

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL  
TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE  
DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021”**

**PARA OPTAR  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JONATHAN ANTHONY ZAVALA VENEGAS**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO  
DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE  
DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 14 de noviembre del 2021; estando el  
jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE: Mag. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO**

**SECRETARIO: Mag. MARTÍN PAUCARA ROJAS**

**VOCAL: Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA**

**ASESORA: Mtro. MARÍA LOURDES CHAMBILLA CHIPANA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, **Jonathan Anthony Zavala Venegas**, en calidad de bachiller de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con **DNI N° 45873283**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

*“Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de túnel de drenaje Toquepala - Tacna, 2021”*,

la misma que presentó para optar el:

*Título Profesional De Ingeniero Civil*

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestras acciones se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 14 de noviembre del 2021.



Firma

**JONATHAN ANTHONY ZAVALA VENEGAS**

**DNI: 45873283**

## **DEDICATORIA**

En memoria de mi padre, *see you down the road dad...*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Madre, mis  
Hermanos, mi Pura y mi Gorda sin ellos no hubiera sido  
posible la culminacion de la carrera y esta investigación.

A mi asesora, Ingeniera  
María, por la guía durante este estudio de investigación.

A la Ingeniera Astrid, por  
la ayuda recibida para la realización de este estudio.

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xix
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT .....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Descripción del Problema .....	3
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas Específicos .....	4
1.3. Justificación de la Investigación .....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivos General .....	6
1.4.2. Objetivos Específicos .....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis General.....	6
1.5.2. Hipótesis Específicas .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes del Estudio.....	8
2.1.1. A Nivel Internacional.....	8
2.1.2. A Nivel Nacional .....	9
2.2. Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Estudio de Mecánica de Suelos .....	10
2.2.2. Evaluación de Estabilidad de Taludes.....	18
2.2.3. Túneles .....	42

2.3. Definición de Términos.....	52
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	54
3.1. Tipo y Nivel de la Investigación .....	54
3.1.1. Tipo de Estudio .....	54
3.1.2. Nivel de Investigación .....	54
3.2. Población y/o Muestra de Estudio .....	54
3.3. Operacionalización de Variables .....	55
3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos .....	56
3.4.1. Técnica de Recolección de Datos.....	56
3.4.2. Instrumento para la Recolección de Datos .....	56
3.5. Procesamiento y Análisis de Datos .....	56
3.5.1. Estudio Topográfico.....	56
3.5.2. Estudio Geofísico .....	56
3.5.2.1. Análisis Sísmico MASW 2D .....	56
3.5.2.2. Trabajo de Campo MASW 2D .....	57
3.5.2.3. Análisis Tomografía Eléctrica .....	59
3.5.2.4. Trabajo de Campo Tomografía Eléctrica.....	59
3.5.3. Exploración de Campo para Estudio de Mecánica de Suelos.....	62
3.5.3.1. Pozos o Calicatas.....	62
3.5.3.2. Sondeos Profundos .....	63
3.5.3.3. Ensayos para la Caracterización de Suelos .....	64
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	66
4.1. Estudio Geofísico .....	66
4.1.1. Resultados del Estudio Geofísico.....	66
4.1.1.1. MASW 2D .....	66
4.1.1.2. Tomografía Eléctrica .....	68
4.2. Estudio De Mecánica De Suelos .....	71
4.2.1. Estudio Topográfico.....	71
4.2.1.1. Descripción del Área del Proyecto .....	71
4.2.1.2. Trabajos Topográficos en el Área del Proyecto.....	72
4.2.1.3. Descripción del Terraplén.....	73
4.2.2. Marco Geológico de la Zona de Estudio .....	73
4.2.2.1. Geomorfología.....	73
4.2.2.2. Geología Local .....	74
4.2.2.3. Evaluación Geológica – Geotécnica De La Zona De Trabajo .....	74

4.2.2.4. Materiales de Depósitos Naturales.....	74
4.2.2.5. Materiales Antrópicos .....	76
4.2.3. Exploración de Campo Mediante Calicatas.....	80
4.2.3.1. Estratigrafía. ....	80
4.2.4. Ensayos In Situ.....	83
4.2.5. Ensayos de Laboratorio de Muestras de Calicatas .....	83
4.2.5.1. Clasificación De Suelos y Análisis Granulométrico .....	83
4.2.5.2. Límites de Atterberg .....	84
4.2.5.3. Contenido de Humedad Natural .....	85
4.2.5.4. Peso Específico Relativo del Solido .....	85
4.2.5.5. Compactación.....	86
4.2.5.6. Análisis de las Propiedades Resistentes.....	86
4.2.5.7. Análisis de las Propiedades Hidráulicas.....	87
4.2.5.8. Contenido de Materia Orgánica.....	87
4.2.5.9. Contenido de Sulfatos .....	88
4.2.6. Exploración Mediante Sondeos.....	88
4.3. Análisis de Estabilidad de Taludes.....	92
4.3.1. Características Geomecánicas de los Materiales .....	92
4.3.2. Disposición de los Taludes .....	95
4.3.3. Análisis de Talud Natural Aguas Arriba.....	96
4.3.3.1. Evaluación en Condiciones Estáticas.....	96
4.3.3.2. Evaluación Sísmica. ....	99
4.3.4. Análisis de Talud Natural Aguas Abajo .....	102
4.3.4.1. Evaluación Estática .....	102
4.3.4.2. Evaluación Sísmico .....	105
4.3.5. Evaluación de Taludes con Variación en la Geometría.....	108
4.3.5.1. Evaluación de Talud Aguas Arriba. ....	109
4.3.5.2. Evaluación de Talud Aguas Abajo.....	115
4.3.6. Evaluación de Taludes con Propuesta Reforzada Final.....	121
4.3.6.1. Evaluación de Talud Aguas Arriba .....	122
4.3.6.2. Evaluación de Talud Aguas Abajo.....	128
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	135
CONCLUSIONES.....	137
RECOMENDACIONES .....	139

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos fundamentales en la elaboración de modelos de deslizamientos.....	25
Tabla 2. Valores de Factor de Seguridad.....	40
Tabla 3. Factores de zona (Z).....	41
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	55
Tabla 5. Coordenadas de las líneas sísmicas MASW 2D en la zona evaluada..	57
Tabla 6. Parámetros del estudio MASW 2D.....	58
Tabla 7. Ubicación y coordenadas de las líneas de tomografía eléctrica .....	60
Tabla 8. Parámetros del estudio tomografía eléctrica.....	61
Tabla 9. Ubicación de calicatas.....	62
Tabla 10. Ubicación de los sondeos.....	64
Tabla 11. Puntos topográficos.....	73
Tabla 12. Ensayo de densidad In Situ.....	83
Tabla 13. Clasificación y composición de suelos .....	84
Tabla 14. Límites de consistencia .....	84
Tabla 15. Porcentaje de humedad natural .....	85
Tabla 16. Peso específico de muestras .....	86
Tabla 17. Compactación de muestras.....	87
Tabla 18. Ensayos de corte directo .....	87
Tabla 19. Ensayo de permeabilidad.....	88
Tabla 20. Contenido de materia orgánica y sulfatos .....	88
Tabla 21. Características de los sondeos .....	89
Tabla 22. Muestras recogidas de sondeos.....	89
Tabla 23. Clasificación de suelos en sondeos .....	90
Tabla 24. Ensayos de peso específicos en sondeos .....	91
Tabla 25. Compresión en macizo rocoso.....	91
Tabla 26. Angulo de fricción de algunos tipos de suelo .....	93
Tabla 27. Peso específico de algunos tipos de suelo .....	93
Tabla 28. Propiedades de suelos granulares no cohesivos.....	94
Tabla 29. Valores del Factor de Seguridad en condiciones estáticas del talud aguas arriba .....	96
Tabla 30. Valores del Factor de Seguridad en condiciones sísmicas del talud aguas arriba .....	100

Tabla 31. Valores del Factor de Seguridad en condiciones estáticas del talud aguas abajo.....	103
Tabla 32. Valores del Factor de Seguridad en condiciones sísmicas del talud aguas abajo.....	105
Tabla 33. Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica del condiciones estáticas del talud aguas arriba .....	110
Tabla 34. Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica del condiciones sísmicas talud aguas arriba .....	112
Tabla 35. Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica del condiciones estáticas del talud aguas abajo.....	115
Tabla 36. Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica del condiciones sísmicas talud aguas abajo.....	118
Tabla 37. Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada del condiciones estáticas talud aguas arriba .....	122
Tabla 38. Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada del condiciones sísmicas del talud aguas arriba.....	125
Tabla 39. Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada del condiciones estáticas del talud aguas abajo.....	128
Tabla 40. Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada del condiciones sísmicas talud aguas abajo.....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del cuadrante de Moquegua.....	12
Figura 2. Unidades geomorfológicas.....	14
Figura 3. Columna Estratigráfica.....	16
Figura 4. Nomenclatura de taludes y laderas.....	19
Figura 5. Partes que conforman un deslizamiento.....	21
Figura 6. Presencia de movimientos superficiales (creep).....	21
Figura 7. Nomenclatura y fallas en cuerpo de taludes.....	22
Figura 8. Falla rotacional.....	23
Figura 9. Fallas traslacionales.....	24
Figura 10. Métodos de cálculo para estabilidad de taludes.....	27
Figura 11. Fuerzas actuantes en el cálculo de Equilibrio Limite.....	29
Figura 12. Formas de superficie de falla.....	29
Figura 13. Esquema de un análisis con rebanadas o dovelas.....	31
Figura 14. Fuerzas actuantes en dovelas por Método de Fellenius y Bishop.....	32
Figura 15. Factor de corrección en el método de Janbú Simplificado.....	34
Figura 16. Superficie de Falla y Fuerzas actuantes en el método de Spencer.....	35
Figura 17. Técnicas de reforzamiento ante deslizamientos.....	37
Figura 18. Esquema de muros de contención.....	38
Figura 19. Pernos de anclaje inyectados.....	39
Figura 20. Zonas sísmicas.....	42
Figura 21. Medidas especiales de sostenimientos en portal de entrada.....	44
Figura 22. Secuencia de excavación de túneles.....	45
Figura 23. Equipos de lanzado vía húmeda y seca.....	46
Figura 24. Esquema de pernos inyectados.....	47
Figura 25. Esquema de sistema de paraguas de micropilotes.....	48
Figura 26. Tipos de cerchas de sostenimiento.....	49
Figura 27. Tipos de anclaje.....	49
Figura 28. Método tradicional.....	51
Figura 29. Excavación del nuevo método austriaco.....	51
Figura 30. Talud aguas abajo.....	54
Figura 31. Talud aguas arriba.....	55
Figura 32. Ensayo MASW 2D.....	59
Figura 33. Equipos para tomografía eléctrica utilizados en campo.....	61

Figura 34. Ubicación de calicatas.....	63
Figura 35. Ubicación de sondajes .....	64
Figura 36. Línea sísmica LS-02.....	66
Figura 37. Línea sísmica LS-A .....	67
Figura 38. Línea sísmica LS-B .....	68
Figura 39. Línea tomográfica LT-01 .....	69
Figura 40. Línea tomográfica LT-02 .....	70
Figura 41. Línea tomográfica LT-A.....	70
Figura 42. Línea tomográfica LT-B.....	71
Figura 43. Curvas de nivel de la zona de estudio .....	72
Figura 44. Macizo rocoso en laderas cercanas.....	75
Figura 45. Presencia de diaclasamiento del macizo rocoso .....	76
Figura 46. Vista superior talud aguas abajo (izq.) y aguas abajo (der.).....	77
Figura 47. Suelo arcilloso en excavación en la parte superior de talud .....	77
Figura 48. Suelo gravoso con bloques, bolones, limo y arcillas.....	78
Figura 49. Suelo limo arcilloso con bloques y bolones.....	79
Figura 50. Suelo conformado por relleno coluvial en bordes del terraplén .....	79
Figura 51. Relleno heterogéneo para la base de la vía férrea .....	80
Figura 52. Material de relleno coluvial y antrópico .....	81
Figura 53. Composición geométrica y propiedades del talud.....	95
Figura 54. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba .....	97
Figura 55. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Fellenius en talud aguas arriba.....	97
Figura 56. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba .....	98
Figura 57. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba .....	98
Figura 58. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Spencer en talud aguas arriba.....	99
Figura 59. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba .....	100
Figura 60. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Fellenius en talud aguas arriba.....	100

Figura 61. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba .....	101
Figura 62. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba .....	101
Figura 63. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Spencer en talud aguas arriba.....	102
Figura 64. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo.....	103
Figura 65. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Fellenius en talud aguas abajo .....	103
Figura 66. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo.....	104
Figura 67. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo .....	104
Figura 68. Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Spencer en talud aguas abajo .....	105
Figura 69. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo.....	106
Figura 70. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Fellenius en talud aguas abajo .....	106
Figura 71. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo.....	107
Figura 72. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo .....	107
Figura 73. Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Spencer en talud aguas abajo .....	108
Figura 74. Configuración geométrica propuesta y propiedades del talud .....	109
Figura 75. Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo.....	110
Figura 76. Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo.....	110
Figura 77. Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo.....	111
Figura 78. Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo .....	111

Figura 79. Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Spencer en talud aguas abajo.....	112
Figura 80. Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba .....	113
Figura 81. Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas arriba .....	113
Figura 82. Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas arriba .....	114
Figura 83. Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba .....	114
Figura 84. Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba .....	115
Figura 85. Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo.....	116
Figura 86. Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo.....	116
Figura 87. Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo.....	117
Figura 88. Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo .....	117
Figura 89. Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Spencer en talud aguas abajo.....	118
Figura 90. Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo.....	119
Figura 91. Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo.....	119
Figura 92. Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo.....	120
Figura 93. Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Spencer en talud aguas abajo.....	120
Figura 94. Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo .....	121
Figura 95. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba ...	123

Figura 96. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas arriba.....	123
Figura 97. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba.....	124
Figura 98. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba .....	124
Figura 99. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas arriba.....	125
Figura 100. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba .	126
Figura 101. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas arriba .....	126
Figura 102. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba ..	127
Figura 103. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba ...	127
Figura 104. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas arriba .....	128
Figura 105. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo..	129
Figura 106. Superficie de falla en condiciones estáticas d de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas abajo.....	129
Figura 107. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo ...	130
Figura 108. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo ...	130
Figura 109. Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas abajo.....	131
Figura 110. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo..	132
Figura 111. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas abajo.....	133
Figura 112. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo ...	133

Figura 113. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada  
final por el método de Morgenstern- Price en talud aguas abajo .. 134

Figura 114. Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada  
final por el método de Spencer en talud aguas abajo..... 134

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de Consistencia .....	144
Anexo 2. Perfiles Estratigráficos de Calicatas .....	145
Anexo 3. Guía de Entrevista Semiestructurada .....	149
Anexo 4. Entrevistas a Expertos .....	151
Anexo 5. Planos .....	174

## RESUMEN

La estabilidad de taludes es un tema de interés de la geotecnia tanto para los investigadores como para los ejecutantes de proyectos en las que se necesita realizar este análisis. Los problemas que son ocasionados por la ruptura de los taludes son siempre destructivas y muy peligrosas ocasionando pérdidas materiales y hasta humanas, si la envergadura de la falla es considerable. En esta investigación se estudió la estabilidad de taludes de un terraplén ubicada en la quebrada Cimarrona en Toquepala por donde pasa la vía férrea que transporta material hacia Ilo y en la que, el drenaje que atraviesa este terraplén ha presentado fallas por lo que se opta por la construcción de un túnel de drenaje. En tal sentido la construcción de un túnel tiene un proceso constructivo riesgoso, que necesita tener sistemas de seguridad muy bien implementados, contar con personal que sea calificado para el trabajo y tener condiciones favorables antes de la construcción de este. Debido a esto, es menester estudiar el estado actual en el que se encuentran los taludes que conforman este terraplén y determinar si son estables o no, por lo que el objetivo principal será determinar la estabilidad de estos. Para esto, se necesitó de una caracterización adecuada del suelo que conforma el terraplén, mediante técnicas de exploración de sondajes y calicatas. los cuales permitieron hallar estas características geomecánicas, para finalmente realizar un levantamiento topográfico y hallar la configuración geométrica actual en el que se encuentran los taludes. Finalmente, una vez hallados los parámetros necesarios para la evaluación, mediante el software Slide (el cual utiliza el Métodos de Equilibrio Limite), se determinó que los dos taludes, aguas arriba y aguas abajo, que conforman el terraplén, se encuentran inestables, en especial, en condiciones sísmicas o pseudoestáticas. Es por esto que se desarrolló una propuesta para lograr la estabilización de estos taludes e incrementar el Factor de Seguridad mediante una nueva configuración geométrica (añadiendo una banquetta en ambos taludes), no obstante, al no ser suficiente, fue necesario el reforzamiento mediante pernos de anclaje inyectados, los cuales incrementaron en gran medida el Factor de Seguridad alcanzando así, los valores mínimos indicados en las normativas actuales y logrando la estabilidad para brindar las condiciones adecuadas para la subsecuente construcción del túnel.

**Palabras clave:** Estabilidad de Taludes, Factor de Seguridad, Geotecnia, Topografía, Banqueta, Anclaje, Método de Equilibrio Límite, Slide, Túnel.

## ABSTRACT

Slope stability is a subject of interest in geotechnical engineering both for researchers and for those carrying out projects in which it is necessary to perform this analysis. The problems caused by slope failure are always destructive and very dangerous, causing material and even human losses, if the size of the failure is considerable. In this research we studied the slope stability of an embankment located in the Cimarrona Creek in Toquepala where the railroad that transports material to Ilo passes and in which the drainage that crosses this embankment has presented failures, so the construction of a drainage tunnel was chosen. In this sense, the construction of a tunnel is a risky construction process, which requires very well implemented safety systems, qualified personnel for the work and favorable conditions prior to the construction of the tunnel. Due to this, it is necessary to study the current state of the slopes that make up this embankment and determine if they are stable or not, so the main objective will be to determine their stability. For this, an adequate characterization of the soil that makes up the embankment was needed, through exploration techniques of borings and test pits, which allowed finding these geomechanical characteristics, to finally perform a topographic survey and find the current geometric configuration in which the slopes are located. Finally, once the necessary parameters for the evaluation were found, using the Slide software (which uses the Limit Equilibrium Methods), it was determined that the two slopes, upstream and downstream, that make up the embankment, are unstable, especially in seismic or pseudo-static conditions. For this reason, a proposal was developed to stabilize these slopes and increase the Factor of Safety by means of a new geometric configuration (adding a sidewalk on both slopes). However, since this was not enough, it was necessary to reinforce them with injected anchor bolts, which greatly increased the Factor of Safety, thus reaching the minimum values indicated in the current regulations and achieving stability to provide adequate conditions for the subsequent construction of the tunnel.

**Keywords:** Slope Stability, Factor of safety, Geomechanical, Topography, Sidewalk, Anchor Bolts, Limit Equilibrium Method, Slide, Tunnel

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis está enmarcada en la estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje, en donde se propone realizar una caracterización del suelo y un análisis topográfico, que permita determinar la forma y el estado situacional del terraplén, seguidamente proceder al análisis de estabilidad de taludes y establecer, la posible incorporación de refuerzos o adicionar una protección final.

La presente investigación se realizó por el interés de determinar el análisis de estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje y como objetivos específicos: determinar las características geomecánicas del suelo para el proceso de mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, desarrollar la configuración geométrica de los taludes del terraplén en la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna y determinar el factor de seguridad contra la falla por capacidad de carga del terraplén en la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna.

Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se pretende mostrar que la estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje, si se puede llegar a efectuar, para de esta manera solucionar los inconvenientes de deslizamientos que ocurre en la quebrada Cimarrona de la unidad minera de Toquepala. Para realizar esta investigación, se hizo uso del software Slide para el modelamiento respectivo de los taludes, para analizar su estabilidad y proponer soluciones. Para ello, se tuvo como base otras investigaciones desarrolladas, tanto nacionales e internacionales.

La presente tesis de investigación está conformada por los siguientes capítulos:

En el capítulo I: Se presenta el Planteamiento del problema, donde se describe la descripción del problema, formulación del problema, justificación de la investigación, objetivo general y específicos, finalmente la hipótesis general y específicas de la investigación.

En el capítulo II: Marco teórico, en donde se detallan los antecedentes del estudio, las bases teóricas con relación a las dos variables (Variable

independiente y dependiente) y la definición de términos.

En el capítulo III: Se desarrolla el marco metodológico, en el cual se define el tipo y nivel de la investigación, la población y/o muestra de estudio, operacionalización de variables, las técnicas e instrumentos para la recolección de datos y el procesamiento y análisis de datos.

En el capítulo IV: Presenta todo lo referente a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en donde se orienta el desarrollo de la tesis.

En el capítulo V: Se detalla la discusión de los resultados difiriendo con los antecedentes del estudio.

Finalmente, se describen las conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas y se adjuntan los anexos.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del Problema**

Las diferentes vías de comunicación (carreteras, vías férreas, etc.), implica el manejo de diferentes tipos de suelo con variados grados de dificultad para construcción, ya sea por su topografía, condiciones geomecánicas o el acceso, ha tenido un impacto económico debido a los procesos de estabilización, por lo que desde un punto de vista técnico, existen varios métodos de análisis por lo que el enfoque es principalmente cualitativo, en los que se puede aplicar de manera alternativa teniendo en consideración el tipo de problema y condiciones que puedan presentarse. El problema de la estabilidad de taludes es muy común en diversos proyectos de construcción, las superficies de los taludes se deforman con el tiempo o por diferentes factores como climáticos, geológicos o actividad sísmica los cuales son el causante de deslizamientos, que son el problema recurrente en los taludes. Estos deslizamientos afectan de manera directa la construcción de posteriores construcciones teniendo en cuenta el proyecto que se va a realizar, ocasionando pérdidas en muchos aspectos.

En Quebrada Cimarrona en la unidad minera de Toquepala, distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna, a través del ferrocarril que permite llevar el mineral desde el yacimiento hacia la fundición de Ilo, finaliza el ciclo de explotación del mineral de cobre, para tal efecto, parte de la trayectoria de la vía férrea atraviesa un terraplén que, en época de precipitaciones abundantes, conduce la escorrentía de las aguas de lluvia por medio de una alcantarilla. Durante este periodo de lluvias y debido al tiempo de servicio de este sistema de drenaje, que sobrepasaron la capacidad hidráulica de acuerdo con el tipo de flujo resultante, generó el colapso de la alcantarilla existente, presentándose algunos deslizamientos en el terraplén. Como consecuencia de lo ocurrido, se optó por la construcción de un túnel que atravesase el terraplén, en caso de que sucediera un evento de igual o mayor magnitud lo que ocasionaría graves problemas, con el que se tendría un mejor manejo del caudal de escorrentía que podría llegar a presentarse. por lo que la construcción de un túnel de drenaje controlaría un evento

Por las condiciones anteriores y el estado en el que se encuentra los taludes del terraplén se necesita un estudio de las condiciones actuales de los taludes y su posterior evaluación de la estabilidad de los taludes que conforman el terraplén, ya que este terraplén se encuentra. Para ello primero se debe realizar la caracterización del suelo, mediante un estudio de mecánica de suelos, en la cual se hallarán los parámetros geomecánicos necesarios para la evaluación de estabilidad de taludes mediante un software. Posteriormente, también se debe esquematizar topográficamente la configuración geométrica de los taludes que también son necesarios para la evaluación de estabilidad.

De encontrarse el talud en una condición inestable se deberá realizar una propuesta, el cual soluciones este problema, en que se llegue a satisfacer lo requerido por las normas vigentes, evitando los deslizamientos que podrían ocasionar serios problemas en las etapas iniciales de la construcción del túnel. Con todo lo mencionado anteriormente se requiere realizar un seguimiento al perfilado de los taludes, así, como al avance de excavación del túnel; para tal efecto se deberá considerar como factor adverso la presencia de humedad y la repercusión de esta sobre cada tipo de material, los cuales podrían presentar mayor susceptibilidad a la erosión, ocasionando deslizamientos y comprometiendo al avance y construcción del túnel de drenaje.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿En qué medida la evaluación de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de terraplén para la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

a) ¿Cuáles son las características geotécnicas del suelo del terraplén para la evaluación de estabilidad de taludes en el mejoramiento de terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, 2021?

b) ¿Cuál será la configuración geométrica final que ayude a la prevención de deslizamientos de los taludes de terraplén para la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021?

c) ¿Qué propuesta satisficará los requerimientos mínimos para lograr la estabilización de taludes en el mejoramiento de los taludes del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, al 2021?

### **1.3. Justificación de la Investigación**

Esta investigación se justifica en dar las condiciones de trabajo adecuadas para la construcción del túnel de drenaje, el cual en todo procedimiento de tunelería el mayor riesgo es el proceso de excavación por lo que el sistema utilizado para contención de deslizamientos de material debe ser apoyado por una buena estabilización de los taludes, ya que este túnel cruzará transversalmente el terraplén que será motivo de estudio. Debido a los riesgos que puede traer en la fase inicial de la construcción del túnel, el cual es el afrontonamiento, se buscara un método sistemático y lógico capaz de lograr reducir los riesgos de los taludes del terraplén para que se mantengan en los valores óptimos para ayudar a prevenir accidentes para trabajadores

Teniendo en cuenta la ubicación del terraplén, también resulta crítico en el ciclo productivo de la unidad minera ya que es la única vía por la cual se lleva el mineral explotado del yacimiento, por lo que, si sucediera un evento como el mencionado anteriormente podría ocasionar el colapso total de la alcantarilla existente, lo que podría ocasionar la oclusión de la alcantarilla, ya que la escorrentía producto de las intensas lluvias no solo está conformado por agua, sino también de material de diferentes tamaños pudiendo ser de origen orgánico o inorgánico, lo que ocasionaría un *overtopping* en el talud aguas arriba del terraplén.

De acuerdo con lo expuesto, con el análisis de taludes supondrá una mejora sustancial no solo en el proceso constructivo, si no también, en problemas futuros que podría tener el terraplén, dependiendo del tipo de material que se encuentre, este puede ser propenso a sufrir alteraciones, no solo debido a precipitaciones, también por efecto sísmico, ya que el terraplén de estudio se encuentra en la zona más crítica del mapa de zonificación sísmica de la norma E-030 y la fuerza que

ejerce el peso del ferrocarril cargado de mineral. Por estos motivos, de encontrarse en condición inestable, será necesario el desarrollo de una propuesta que alcance los requerimientos mínimos estipulados en la normativa y que podría servir de apoyo a las empresas que se encargaran de la estabilización del talud, previa a la construcción del túnel de drenaje

Finalmente, el estudio será un antecedente que podrá servir de ayuda para futuros análisis que contengan similares condiciones puesto que conocer los parámetros y las características necesarias para el análisis resultaran de utilidad.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivos General**

Determinar la estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje en Toquepala-Tacna al 2021.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

a) Determinar las características geotécnicas del suelo para la evaluación de estabilidad de taludes en el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.

b) Desarrollar la configuración geométrica de los taludes del terraplén en la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021.

c) Desarrollar una propuesta de estabilización de taludes para la mejora del terraplén en la construcción del tune de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

La evaluación estabilidad de taludes determina el estado actual para el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, al 2021.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

a) Las características geotécnicas del suelo son determinantes para la evaluación de estabilidad de taludes en el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.

b) La configuración geométrica final desarrollada disminuye los deslizamientos producidos en los taludes en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.

c) La propuesta de estabilización de taludes satisface los requerimientos mínimos para condiciones estáticas y sísmicas en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del Estudio

#### 2.1.1. A Nivel Internacional

Khan, M.I. y Wang, S. (2021) Slope Stability Analysis to Correlate Shear Strength with Slope Angle and Shear Stress by Considering Saturated and Unsaturated Seismic Conditions. *Appl. Sci.* 2021, 11, 4568. <https://doi.org/10.3390/app11104568>; este tiene como objetivo estudiar los parámetros de la estabilidad de taludes en un suelo de granos finos y el efecto de los que tiene el cambio en los parámetros como la fuerza cortante de la cohesión, el ángulo del talud y el esfuerzo sobre en el factor de seguridad, añadiendo una fuerza sísmica en condiciones saturadas y no saturadas, utilizando el programa SLIDE 6.0. Este estudio concluye que cuanto más alto el valor del ángulo del talud y el esfuerzo cortante la tensión cortante será menor.

Liu, C.Y. y Hounsa, U.S.F. (2018) Analysis of Road Embankment Slope Stability. *Open Journal of Civil Engineering*, 8, 121-128. <https://doi.org/10.4236/ojce.2018.82010>; el objetivo de este primer estudio fue presentar una metodología para evaluar la estabilidad de taludes en un terraplén de carretera, en la cual comparan los métodos y la de los factores de seguridad, concluyen que el factor de seguridad cambia a medida que se incrementa la altura del terraplén, si bien en el estudio compara diferentes métodos, en el estudio que se realizará no se realizara una comparación y se elegirá un solo método para el análisis de estabilidad de taludes.

Ciotlaus M., Kollo G., Moldovan D. y Muntean L. (2017) Slope Stability of Railway Embankments. *Procedia Engineering* 181, 52-59 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>; este estudio tuvo como finalidad realizar un análisis de estabilidad de taludes, en un terraplén de una vía férrea, bajo condiciones dinámicas producidas por la vía férrea, el resultado simulaciones realizadas en tres configuraciones con diferentes, muestra un factor de seguridad mínimo de 1.30. Concluyen que el mejor comportamiento lo tuvo un suelo cohesivo tuvo un factor de seguridad de entre 2.46 y 1.65, el suelo gravoso tuvo un factor por encima de 1.3 y que un suelo gravoso con rellenos de arena tuvo factores por debajo del valor mínimo requerido.

