas del trabajo de campo