### **2.1.2. A Nivel Nacional**

Breña Vásquez C. H. (2019). Estabilidad de Taludes de la Carretera Longitudinal de la Sierra; Tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú. [Tesis de Postgrado, Universidad Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional - Universidad Mayor de Sa Marcos; esta tesis tuvo como finalidad determinar los parámetros geotécnico de la interacción roca con el suelo la cual tiene efecto en la estabilidad de los taludes, estos valore fueron el peso específico, el ángulo de fricción interna, hidrología y los imites de plasticidad, estos valores son los principales para poder realizar una correcta evaluación de estabilidad de taludes, en esta investigación también se determinaron estos valores y adicionalmente otros ensayos debido a la ubicación de los taludes que serán evaluados. Finalmente utiliza el software Slide para la determinación de estabilidad, este lo usaremos en esta tesis.

Campos Fernández Y. E. y Espinoza Cabrejos J. J. J. (2021) Análisis de Estabilidad de Taludes Mediante el Equilibrio Límite para Evitar Daños al Caserío Cercano a la Cantera El Arenal, Pátapo. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional - Universidad Cesar Vallejo; finalmente en esta última referencia, el objetivo de esta tesis fue realizar un análisis de estabilidad de taludes mediante el equilibrio límite para evitar daños al caserío cercano y describir los factores que afectan la estabilidad de taludes, aplicando el método del equilibrio limite. Este estudio concluyó que el talud es inestable ya que presento un factor de seguridad inferior a 1.00, teniendo como valor mínimo un FS de 0.306, es por esta razón, planean una modificación geométrica del talud y la adición de gravas y finos. El método usado será también el método que se desarrollara en esta investigación el cual es el más usado actualmente y será aplicado mediante un software especializado.

Cuyutupa Moscoso F. (2019). Evaluación Geomecánica con Fines de Estabilidad de Talud Carretera Mariscal Castilla Huancayo – Huancavelica [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional - Universidad Peruana Los Andes.; el objetivo central de este estudio el en la determinación de la influencia del resultado de la evaluación geomecánica del macizo rocoso con la finalidad de estabilización del talud y la influencia de las propiedades mecánicas. La tesis finalmente determina todos los parámetros

geomecánicos del suelo y concluye que el resultado de la evaluación geomecánica nos da una roca de buena calidad por lo que el talud es estable, pero que en algunos tramos tiene fallas por lo que se opta por un sistema de contención de malla de alambre y shotcrete con  $e = 5$  cm. La tesis planteada es una referencia a los ensayos necesarios para la caracterización del suelo y conocer los parámetros del suelo que se estudiara y que son necesarios para el análisis de la estabilidad de taludes.

Camavilca Julcamayan E. (2019). Análisis de Estabilidad de Talud y Propuesta de Estabilización en el km 93 de la Carretera Central, Distrito San Mateo – Huarochirí, Lima 2019. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional - Universidad Cesar Vallejo; realiza un análisis y nos da un propuesta de estabilización de talud, con un previo estudio de campo para la obtención de las variables necesarias, este análisis se desarrolló mediante el software Slide 6.0. y el Geo5, en esta concluye que es indispensable un estudio topográfico para conocer la inestabilidad del talud y propone un muro de contención y una muralla de gaviones para evitar futuros deslizamientos. En nuestro estudio también se evaluará algún método de contención, dependiendo del tipo de suelo existente y que brindará una mayor seguridad al momento de empezar el afrontamiento del túnel.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Estudio de Mecánica de Suelos**

El Estudio de Mecánica de Suelos según las Normas Técnicas Peruanas (NPT), los cuales se necesita información para el análisis de estabilidad de taludes y las propuestas para las acciones correctivas para los deslizamientos. Este constará de una exploración de campo en la que se deberá realizar un reconocimiento geológico, incluyendo un levantamiento topográfico de toda la zona a estudiar. Toda esta información debe registrarse en un plano topográfico y también se deberá reconocer otros aspectos como la infiltración, deslizamientos pasados, la verticalidad de vegetación (en caso se encuentre) y el estado de los taludes cercanos.

Según Manual de Carreteras Sección de Geología y Geotécnica (2012), para la evaluación de taludes, se tiene que contemplar:

- Ensayos de campo de suelos.
- Ensayos de laboratorio con muestras de suelo o rocas.
- Descripción geotécnica del subsuelo y estratigrafía.
- Si el proyecto es de gran magnitud, se realizarán perforaciones diamantinas, complementadas con ensayos de refracción sísmica y excavaciones.
- La presentación de los resultados finales para las especificaciones técnicas.

#### **2.2.1.1. Geografía**

*Ubicación.* La ubicación de la zona de estudio se encuentra en Toquepala está ubicado en el sur del Perú en el distrito de Ilabaya, provincia de Tacna, del departamento de Tacna, en una quebrada denominada Cimarrona, en la vía nacional que lleva a Tarata, el cual según estudios de INGEMMET (1979) pertenece el cuadrángulo de Moquegua como se presenta en la Figura 1.

*Clima.* El clima presente en la zona varía según la altitud, la zona de estudio se encuentra dentro del Flanco Andino, por lo que se encuentra desde templada hasta frío intenso. En esta parte media alta la temperatura podría descender hasta por debajo de los 0° C, si bien el clima es seco en gran parte del año, se producen precipitaciones de media a alta intensidad, siendo la época de lluvias de la zona se da generalmente en los meses de diciembre a marzo (INGEMMET, 1979).

*Hidrografía.* La zona corresponde al borde este del cuadrángulo, y se encuentran presentes en los tramos pertenecientes a la cuenca del Río Locumba. En la zona de Mirave se unen los ríos Ilabaya y Curibaya, dando inicio al río Salado, que junto con el Cinto se juntan cerca del poblado de Locumba dando origen al río del mismo nombre.

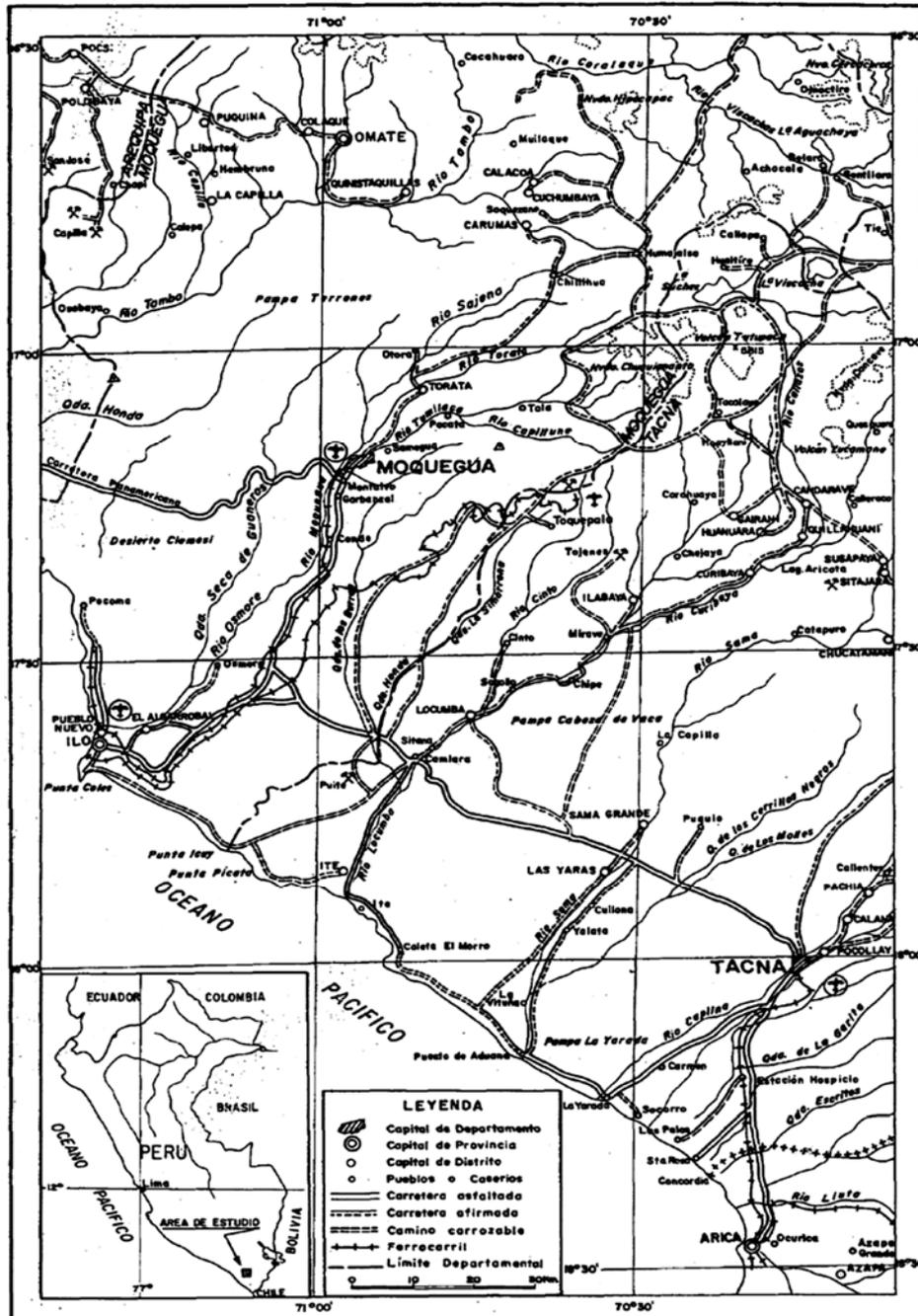
#### **2.2.1.2. Topografía**

*Topografía Regional.* Según el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET, 1979), el área comprende una configuración escabrosa y muy disectada que se desarrolla entre los 2,000 y 4,000 m.s.n.m. en la que se diferencian una parte inferior que sigue a las partes bajas de la costa, es demasiado empinada, que se eleva rápidamente hasta los 3,100 y 3,400

m.s.n.m. y una parte superior en la que el terreno es suave a manera de escalón que da el inicio a la cadena de conos volcánicos presentes en esta área.

**Figura 1**

*Ubicación del cuadrante de Moquegua*



*Nota.* La figura corresponde al Cuadrángulo de Moquegua. Tomado de *Geología del Cuadrángulo de Moquegua* (p.6), por INGEMMET, 1979.

*Análisis topográfico.* La topografía es el primer estudio que se tiene que realizar y es una información básica primaria para el posterior análisis de la estabilidad de taludes, esta exploración inicial supone el punto de partida en la configuración y la geometría existente de los taludes que serán motivo de este estudio y que requiere un nivel de detalle alto para la localización de elementos críticos como desniveles, que podrían estar ocultos por diferentes motivos como la vegetación existente (Suárez, 1998), este estudio tendrá como objetivos principales:

- Obtención de detalles topográficos relevantes.
- Determinación de las curvas de nivel y la altura de los taludes.
- Determinación del perfil topográfico de los taludes que conforman el terraplén.

Para este estudio topográfico se realizará estableciendo un sistema de BMs, los cuales deberán tener que ser localizados lejos a la masa de los taludes y en sitios en la que se logren localizar fácilmente y que también deberán permanecer fijos y sin moverse en el futuro, delimitando el área de estudio. Estos BMs deberán ser unidos mediante una precisa triangulación, siendo referenciados con sus coordenadas correspondientes en el plano final topográfico y se podrá utilizar técnicas de acuerdo con las necesidades que se requiera.

### **2.2.1.3. Geomorfología**

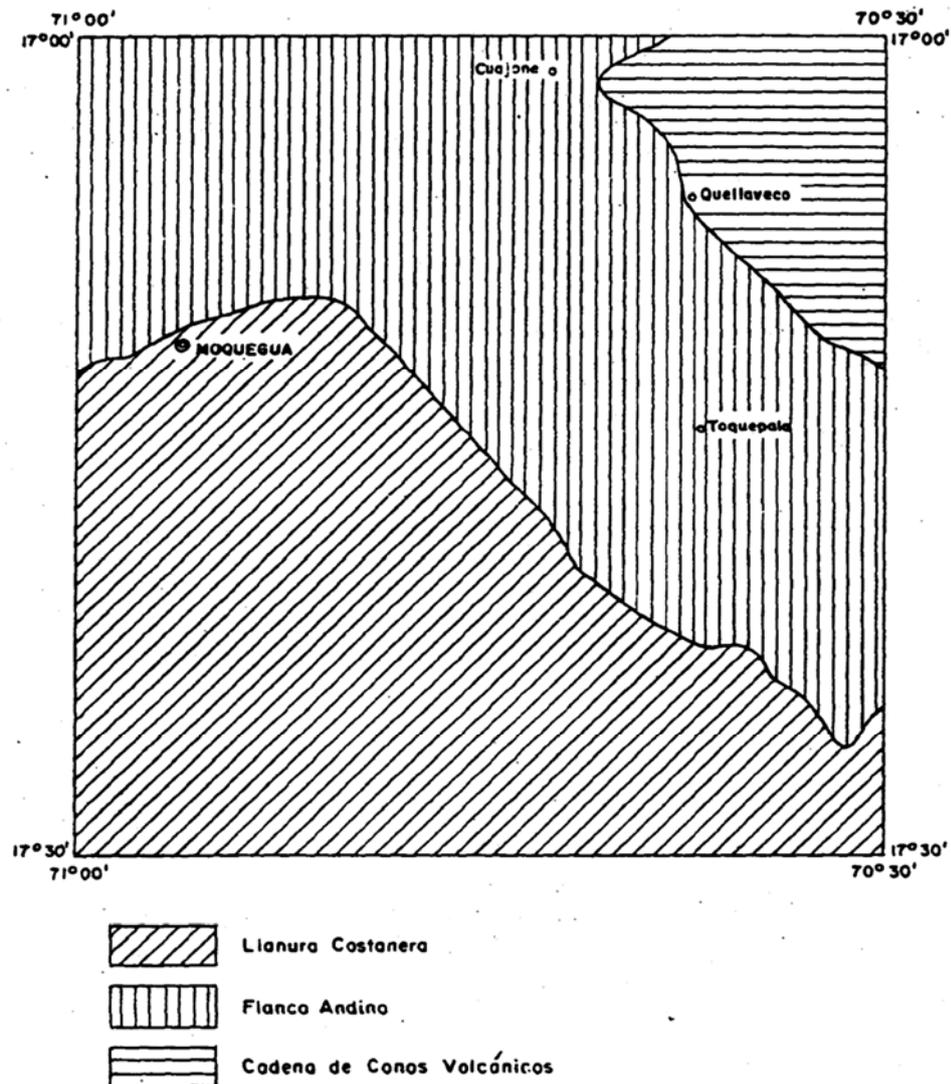
*Geomorfología regional.* Para los efectos del desarrollo del presente estudio se ha recurrido al uso de información proveniente del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET), el área de trabajo se encuentra en el Cuadrángulo de Moquegua, la cual está conformada por 3 unidades geomorfológicas, que se aprecian en la Figura 2, denominadas: las llanura costanera, flanco andino y las cadenas de conos volcánicos. De estas 3 unidades, el flanco andino es la que está presente en la zona de trabajo.

*Flanco andino.* El Flanco Andino se extiende al este y noreste de la unidad de Llanura Costera, que se conforma de rocas volcánicas y macizos intrusivos. El cambio entre estas dos unidades se nota en el cambio de pendiente, que es suave en las pampas de la costa y muy pronunciada en la parte frontal del Flanco Andino. Esta unidad, se distinguen dos configuraciones la parte baja y la parte alta. La

zona de trabajo se encuentra en la parte baja la cual como se menciona anteriormente desarrolla una pendiente pronunciada que llega a altitudes de hasta 3,400 de altitud.

**Figura 2**

*Unidades geomorfológicas*



*Nota.* La figura corresponde al Cuadrángulo de Moquegua. Tomado de *Geología del Cuadrángulo de Moquegua* (p.14), por INGEMMET, 1979.

En esta parte tiene diferentes rasgos morfológicos, como la depresión del área de Torata, cerros con laderas accidentadas, espolones con crestas angulosas y quebradas estrechas, hondas y de fuerte gradiente, que le da un

aspecto quebrado e irregular. En esta parte se halla el sistema de fallas Incapuquio, en la que la erosión ha causado depresiones alargadas. La más importante en la depresión que lleva el mismo nombre en la cual se ubica actualmente el campamento de la Mina Toquepala.

#### **2.2.1.4. Estratigrafía**

Según estudios anteriores (INGEMMET, 1979) las unidades litológicas mapeadas de esta en la zona de trabajo se encuentran dentro del Grupo Toquepala, que fue denominada por Bellido y Guevara (1963) que describe un conjunto de rocas volcánicas, con algunas inserciones de clásticos gruesos, que se presenta en el Flanco Andino, que llega hasta la frontera con Chile. A la altura que se encuentra la zona de estudio corresponden dos formaciones el Volcánico Quellaveco y el Volcánico Paralaque. En la Figura 3 se grafican los estratos de este cuadrángulo.

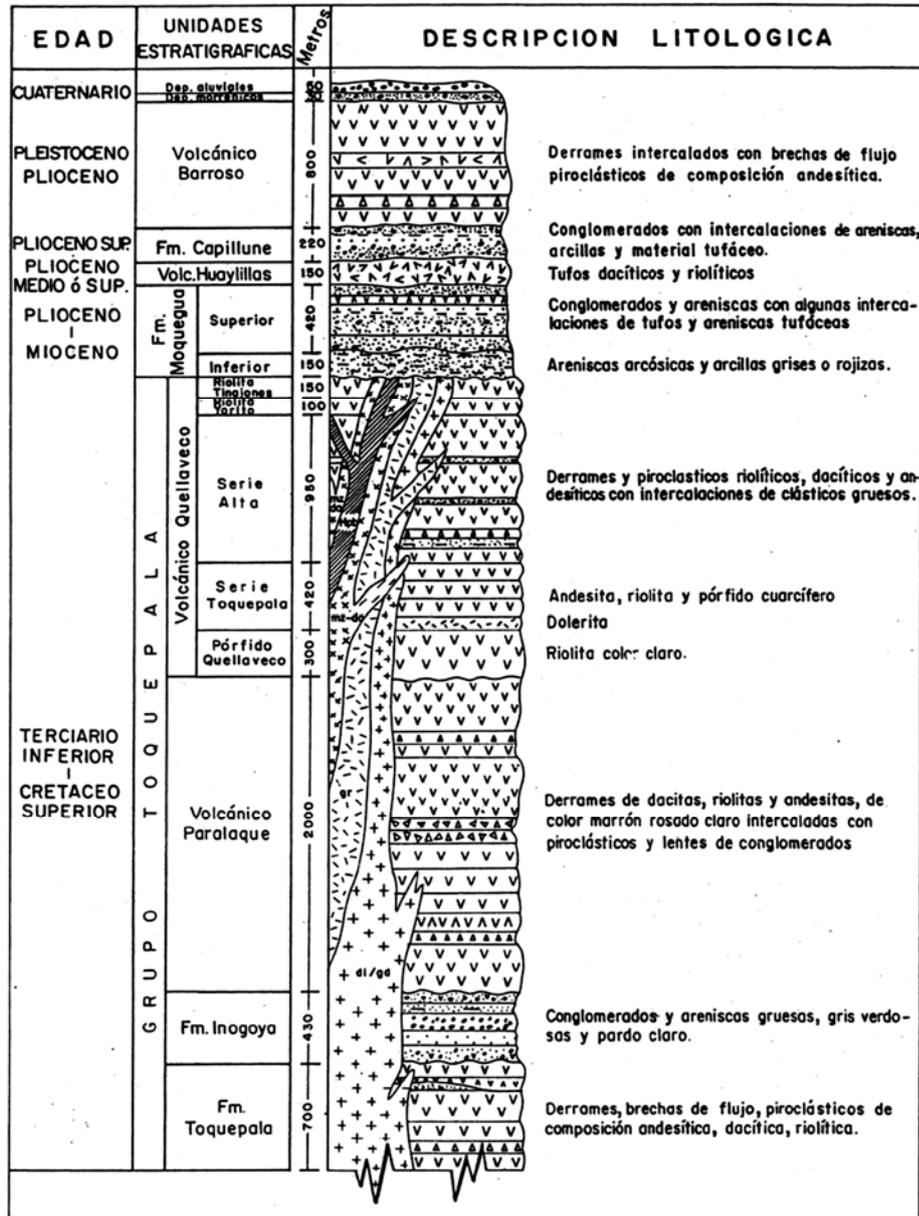
*Volcánico Paralaque.* Esta formación aparece en la parte baja de la Mina Toquepala, en la que se forma los Cerros Incapuquio, Totoral, Caramolle, etc. Estas están compuestas por derrames de andesita, dacita y riolita de color marrón, rosado o blanco grisáceo, de textura porfirítica con inserciones de fragmentos rocosos horizontales.

En la zona de Quebrada Cimarrona, se observan bancos de dacita porfirítica de color marrón, feldespatos, y pequeñas porciones de cuarzo de granos irregulares. En la quebrada aledaña se observa un conglomerado volcánico con presencia de cantos gruesos, hacia arriba se tiene riolitas blanco grisáceas con rosado, andesitas algo verdosas, que conforman los cerros al sur del campamento minero de Toquepala. Al pie de la Mina Toquepala esta formación se une con el Volcánico Quellaveco por medio de la falla de Incapuquio.

*Volcánico Quellaveco.* Esta reúne rocas volcánicas de la parte alta del grupo Toquepala, aquí se encuentra el depósito de cobre de Quellaveco en la parte central, y los yacimientos de Toquepala y Cuajone en el noroeste y sureste de esta formación. Las rocas existentes se dividen en tres denominaciones, Pórfido de Quellaveco, Serie Toquepala y Serie Alta, que se relacionan entre sí.

Figura 3

Columna Estratigráfica



Nota. La figura corresponde a la Estratigrafía presente en el Cuadrángulo de Moquegua. Tomado de *Geología del Cuadrángulo de Moquegua* (p.21), por INGEMMET, 1979.

*Pórfido Quellaveco.* Consiste en derrames macizos de riolita de diferentes colores, también se tiene granos de cuarzo. En la parte superior se hunde debajo de derrames de andesitas y riolitas y en su parte inferior con monzonita cuarcifera

que la intruye. En la zona de estudio, que es la Mina Toquepala, aflora en varios lugares, en la ladera izquierda de la Quebrada Cimarrona, cerca de la Villa Toquepala, y uno pequeño en la en la cabecera de la quebrada Seca.

*Serie Toquepala.* Esta formación se muestra solo en los alrededores de la zona de estudio, en las que se destacan riolitas, de color violado gris de tamaño fino y pequeñas inserciones de feldespatos; pórfido cuarcífero de textura porfiroide de color marrón claro con granos de cuarzo redondeados; andesitas, de color gris claro (a veces verdoso) presentes en el lado oeste y doleritas de grano fino y de color gris oscuro o negras.

*Serie alta.* Es la formación más extensa y se muestra en las minas de Quellaveco Cuajone y Toquepala, y que consiste en derrames y piroclásticos riolíticos que se hallan en bancos amplios, un conglomerado constituido de cantos redondeados de rocas volcánicas, que pueden ser grises o verdosos y finalmente en la parte más alta se constituye por piroclásticos de color gris claro o verdoso, este conforma los cerros por encima de la mina Toquepala.

#### **2.2.1.5. Geología Estructural**

Las características más importantes de las estructuras encontradas en este cuadrángulo son las siguientes (INGEMMET, 1979):

- En la faja costanera del sur del Perú existe una depresión longitudinal probablemente tectónico, ubicado en medio del macizo de la cadena costanera y el pie de la cordillera occidental, esta es paralela al litoral y está saturada por clásticos continentales de la formación Moquegua y los depósitos del cuaternario, lo que constituye las pampas costeras.
- Los depósitos que rellenan la depresión no sobrepasan la muralla frontal de la Cordillera de la Costa.
- La zona meridional, está caracterizada por las pampas costaneras, en donde las capas de la formación Moquegua poseen una inclinación al SO y terminan en los cerros de la Cordillera de la Costa, el cual está muy alejado de las pampas.

*Fallas.* Según INGEMMET (1979), en esta zona se encuentran cuatro fallas de las cuales dos se encuentran en la zona de estudio que son la falla de Micalaco

y el sistema de fallas de Incapuquio. La dirección de las fallas fue determinada por la aparición de zonas alteradas, escarpas topográficas, orientación de las quebradas existentes, comunicaciones irregulares entre las capas estratigráficas estudiadas, etc.

*Sistema de fallas de Incapuquio.* Está asociada a otras fallas las cuales las cuales son menos paralelas y en otras son constituidas por divisiones que se separan de la principal, por esto se le llama sistema de fallas. Esta falla tiene una dirección casi recta, ingresa por el tercio inferior del este y se puede reconocer en las zonas de Calumbraya, el frente macizo de Micalaco, la hondonada de Incapuquio Villa Toquepala, y la quebrada Cimarrona.

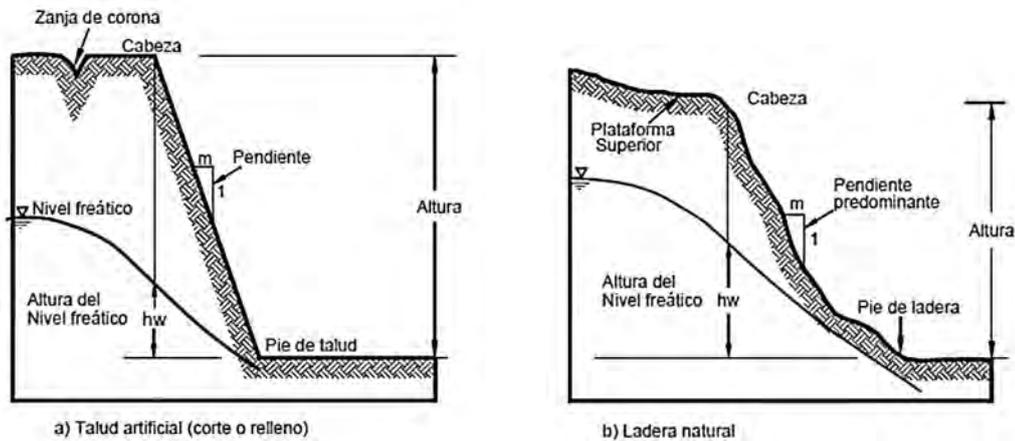
*Falla de Micalaco.* Se encuentra a una distancia de entre 6 o 7 km al norte de la falla de Incapuquio y es casi paralela a esta. Esta falla inicia en el paraje de Micalaco, hasta la parte sur de la mina Toquepala y que probablemente continúe su rumbo hasta formar el contacto con el cerro Sargento y los volcánicos de la serie Toquepala.

## **2.2.2. Evaluación de Estabilidad de Taludes**

### **2.2.2.1. Generalidades**

Una obra que requiera de la configuración de una explanada, empezando de una topografía existente, necesitara mayormente la excavación de taludes por sobre la explanada a construir. De igual manera esta situación se podría darse cuando se pretenda realizar un hueco en el terreno natural de carácter no subterráneo para obras de ingeniería civil o mineras.

Según Juárez Badillo (2011) se puede entender que un talud son superficies inclinadas con respecto a la horizontal las cuales serán adoptadas de manera permanente o provisional y la que podría estar constituida de tierra o macizo rocoso y que podrían ser de forma natural o de manera artificial. Generalmente esta estructura suele ser una construcción anterior a una obra de infraestructura por lo que se requiere un mayor cuidado por parte del proyectista ya que podría tener consecuencias o problemas debido a fallas en su diseño. Bajo este concepto se reconocen las siguientes partes que conforman un talud en la Figura 4.

**Figura 4***Nomenclatura de taludes y laderas*

*Nota.* La figura corresponde a las partes de los Taludes en general. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1* (p.22), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

**2.2.2.2. Influencia del Tipo de Material**

La naturaleza del material guarda una relación con posible ocurrencia de un tipo de inestabilidad en un talud, haciendo que pueda evaluarse antes de que se produzcan haciendo que se tenga un posible método de contingencia en caso de que sucediese. Es por eso es importante una buena caracterización del tipo de suelo que se tiene, de manera general se tiene tres grupos (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

*Macizos rocosos.* Estos se componen de un medio discontinuo compuesto por rocas de diferentes tipos y su comportamiento dependerá de estas características discontinuas como la estratigrafía fallas entre otras. Se pueden dar diferentes tipos de rotura y se producen en superficies preexistentes.

*Suelos.* Estas a diferencia del macizo rocoso, estas están compuestas por partículas sólidas, pudiendo presentarse sueltas, consolidadas o no consolidadas y en algunos casos material orgánico. Estas se presentan continuas y homogéneas por lo que las fallas se producen internamente y dependerá de las características de las partículas, la presencia de arenas o arcillas y el nivel freático o contenido de humedad.

*Rellenos*. Denominada a los depósitos artificiales en actividades de construcción civil como terraplenes, o simplemente como cúmulos de desechos. El comportamiento de las fallas será similar a las de suelos desarrollándose a través del material en una superficie indeterminada y que, en algunos casos, si la superficie presenta características diferentes a la del relleno, podría modificar este comportamiento.

### **2.2.2.3. Ocurrencia de Fenómenos Presentes en los Taludes**

Existen diferentes fenómenos que tienen lugar y que existe un elevado porcentaje de inseguridad en su pronóstico, por eso es menester saber los antecedentes de la zona de estudio el cual es el inicio para eventuales fenómenos que podrían ocurrir, en la Figura 5 se aprecia las partes de un deslizamiento y estos podrían ser:

- Deslizamientos
- Derrumbes
- Avalanchas
- Flujo de escombros (huaicos)

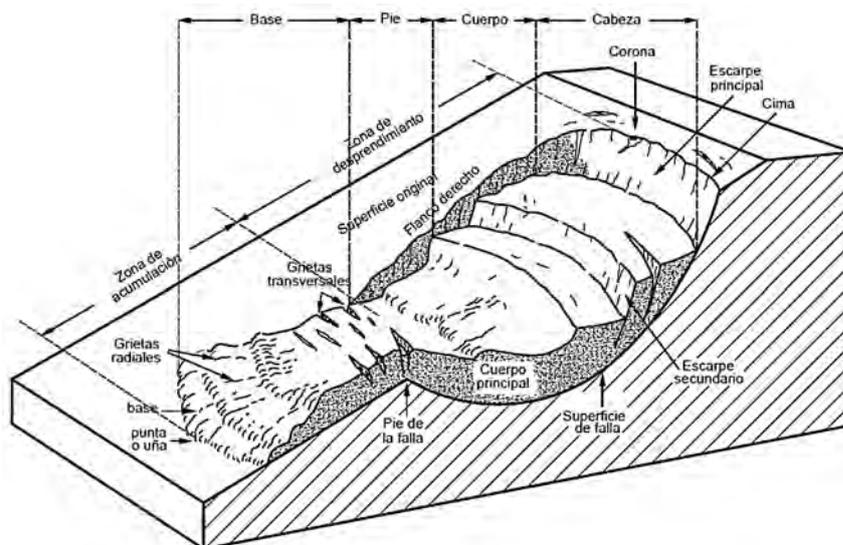
Para de Matteis (2003), el deslizamiento es el que más ocurrencia tiene y también es denominado falla, es el desplazamiento del suelo por debajo de la pendiente, lo que provoca que todas las masas asociadas a él se muevan hacia abajo y hacia afuera, además, los deslizamientos se producen de forma lenta o rápida, con o sin intervención, etc. Estos son producto de excavaciones o socavaciones en el pie del talud. Sin embargo, podrían darse debido a otros factores como la falla por desintegración gradual del suelo, incremento de presiones intersticiales por filtración de agua, etc. Las fallas más comunes en taludes son deslizamientos superficiales (creep) y movimiento del cuerpo del talud.

*Deslizamientos superficiales*. Un talud siempre está predispuesto a fuerzas naturales las cuales ocasionan que las partículas del suelo se deslicen hacia abajo, el cual se hace más notorio en la superficie inclinada, esto debido a la carencia de presión normal confinante, el cual trae como consecuencia que se produzca un flujo hacia abajo el cual se produce con mucha lentitud. Este deslizamiento puede estar ocasionado por un incremento en de cargas en la

corona o por la conformación geológica del mismo (Juárez y Rico, 2014). En la Figura 6 se aprecia un esquema de des estos deslizamientos superficiales.

### Figura 5

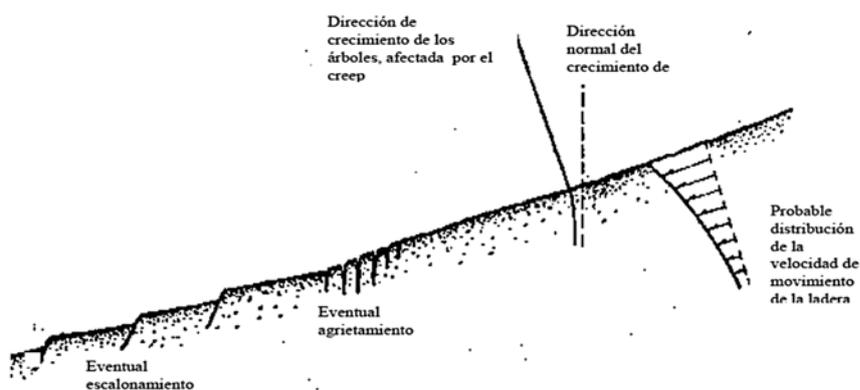
*Partes que conforman un deslizamiento*



*Nota.* La figura corresponde a las partes de un deslizamiento. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1* (p. 4), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

### Figura 6

*Presencia de movimientos superficiales (creep)*



*Nota.* La imagen presenta indicadores de la presencia de probables de un movimientos superficiales. Tomado de *Geología y Geotecnia: Estabilidad de Taludes* (p. 4), por De Matteis et. al., 2003.

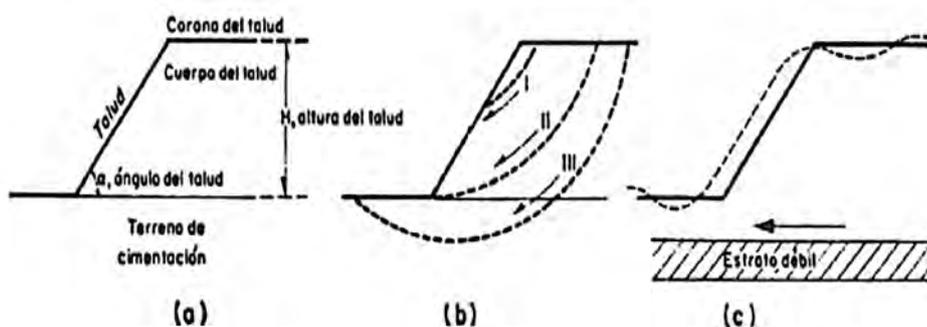
Hay dos tipos de deslizamientos de superficial, la estacional afecta solo la corteza superficial de las laderas afectadas por el cambio climático o húmedo y seco en forma de expansión y contracción térmica, y a gran escala, afecta a las capas más profundas de la Tierra, no nos importan los efectos ambientales y por lo tanto solo puede deberse a los efectos de la gravedad.

#### 2.2.2.4. Movimiento del Cuerpo del Talud

Ocurre debido a movimientos violentos que afecten a grandes volúmenes de suelo, con superficies de falla que llegan a atravesar estratos profundos del talud. Esta superficie de falla se ocasiona cuando actúan esfuerzos cortantes que exceden la resistencia al corte del suelo y en lo que resulta la ruptura de este, con la formación de una superficie de deslizamiento, esta se presenta en la Figura 7 (Juárez y Rico, 2014).

**Figura 7**

*Nomenclatura y fallas en cuerpo de taludes*



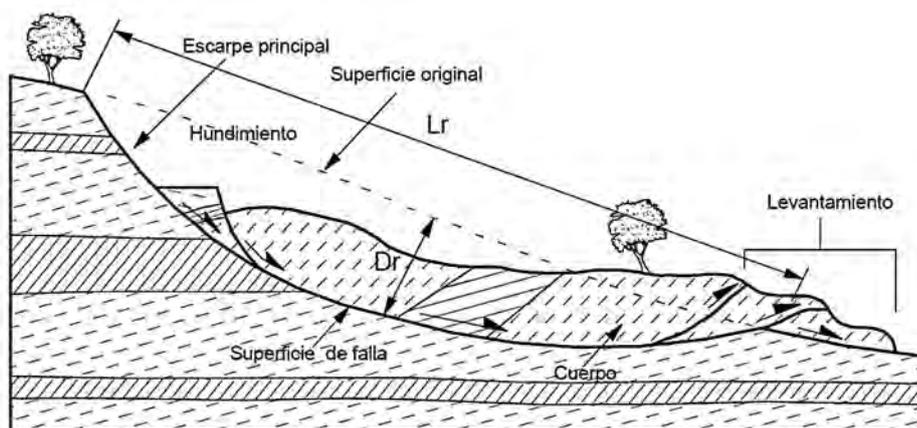
*Nota.* a) Nomenclatura; b) Falla por rotación (I local, II por pie de talud y III de base); c) Falla por traslación sobre un punto débil. Tomado de *Mecánica de Suelos: Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos Tomo II* (p. 262), por Juárez y Rico, 2014, Limusa.

*Falla rotacional.* De acuerdo con De Matteis et al. (2003), esta superficie tiene una forma similar a una circunferencia, está influenciado por la geología local, el perfil estratigráfico y la condición de los materiales, estas son denominadas fallas de rotación. Estas fallas ocurren comúnmente en suelos arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico este dado por

fracción arcillosa y por lo general daña a partes profundas del talud, que se hace mayor si la pendiente es mayor. En la Figura 8 se esquematiza este tipo de falla.

**Figura 8**

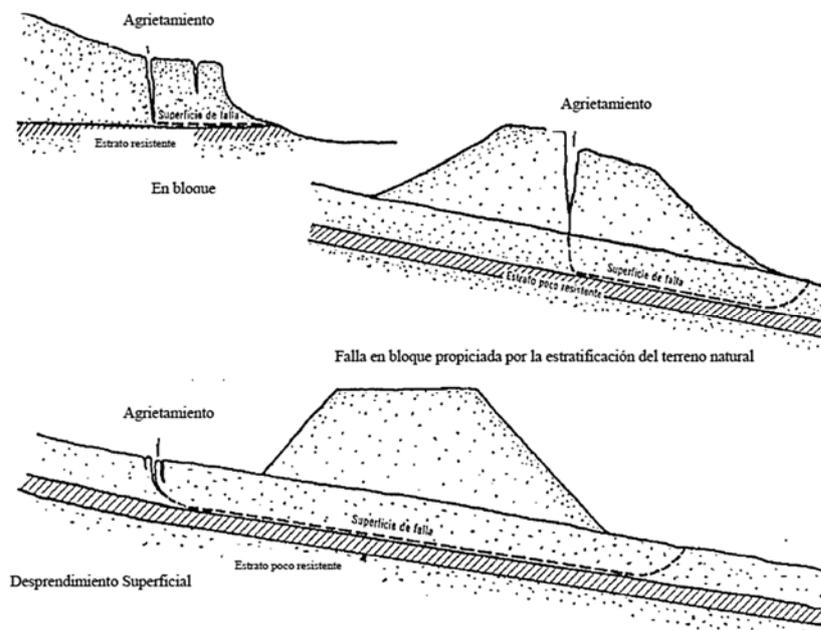
*Falla rotacional*



*Nota.* Se representa un deslizamiento de rotación den una ladera de falla rotacional. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1* (p. 15), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

*Falla traslacional.* Éstas son ocasionadas por movimientos traslacionales mayores del cuerpo del talud sobre superficies de falla planas, en las que se presentan capas con baja resistencia situados a poca profundidad del talud. Los estratos débiles que facilitan estas fallas mayormente son arcillas blandas, arenas finas o limos no plásticos sueltos. Con frecuencia, la fragilidad del estrato está sujeta a elevadas presiones del agua contenida en las arcillas o por elevación de la presión de agua en estratos de arena (acuíferos), el esquema se presenta en la Figura 9 (Juárez y Rico, 2011).

*Diferencias entre los movimientos de rotación y traslación.* En un movimiento de rotación, todo el movimiento de tierras provocado por el deslizamiento trata de alguna manera de estabilizarse a sí misma, mientras que en el movimiento de traslación esta puede avanzar indefinidamente hacia la parte baja del talud. Otra diferencia importante es sobre la aplicación de los diferentes métodos de estabilización de taludes ya que algunos no son efectivos en un uno u otro por lo que se necesita realizar un estudio detallado de las propiedades del suelo.

**Figura 9***Fallas traslacionales*

*Nota.* Esquema de falla traslacional debido a diferentes factores. Tomado de *Geología y Geotecnia: Estabilidad de Taludes* (p. 4), por De Matteis et. al., 2003.

**2.2.2.5. Factores que Influyen en la Estabilidad de Taludes**

La estabilidad de taludes esta influenciada por varios factores en los que resalta los factores geométricos (altura y pendiente), factores geológicos (presencia de estratos débiles o anisotrópicos en el talud), factores hidrogeológicos (existencia de agua) y factores geotécnicos (resistencia y deformabilidad). Estas condiciones juntas pueden ayudar a definir el tipo de rotura en la superficie de talud ya que esta dado especialmente por los factores geológicos y geométricos. Estos primeros factores, geométricos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran condicionantes pasivos o condicionantes y son propios del suelo, estos definen el comportamiento del talud y sus características resistentes. Sin embargo, otros tipos de factores denominados desencadenantes o activos, producen la rotura si existen ciertas condiciones. Estos factores son externos y actúan directamente alterando las características del suelo y su estado de equilibrio. En la Tabla 1 se realiza un resumen de todos los elementos que influyen en modelamientos estabilidad de taludes.

**Tabla 1***Elementos fundamentales en la elaboración de modelos de deslizamientos*

<b>Tema</b>	<b>Elementos Fundamentales para Estudiar</b>
Litología y formación geológica	Tipo de formación. Tipo de roca parental. Proceso de formación del suelo. Mineralogía. Propiedades de cada uno de los materiales presentes en el talud.
Estructura geológica	Rumbo, buzamiento, abertura, rugosidad, relleno, separación, continuidad y características de las juntas, planos de estratificación, fallas y demás estructuras.
Geomorfología	Formas del terreno, patrones de drenaje, pendientes.
Estado de meteorización	Profundidad de meteorización. Tipo de meteorización variable con la profundidad. Materiales producto de la meteorización.
Tectónica y Fracturación	Elementos tectónicos presentes. Discontinuidades. Rumbo y buzamiento de cada una de las discontinuidades. Separación y abertura de cada discontinuidad. Aspereza y relleno.
Pendiente y Topografía	Altura, pendientes, curvatura, convexidad, presencia de gradas y cambios topográficos.
Clima e hidrología	Temperaturas. Vientos. Precipitaciones promedio. Lluvias máximas. Tipo de lluvia. Duración de las lluvias. Anomalías climáticas (El Niño y La Niña).
Hidrogeología	Áreas de infiltración. Recarga interna de agua. Conductividad hidráulica. Porosidad. Nivel freático.
Sismicidad	Fuentes sísmicas. Magnitud e intensidad. Aceleraciones y desplazamientos en los sismos esperados.
Vegetación	Tipo y características de la cobertura vegetal. Profundidad y densidad de raíces. Espesor de suelos orgánicos. Microflora y microfauna.
El efecto antrópico	Cambios inducidos por la acción humana. Uso de la tierra. Prácticas de agricultura. Irrigación.
Probabilidad de los factores detonantes	La probabilidad de que ocurran factores detonantes como lluvias extraordinarias o sismos con determinados períodos de retorno
Evolución de los movimientos	Magnitud probable de la amenaza, vulnerabilidad de los elementos en riesgo y magnitud probable del riesgo.
Alternativas de remediación	Posibles alternativas de manejo, control o estabilización, si los movimientos son remediabiles.

*Nota.* La tabla muestra un resumen de los elementos en elaboración de modelos de deslizamientos. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1* (p. 45), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

#### **2.2.2.6. Métodos de Cálculo**

Para Herrera (2003) la clasificación de los métodos de cálculo se puede agrupar en dos grandes grupos los métodos los cuales consideran diferentes variables estos son los cuales son el Método de Equilibrio Límite, tal vez el más usado, y el Método de Cálculo en Deformaciones, mejor conocidos como Método Numéricos. Este último emplea la técnica de elementos finitos, si bien el potencial del método es grande, cuenta en la práctica con algunas imitaciones, entre las que destaca la obtención de ecuaciones constitutivas representativas del terreno. Es por esto por lo que podemos decir que este método no el más usado para el análisis de estabilidad de taludes (Ortuño, 2003), en la Figura 10 se muestra los métodos de cálculo actuales.

#### **2.2.2.7. Introducción a los Métodos de Equilibrio Límite**

Para Ortuño (2013), los métodos de equilibrio límite, tienen 5 puntos de consideración los cuales son:

- Se considera que el talud es indefinido en la dirección horizontal paralela a su superficie, es decir, se analiza en condiciones bidimensionales o de deformación plana.
- Se supone un mecanismo de rotura a favor de determinadas superficies de deslizamiento (planas o curvas). Estas superficies se consideran como un solo bloque o dividida en bloques más pequeños, en ambos casos rígidos.
- Se asume un criterio de rotura del terreno a lo largo de las superficies que generalmente es el Mohr-Coulomb.
- Supone que cada bloque subdividido está en equilibrio estricto y se determina la resistencia tangencial requerida para conseguir este equilibrio.
- Se calcula un factor de seguridad.

Para diferentes autores como Ortuño (2003), usualmente se podría establecer tres grupos: los que estudian el equilibrio de toda la masa del deslizamiento, los que la dividen en bloques (en la que su geometría está dada por la heterogeneidad del suelo y la de superficie de rotura teórica) y finalmente,

los que la subdividen en varias porciones (denominadas rebanadas o dovelas) teóricas.

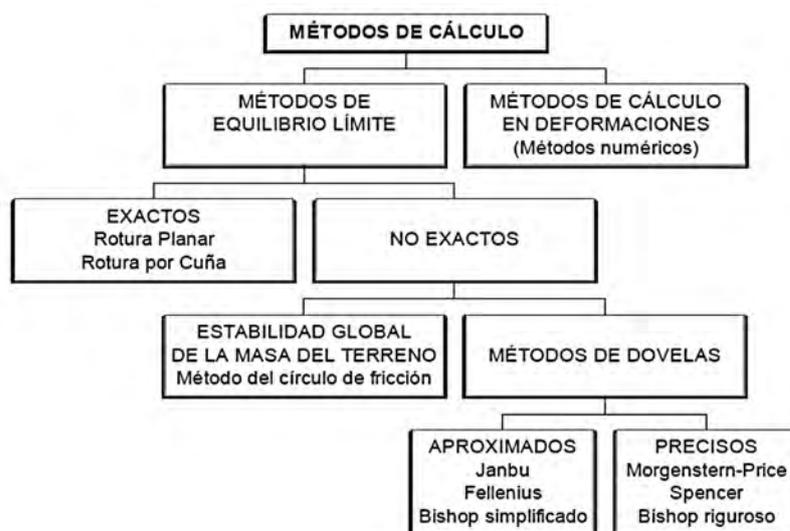
Los modelos de equilibrio límite tienen en cuenta las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de suelo potencialmente inestable. La limitación sería que suponen que la resistencia al corte del terreno se mueve a lo largo de la superficie de corte, sin tener en cuenta el estado tensional ni deformaciones. Esta movilización del terreno trae un cambio de sus propiedades resistentes (Valiente et al., 2015).

### 2.2.2.8. Método de Equilibrio Límite

Los métodos dentro del Equilibrio Límite son varios y en la mayoría de los casos, la configuración de la superficie de rotura no permite la obtención de valores exactos del ejercicio mediante el empleo de las leyes de la estática. Entonces, como se muestra en la Figura 10, se puede separar en los métodos que consideran el equilibrio global de la masa que se desliza (casi no usada actualmente) y los métodos de las dovelas, que considera a la masa que se desliza en varias fracciones verticales (Herrera, 2003).

**Figura 10**

*Métodos de cálculo para estabilidad de taludes*



*Nota.* El mapa conceptual muestra los diferentes métodos para el análisis de estabilidad de taludes. Tomado de *Introducción a la Estabilidad de Taludes* (p. 1), por F. Herrera, 2003.

### 2.2.2.9. Características del Equilibrio Límite

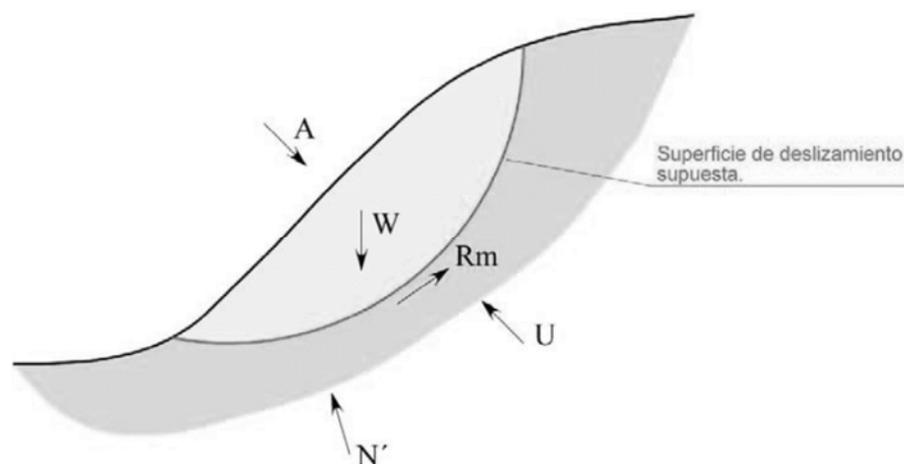
Un análisis de equilibrio límite proporciona la obtención de un factor de seguridad, teniendo siempre en consideración los valores de la resistencia al esfuerzo cortante en el momento de la falla (Mesa et al., 2020), cuando se tienen estas propiedades y otras necesarias para el este método, se determina si existe la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos cortantes que ocasionarían un deslizamiento (Suárez, 2009). La mayoría de los métodos dentro del equilibrio límite, comparan fuerzas y momentos resistentes sobre una superficie denominada superficie de falla y esta varía dependiendo del método del que se desea aplicar, en la Figura 11 se muestran las fuerzas características del Equilibrio Límite las cuales son:

- A: Resultante de fuerzas externas.
- W. Peso propio de la masa de suelo.
- U: Resultante de las presiones intersticiales a lo largo de la superficie de deslizamiento supuesta.
- N': Resultante de las tensiones efectivas normales a la superficie de deslizamiento.
- Rm: Resultante de las tensiones tangenciales necesarias a lo largo de la superficie de deslizamiento para alcanzar el equilibrio estricto.

*Superficie de falla.* Este se utiliza para denominar a la superficie en la que podría suceder un deslizamiento o la rotura del talud, sin embargo, si se realiza un adecuado análisis este deslizamiento no sucederá. En los métodos de equilibrio límite el Factor de Seguridad tiene el mismo valor en toda esta superficie de falla, por esto se analizan varias superficies. Se estudian diferentes formas de superficie como planas, circulares o combinaciones de éstas. En los últimos años, se han propuesto modelos de superficies de falla con forma no geométrica. Si sucediera deslizamientos mencionados anteriormente, se podría tener diferentes formas como las vistas en la Figura 12 (Suárez, 2009).

**Figura 11**

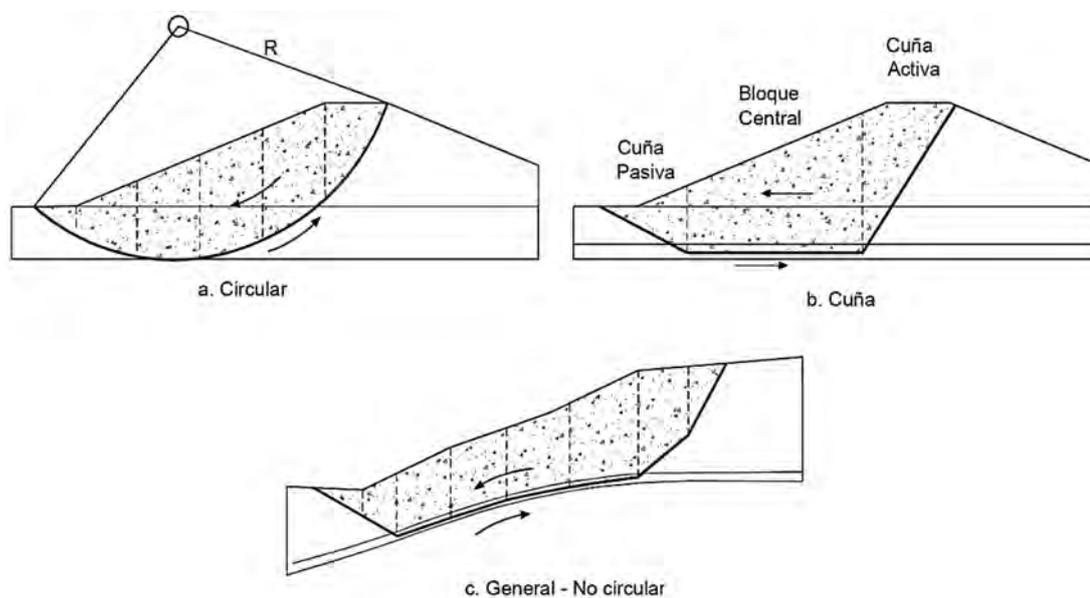
*Fuerzas actuantes en el cálculo de Equilibrio Límite*



*Nota.* El esquema representa las fuerzas principales que actúan en el Método de Equilibrio Límite. Tomado de *Estabilidad de Taludes en Suelos* (p. 32), L. Ortuño, 2003.

**Figura 12**

*Formas de superficie de falla*



*Nota.* La figura muestra diferentes formas de superficies de falla. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1*, (p. 131), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

*Factor de Seguridad.* Fellenius (1922) representó al Factor de Seguridad como una relación entre la resistencia al corte del tipo de suelo o material presentes en el talud y los esfuerzos críticos que producen la falla, como se presenta en la Ecuación 1 (Suárez, 2009). Para poder determinar este factor es necesario realizar los estudios de suelo para determinar las propiedades físicas y geométricas del talud (Mesa et al., 2020).

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo cortante actuante}} \quad (1)$$

Otro método es el fraccionamiento de la masa que se va a analizar en rebanadas o dovelas y considerar el equilibrio de cada parte por separado. Una vez realizado el análisis de cada dovela se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos, como se muestra en la Ecuación 2 y 3 (Suárez, 2009).

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \text{Esfuerzo al cortante}} \quad (2)$$

$$F.S. = \frac{\sum \text{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{Momentos actuantes}} \quad (3)$$

#### **2.2.2.10. Métodos de Dovelas**

Este método se basa en una hipótesis propuesta por Fellenius, el cual plantea analizar el equilibrio, no del total de la masa que podría deslizarse, sino más bien, en varias secciones, a las que se llamaría dovelas o rebanadas verticales en las que se fraccionaría esta masa, esta configuración se esquematiza en la Figura 13.

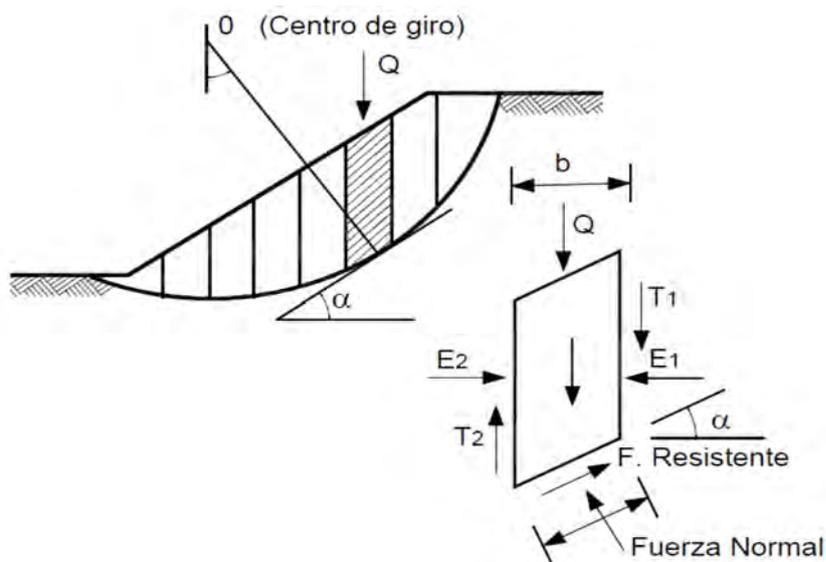
Esta manera de estudio se centra en analizar estas rebanadas y hallar la superficie crítica que es la que tiene un menor Factor de Seguridad, por lo que el método resulta ser más exacto y da más ventajas con respecto al método de equilibrio de masa global (Ortuño, 2003), estas ventajas son:

- El ángulo de fricción y la cohesión (parámetros de resistencia de corte), se pueden cambiar, por cada rebanada realizada, si se tienen diferentes tipos de suelo.

- En algunos métodos no se necesita superficies de deslizamiento sean circulares.

**Figura 13**

*Esquema de un análisis con rebanadas o dovelas*



*Nota.* La figura muestra las fuerzas actuantes en una rebanada en el método de dovelas. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1* (p. 154), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

*Método de Fellenius.* Conocido como método ordinario o método sueco, es un método aproximado que toma la superficie de falla circular y la divide en rebanadas, en las que la condición principal para hallar el Factor de Seguridad se fundamenta en el equilibrio de momentos. Las fuerzas que ejercen sobre una rebanada son: la fuerza de gravedad (descompuesta en una normal y una tangente), las fuerzas resistentes de cohesión y fricción (tangentes a la superficie) y las fuerzas de presión de tierra. Entonces tomando de referencia el diagrama de fuerzas de la Figura 13 e ignorando las fuerzas entre dovelas como se muestra en la Figura 14, se tiene una sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo de falla se tiene la expresión de la Ecuación 4 del Factor de Seguridad.

$$F.S. = \frac{\sum [C' \Delta l + (W \cos \alpha - u \Delta l \cos^2 \alpha) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha} \quad (4)$$

Donde:

$\alpha$  = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

$W$  = Peso total de cada tajada.

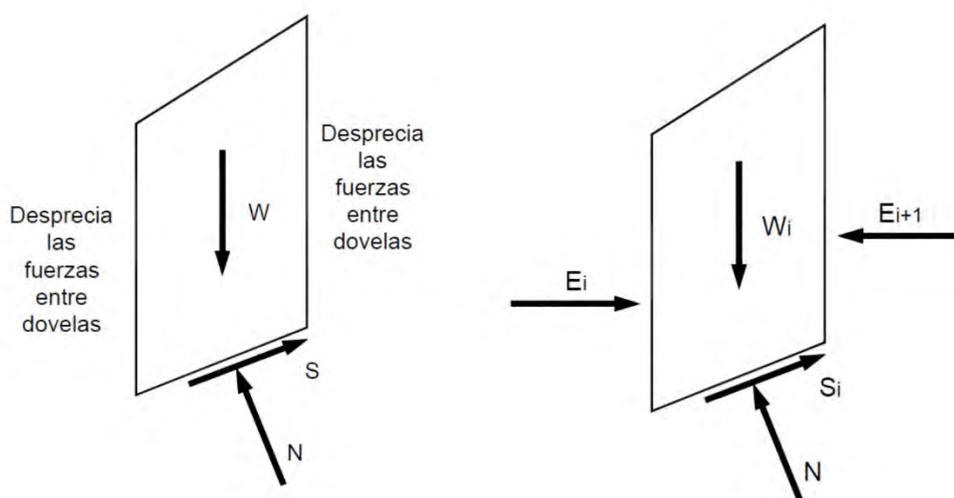
$u$  = Presión de poros.

$\Delta l$  = Longitud del arco de círculo en la base de la tajada.

$C'$  y  $\phi'$  = Parámetros de resistencia del suelo.

### Figura 14

*Fuerzas actuantes en dovelas por Método de Fellenius y Bishop*



Nota. La figura muestra las diferentes fuerzas que actúan en una dovela en el método de Fellenius (izq.) y Bishop (der.), tomando en cuenta la configuración de la Figura 13. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1* (p. 154), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

*Método de Bishop Simplificado.* Bishop presentó un método de dovelas, similar al de Fellenius, pero que asume que las fuerzas entre las dovelas son horizontales (Figura 14), por lo que no toma en consideración las fuerzas cortantes al asumir que están en equilibrio y como el método de Fellenius, también considera una superficie de falla circular y es un método aproximado (González, 2004). La solución de Bishop es muy compleja por lo que se usa una versión simplificada que está dado por la siguiente expresión de la Ecuación 5.

$$F.S. = \frac{\sum \left[ \frac{C' \Delta l \cos \alpha + (W' u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + \frac{(\sin \alpha \tan \phi')}{FS}} \right]}{\sum W \sin \alpha} \quad (5)$$

Donde:

$\alpha$  = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

$W$  = Peso total de cada tajada.

$u$  = Presión de poros.

$\Delta l$  = Longitud del arco de círculo en la base de la tajada.

$C'$  y  $\phi'$  = Parámetros de resistencia del suelo.

*Método de Janbú Simplificado.* El método simplificado de Janbú es un también un método aproximado y tiene en consideración que las superficies de falla podrían no ser circulares, y desarrolla un método de dovelas en el que se centra en el equilibrio de fuerzas horizontales, dejando de lado el equilibrio de momentos propuesto por Bishop y Fellenius, este método se puede usar en diferentes configuraciones de la superficie de deslizamiento (Ortuño, 2003). En este método también considera un factor de corrección  $f_0$ , el cual dependerá de la configuración de la curvatura de la superficie de falla como se observa en la Figura 15 (Suárez, 2009).

La ecuación final (Ecuación 6) para el valor del Factor de Seguridad en este método, tomando en cuenta que satisface el equilibrio de esfuerzos quedaría de la siguiente manera (ecuación modificada):

$$F.S. = \frac{f_0 \sum [C' b + (W - ub) \tan \phi'] \frac{1}{\cos \alpha ma}}{\sum (W \tan \alpha)}$$

Donde:

$f_0$  = Factor de corrección que depende de la curvatura de la superficie de falla.

$$ma = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F.S.} \right)$$

$b$  = Ancho de la dovela

$W$  = Peso de cada dovela

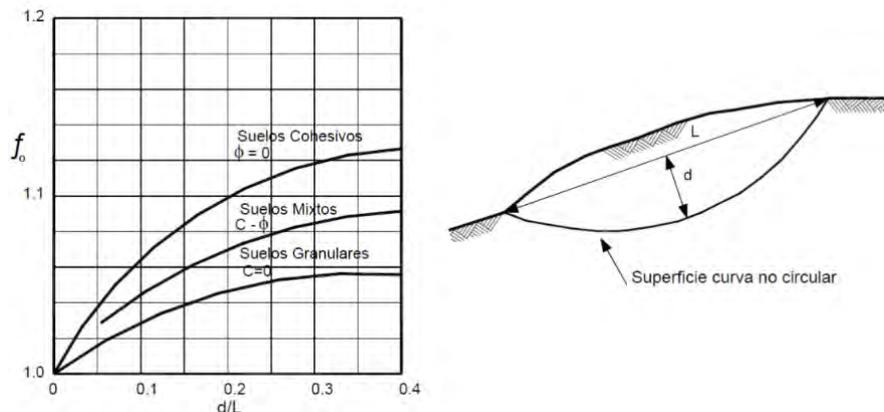
$C'$  y  $\phi'$  = Parámetros de resistencia del suelo.

$\alpha$  = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

$u$  = Presión de poros.

### Figura 15

Factor de corrección en el método de Janbu Simplificado



*Nota.* Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 1*, (p. 156), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

*Método de Spencer.* Este método satisface tanto los equilibrios de momentos como el equilibrio de momentos, por lo que se considera un método exacto o riguroso, inicialmente fue diseñado para una rotura circular pero que puede ser aplicable en otras configuraciones de superficies de falla, pero siempre que se considere un centro de rotación. Las fuerzas actuantes se pueden apreciar en la Figura 16, la cual estudia en la hipótesis de que las fuerzas entre las rebanadas son paralelas en otras palabras tienen el mismo ángulo de fricción. Spencer plantea dos ecuaciones una para el equilibrio de fuerzas y una para el equilibrio de momentos en las que expresa el cálculo del ángulo de inclinación  $\theta$  entre las dovelas y el Factor de seguridad (Suárez, 2009).

La Ecuación 7 se utiliza para hallar el ángulo de la inclinación constante  $\theta$  tenemos (Ortuño, 2003):

$$\frac{X_i}{E_i} = \tan \theta \quad (7)$$

Donde:

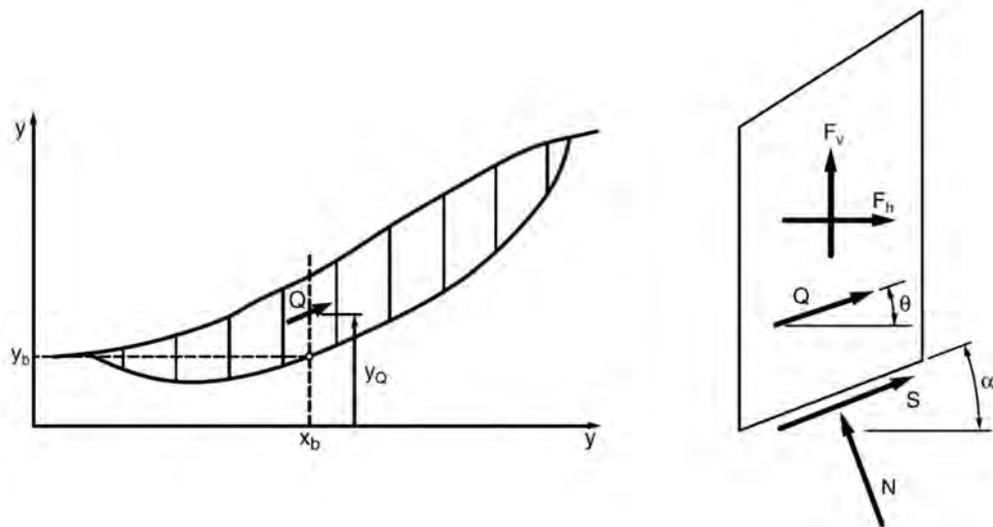
$X$  = Fuerzas verticales

$E$  = Fuerzas horizontales

Suponiendo que el ángulo  $\theta$  es constante, se pueden realizar el equilibrio de fuerzas y momentos por lo que se tendrá un F.S. para cada uno. Spencer estudio la relación entre estos dos Factores de Seguridad ( $F_f$  y  $F_m$ ), y llego a la conclusión de que el equilibrio de momentos es insensible a las fuerzas entre los elementos, coincidiendo con Bishop. Para hallar los valores de  $F$  y  $\theta$ , se usa un sistema de pruebas de ensayo y error, de forma iterativa, para finalmente, hallados estos valores, calcular las fuerzas sobre las rebanadas individualmente. Si bien las ecuaciones son extensas para hallar el Factor de Seguridad, la Ecuación 8 muestra la relación final para hallar el Factor de Seguridad. Este es un método versátil aplicable a diferentes formas de taludes y perfiles de suelos, además de aplicación fácil y la mayoría de los softwares de cálculo lo poseen (Duncan y Wright, 2005).

### Figura 16

*Superficie de Falla y Fuerzas actuantes en el método de Spencer*



*Nota.* La figura muestra la superficie de falla no circular (izq.) y las fuerzas actuantes en una dovela (der.) en el método de Spencer. Tomado de *Soil Mechanics and Slope Stability* (p. 80), por J. M Duncan y S. G. Wright, 2005, John Wiley & Sons, Inc.

$$FS = \frac{c'l + \tan \phi' \cdot \sum \left[ W \cos \alpha - \left( \frac{c'l}{FS} + (W \cos \alpha - u) \frac{\tan \phi'}{FS} - W \sin \alpha \right) \frac{1}{\tan(\alpha - \theta) + \frac{\tan \phi'}{FS}} \right] - u}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (8)$$

Donde:

$W$  = Peso de cada dovela

$C'$  y  $\phi'$  = Parámetros de resistencia del suelo.

$\alpha$  = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

$u$  = Presión de poros.

$l$  = Longitud en la base de la tajada.

*Método de Morgenstern-Price.* Al igual que el método de Spencer se puede aplicar en superficies de falla sean o no circulares, guardan parecidos sin embargo este permite especificar las fuerzas entre las dovelas. Este método asume la existencia de una función, mostrada en la Ecuación 9, que relacionan las fuerzas cortantes y normales presentes en las secciones. Esta hipótesis de pretender una función para determinar las fuerzas de las dovelas hace que este sea un método mucho más riguroso que el de Spencer (Ortuño, 2003).

$$\frac{X_i}{E_i} = \lambda \times f(x) \quad (9)$$

Donde:

$X$  = Fuerzas verticales

$E$  = Fuerzas horizontales

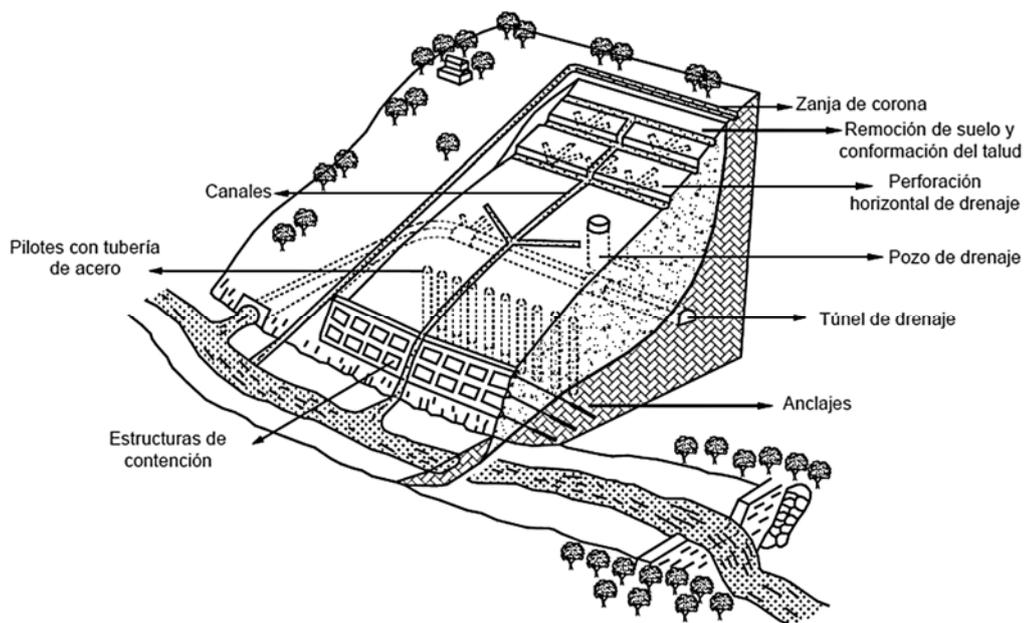
$\lambda$  = Factor de corrección

### 2.2.2.11. Elementos de Contención

En algunos casos y por diferentes necesidades o condiciones podría necesitarse de elementos de contención los cuales podrían necesitarse si bien estos elementos no requieren un espacio extra de consideración, el problema de estos suele radicar en el coste adicional que acarrea esto ya que en algunos casos son de hormigón armado a continuación se verán algunos de estos elementos y un ejemplo en la Figura 17 (Ramírez y Alejano, 2004).

**Figura 17**

*Técnicas de reforzamiento ante deslizamientos*



*Nota.* Representación de diferentes refuerzos en un talud. Tomado de *Análisis Geotécnico Volumen 2*, (p. 1), por J. Suárez, 2009, Publicaciones UIS.

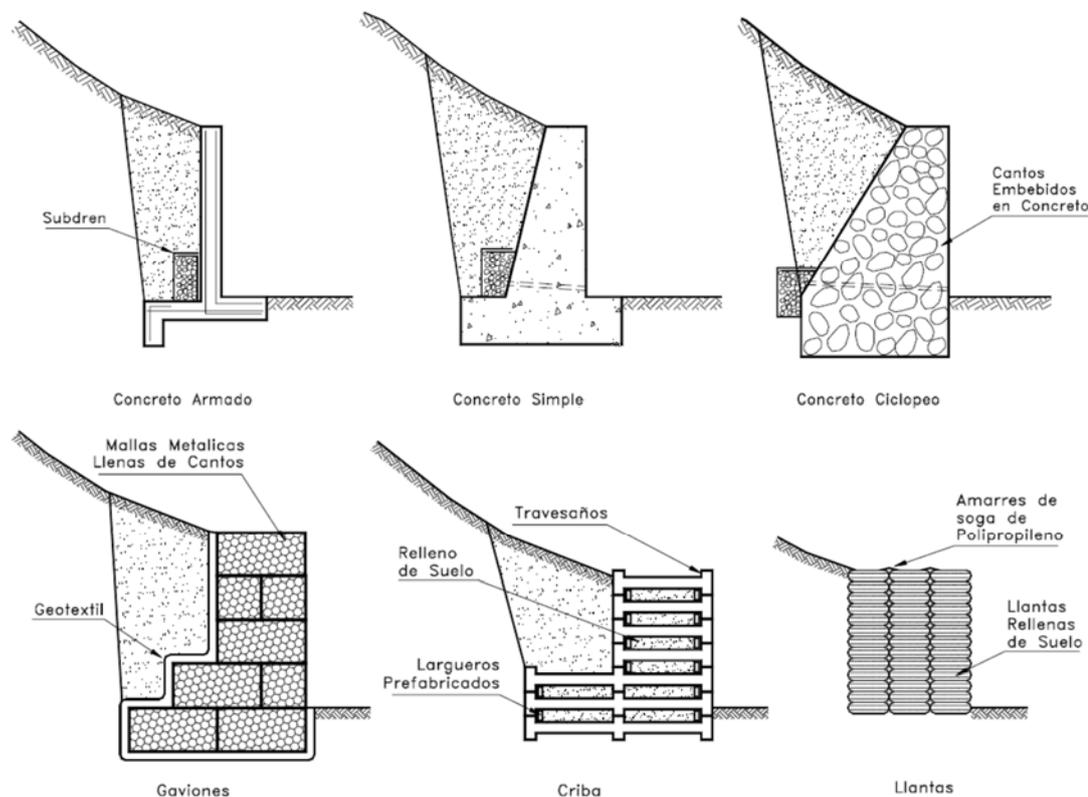
*Muros.* Los muros son estructuras resistentes utilizados para compensar empujes del terreno, actúan también como elementos de retención y protegen y pie del talud de diversos factores como alteraciones o intemperismo. Estos elementos resisten fuerzas laterales por la predisposición del suelo a moverse (Suárez, 2009). Las limitaciones de los muros están en la altura limitada, sobre todo en suelos arcillosos o con contenido de arcillas y usualmente suelen ser costosos sobre todo si la estructura es de concreto armado.

En la Figura 18 se identifican estos muros y pueden ser:

- Muros de hormigón fabricados
- Muros de hormigón prefabricados
- Muros de escollera
- Muros de gaviones
- Muros de mampostería

**Figura 18**

Esquema de muros de contención



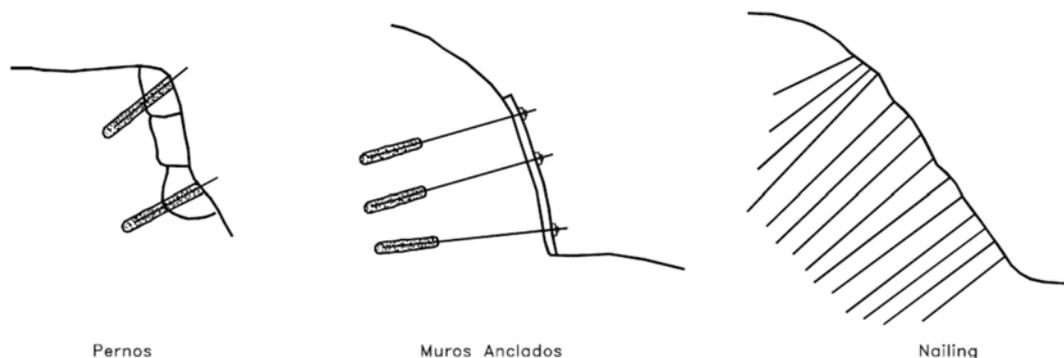
*Nota.* Representación de diferentes muros de contención usados en taludes. Tomado de *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (p. 475 - 476), L. Suárez, 1998, Publicaciones UIS.

*Refuerzos de taludes.* Estos sistemas incrementan la resistencia del suelo, pueden ser usados en taludes con alturas elevadas y en áreas pequeñas, sin embargo, se recomienda su uso en diseños conservadores y permanentes. En la Figura 29 se esquematizan teniendo como los principales:

- **Inyección:** Este procedimiento refuerza el talud inyectando una mezcla fluida que se consolida sellando las juntas, minimizando la permeabilidad y se aumenta la cohesión y fricción.
- **Cosido con micropilotes:** Se usan micropilotes para reforzar la masa potencialmente inestable al terreno firme.
- **Anclajes:** Se incluyen dos tipos de elementos que son pernos auto perforantes y cables.

### Figura 19

#### Pernos de anclaje inyectados



*Nota.* Representación de refuerzos en un talud con micropilotes. Tomado de *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (p. 477), L. Suárez, 1998, Publicaciones UIS.

#### 2.2.2.12. Análisis Sísmico

Los sucesos sísmicos producen fuerzas de considerable magnitud, ocasionando fallas instantáneas en los taludes y la reducción de la resistencia al corte del suelo. Estas dos causas producen inestabilidad el talud, es por esto por lo que se necesita analizar algunos puntos (Suarez, 2009):

- Magnitud de la fuerza sísmica.
- La reducción de la resistencia al corte.
- Reducción de la resistencia por el incremento de la presión de poros.
- El incremento de las fuerzas sísmicas debido a la existencia de suelos blandos.

*Método pseudoestático.* Este método las cargas sísmicas se realizan descomponiéndolas como cargas estáticas verticales y horizontales.

*Método del desplazamiento o de las deformaciones.* Este método se apoya en el criterio de que la aceleración límite podría ser superada por aceleraciones reales, lo que produce desplazamientos constantes (Newmark, 1965).

*Método de la estabilidad después del sismo.* Este método se calcula mediante las resistencias no drenadas en muestras de suelo, al que anteriormente se le aplicaron fuerzas cíclicas similares a la de un evento sísmico (Castro, 1985).

*Método de análisis dinámico por elementos finitos.* Este método se estudia en dos o tres dimensiones, en la que se utilizan un modelo especial, se obtienen especificaciones con relación a los esfuerzos y deformaciones permanentes (Finn, 1988).

### 2.2.2.13. Análisis Sísmico de los Taludes de Terraplén

La consideración del efecto sísmico en la estabilidad del talud del terraplén ha sido modelada utilizando el método pseudoestático. En este caso, las fuerzas inerciales de un terremoto son simuladas por la inclusión de fuerzas estáticas horizontales y verticales en un análisis de equilibrio límite. La norma E.030 de Diseño Sismorresistente (2020), estas fuerzas sísmicas son asumidas como proporcionales al peso de la masa potencialmente deslizada multiplicada por los coeficientes sísmicos ( $k_h$  y  $k_v$ ) expresados en términos de la aceleración de la gravedad. La principal dificultad para aplicar este procedimiento radica en la selección de apropiados coeficientes sísmicos y de un valor aceptable del factor de seguridad FS. Como una primera aproximación, en la Tabla 2 se presentan los valores sugeridos de los valores del FS de acuerdo con diversas normativas. Para este estudio tomaremos en consideración los valores de la norma CE.020 que son los valores más conservadores presentados.

**Tabla 2**

*Valores de Factor de Seguridad*

Normativa	Talud Temporal		Talud Permanente	
	Estático	Sísmico	Estático	Sísmico
AASHTO LRFD	1,33 - 1.53	1,10	1,33 - 1,53	1,10
NAVFAC DM7	1,30 - 1.25	1,20 - 1,15	1.50	1,20 - 1,15
FHWA - NH1 – 11 - 032	-	1,1	-	1.10
CE.020	-	-	1,50	1,25

*Nota.* La tabla muestra diferentes Factores de Seguridad de diferentes normativas.

*Coefficiente sísmico.* De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2020), el territorio nacional del Perú se considera dividida en cuatro zonas en función de su nivel de peligro sísmico. La zona de estudio de acuerdo con el Nuevo Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, según la nueva Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2020), el cual se basa en isosistas de sismos ocurridos en el territorio nacional peruano y datos de intensidades de sismos históricos y recientes.

Por lo tanto, de acuerdo con el mapa de zonas sísmicas, que el área en estudio se encuentra dentro de la zona de muy alta Sismicidad (Zona 4), como se puede observar en la Figura 20, existiendo la posibilidad de que en un futuro sucedan sismos de magnitudes de consideración como V o VI en la escala Mercalli Modificada. Las zonas en las que se divide el territorio nacional tienen diferentes factores que se interpreta como la aceleración máxima horizontal y se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad, estos factores de presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

Factores de zona (Z)

Zona	Factor Z
1	0,10
2	0,25
3	0,35
4	0,45

*Nota.* Factor de aceleración de zonas sísmicas peruanas. Tomado de *Norma E.030 Diseño Sismoresistente* (p. 13), por MVCS, 2020 Edición Digital SENSICO.

Finalmente, debido a que la zona de estudio se encuentra dentro de la zona sísmica 4, el coeficiente sísmico recomendado es de 0.45. Además, la misma normativa recomienda que la fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso igual a  $2/3 Z$ . De esta forma, los coeficientes sísmicos inicialmente empleados para el proyecto fueron:  $k_h = 0.45$  y  $k_v = 0.30$ .

Figura 20

Zonas sísmicas



*Nota.* Zonificación sísmica del territorio nacional y coeficientes de aceleración sísmica. Tomado de *Norma E.030 Diseño Sismoresistente* (p. 12), por MVCS, 2020 Edición Digital SENSICO.

### 2.2.3. Túneles

Los proyectos tuneleros nacen con la finalidad de aprovechar un espacio subterráneo con la necesidad de superar impedimentos que pueden ser macizos rocosos o suelos. En la ingeniería civil, posibilitan variadas vías de comunicación, con diferentes finalidades como pueden ser transporte, ya sea

urbano o interprovincial, trasvases y conducciones de agua o de drenaje. En el campo de energía y minas, la tunelería son de procesos de explotación de minerales y aprovechamientos hidroeléctricos (González, 2004).

### **2.2.3.1. Emboquillado o Afrontamiento de Túneles**

La fase de afrontamiento o emboquillado, es muy importante ya que se busca disminuir dos problemas que generalmente se tienen que son la estabilidad de los taludes, tema que se mencionó anteriormente, y brindar la estabilidad suficiente para los primeros metros del túnel (Cornejo, 1996). Para esto se debe tomar en consideración las condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas, por lo que para evitar problemas se recomienda el refuerzo del portal de entrada. Después de haber estabilizado el talud se comienza con la fase de reforzamiento del frente. (Ruiz, Murrieta y Poon, 2016). Para el reforzamiento se suelen utilizar 3 métodos como se puede ver en la Figura 21.

Debido a que la zona es exterior, se necesita que esté debidamente reforzado para evitar problemas que se pueden ocasionar como puede ser los deslizamientos, estos inconvenientes que complican la construcción pueden ser los siguientes (Cornejo, 1996):

- Al estar en la parte exterior del túnel, el suelo o la roca se encuentran alterados a diferencia de la existente interiormente, es por este motivo, que se necesitara un refuerzo más fuerte.
- Debido a estar próxima a la superficie, de producirse un desprendimiento que podría transmitirse a la superficie, lo que provocaría el colapso del túnel o daños en las cercanías del túnel.
- La excavación inicial del túnel podría afectar la estabilidad del talud, si ocurriera esta inestabilidad produciría desprendimientos o subsidencias dentro del interior del túnel.

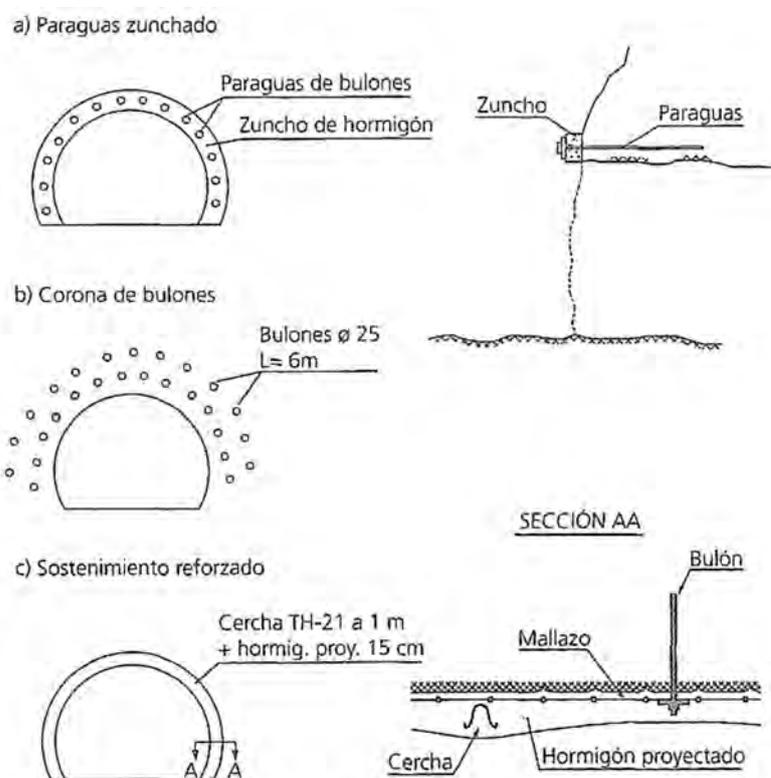
*Excavacion y sostenimiento.* La excavacion del frente siempre debe realizarse de manera conservadora ya que se tiene el efecto de triple interaccion, ademas que la parte exterior suele estar en malas condiciones debido a estar expuesto a la intemperizacion, resulta entonces conveniente iniciar excavacion de

0.50 m a 1.00 m y el sostenimiento tiene que considerar elementos pesados para evitar deformaciones y capas de shotcrete lanzado hasta de 0.20 cm (MTC, 2016)

*Paraguas en el portal.* La instalacion de paraguas previene la posibilidad de caida de material por lo que es obligatorio su instalaci3n. Este metodo es de mucha ayuda si la roca podria encontrarse alterada o despu3s de haber realizado una voladura, sobre todo si se instala un zuncho de concreto que puede permitir que los paraguas puedan ir tensados (Cornejo, 1996).

**Figura 21**

*Medidas especiales de sostenimientos en portal de entrada*



*Nota.* Representaci3n de reforzamientos de portal. Tomado de *Manual de T3neles Interurbanos de Carreteras* (p. 153), L. Cornejo, (1996).

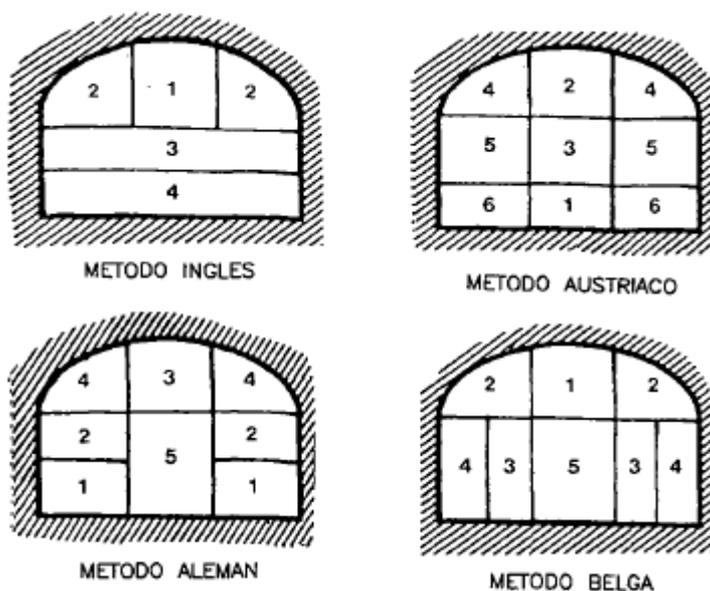
*Corona de paraguas.* Este reforzamiento suele estabilizar la parte cercana al talud, en la que se emplea mas de dos filas de paraguas las cuales ejercen una especie de efecto de cosido en el frente (Cornejo, 2016).

### 2.2.3.2. Método de Excavaciones

En los casos de excavación en suelo, a excepción de roca dura, se tienen dos problemas fundamentales es el soporte de los hastiales la corona y el frente de trabajo durante la operación de excavación y recubrimiento. El segundo problema es de poder llevar a cabo mas de una operación a la vez como las que pueden ser perforación excavación, entibiación y la extracción de ser un túnel con fines de explotación y finalmente el revestimiento final (López et al.,1997). En la Figura 22 se aprecia la secuencia de excavación de diferentes metodos.

**Figura 22**

*Secuencia de excavación de túneles*



*Nota.* Representación de la secuencia de excavación de los diferentes métodos. Tomado de *Manual de Túneles y obras Subterráneas* (p. 60), C. López et al., (1996).

### 2.2.3.3. Elementos de Sostenimiento

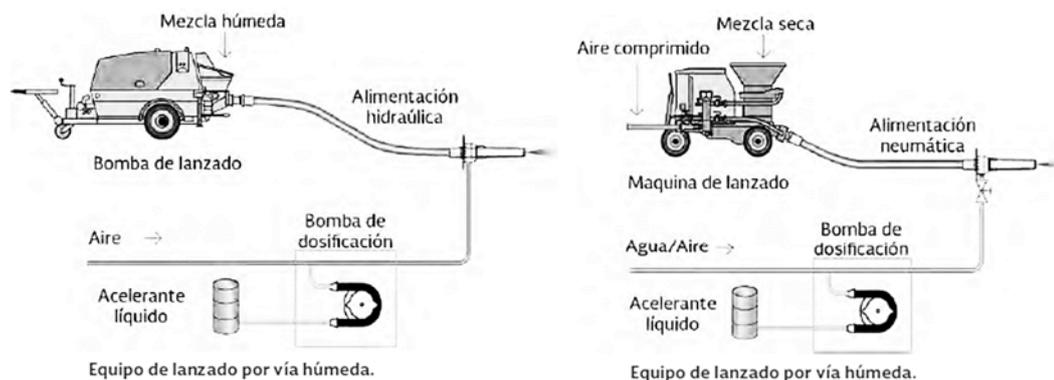
La función principal del sostenimiento es la de lograr la estabilización del túnel, pero también cumple otras disposiciones (González, 2004): Prevenir que el suelo pierda sus propiedades resistentes, prevenir el deslizamientos de material suelto del terreno durante la excavación, impedir las deformaciones en la sección

del tunel, controlar las posibles filtraciones, protegiendo el tunel y la de brindar seguridad a tranajadores equipos e instalaciones.

*Hormigón proyectado.* El hormigón proyectado, también conocido como concreto lanzado o *shotcrete*, es aquel que se proyecta a una superficie mediante un sistema de lanzado. Los elementos de este hormigón son cemento agregados y agua, similares al de un concreto común, pero este se diferecia del convencional por tener agregados de menos tamaño y llevar un aditivo acelerante para mejorar en gran medida su adherencia a la superficie que se desea sostener. Existen dos tipos, según su puesta en obra, un hormigón proyectado por vía seca, el cual proyecta los componentes del hormigón por separado logrando la cohesión en el momento del impacto en la superficie. El segundo tipo es por vía húmeda en el cual todos los componentes son mezclados y son proyectados una vez mezclados a la superficie (Cornejo, 2016). Estos tipos se muestran en la Figura 23.

**Figura 23**

*Equipos de lanzado vía húmeda y seca*



*Nota.* Esquema de los tipos de hormigón su puesta en obra. Tomado de *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carretera, Capítulo 8* (p. 16), G. Ruiz, R. Murrieta y C. Poon, (2016).

*Malla electrosoldada.* Esta es un refuerzo del hormigón proyectado en la que consiste en una parrilla de con barras unidas mediante electrosoldadura y usualmente tienen diámetros de entre 4 a 6 mm y separaciones de 10 a 20 cm y posee una gran adaptabilidad a la geometría de la sección del tunel (Cornejo, 2016).

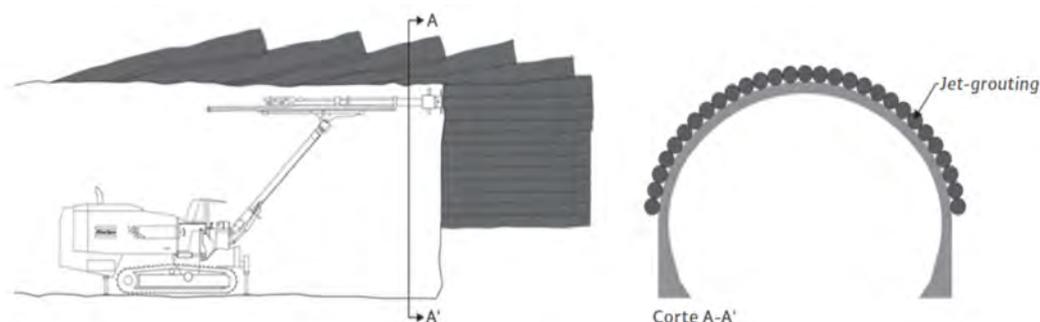
*Fibra.* La adición de fibra se realiza con la finalidad de aumentar sus propiedades mecánicas, produciendo una disminución en su fragilidad y un aumento considerable a la resistencia a la tracción, al impacto, la flexotracción y extensa en gran medida su durabilidad. Estas fibras pueden ser de fibra de vidrio, polipropileno, polietileno y hasta de nylon, pero el de uno más extendido son las metálicas (López et al., 1997).

*Paraguas.* Los paraguas son un sistema de refuerzo previo, que se direcciona paralelamente al túnel y que se perforan por encima de la excavación del túnel. Este previene problemas como el deslizamiento de material en el área de excavación (MTC, 2016).

*Paraguas ligeros.* Estas perforaciones generalmente son inyectadas formando una especie de bóveda por material resistente y pueden estar constituidos por elementos ligeros (pernos redondos) de 25 mm a 32 mm de diámetro de entre 6 m y 9 m de longitud y se rellena mediante inyecciones de lechada de cemento unidos por coplas. Estos paraguas inyectados con lechada son muy usados cuando el material del túnel presenta baja o nula cohesión o se tenga la presencia de toca alterada, el cual forma una especie de suelo cemento el cual mejora las características naturales del material del túnel (Ruíz, Murrieta y Poon, 2016). La figura 24 esquematiza este tipo de paraguas.

## Figura 24

*Esquema de pernos inyectados*

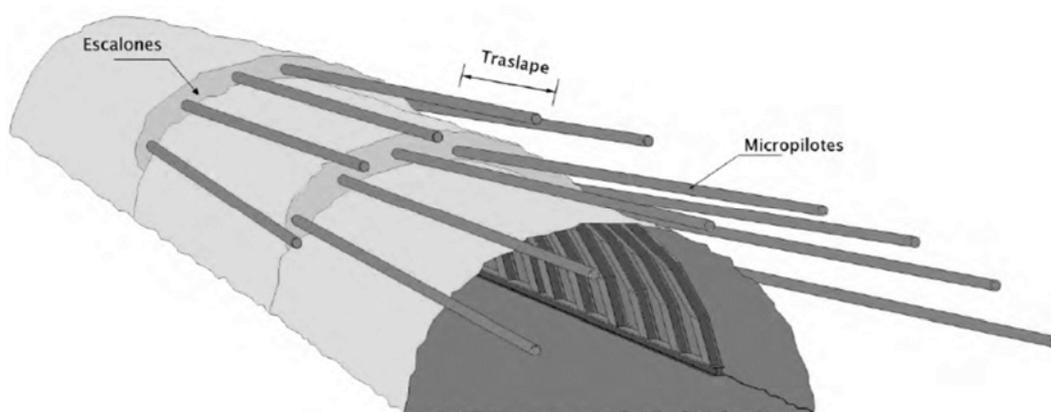


*Nota.* Presenta el sistema de paraguas con pernos inyectados. Tomado de *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carretera, Capítulo 8* (p. 50), G. Ruiz, R. Murrieta y C. Poon, (2016).

*Paraguas pesados.* Generalmente son usados cuando el material de excavación es bastante malo ya sea en rocas o suelos y si el área de excavación es grande y si el frente de excavación se encuentra inestable. Este tipo de paraguas está constituido por micropilotes con diámetro de 50 mm a 140 mm y con espesores de entre 3 mm y 8 mm, teniendo una longitud variable de 10 m a 20 m (Ruíz, Murrieta y Poon, 2016). La Figura 25 muestra este tipo de paraguas.

### Figura 25

Esquema de sistema de paraguas de micropilotes

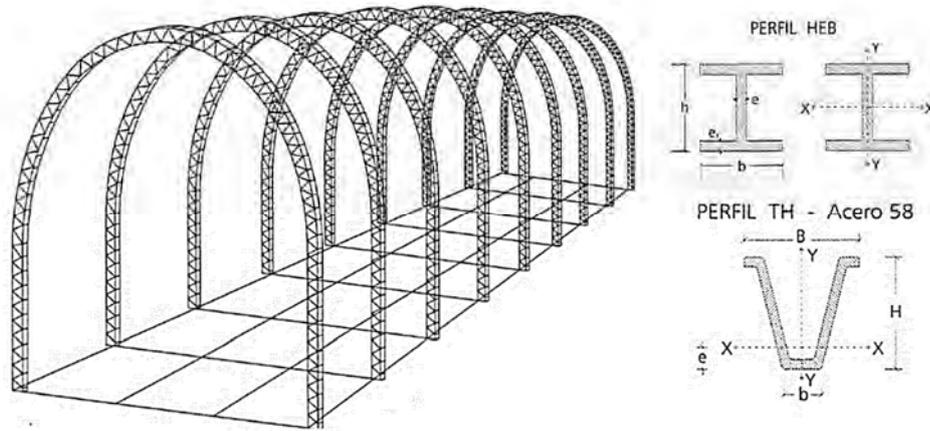


*Nota.* Presenta el sistema de paraguas con pernos inyectados. Tomado de *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carretera, Capítulo 8* (p. 45), G. Ruiz, R. Murrieta y C. Poon, (2016).

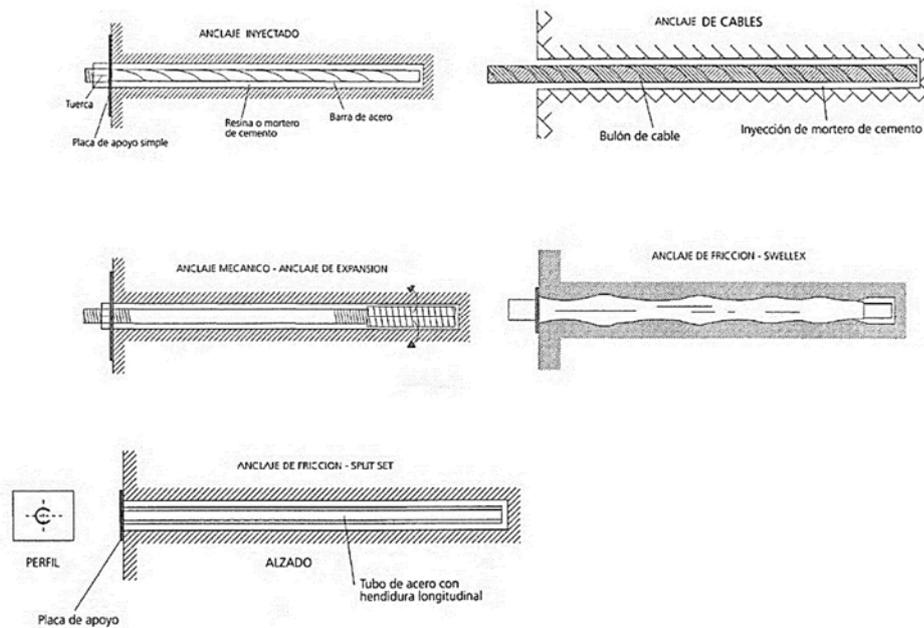
*Cerchas.* Son elementos constituidos por aceros de refuerzo y son instalados a lo largo de la longitud del túnel unidos por barras de acero como unión y que, dependiendo del área del túnel, podría consistir en tres piezas. Se encuentran tres tipos: perfil TH (perfiles omega), perfiles HEB (perfiles tipo H) y marcos reticulados (Cornejo, 2016). La configuración se aprecia en la Figura 26.

*Anclajes.* El anclaje es un elemento lineal el cual sirve de refuerzo mediante la perforación de un taladro en la pared de la roca, adhiriéndose mediante sustancias (resinas o lechada) o mecánicamente (López et al., 1997). Los tipos de anclajes se presentan en la Figura 27.

*Anclajes por adherencia.* Son anclajes en las que se rellena con una sustancia, que, al fraguarse, asegura la adherencia de este. Estos pueden ser inyectados con mortero, resina epoxi o lechada (López et al., 1997).

**Figura 26***Tipos de cerchas de sostenimiento*

*Nota.* La imagen presenta diferentes tipos de cercha. Tomado de *Manual de Túneles Interurbanos de Carreteras* (p. 121), L. Cornejo, (1996).

**Figura 27***Tipos de anclaje*

*Nota.* La imagen presenta diferentes tipos de anclajes. Tomado de *Manual de Túneles Interurbanos de Carreteras* (p. 116 -118), L. Cornejo, (1996).

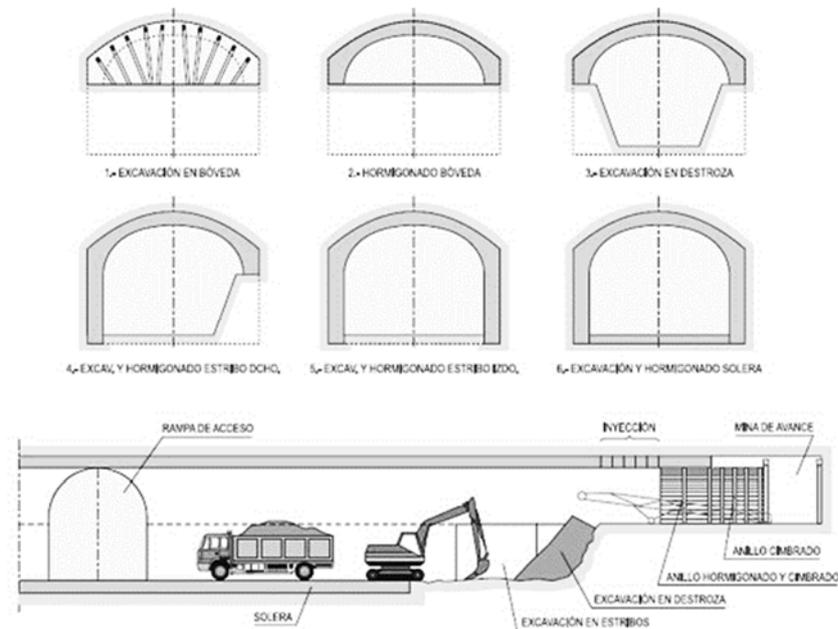
*Anclajes por fricción.* Estos anclajes, también conocidos por fijación mecánica, tienen dos clases. El primero se conoce como pasivo, en la que se utiliza baja presión de contacto (López et al., 1997) y se fijan mediante expansión hidráulica y pueden ser de tipo Swellex o Split-Set (Ruíz, Murrieta y Poon, 2016).

El segundo tipo es el anclaje activo y son los más usados, conformados por una cabeza expansiva, una placa y tornillos. El uso de este se recomienda cuando se encuentre macizo rocoso duro y su uso se es más usual en minería que en obras civiles (López et al., 1997).

#### **2.2.3.4. Métodos Constructivos**

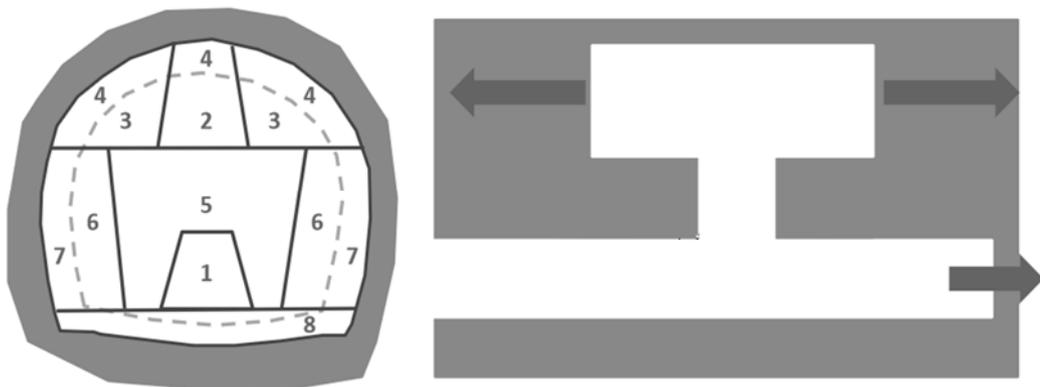
*Método Tradicional.* Este método no mecanizado, en la que el avance podría llegar a los 2.50 m. Inicia con la excavación de una galería la cual no debe tener más de 1.00 m de ancho, para luego comenzar la excavación en los lados del túnel, para esto se usan elementos de sostenimiento de metal (longitudinalmente) y madera. Una vez terminado se procede al encofrado y posterior al lanzamiento de shotcrete definitivo en la bóveda dando el soporte necesario instantáneamente. Una vez terminado el lanzamiento de shotcrete en la bóveda comienza la segunda fase, que es la excava de la destroza y los hastiales, lanzando shotcrete definitivo, para finalmente, para excavar la solera y hormigonarla (González, 2004). En la Figura 28 se muestra el procedimiento de este método.

*Nuevo Método Austriaco.* Este método trata de usar la capacidad del terreno de tomar las fuerzas que se producen durante la excavación y sigue dos partes avance y destroza. En el avance, la sección empieza a aproximadamente un metro de altura de los hastiales excavándolo mediante equipos mecánicos (maquinaria pesada) pudiendo avanzar hasta 2 metros, dependiendo las condiciones de terreno. Luego se colocan los perfiles omegas (cerchas tipo TH) a 0.50 m las que se unen con tresillones, para luego lanzar una capa de hormigón lanzado de entre 15 cm y 20 cm. Posteriormente se lanza una capa de hormigón lanzado definitivo con un desfase de revestimiento final y sostenimiento de 18 m aproximadamente, por si hubiera trabajos para la mejora o consolidación del terreno. La segunda parte es la destroza la cual se realiza de la misma manera del modo tradicional, siguiendo por cada hastial y terminando con la solera (López et al., 1997). La esquematización de este método se presenta en la Figura 29.

**Figura 28***Método tradicional*

*Nota.* La imagen presenta la secuencia del método tradicional.

Tomado de *Ingeniería Geológica* (p. 531), L. González, (2004).

**Figura 29***Excavación del nuevo método austriaco*

*Nota.* La imagen presenta la secuencia de excavación del nuevo método austriaco. Tomado de *Diseño y Ejecución de Obras* (p. 23), R. Pérez, (2016).

## **2.3. Definición de Términos**

### **2.3.1. Talud**

Se podría tener como concepto de talud a una superficie inclinada con respecto de la horizontal la cual adoptara esta forma de manera permanente (Juárez, 2011).

### **2.3.2. Estabilidad**

Se define como la seguridad de una masa de material contra la falla o movimiento, dado este concepto el motivo del estudio de estabilidad de taludes tiene como finalidad el encontrar cual será la inclinación apropiada del corte para que se sostenga en un periodo de tiempo, conservando su morfología. (De Matteis, 2003)

### **2.3.3. Deslizamiento**

Definición general y comúnmente usada para los movimientos en los taludes a través de una superficie de rotura definida. (Gavilanes, 2012).

### **2.3.4. Factor de Seguridad**

Denominación a la relación entre fuerzas/momentos resistentes y fuerzas/momentos desequilibrantes y que es igual para todos los puntos de la superficie de falla, por lo que se representa como un promedio (Suarez, 2012).

### **2.3.5. Superficie de Falla**

Se refiere a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o rotura del talud (Suarez 2012).

### **2.3.6. Mecánica de Suelos**

Rama de la mecánica que estudia la acción de las fuerzas aplicadas sobre una masa de suelo, que se entiende, es un elemento que proviene de la descomposición o alteración física o química de las rocas (Crespo, 2004).

### **2.3.7. Configuración Geométrica**

Configuración de la forma del terraplén, en la que interviene el ángulo del talud y la altura de terraplén (Garnica y Ramírez, 2014).

### **2.3.8. Angulo de Talud**

Inclinación del talud con respecto a la horizontal (Garnica y Ramírez, 2014).

### **2.3.9. Capacidad de Carga**

Carga que puede soportar un suelo inmediatamente antes de que se produzca la falla (Juárez y Rico, 1992).

### **2.3.10. Túnel**

Se define como un paso subterráneo abierto de manera artificial para la comunicación a través de un obstáculo (López et al., 1997)

### **2.3.11. Sostenimiento**

Elementos estructurales para la fijación del suelo o roca, después del proceso de excavación, para la estabilidad (González, 2004).

### **2.3.12. Tresillones**

Piezas en forma de U, para separar elementos de sostenimiento, cerchas (MTC, 2016)

### **2.3.13. Revestimiento**

Es la capa final de shotcrete que se lanza posterior al sostenimiento lo que aumenta mucho más la resistencia y da el acabado final del túnel (González, 2004).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y Nivel de la Investigación

#### 3.1.1. Tipo de Estudio

El tipo de estudio que se llevará a cabo será aplicado ya que lo que se quiere realizar una inspección detallada sobre las propiedades del suelo y a la vez poder interpretarlos para realizar un análisis que satisfaga los requerimientos necesarios de la investigación.

#### 3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación será evaluativo ya que buscara establecer los valores de los factores para el análisis de estabilidad de taludes del terraplén que servirán para mejorar la construcción posterior del túnel.

### 3.2. Población y/o Muestra de Estudio

Se entiende como muestra es una parte representativa de una población la cual se ha cuantificado (Tamayo y Tamayo, 2003). En este estudio la población se definiría como el terraplén de la zona de estudio y las muestras los taludes que serán objeto de análisis. El talud aguas arriba se visualiza en las Figuras 30 y el talud aguas abajo en la Figura 31.

**Figura 30**

*Talud aguas abajo*



Nota. La vista corresponde a una vista panorámica del talud aguas arriba.

**Figura 31***Talud aguas arriba*

*Nota. La vista corresponde a una vista panorámica del talud aguas arriba.*

### 3.3. Operacionalización de Variables

La operacionalización de las variables se puede entender como el análisis de esta, en indicadores que son prácticos, que se pueden verificar y medir (Hernández, 2014). Esta operacionalización de la variable dependiente e independiente se aprecia en la Tabla 4 y se profundiza en la Matriz de Consistencia mostrada en el Anexo 1.

**Tabla 4***Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
X 1: Estabilidad de taludes	Se define como la seguridad de una masa de material contra la falla o movimiento	Estable Inestable	Caracterización de suelo Configuración geométrica Superficie de falla Factor de seguridad
Y 1: Mejoramiento del terraplén para la construcción del túnel de drenaje	Se define como el establecimiento de condiciones favorables para el desarrollo constructivo de túneles	Buena Regular Mala	Proceso constructivo Deslizamientos Afrontamiento

### **3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

#### **3.4.1. Técnica de Recolección de Datos**

Para este estudio se desarrollará la técnica de entrevistas, ya que esta herramienta permite recoger datos cualitativos, en esta se busca recoger información que puedan servir para el desarrollo de esta investigación, ya que esta técnica es empleada cuando el problema de estudio no puede observarse debido a diferentes factores (Hernández, 2014). Los datos que se buscarán conocer serán enfocados a la problemática planteada respecto a la evaluación de la estabilidad de taludes y de las condiciones necesarias para la realizar un proyecto de tunelería. Los entrevistados serán profesionales que han estado involucrados en proyectos de construcción de túneles y trabajos en taludes. En el Anexo 4 se detallan las entrevistas realizadas.

#### **3.4.2. Instrumento para la Recolección de Datos**

El instrumento que usaremos será una guía de entrevista cualitativa semiestructurada e las que el entrevistado tendrá la libertad de introducir preguntas adicionales para especificar conceptos ideas con el fin de recabar más información factores (Hernández, 2014). La guía de entrevistas será enfocada en los problemas planteados y en los indicadores de cada una de las variables. La guía de entrevista semiestructurada se presenta en el Anexo 3.

### **3.5. Procesamiento y Análisis de Datos**

#### **3.5.1. Estudio Topográfico**

Para el estudio topográfico se realizó un levantamiento con estación total el cual se procederá posteriormente se procesarán los datos recogidos en campo con el Programa AutoCAD Civil 3D, con lo que tendremos la caracterización topográfica de la zona de estudio, así como el perfil longitudinal del terraplén.

#### **3.5.2. Estudio Geofísico**

##### **3.5.2.1. Análisis Sísmico MASW 2D**

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un método indirecto, que se utiliza para estimar la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ), vinculado al mismo módulo de corte ( $G$ ). Este método analiza las características

de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, que se transmiten lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores, planteado por Park en 1999. Aplicando esta metodología a lo largo de una sección obtenemos una sección de la Onda S. En la Tabla 5 se describe la ubicación de las líneas instaladas en el área de estudio.

**Tabla 5**

*Coordenadas de las líneas sísmicas MASW 2D en la zona evaluada*

Línea	Coordenadas UTM (WGS 84 Zona 19S)		Elevación	Estación	Punto
	ESTE	NORTE			
LS-02	323363,86	8092644,99	2868,26	0	Inicio
	323328,41	8092691,39	2866,98	57,5	Fin
LS-A	323362,16	8092688,11	2856,55	0	Inicio
	323319,12	8092657,93	2851,51	62,5	Fin
LS-B	323363,84	8092685,71	2856,68	0	Inicio
	323329,28	8092660,95	2857,43	50	Fin

### 3.5.2.2. Trabajo de Campo MASW 2D

El trabajo de campo comprende tres etapas principales para realizar los registros sísmicos de MASW 2D. A continuación, se detalla los procedimientos efectuados en campo dado por una secuencia:

- Reconocimiento de la zona de estudio.
- Instalación de equipos, cables y geófonos a cada 2,50 m.
- Instalación de los cables sísmicos tendidos con los geófonos.
- Instalación del sismógrafo y sus accesorios al cable sísmico.
- Toma de datos y registro.

Los equipos utilizados en el estudio de fueron los siguientes:

- 1 sismógrafo de marca Geometrics, modelo Geode.
- 01 cable sísmico de 24 canales

- 24 geófonos de 4,5 Hz
- Cable de contacto de Comba (Hammer Switch Cable)
- Una comba de 20 Lb.
- Plátano de contacto de Comba
- Baterías de 12 V
- Computadora personal con software de adquisición SGOS
- Accesorios

La unidad de registro es controlada a través de una computadora portátil usando el software SGOS, el cual incluye rutinas de lecturas interactivas de los primeros arribos de las ondas refractadas, estas lecturas nos permiten sumar datos de múltiples impactos, permitiendo mejorar la señal sísmica/ruido. En la Tabla 6 se muestran los parámetros con los que se realizó el estudio.

**Tabla 6**

*Parámetros del estudio MASW 2D*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Configuración de dispositivo	Lineal
Mediciones	t, Tiempo de Arribo de S
Arreglo de geófonos	24 unidades
Intervalo entre geófonos	2,5 m.
Tipos de geófono	4,5 Hz vertical,
Ganancia de Pre-amplificación	36 Db.
Filtros	No se utilizó
Intervalo de muestreo	0,5 milisegundos
Fuente de Tiro	Golpe de martillo

La unidad de registro es controlada a través de una computadora portátil usando el software SGOS, el cual incluye rutinas de lecturas interactivas de los primeros arribos de las ondas refractadas, estas lecturas nos permiten sumar

datos de múltiples impactos, permitiendo mejorar la señal sísmica/ruido. En la Figura 32 se muestra una de las líneas instaladas y los golpes con comba.

### Figura 32

*Ensayo MASW 2D*



*Nota.* Las figuras corresponden a la ubicación de las líneas eléctricas (izq.) y el momento de la realización de los golpes con comba en el platillo de contacto (der.).

#### **3.5.2.3. Análisis Tomografía Eléctrica**

Este estudio es otro método eléctrico y que estudia el comportamiento de la resistividad del suelo y poder determinar las secciones resistividad ya que recoge datos a lo largo de la ubicación de las líneas. La ubicación de las líneas se describe en la Tabla 7.

#### **3.5.2.4. Trabajo de Campo Tomografía Eléctrica**

Se utilizaron los siguientes equipos (Figura 33):

- Equipo RX GDD 10 Canales con programación de 20 ventanas en modo user.
- Transmisor TX Innova Electronics de 250 Watts de potencia.

Los trabajos de campo se realizaron por etapas recabar los registros eléctricos, a continuación, se precisa los pasos a seguir para la toma de datos:

- Reconocimiento de la zona de estudio.
- Instalación de equipos y cables.

- Instalación del clavado de los electrodos, colocando electrodos (Varillas de acero) a cada 5 metros.
- Conexión de los terminales del cable de recepción a cada electrodo en intervalos de 5 metros dependiendo de la línea.
- Toma de datos de la resistividad a través de un equipo transmisor de corriente.
- A través del equipo GDD modelo RX 8 - 32 de 10 canales en conjunto con el PDA (computador portátil), recibirán las lecturas registradas en el equipo eléctrico.
- El levantamiento se realizó empleando el siguiente equipo:
  - Un equipo transmisor Innova Electronics de 250 Watts.
  - Un receptor marca GDD modelo RX 8 - 32 de 10 canales con baterías internas.
  - 24 electrodos de metal.
  - Cables de corriente de 100 m y potencial de 120.

**Tabla 7**

*Ubicación y coordenadas de las líneas de tomografía eléctrica*

Línea	Estación	Coordenadas UTM (WGS 84 Zona 19S)		Elevación	Punto
		Este	Norte		
LT-01	0	323327,07	8092702,84	2866,75	Inicio
	70	323370,28	8092647,79	2868,56	Fin
LT-02	-10	323363,86	8092644,99	2868,26	Inicio
	160	323326,35	8092694,09	2866,98	Fin
LT-A	230	323362,16	8092688,11	2856,55	Inicio
	-10	323320,76	8092658,90	2853,12	Fin
LT-B	230	323363,84	8092685,71	2856,68	Inicio
	-10	323329,28	8092660,95	2857,43	Fin

Los parámetros utilizados en el levantamiento se detallan en la Tabla 9, el modo del levantamiento fue de manera Lineal en 2D. Para la medición se transmitió corriente por 2 segundos para luego cortarlas por otras 2 y así invertir polaridades de la corriente y así poder detectar los cambios. Estos parámetros se describen en la Tabla 8.

### Figura 33

*Equipos para tomografía eléctrica utilizados en campo*



*Nota.* Se aprecia el equipo RX GDD 10 canales (der.) y el transmisor

### Tabla 8

*Parámetros del estudio tomografía eléctrica*

Parámetros	Descripción
Mediciones	Dominio de Tiempo
Intervalo entre las líneas	No hay
Configuración de electrodos	Polo – Dipolo
Extensión del dipolo	5 m
Profundidad nominal	20 metros
Factor de separación (n)	Lecturas de n1 a n20
Ventanas de medición	20 ventanas de 80 milisegundos
Tiempo de Retraso	240 ms

### 3.5.3. Exploración de Campo para Estudio de Mecánica de Suelos

#### 3.5.3.1. Pozos o Calicatas

Para evaluar sus características geotécnicas del suelo que conforma el terraplén y las zonas cercanas a esta, se realizaron sondajes de exploración de tipo abierto, es decir calicatas someras desde el nivel del terreno natural hasta una profundidad donde se detecte una posible presencia de roca, según lo estipulado por Norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Para esta parte de la investigación, se tomó como base la inspección geológica inicial y se realizaron cuatro excavaciones mediante el procedimiento estipulado en la NTP 339.162 (ASTM D 420), su disposición se aprecia en la Figura 34 y en la Tabla 10 se muestra la ubicación, las 4 calicatas se excavaron a nivel del suelo natural hasta una profundidad aproximada de 2.00 m.

**Tabla 9**

*Ubicación de calicatas*

<b>Coordenadas</b>	<b>N° Calicata</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Dimensiones</b>
E: 323306 N: 8092661	C-1	2.00	1,2 m x 1,50 m
E: 323343 N: 8092661	C-2	2.00	1,2 m x 1,50 m
E: 323373 N: 8092725	C-3	2.00	1,2 m x 1,50 m
E: 323275 N: 8092621	C-4	1.80	1,2 m x 1,50 m

Así mismo, las muestras para ensayos de laboratorio se tomaron sin ningún tipo de alteración según nos indica la NTP 339.151 (ASTM D 4220), de la misma manera el transporte de estas muestras, también estipuladas en la misma NTP.

Finalmente, para la caracterización del suelo se registró todas las particularidades y características de los estratos presentes como el espesor, color, presencia de humedad, etc.

**Figura 34***Ubicación de calicatas*

*Nota.* Se muestra la ubicación de las calicatas y los ensayos de Densidad In Situ en la zona de estudio

### **3.5.3.2. Sondeos Profundos**

Según la Norma E.050 en lo que concierne a perforaciones mecánicas, recomienda que la profundidad es 10 m si se realizara perforación manual y sin límite de profundidad para perforaciones mecánicas.

Los sondajes fueron realizados para conocer la característica geológica-geotécnica en el terraplén, así como los materiales que lo conforman. Los resultados litológicos y estratigráficos se presentarán más adelante, así como las fotos de los testigos recuperados. Los trabajos fueron realizados por 1 equipo de perforación diamantina.

Se han realizado 3 perforaciones diamantinas (Figura 35), ubicadas sobre el terraplén que da soporte a la línea de ferrocarril, este terraplén tiene una alcantarilla con dirección NE-SW. Los detalles generales de los mismos se muestran en la Tabla 11.

**Figura 35***Ubicación de sondajes***Tabla 10***Ubicación de los sondajes*

Sondeo	Coordenadas		Profundidad de Perforación (m)		Ubicación
	X	Y	Proyectado	Ejecutado	
S-01	323338	8092658	30,000	19,600	Terraplén
S-02	323326	8092674	30,000	30,050	Terraplén
S-03	323313	8092686	30,000	30,300	Terraplén

### 3.5.3.3. Ensayos para la Caracterización de Suelos

Para la caracterización, tomaremos en cuenta lo propuesto por Manual de Carreteras Sección de Geología y Geotécnica (2012), el cual propone lo siguiente:

*Muestreo.* Para el muestreo del suelo de la zona se estudió, se tomó en cuenta los siguientes apartados: descripción e identificación de suelos, procedimiento visual NTP 339.150 (ASTM D 2488), calicatas y trincheras NTP

339.162 (ASTM D 420) y practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos NTP 339.151 (ASTM D 4220)

*Ensayos In Situ.* Solo se realizará el ensayo de Densidad In Situ NTP 339.143 (ASTM D 1556).

*Ensayos de Laboratorio.* Los ensayos realizados fueron: ensayo de clasificación NTP 339.134 (ASTM D 2487), granulometría por tamizado NTP 339.128 (ASTM D 422), límites de Atterberg NTP 339.129 (ASTM D 4318), contenido de humedad NTP 339.127 (ASTM D 2216), gravedad específica NTP 339.131 (ASTM D 854), determinación cuantitativa de sulfatos en suelos NTP 339.178, contenido de material orgánico MTC E 118 y ensayo de permeabilidad NTP 339.147

*Ensayo de Resistencia.* Se realizará el ensayo de corte directo NTP 339.171 (ASTM D 3080).

*Ensayos de Refracción Sísmica.* Método de Refracción Sísmica en la investigación del subsuelo NTP 339.157 (ASTM D-5777)

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Estudio Geofísico

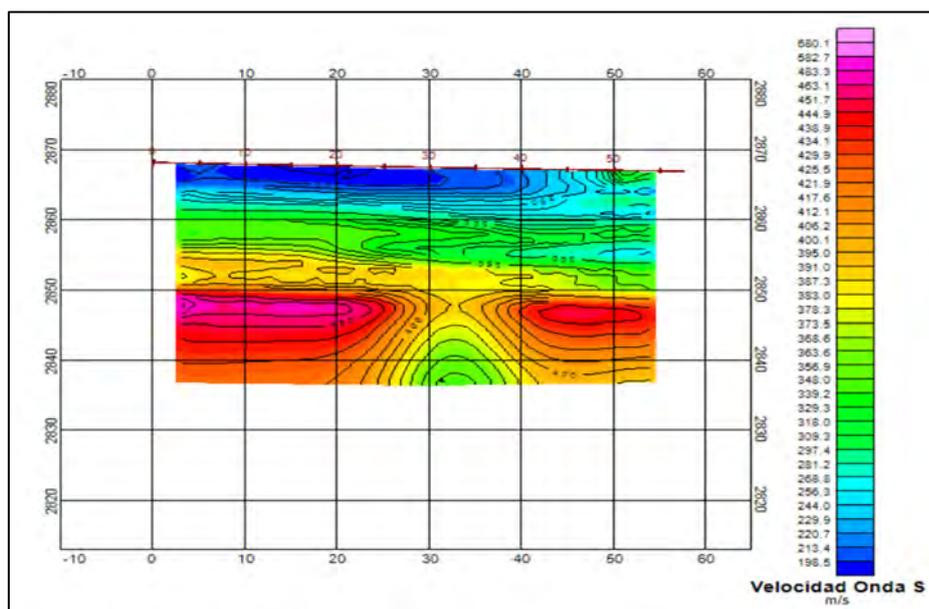
#### 4.1.1. Resultados del Estudio Geofísico

##### 4.1.1.1. MASW 2D

La línea sísmica LS-02, que se muestra en la Figura 36, se encuentra ubicado longitudinalmente al terraplén y en esta se presentan valores bajos de velocidad a mayor profundidad, como se observa en la parte más profunda entre los 2837 a 2850 msnm el cual tiene un promedio de  $V_s=340$  m/s, esta zona está inmersa con velocidades mayores a  $V_s=400$  m/s, esto significaría la presencia de zonas de material heterogéneo o roca fracturada en mayor o menor nivel, lo cual genera esta variación en las densidades. Cabe agregar, que se encuentra una zona en la que podría tener presencia de vacíos entre los niveles entre 2855 a 2866 msnm donde existen zonas de densidades bajas, en el resto de la sección, se presentan zonas de baja densidad en la zona superficial, las cuales se incrementa a medida que se va profundizando.

**Figura 36**

*Línea sísmica LS-02*

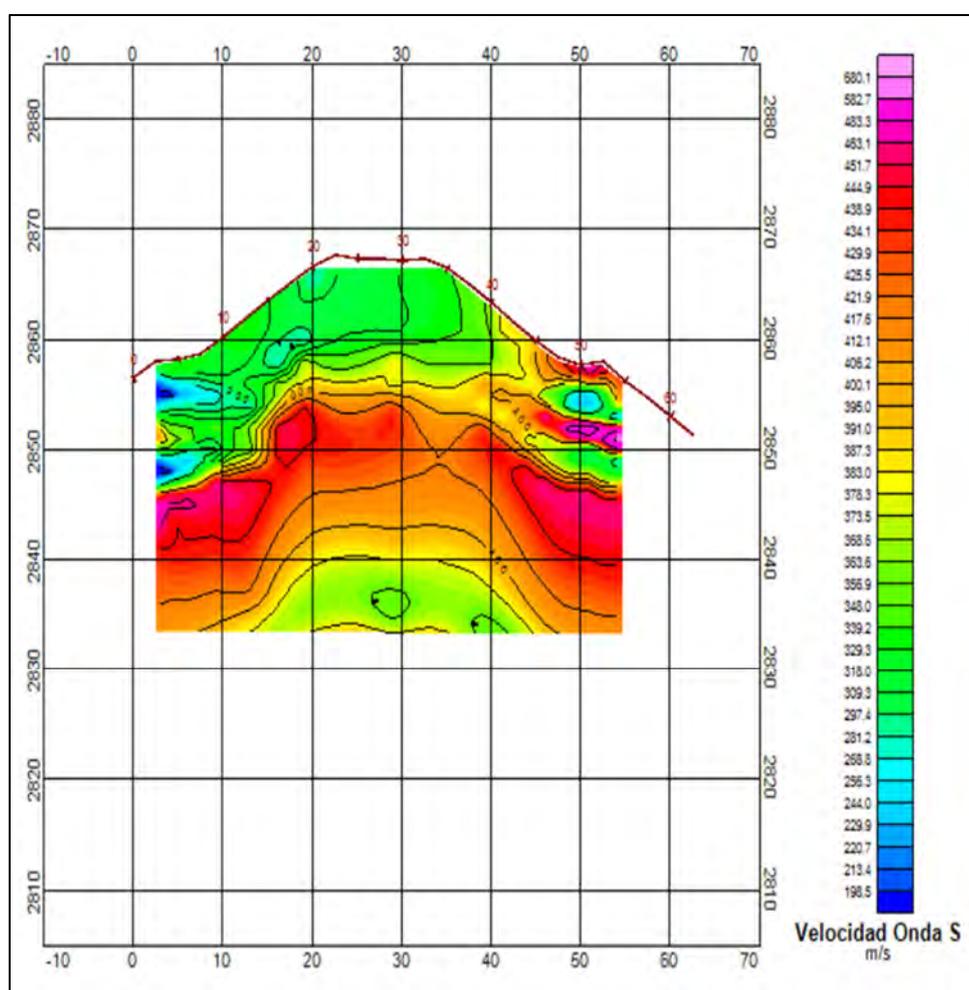


*Nota.* Resultados de la línea LS-02.

La línea sísmica LS-A, Figura 40, se encuentra ubicado transversalmente al terraplén y donde se realizará el túnel proyectado, en esta se observan zonas de baja densidad a los extremos debajo de los taludes, en la parte más profunda se tiene una zona de menor densidad por debajo de una zona de mayor densidad lo cual refiere a un cambio en el grado de compactación de los materiales, debido a algún tipo de alteración.

**Figura 37**

*Línea sísmica LS-A*



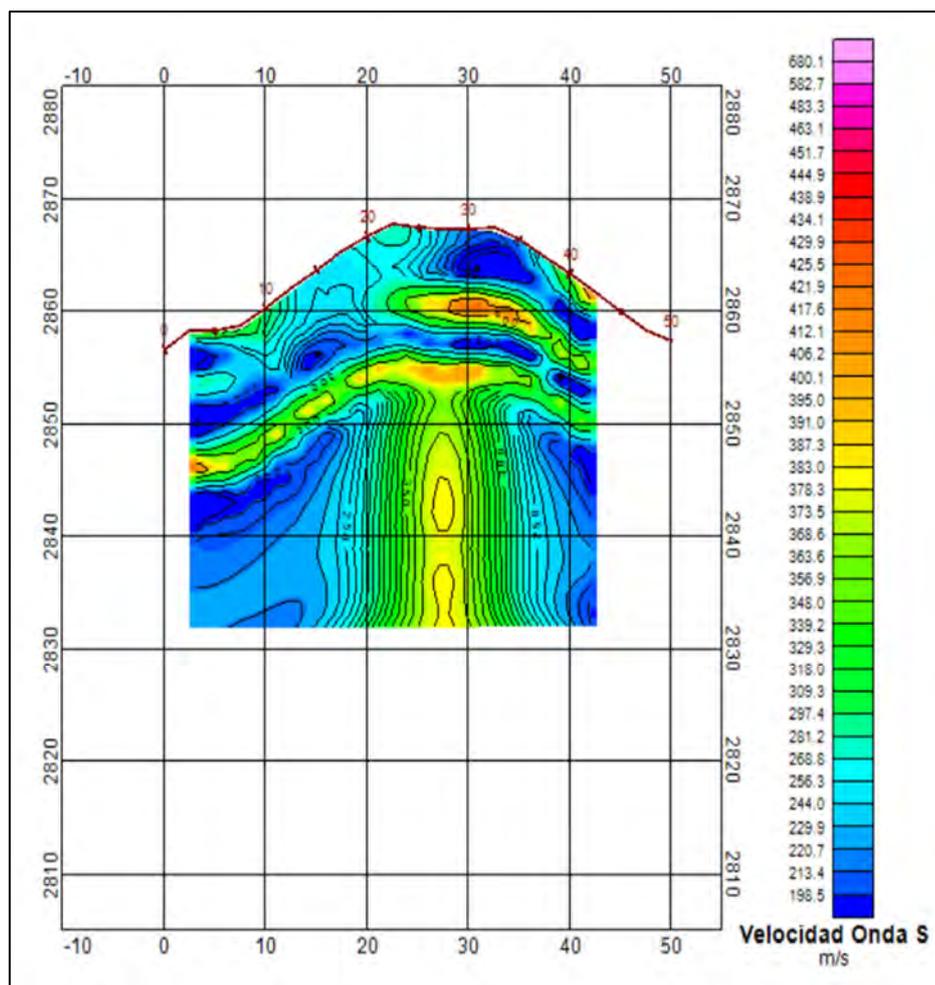
*Nota.* Resultados de la línea LS-A.

La tercera y última línea sísmica LS-B, que se aprecia una Figura 41, está localizada paralela a la línea LS-A y es más corta, en esta línea se observa distribuciones diferentes a las observadas a las anteriores, ya que en su mayoría se trata de zonas de menor velocidad, en la parte central se logra reconocer una

zona con velocidades de bajas a intermedias y superficialmente en los extremos se reconocen materiales con densidades bajas. También podemos reconocer en esta sección un reparto de materiales de manera heterogénea.

**Figura 38**

*Línea sísmica LS-B*



*Nota.* Resultados de la línea LS-0B.

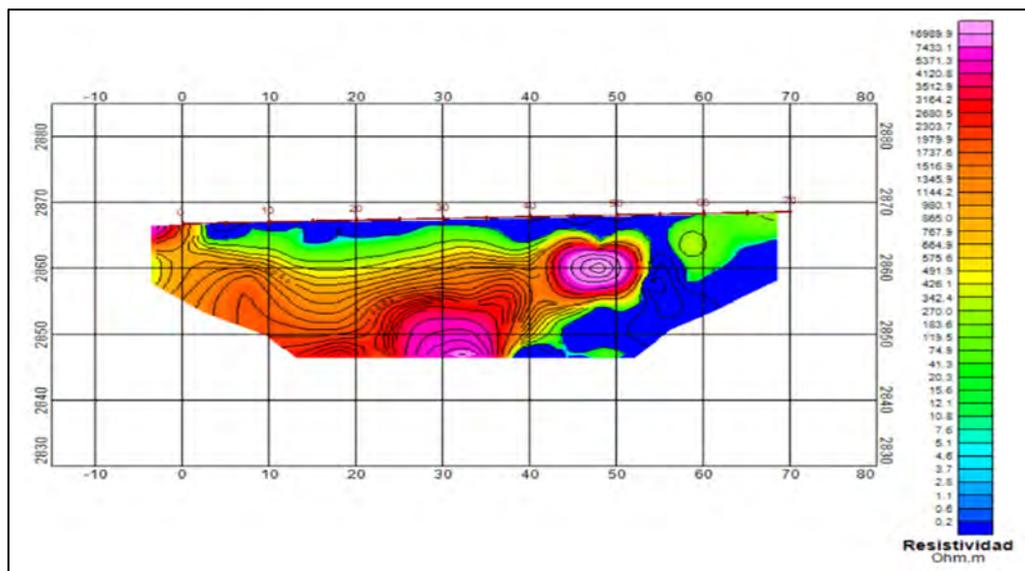
#### 4.1.1.2. Tomografía Eléctrica

En la línea LT-01, Figura 42, se observan 2 zonas de filtraciones y acumulaciones de agua. En la parte superficial se observa una acumulación de material conductivo con presencia de humedad, posiblemente debido a lluvias, al lado derecho desde la superficie hacia zonas profundas, se observa presencia de agua que puede estar acumulada en suelos antrópicos permeables o entre

fracturas del macizo rocoso y finalmente en la parte intermedia se reconoce una parte de alta resistividad que podría tratarse de materiales con existencia de vacíos determinando con mayor porosidad y menor compacidad.

**Figura 39**

*Línea tomográfica LT-01*



*Nota.* Resultados de la línea LT-01.

En la línea LT-02 (Figura 40), se asemeja a la línea LT-01, se observa superficialmente suelos antrópicos permeables con acumulación de agua, debido a precipitaciones y se puede reconocer una zona intermedia en la que se reconoce poco permeable y en la profundidad existen zonas resistivas asociados a materiales compactos o materiales con muchos vacíos.

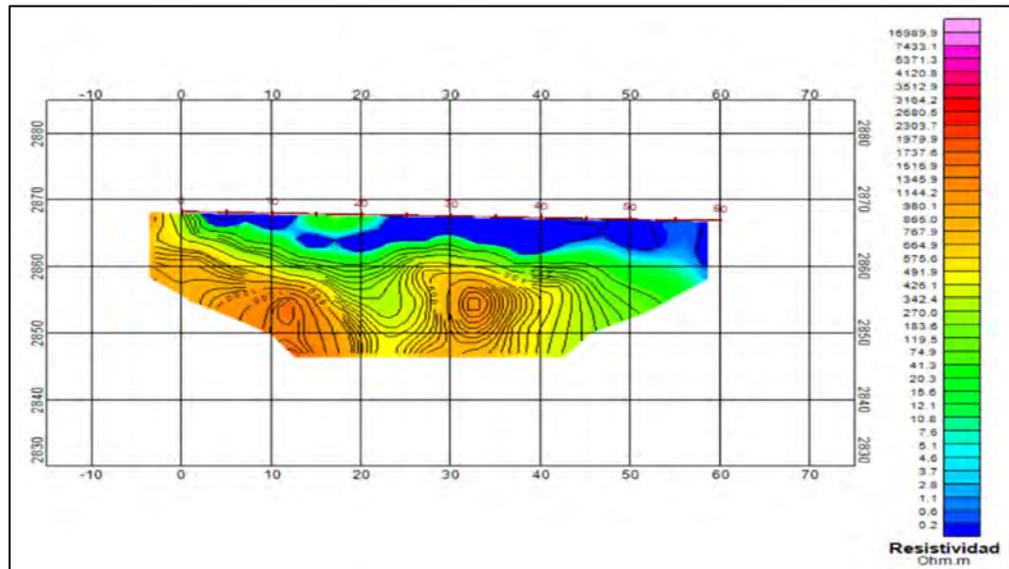
En la línea LT-A, que se muestra en la Figura 41, se presentan irregularidades importantes de baja resistividad asociadas a filtraciones de agua, estas representan un debilitamiento del suelo, que van desde las zonas superficiales a las intermedias. Esta línea también muestra una parte con una resistividad alta lo que podría ser indicio de zonas con vacíos o materiales altamente compactos.

En la línea LT-B, que se muestra en la Figura 42, se puede apreciar una baja resistividad en la superficie posiblemente debido a filtraciones de agua, mientras que en los costados se presentan resistividades altas que pueden estar asociados

a material compacto o partes con vacíos y finalmente se puede presenciar cambio de materiales entre los 2840 a 2855 msnm.

**Figura 40**

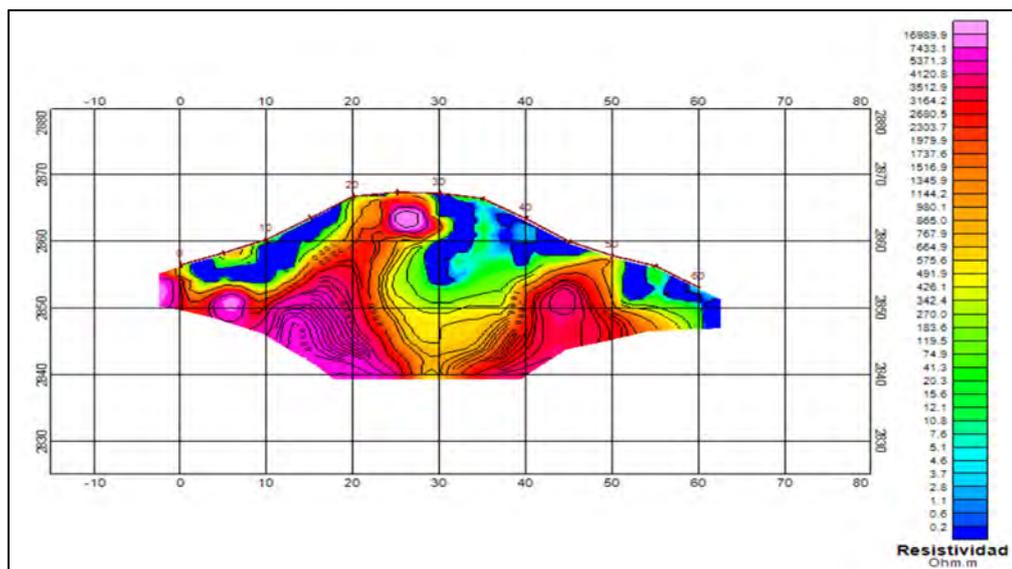
*Línea tomográfica LT-02*



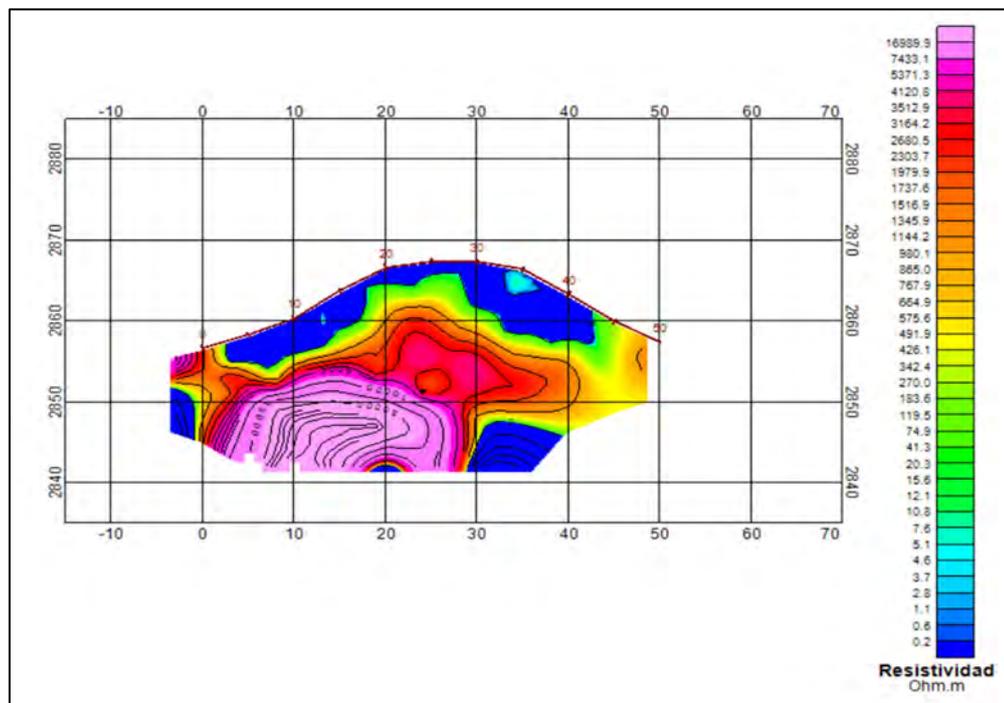
*Nota.* Resultados de la línea LT-02.

**Figura 41**

*Línea tomográfica LT-A*



*Nota.* Resultados de la línea LT-A.

**Figura 42***Línea tomográfica LT-B*

*Nota.* Resultados de la línea LT-B.

## 4.2. Estudio De Mecánica De Suelos

### 4.2.1. Estudio Topográfico

#### 4.2.1.1. Descripción del Área del Proyecto

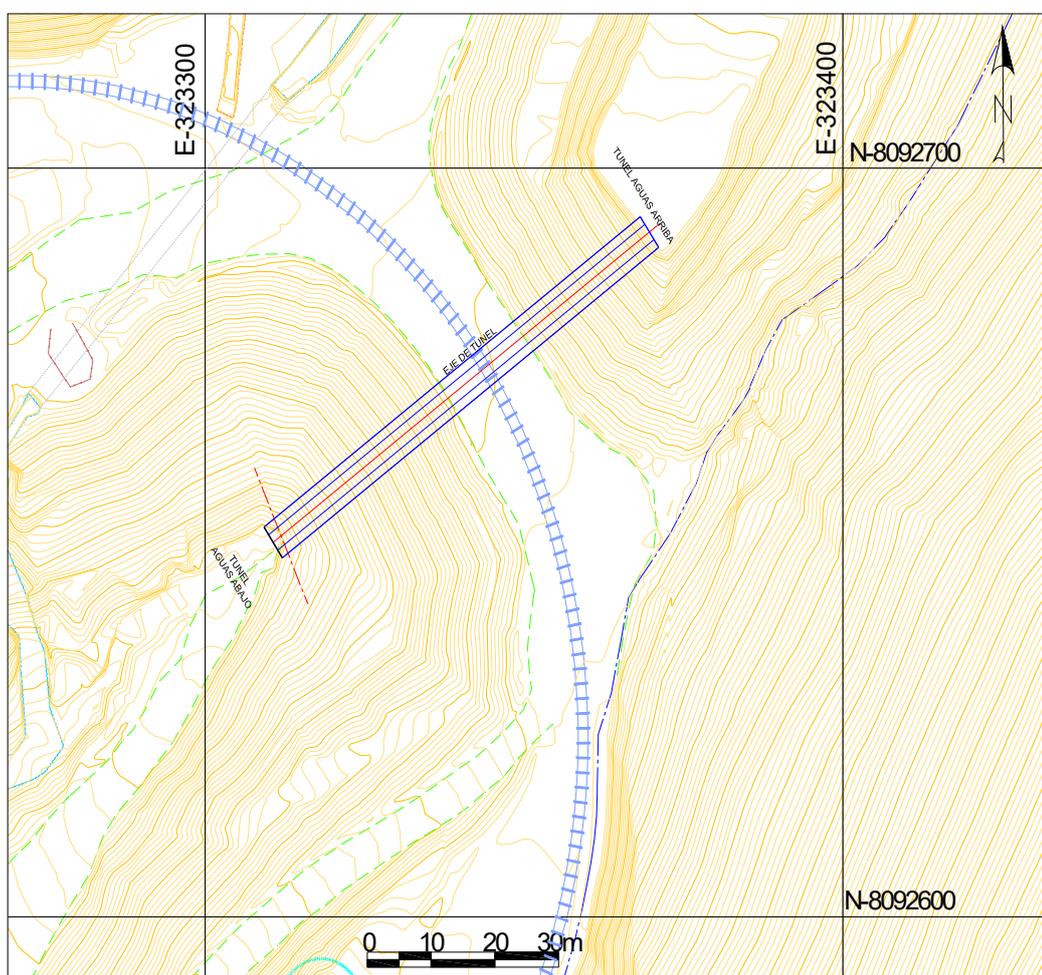
El terreno se caracteriza por tener una configuración topográfica con un relieve semi plano, ya que se encuentra una quebrada, la Quebrada Cimarrona, la cual era un lecho de río en la antigüedad, por esta, cruza la línea férrea del tren en el km 176, sobre un terraplén, el cual presenta un material de suelo suelto con presencia de arcillas y finos, así como también como la presencia de agua en el frente aguas arriba y material orgánico aguas abajo, así como también la presencia de bolonería que se preveía que se encontraría en el interior de la zona de excavación

#### 4.2.1.2. Trabajos Topográficos en el Área del Proyecto

Para la delimitación del área de estudio se instalaron 5 puntos de control, con dichos puntos se podrá llevar a cabo el control permanente en campo, los cuáles fueron marcados con fierro y cemento y también que también fueron codificados. Los cuáles serán ubicados en puntos estratégicos y cerca a la entrada de cada túnel. En la Figura 43 se muestra las curvas de nivel y los puntos de control en la Tabla 12 y en plano de detalle en el Anexo 5.

**Figura 43**

*Curvas de nivel de la zona de estudio*



*Nota.* Se muestran las curvas de nivel de la zona de estudio y la proyección del túnel de drenaje.

**Tabla 11***Coordenadas de puntos topográficos*

<b>Punto</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>
PC-1	8092587,880	323318,203	2871,851
PC-2	8092661,947	323203,428	2871,032
PC-3	8092676,346	323400,252	2875,730
PC-4	8092741,004	323432,888	2868,477
PC-5	8092726,110	323345,996	2867,512

#### **4.2.1.3. Descripción del Terraplén**

El área de estudio comprende un terraplén de 26 m de altura aproximadamente, posee una topografía homogénea y plana, donde se encuentra la Vía Férrea Ilo – Cuajone. Los extremos de la alcantarilla están 20 m por debajo aguas arriba y 25 m por debajo aguas abajo. La longitud de la alcantarilla es de 70 m aproximadamente y con una pendiente de 7,2 %.

En la Figura 46, se muestra la vista en planta de la condición topográfica de los taludes; aguas arriba del terraplén se ha limpiado el material represado y colmatado, quedando una zona amplia con el talud bastante expuesto; mientras que en el talud aguas abajo se ve encañonado, y suficiente para que discurren las aguas por la actual alcantarilla. El nivel freático no representa problemas para los trabajos posteriores que se realizaran. En los planos anexados se puede apreciar con detalle el levantamiento topográfico de la zona del terraplén.

#### **4.2.2. Marco Geológico de la Zona de Estudio**

##### **4.2.2.1. Geomorfología**

La zona de trabajo se encuentra en la quebrada Cimarrona, que pertenece a los Valles Secos estrechos o quebradas que discurren de este a oeste, los cuales disectan a las colinas con altitudes entre los 2400 a 3400 msnm.

#### **4.2.2.2. Geología Local**

Está representada casi en su totalidad por macizo rocoso de origen ígneo, si no es por los materiales aluviales y coluviales que sobre yacen a estas rocas.

- Grupo Toquepala: Representada por rocas extrusivas que van de riolitas a andesitas, pertenecientes a la Formación Quellaveco, del Grupo Toquepala.
- Depósitos Coluviales: Constituido por fragmentos angulosos homogéneos, disgregados de la roca por intemperismo, se ubican en las laderas de las quebradas.
- Depósitos Aluviales: Constituido por bolones, gravas, arenas, limos y arcillas, a lo largo de todas las quebradas.

#### **4.2.2.3. Evaluación Geológica – Geotécnica De La Zona De Trabajo**

La zona de trabajo está constituida por materiales de depósitos naturales y depósitos antrópicos; dentro de los materiales naturales tenemos los depósitos coluviales, depósitos aluviales y el macizo rocoso; mientras que los depósitos antrópicos lo constituyen los materiales del terraplén; es así como se realiza una caracterización geotécnica de las diferentes unidades definidas.

#### **4.2.2.4. Materiales de Depósitos Naturales**

A continuación, se describen, estos depósitos dispuestos de manera natural; pero que posteriormente por erosión paulatina del terraplén a través del tiempo, estos materiales, han sido utilizados para su relleno, convirtiéndose en materiales antrópicos.

*Depósitos Coluviales.* Distribuidos en las laderas de la Quebrada Cimarrona, y demás quebradas de la zona; están constituidas por materiales de diverso tamaño, característica angular, pero de litología homogénea; predominando la totalidad de la margen izquierda y la parte baja de la margen derecha por dioritas, mientras que la parte alta de la margen derecha lo constituyen andesitas del Volcánico Quellaveco; en ambos casos contenidos en una matriz gravoso, arenosa, limo y arcillosa; que se encuentra discontinuamente en las laderas, habiéndose formado por alteración y desintegración de las rocas ubicadas en las laderas superiores.

Están acumulados en una forma muy caótica originando en conjunto una topografía muy irregular. El espesor de estos depósitos es variable, siendo materiales poco compactados y de baja resistencia, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso, y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como resultado de precipitaciones intensas, se derrumban y pueden eventualmente obstruir el cauce de la quebrada.

*Depósitos Aluviales.* Están compuestas de material detrítico transportado y depositado temporal o permanentemente por las corrientes de agua temporales (aluviones o huaicos) en puntos a lo largo de su cauce de inundación. Este material depositado de manera repentina ha provocado inundaciones; estando compuesto por cantos rodados heterométricos angulosos, subangulosos y subredondeados; además de gravas de variada composición litológica, englobados en una matriz areno-arcillosa. Así mismo se encuentra impregnado en los taludes laterales aguas arriba, encontrando en su contenido de arcilla (en menor medida), con el mapeo se le ha diferenciado y mencionado como: limos, arcillas y bolones sobre los taludes laterales o de quebrada, siendo un material semi consolidado ha consolidado.

*Macizo Rocos.* El macizo rocoso está compuesto en su totalidad por rocas ígneas, siendo de origen intrusivo e hipo abisal., dispuestas en ambos márgenes de la quebrada Cimarrona, con presencia de diaclasamiento, estas se muestran en la Figura 44 y 45.

#### **Figura 44**

*Macizo rocoso en laderas cercanas*



**Figura 45**

*Presencia de diaclasamiento del macizo rocoso*



*Rocas Intrusivas.* Identificadas en la margen izquierda y parte baja de la margen derecha, de composición diorita, forma parte de la Unidad Yarabamaba del Batolito de la Costa.

*Rocas Hipabisales.* Identificadas en la margen derecha, de composición andesita, forma parte del Volcánico Grupo Toquepala.

**4.2.2.5. Materiales Antrópicos**

El terraplén se encuentra constituido completamente por material de relleno, este material ha sido depositado y rellenado, en diferentes épocas, de manera distinta y desde diferentes puntos. La manera inicial de cómo ha sido rellenado el terraplén, así como sus consecuentes rellenos posterior a procesos exógenos, vemos que los diversos materiales de relleno toman diversas formas o disposiciones irregulares, la disposición de estos materiales se aprecia en la Figura 46.

De acuerdo a los estudios realizados en la zona de trabajo, que se expondrá más adelante, se le asigna al terraplén, la clasificación del tipo suelo, según SUCS, el cual se trata de un suelo gravoso bien graduado (GW), el cual ha presentado problemas de inestabilidad debido a la falta de buena disposición y compactación, sumándose a esto que la naturaleza ha desarrollado un rol en contra, pues al haber deslizamiento en ambos lados y consecuente represamiento de agua

(aguas arriba) ha generado que este material gravoso se mezcle con material arcilloso producto del material aluvial producido en épocas de lluvia.

#### **Figura 46**

*Vista superior talud aguas abajo (izq.) y aguas abajo (der.)*



*Arcilla Consolidada.* Formada por la acumulación y/o represamiento de material aluvial fino; de color amarillo crema; se le ha reconocido en el talud aguas abajo en la parte media y superior, en el talud aguas arriba en el medio y en la parte superior y en la margen derecha lateral; en esta parte gradualmente contiene bolones (< 0.3 m) de roca angulosa a subangulosa, este material se muestra en la Figura 47.

#### **Figura 47**

Suelo arcilloso en excavación en la parte superior de talud

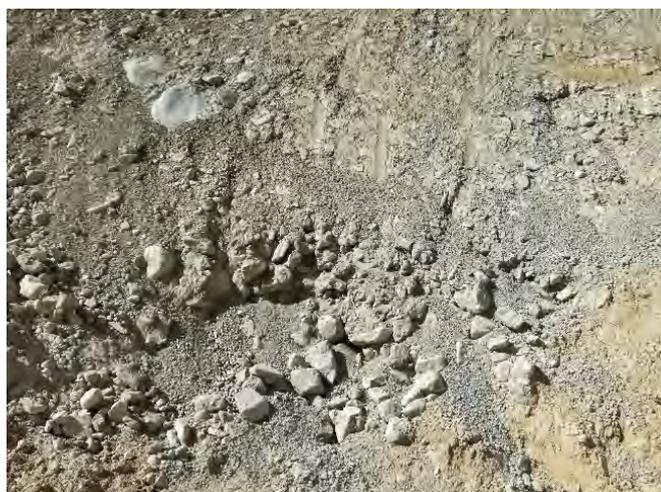


Se presenta húmeda, su consolidación ha hecho que se le haya excavado notándose las marcas de la maquinaria pesada empleada, la cual formo pendientes fuertes y casi subverticales y en los extremos de los taludes se contiene bolones (< 0,3 m) de roca angulosa a subangulosa.

*Gravas y Arenas.* Con predominio sobre los limos y arcillas, con bolones y bloques subangulosos a subredondeados, se comporta como material semi consolidado de color gris claro a oscuro por su grado de humedad; reconocido en el talud superior aguas en el extremo derecho colindante con otro talud (Figura 48).

#### **Figura 48**

*Suelo gravoso con bloques, bolones, limo y arcillas*



*Nota.* Presencia de bolones de tamaño considerable.

*Limos y Arcillas.* Con predominio sobre las gravas, además de bolones y bloques; se presenta en colores beige claro, material no consolidado y seco; donde es necesario mencionar que gran porcentaje de su composición son relaves que con el tiempo se han oxidado, tomando la coloración señalada.

Junto a las gravas y arenas constituyen el terraplén, diferenciándose por los porcentajes de los materiales y el grado de humedad; de acuerdo con el mapeo superficial, es material poco cohesivo inicialmente se pensó que sería poco o escaso, sin embargo, está presente en las superficies de ambos taludes formado una capa pero que no llega a cubrir la totalidad de los taludes ya que en los pies no se encuentra material arcilloso, este material se muestra en la Figura 49.

**Figura 49**

*Suelo limo arcilloso con bloques y bolones*



*Nota.* Se observa material arcilloso con bolones de tamaño regular.

*Relleno Coluvial.* Reconocido aguas arriba y aguas abajo en el talud lateral derecho y talud lateral izquierdo respectivamente, ambos en la curva hacia los taludes superiores del terraplén. Roca de tamaño variable menores a 0.3 m, anguloso a subanguloso en matriz areno limosa; material no consolidado, extraído de las laderas próximas para completar el relleno inicial erosionado (Figura 50).

**Figura 50**

*Suelo conformado por relleno coluvial en bordes del terraplén*



*Material de Relleno Heterogéneo.* La vía férrea se encuentra sostenida exclusivamente sobre material de relleno (depósito antrópico), cuyo espesor varía de 0,6 a casi 2 m compuesta por gravas de composición basálticas, color gris oscuro; y arenas de grano medio a fino, color café oscuro; también lo conforma material de escoria metalúrgica en capas variables de hasta 0.50 m. En general presentan un grado de consolidación medio, las gravas son de 2 a 5 cm. Este material formaría parte del balastro inferior y/o antiguo, que se empleó para dar soporte a los durmientes de la línea férrea (Figura 51).

### **Figura 51**

*Relleno heterogéneo para la base de la vía férrea*



*Nota.* Material de relleno con presencia de gravas.

*Relleno Coluvial con Bloques.* En la margen izquierda aguas abajo, se identifica material no cohesivo de origen coluvial mezclado con material antrópico, que se caracteriza por presentar grandes bloques de roca ígnea intrusiva (diorita) mayores a 1.00 m angulosa a subangulosa, producto de la excavación en roca para la línea férrea; este material ha sido volcado pendiente abajo, además lo constituyen rocas de menor tamaño hasta arenas y limos.

### **4.2.3. Exploración de Campo Mediante Calicatas**

#### **4.2.3.1. Estratigrafía**

Para el desarrollo de la estratigrafía se realizó según lo presentado en la NTP y bajo las recomendaciones de la norma E 050, a continuación, se presenta

las características se por cada calicata y su perfil estratigráfico se presenta en el Anexo 2.

### **Figura 52**

#### *Material de relleno coluvial y antrópico*



*Nota. Se puede notar la presencia de bloques mayores a 1 m*

#### **Características Calicata C-1**

- De 0,00 a 0,40 m.: Material de relleno de color beige claro, conformado principalmente por limos, gravas sub angulosas a angulosas (30 %), bloques de diámetro de 12 cm (3 %). En general este estrato se encuentra con humedad muy baja, y una compacidad de media a alta.
- De 0,40 a 1,45 m.: Material de relleno amarillento a café claro, conformado principalmente por gravas sub angulosas a angulosas (49 %), limos y arcilla (31 %), presenta bloques de 12 a 45 cm de diámetro (20 %). En general este estrato se encuentra con humedad muy baja y compacidad baja.
- De 1,45 a 2,00 m.: Material de relleno (coluvial), de color café claro, conformado principalmente por s sub angulosas a angulosas (72 %) y limos (28 %). Este estrato presenta humedad baja relativamente superior a los anteriores estratos y compacidad media a alta.
- En el nivel final de excavación no se encontró nivel freático.

### ***Características Calicata C-2***

- De 0,00 a 0,20 m.: Material de relleno de color gris marrón, conformado principalmente por limos, presenta gravas subangulosas a angulosas (50 %), el estrato se encuentra con humedad y compacidad baja.
- De 0,20 a 0,30 m: En este estrato encontramos un relleno de bloques de un diámetro aproximado de 12 cm y gravas angulosas a sub angulosas.
- De 0,30 a 0,70 m: Material de relleno café oscuro, formado por limos y arenas (44 %), presenta gravas sub angulosas a angulosas (56 %) y bloques de 12 a 20 cm de diámetro (20 %), en estrato se encuentra con humedad baja a media y compacidad baja.
- De 0,70 a 0,90 m: Lente de material de relleno de color blanquecino, conformado por limos y arenas (43 %), presenta gravas redondeadas a sub redondeadas (57 %). En general este estrato se encuentra con humedad y compacidad bajas.
- De 0,90 a 1,45 m: Material de relleno de color café claro a beige conformado principalmente por gravas sub angulosas a angulosas (69 %) en una matriz limo arenosa (31 %), presenta. En general este estrato se encuentra relativamente seco y compacidad baja.
- De 1,45 – 2,00 m: Material relleno de bloques desde 12 a 50 cm de diámetro.
- En el nivel de excavación no se encontró nivel freático.

### ***Características Calicata C-3***

- De 0,00 a 0,60 m: Material de origen proluvial café claro a beige, conformado por arenas y limos (39 %), presenta gravas sub redondeadas a sub angulosas, (26 %), bloques de 15 a 60 cm de diámetro (35 %). En general este estrato presenta humedad media y compacidad baja.
- De 0,60 a 1,80 m: Material de origen aluvial de color café claro, conformado por arenas y limos (59 %), presenta gravas (41 %). En general este estrato se encuentra con humedad alta y compacidad baja.
- En el nivel de excavación no se determinó nivel freático.

### **Características Calicata C-4**

- De 0,00 a 0,50 m: Encontramos en superficie un material muy contaminado con cenizas y materia orgánica (50 %), de color negruzco, amarillento y verde limón, este estrato se encuentra con humedad media y compacidad suelta.
- De 0,50 a 2,00 m: Material de origen proluvial de color café oscuro conformado principalmente por limos y arenas (41 %), presenta gravas sub angulosas a sub redondeadas (39 %). bloques de diámetro de 12 a 35 cm (20 %). En general este estrato se encuentra con humedad y compacidad medias a alta.
- En el nivel de excavación no se determinó nivel freático.

#### **4.2.4. Ensayos In Situ**

Se realizó en la zona de estudio 3 ensayos de determinación de densidad In situ en los puntos de la Figura 36, utilizando como norma la NTP 339.143 (ASTM D 1556), se muestran los resultados y la ubicación en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Ensayo de densidad In Situ*

Código	Coordenadas		Profundidad	Densidad In Situ (gr/cm <sup>3</sup> )
	Este	Oeste		
ED - 1	323322	8092676	0,5	1,94
ED - 2	323338	8092666	0,5	2,08
ED - 3	323339	8092653	0,5	1,59

#### **4.2.5. Ensayos de Laboratorio de Muestras de Calicatas**

##### **4.2.5.1. Clasificación De Suelos y Análisis Granulométrico**

Los resultados nos muestran en la que se tiene una proporción de grava y arenas mayor al material de finos que pasa por el Tamiz N° 200, como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13***Clasificación y composición de suelos*

<b>Datos</b>		<b>Composición %</b>			<b>Clasificación</b>	
Calicata	Muestra	Grava	Arena	Fino	SUCS	AASHTO
C-1	M-1	54,0	35,6	10,3	GW -GC	A-2-4
	M-2	38,5	27,7	33,8	GM	A-2-4
	M-1	37,8	55,1	7,1	SP-SC	A-1-b
C-2	M-2	57,0	42,4	0,6	GW	A-1-a
	M-3	69,1	30,1	0,8	GW	A-2-4
C-3	M-1	28,2	56,9	14,8	SM	A-2-4
	M-2	31,3	56,0	12,7	SM	A-1-b
C-4	M-1	38,9	50,3	10,8	SP-SC	A-1-b

**4.2.5.2. Límites de Atterberg**

Los límites de consistencia señalan una plasticidad baja, en la que el Índice de Plasticidad la cual no supera el 10% en todas las muestras, los resultados se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14***Límites de consistencia*

<b>Datos</b>		<b>Límites %</b>		
Calicata	Muestra	L.L.	L.P.	I.P.
C-1	M-1	26,34	17,01	9,33
	M-2	25,47	21,81	3,66
	M-1	23,81	17,55	6,26
C-2	M-2	-	-	-
	M-3	25,10	14,78	10,32
C-3	M-1	39,76	33,07	6,69
	M-2	-	-	-
C-4	M-1	22,48	17,27	5,21

#### 4.2.5.3. Contenido de Humedad Natural

Los materiales que componen el terraplén se encuentran en estado relativamente secos y las otras más alejadas muestran un estado húmedo.

**Tabla 15**

*Porcentaje de humedad natural*

Datos		Humedad Natural
Calicata	Muestra	(%)
C-1	M-1	3,40
	M-2	1,63
	M-1	2,34
C-2	M-2	3,67
	M-3	1,40
C-3	M-1	9,91
	M-2	9,36
C-4	M-1	9,04

#### 4.2.5.4. Peso Específico Relativo del Sólido

En este caso, dado que las muestras tienen una proporción de gravas superior al 20%, se han efectuado ensayos de peso específico de sólidos de la fracción que se retiene en el tamiz N° 4 (método del canastillo), así como la que pasa el tamiz N° 4 (método del picnómetro). De esta forma, el valor del peso específico se calculó como una media aritmética ponderada, donde el factor de ponderación fue la proporción de material que se retiene en el tamiz N° 4 y el que pasa dicho tamiz. Posteriormente, hallados estos resultados, se procedió a hallar las propiedades de estado (la determinación de las relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo), para lo cual se usaron también los datos obtenidos de los ensayos de densidad in situ.

Los valores del resultado son relativamente bajos, esto posiblemente se deba a que los materiales que conforman los taludes del terraplén son de origen extrusivos (volcánicos).

**Tabla 16***Peso específico de muestras*

Calicata	Muestra	Peso Específico		
		Gs Gruoso (g/cm <sup>3</sup> )	Gs Fino (g/cm <sup>3</sup> )	Gs Prom. (g/cm <sup>3</sup> )
C-01	M-2	2,73	2,67	2,69
C-02	M-3	2,71	2,65	2,69
C-03	M-2	2,68	2,69	2,69
C-04	M-1	2,66	2,65	2,65

**4.2.5.5. Compactación**

El ensayo de Proctor Modificado se emplea para la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un método mecánico, en la Tabla 17 se muestra los resultados. Este ensayo tiene como objetivos precisar el peso volumétrico máximo que puede alcanzar un material, la humedad óptima y precisar el grado de compactación alcanzado por el material. Correlacionando los resultados obtenidos del peso específico seco máximo con el peso específico seco, determinado en los ensayos de densidades in situ, se observa que en promedio el grado de compactación se encuentra alrededor de un 86,6%.

**4.2.5.6. Análisis de las Propiedades Resistentes**

Para ejecutar los ensayos de Corte Directo se han efectuado ensayos de densidades máximas y mínimas, obteniéndose valores aproximados a la densidad natural del terreno, los resultados de muestran en la Tabla 18. Para el estudio, se han remodelado en laboratorio muestras con un peso específico seco de alrededor de 1,56 g/cm<sup>3</sup>. Las muestras han sido preparadas con el material que pasa el tamiz N° 4 (arena y finos). Los resultados del ensayo de corte directo presentan un valor nulo para el caso de la cohesión  $c$  y un ángulo de fricción interna  $\phi$  relativamente importante (en promedio de 36,2°).

**Tabla 17***Compactación de muestras*

Calicata	Muestra	Muestra Natural		Muestra Compactada		Grado de Compact.
		W (%)	$Y_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	W opt. (%)	$Y_{d-máx.}$ (g/cm <sup>3</sup> )	
C-01	M-2	1,63	1,84	8,00	2,20	83,50
C-02	M-3	1,40	1,84	10,80	2,06	89,60

**Tabla 18***Ensayos de corte directo*

Calicata	Muestra	Clasificación	Propiedades Estado	Propiedades Resistentes	
		SUCS	$Y_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
C-01	M-2	GM	1,57	0,00	34,10
C-02	M-3	GW	1,55	0,00	38,30

**4.2.5.7. Análisis de las Propiedades Hidráulicas**

Se han ejecutado dos ensayos de permeabilidad  $k$ , con el objetivo de estimar el coeficiente de permeabilidad del terreno, estos se muestran en la Tabla 19. Se debe indicar que para el efecto se han remoldeado las muestras con pesos específicos similares a los obtenidos en los ensayos de densidad in situ. Estas muestras han sido preparadas con el material que pasa el tamiz N° 4, por lo cual, el coeficiente de permeabilidad  $k$  considerando la proporción de gravas y bolones del terraplén debe ser superior.

**4.2.5.8. Contenido de Materia Orgánica**

Se realizaron dos ensayos de contenido de materia orgánica, únicamente en las muestras de las calicatas C - 03 y C - 04, ya que en las calicatas C - 01 y C - 02, no se encontró materia orgánica en la excavación. Los resultados obtenidos muestras que la proporción de materia orgánica en los suelos ensayados es

mínima, menos del 2% de la muestra ensayada. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

#### 4.2.5.9. Contenido de Sulfatos

Las muestras ensayadas fueron las mismas que se usaron en el Contenido de Materia Orgánica, el contenido de sulfatos es también es muy pequeña de 195 mg/kg en la parte superior del terraplén, lo que comprende un porcentaje muy bajo del peso total de la muestra extraída. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

**Tabla 19**

*Ensayo de permeabilidad*

Calicata	Muestra	Clasificación	Propiedades de Estado			Propiedades Hidráulica
		SUCS	$Y_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	e (-)	$S_r$ (%)	k (cm/s)
C-01	M-2	GM	1,84	0,38	100,00	1,87 E-05
C-02	M-3	GW	1,84	0,28	99,90	1,64 E-05

**Tabla 20**

*Contenido de materia orgánica y sulfatos*

Calicata	Muestra	Clasificación	Contenido de Materia Orgánica	Contenido de Sulfatos
		SUCS	Porcentaje (%)	Unidad (mg/kg)
C-01	M-2	GM	-	163,00
C-02	M-3	GW	-	195,00
C-03	M-2	SM	1,72	298,00
C-04	M-1	SP-SC	1,87	375,00

#### 4.2.6. Exploración Mediante Sondeos

Para el caso del sondeo S-01 no se llegó a perforar lo proyectado, al llegar a la profundidad de 19.60 m se intercepta una placa metálica que no permite

avanzar, lo que probablemente sea la alcantarilla. En la Tabla 21, muestras las características de los sondeos y en la Tabla 22 se muestra la profundidad de los ensayos.

**Tabla 21**

*Características de los sondeos*

Sondeo	Suelo (m)	Roca (m)	Nivel Freático (m)	Caja de Testigos (Nº)
S-01	0,00 a 19,60	-	Seco	5
S-02	0,00 a 30,05	-	Seco	8
S-03	0,00 a 23,40	23,40 a 30,30	Seco	9

**Tabla 22**

*Muestras recogidas de sondeos*

Nº	Sondeo	Muestra	Profundidad Inicial	Profundidad Final	Esp. (m)
1	S-01	M-1	0,00	0,60	0,60
	S-02	M-1	0,00	0,80	0,80
2	S-02	M-2	8,00	8,65	0,65
3	S-02	M-3	2,80	26,70	1,90
4	S-03	M-1	6,10	8,60	2,50

En principio se ha efectuado un análisis de los testigos obtenidos de las perforaciones realizadas, para de esa manera seleccionar aquellas muestras representativas por estratos para los ensayos de laboratorio. En principio se han efectuado ensayos de contenido de humedad natural y ensayos para la clasificación de suelos. Los resultados de estos ensayos se presentan en la Tabla 23.

Las muestras representativas obtenidas de los sondeos profundos muestran bastante homogeneidad. En casi todos los casos han clasificado como gravas

limosas (GM), es decir, se trata de materiales fundamentalmente granulares (con una mayor proporción de gravas sobre las arenas) y sin presencia de plasticidad. También cabe mencionar que los resultados granulométricos obtenidos de los sondeos son semejantes a los determinados en las muestras de las calicatas, es decir, una proporción mayoritaria de gravas y arenas y una pequeña proporción de finos. En el caso de las muestras obtenidas de los sondeos, la proporción de gravas es algo superior al de la determinada en las calicatas y se presenta lo contrario para el caso de las arenas. Sin embargo, en general, se observan datos bastante congruentes en lo que se refiere a las proporciones por tamaños de las partículas.

**Tabla 23**

*Clasificación de suelos en sondeos*

Datos de Identificación		Humedad Natural	Composición (%)			Límites de Consistencia (%)		Clasificación
Sondeo	Muestra	%	Grava	Arena	Finos	L.L.	I.P.	SUCS
S-01	M-1	8,10	57,20	29,20	13,60	-	-	GM
S-02	M-1	9,60	48,30	39,10	12,50	-	-	GM
S-02	M-2	2,60	66,30	29,40	4,30	-	-	GW
S-03	M-1	5,60	50,20	32,90	16,90	-	-	GM

Adicionalmente, se han efectuado ensayos para la determinación de los pesos específicos relativos de las partículas sólidas. Se ha considerado que, dado que todas las muestras presentan una proporción de gravas superior al 20%, es necesaria la ejecución del citado ensayo para la proporción retenida en el tamiz N° 4 (gravas), así como para aquella que pasa el tamiz N° 4 (arena y finos). El valor del peso específico será, por tanto, calculado como una media aritmética ponderada, donde el factor de ponderación es la proporción de material que pasa y es retenido por el tamiz N° 4.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 24. Se hace notar que el valor obtenido para la muestra S-01-1 y S-02-1 (gravas) es superior al esperado

para este tipo de materiales; sin embargo, de acuerdo con el reporte de laboratorio, se han encontrado fragmentos de grava con densidades bastante altas, por lo cual se justifica el resultado obtenido en laboratorio. De todas formas, los resultados del peso específico relativo de sólidos  $G_s$  son consistentes con el tipo de material estudiado.

**Tabla 24**

*Ensayos de peso específicos en sondeos*

Sondeo	Muestra	Clasificación SUCS	Gravedad Específica de Sólidos		
			$G_s$ Grueso (g/cm <sup>3</sup> )	$G_s$ Fino (g/cm <sup>3</sup> )	$G_s$ Prom. (g/cm <sup>3</sup> )
S-01	M-1	GM	3,18	2,69	2,97
S-02	M-1				
S-02	M-2	GM	-	2,64	2,64
S-02	M-3	GM	2,66	2,73	2,68
S-03	M-1	GM	2,64	2,67	2,66

Finalmente, dado que en el sondeo S-03 se determinó el contacto del material tipo suelo con el macizo rocoso (aproximadamente a una profundidad de 23,40 m.), se decidió efectuar el ensayo de resistencia a la compresión en dos muestras del macizo rocoso. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Compresión en macizo rocoso*

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Resistencia a Compresión $\sigma_{ci}$	
			kg/cm <sup>2</sup>	MPa
S-03	M-1	25,00	118,00	11,60
S-03	M-2	28,40	130,00	12,80

### **4.3. Análisis de Estabilidad de Taludes**

#### **4.3.1. Características Geomecánicas de los Materiales**

Podemos decir, que mediante los estudios realizados se sabe que la base del terraplén y/o taludes en general, le corresponde clasificación del tipo suelo, según SUCS, se trata de un suelo gravoso con presencia de limos (GM), el cual ha presentado problemas de inestabilidad debido a la falta de buena disposición y compactación, sumándose a esto que la naturaleza ha desarrollado un rol en contra, pues al haber deslizamiento en ambos lados y consecuente represamiento de agua (aguas arriba) ha generado que este material gravoso se mezcle con material arcilloso producto del material aluvial producido en épocas de lluvia.

Las tomografías eléctricas han aportado al estudio las concentraciones de agua en los suelos y se concluye la presencia de agua o humedad asociadas a resistividades bajas en concentraciones lineales asociadas a zonas de filtración, así como esféricas u horizontales (como bolsonada de agua entre materiales impermeables u horizontes saturados). Se ha demarcado zonas de alta resistividad, las que por el origen de los materiales se asocia a zonas con grandes porcentajes de vacíos, estas zonas combinada con los resultados de MASW 2D donde nos indica zonas de baja velocidad o velocidad intermedia, nos indica la presencia de materiales con vacíos o mal compactados.

En resumen, tenemos que el material gravoso presenta una densidad que varía de  $1,587 \text{ g/cm}^3$  a  $2,079 \text{ g/cm}^3$ , cohesión baja o nula de  $0,0042 \text{ kg/cm}^2$  a  $0,005 \text{ kg/cm}^2$ , y un ángulo de fricción de  $34,1^\circ$  a  $38,3^\circ$ . Para el caso de la arcilla consolidada, que carece de ensayos y esta combinada con la arena presente en el suelo, le asumiremos datos teóricos de un tipo de suelo SC (mezcla de arena y arcilla), los cuales se muestran en la Tabla 26 y 27 y para el material de la base del terraplén SM se utilizarán los valores de la Tabla 28.

Estos valores se usarán en el modelamiento; sin embargo, debemos mencionar que este material, que está cubriendo el material gravoso de los taludes, será eliminado en los trabajos correspondientes a la estabilización de los taludes, quedando apenas representando cerca del 2% del terraplén.

**Tabla 26***Angulo de fricción de algunos tipos de suelo*

<b>Descripcion del Suelo</b>	<b>Tipo</b>	<b>(<math>\phi^\circ</math>)</b>
Arena limosa, mezcla de arena y limo	SM	34
Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla	SC	31
Limos, limo arcilloso	ML	32
Arcillas de baja plasticidad	CL	28
Limo arcilloso, limos elásticos	MH	25
Arcillas de alta plasticidad	CH	19

*Nota:* Los datos son valores representativos de los tipos de suelo mencionados. Tomado de *Soil Properties and their Correlations* (p.132), por M. Carter & S. P. Bentley, 2016, London

**Tabla 27***Peso específico de algunos tipos de suelo*

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Bien Graduado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mal Graduado (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Arenas con limos	1920	1680
Arenas con arcillas	1920	1680
Arenas	1920	1760
Gravas	2080	1840
Limos inorgánicos		1600
Limos orgánicos		1350

*Nota.* Los datos son valores representativos de los tipos de suelo mencionados. Tomado de *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (p.177), por C. Crespo Villalaz, 2004, México D.F.

**Tabla 28***Propiedades de suelos granulares no cohesivos.*

<b>Material</b>	<b>Compacidad</b>	<b>Densidad Relativa (%)</b>	<b>Peso Específico <math>\gamma_d</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Angulo de Fricción Interna (<math>\phi^\circ</math>)</b>
GW: Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75	2,21	40
	Media	50	2,08	36
	Suelta	25	1,97	32
GP: Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75	2,04	38
	Media	50	1,92	35
	Suelta	25	1,83	32
SW: Arenas bien graduadas, arenas gravosas	Densa	75	1,89	37
	Media	50	1,79	34
	Suelta	25	1,70	30
SP: Arenas mal graduadas, arenas gravosas	Densa	75	1,76	36
	Media	50	1,67	33
	Suelta	25	1,59	29
SM: Arenas limosas	Densa	75	1,65	35
	Media	50	1,55	32
	Suelta	25	1,49	29
ML: Limos inorgánicos, arenas muy finas	Densa	75	1,49	33
	Media	50	1,41	31
	Suelta	25	1,35	27

*Nota:* Los datos teóricos fueron tomados de *Geotechnical Investigation Methods: A Field Guide for Geotechnical Engineers* (p.245), por Roy E. Hunt, 2005, Taylor & Francis.

### 4.3.2. Disposición de los Taludes

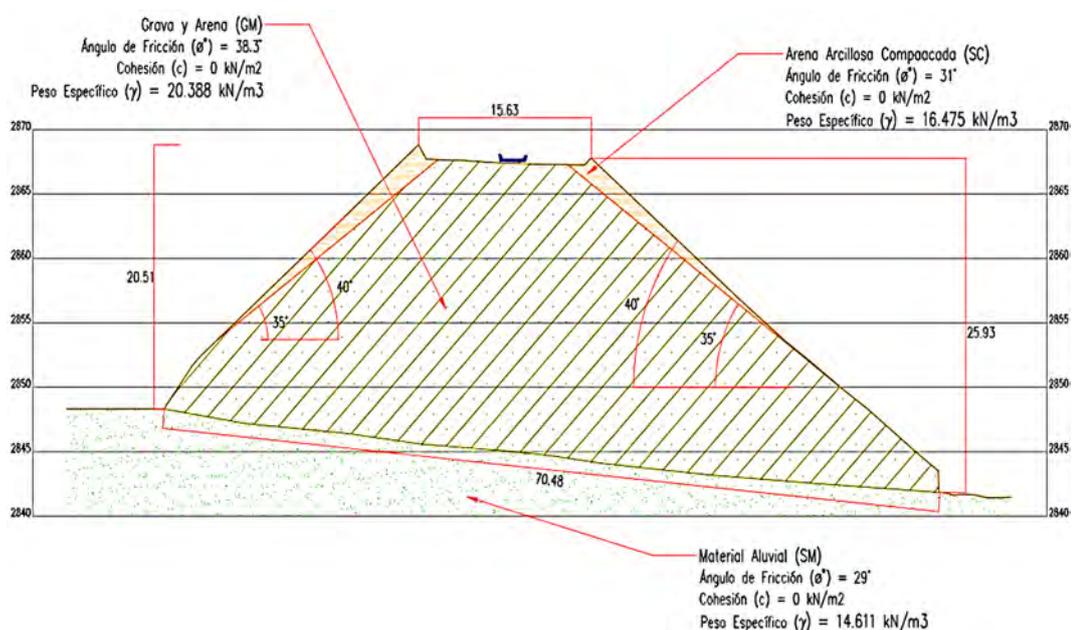
En el Anexo 5 se presenta el perfil topográfico longitudinal, que sirve de base para la Figura 53, que muestra el detalle las longitudes horizontales y verticales, así como el ángulo natural de los materiales en reposo que conforman los taludes. La disposición del material que lo conforma, en la exploración realizada, se tiene que la composición de la arcilla mezclada con arena forma una capa por encima del material que conforma el terraplén no cubre en su totalidad los taludes por lo que tiene un volumen mayor en la parte alta de los taludes y disminuye en su totalidad a medida que baja hasta el nivel de terreno natural.

Para la esquematización del talud se consideró que el suelo de material aluvial está por debajo del material del talud por lo que esta sirve de base del talud, no se considera la capa freática porque no se encontró en las exploraciones realizadas. Se consideró un pequeño quiebre en el talud aguas abajo debido a la presencia de la alcantarilla existente y una carga de 100 kN que es la carga de material llevada por los vagones.

Finalmente, para la evaluación sísmica o pseudoestático se utilizó los coeficientes mencionados anteriormente correspondiente a la situación más crítica que pudiera llegar a suceder, dada la importancia del uso que se le da al terraplén.

**Figura 53**

*Composición geométrica y propiedades del talud*



### 4.3.3. Análisis de Talud Natural Aguas Arriba

#### 4.3.3.1. Evaluación en Condiciones Estáticas

Esta esta evaluación es en estado natural, tal como se encuentra actualmente, donde se encuentran los materiales que conforman el terraplén en reposo. En la Tabla 29 se aprecia la variación de los valores de los métodos y las superficie de falla de los métodos de Bishop Simplificado (Figura 54), método de Fellenius (Figura 55), método Janbú simplificado (Figura 56), método de Morgenstern-Price (Figura 57) y método de Spencer (Figura 58).

**Tabla 29**

*Valores del Factor de Seguridad en condiciones estáticas en talud aguas arriba*

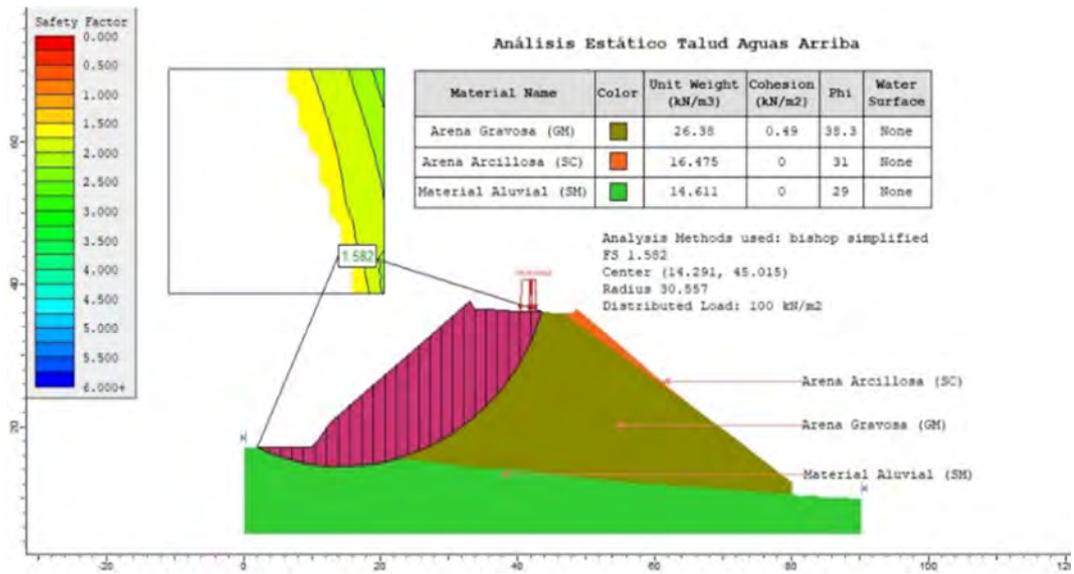
<b>Método</b>	<b>Factor de Seguridad Mínimo</b>
Ordinario o de Fellenius	1,318
Bishop Simplificado	1,582
Janbú Simplificado	1,334
Spencer	1,547
Morgenstern - Price	1,543

En las superficies de falla se puede notar una similitud en los métodos estudiados teniendo una superficie de falla circular a lo largo de todo el talud hasta llegar al pie del talud. La diferencia de las superficies de falla se da en el inicio de la falla que en algunos casos empieza al inicio o al final de la carga distribuida en la superficie del terraplén.

En estos resultados se obtuvo un valor de FS = 1,318, que es el resultado mínimo y se encuentra por debajo de los valores conservadores de la normativa, también podemos apreciar que en los demás métodos analizados nos da un valor máximo de F = 1,582, esto debido a que los métodos como el de Fellenius y Janbu son los más conservadores, se podría concluir que el talud está relativamente estable en condiciones estáticas.

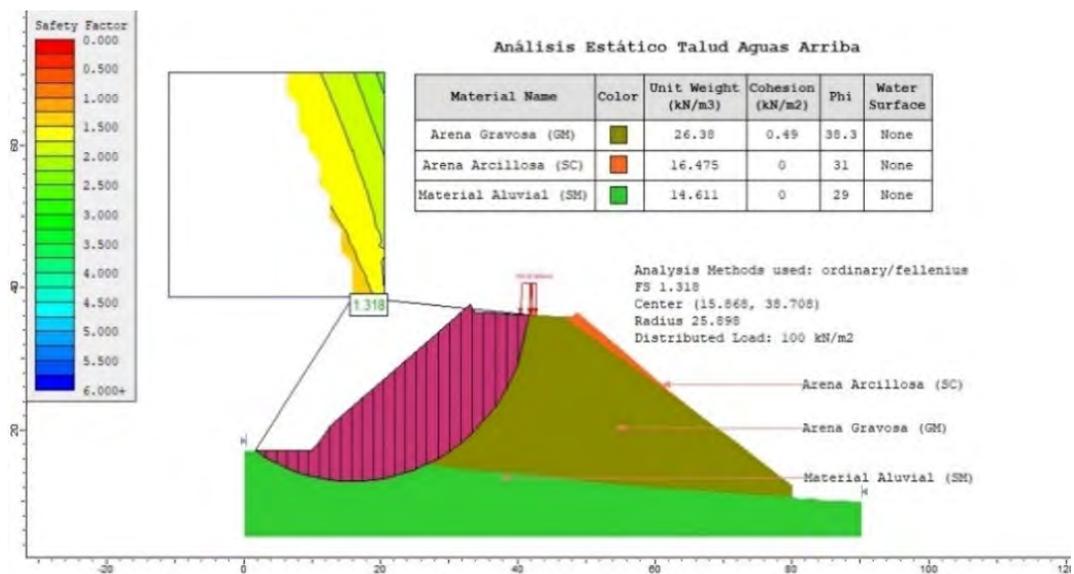
**Figura 54**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba*



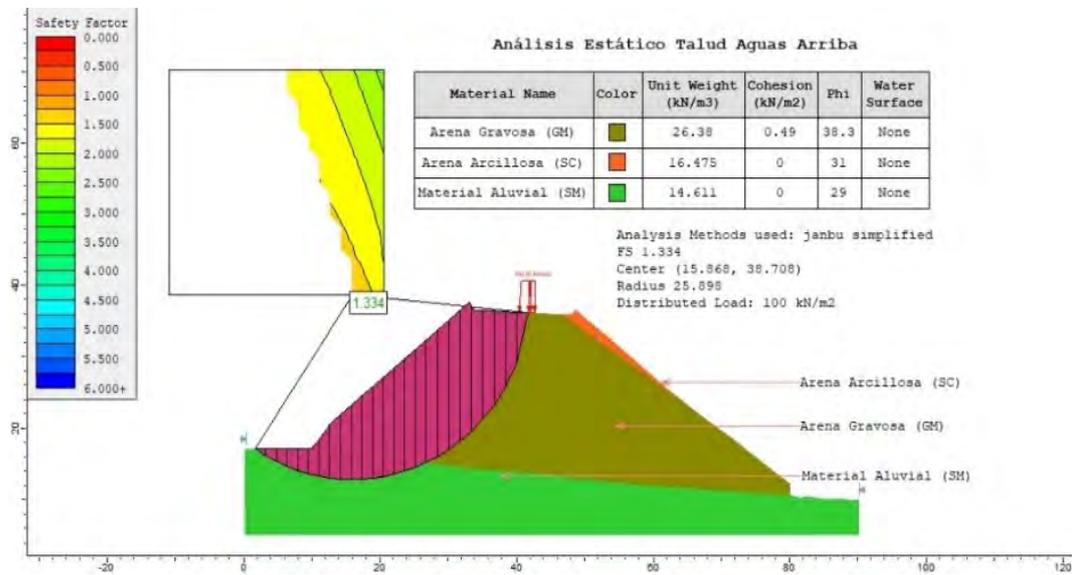
**Figura 55**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Fellenius en talud aguas arriba*



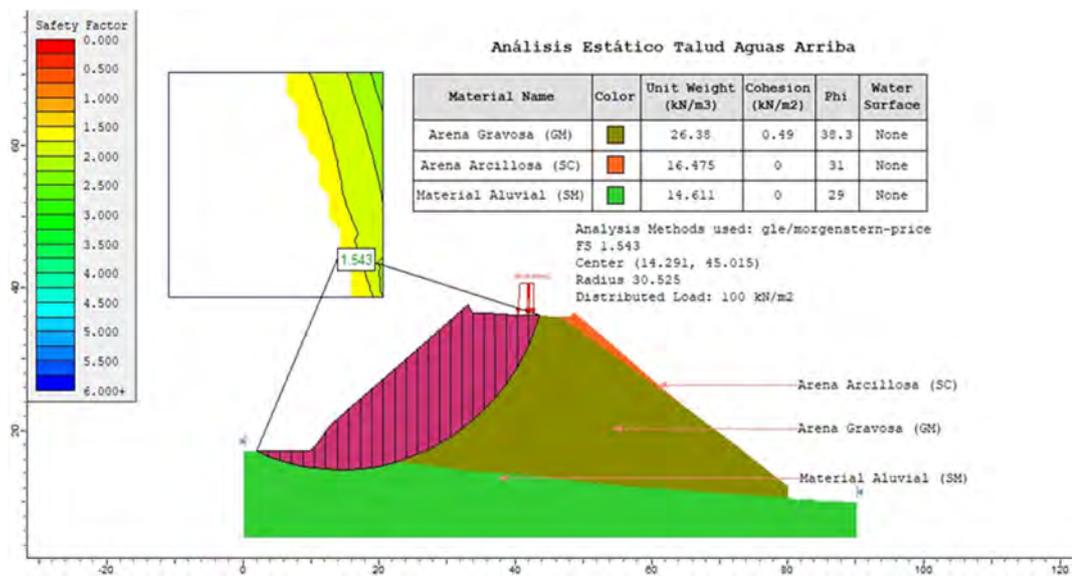
**Figura 56**

Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba



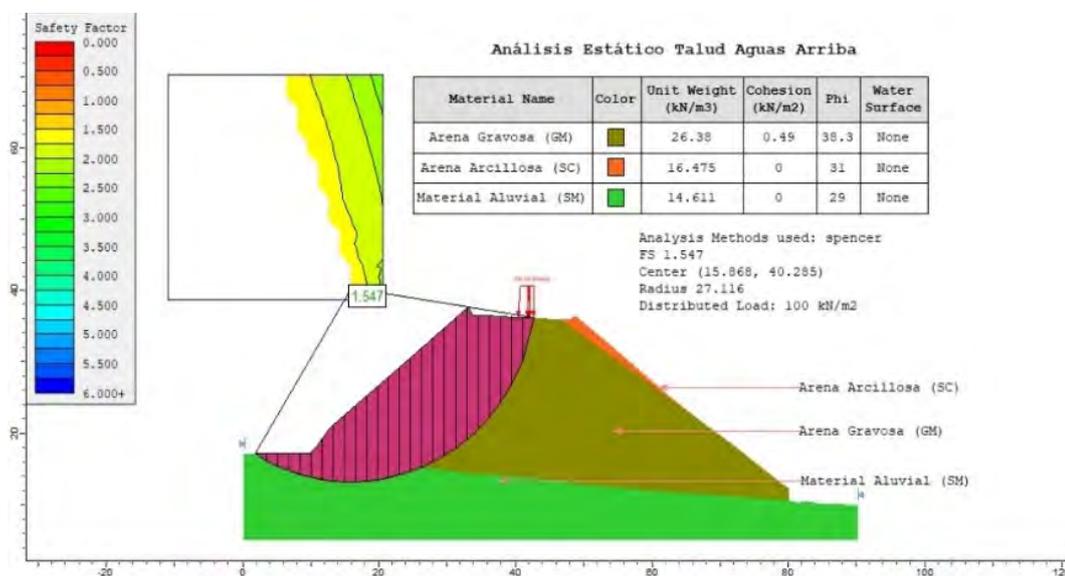
**Figura 57**

Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba



**Figura 58**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Spencer en talud aguas arriba*



#### 4.3.3.2. Evaluación Sísmica.

El siguiente análisis corresponde a una simulación en condiciones sísmicas, con los factores anteriormente mencionados procedentes de la norma E-030, donde se obtiene un F.S.= 0,683 como valor mínimo.

Este valor presenta una gran disminución del valor recogido en condiciones estáticas, esto debido a la poca densidad y cohesión de los materiales; pero que de forma natural este terraplén se ha podido mantener en cierta forma estable, estos valores confirman que se es necesario realizar trabajos de estabilización.

Las superficies de falla presentan un similitud como en la evaluación estática teniendo una similar superficie de falla circular con pocas variaciones. En la Tabla 30 se presenta el resultado de los Factores de Seguridad y las superficies de falla de los métodos de Bishop Simplificado (Figura 59), método Fellenius u Ordinario (Figura 60), método de Janbú Simplificado (Figura 61), método de Morgenstern-Price (Figura 62) y método de Spencer (Figura 63).

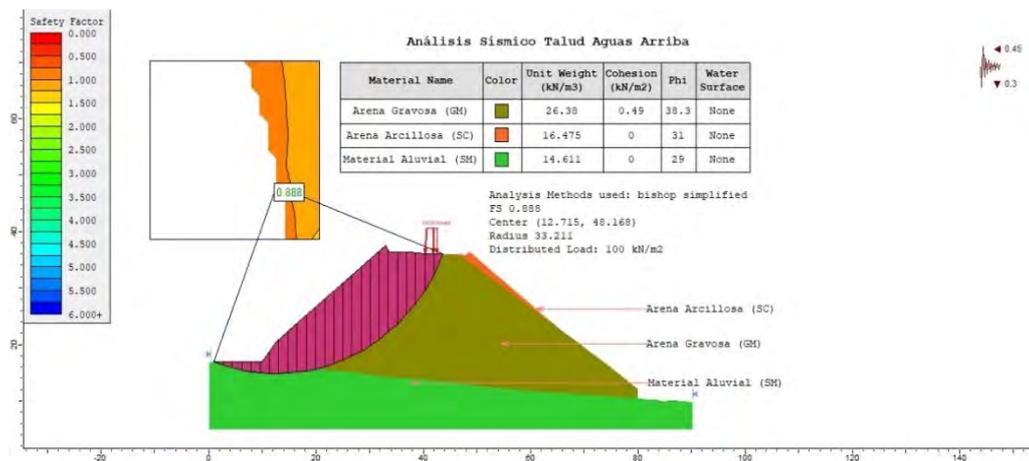
**Tabla 30**

*Valores del Factor de Seguridad en condiciones sísmicas del talud aguas arriba*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	0,702
Bishop Simplificado	0,888
Janbú Simplificado	0,683
Spencer	0,889
Morgenstern - Price	0,875

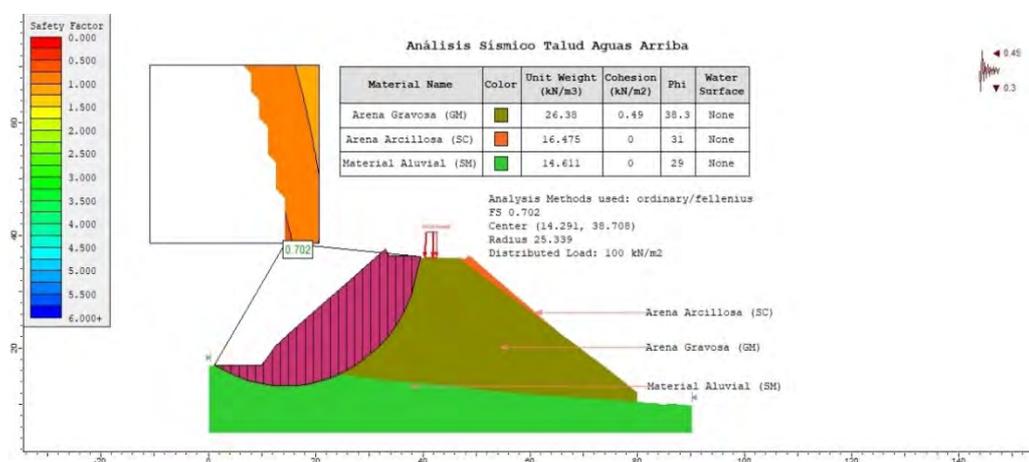
**Figura 59**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba*



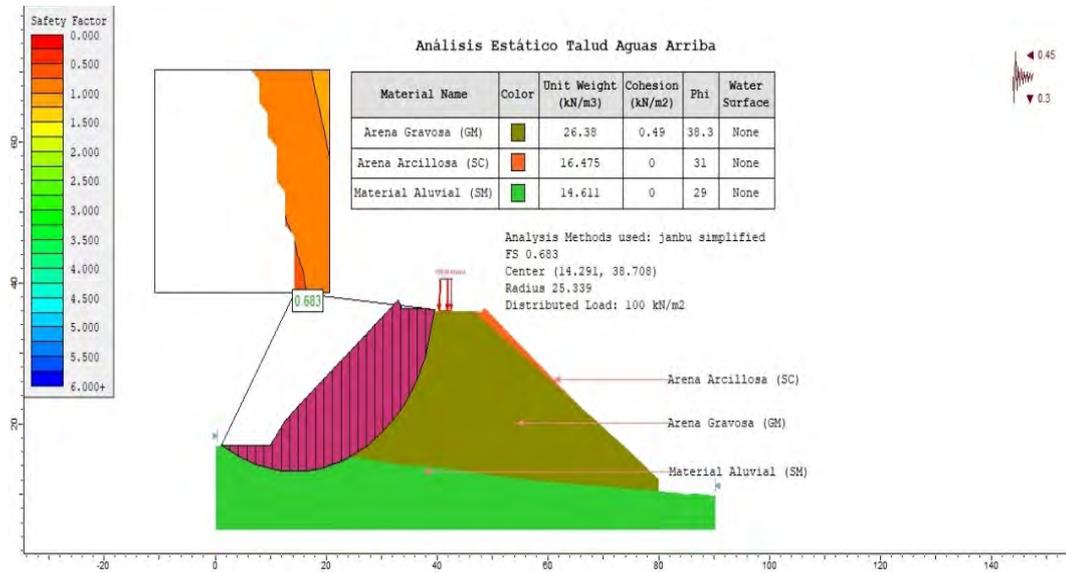
**Figura 60**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Fellenius talud en aguas arriba*



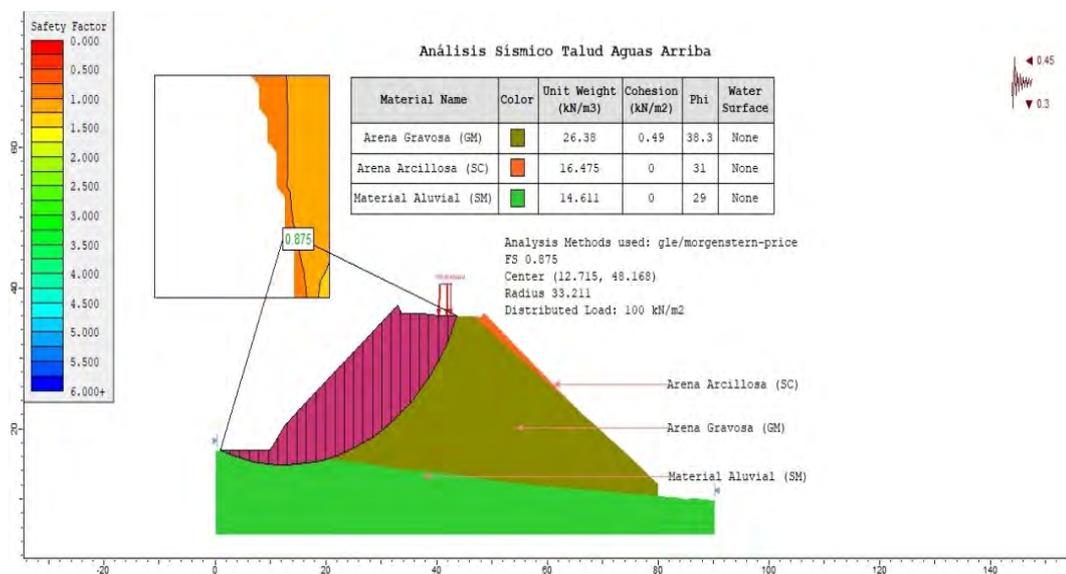
**Figura 61**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba*



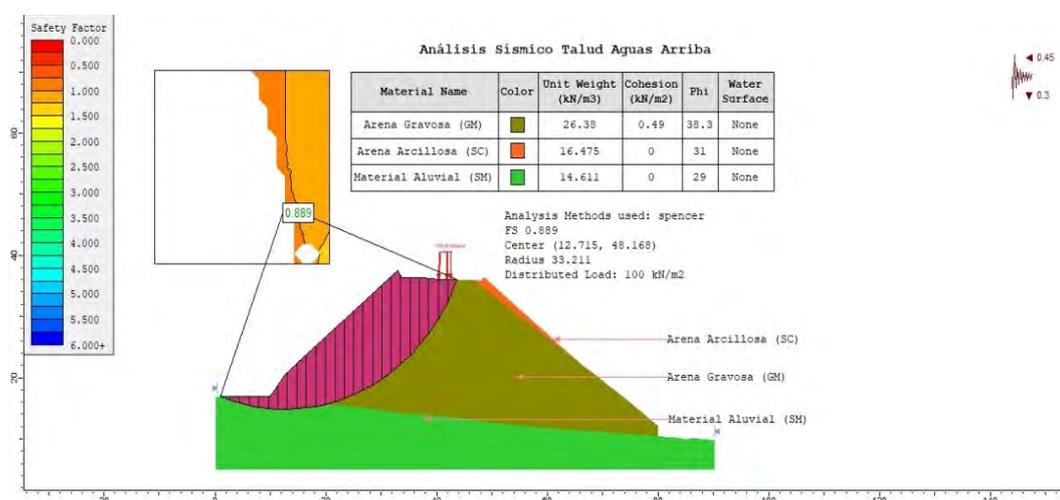
**Figura 62**

*superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba*



**Figura 63**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Spencer en talud aguas arriba*



#### 4.3.4. Análisis de Talud Natural Aguas Abajo

##### 4.3.4.1. Evaluación Estática

De igual manera, se realizó un primer análisis en el talud aguas abajo como se encuentra actualmente y se obtuvo un FS = 1,172 como valor mínimo. A diferencia de los resultados del talud aguas arriba, estos valores se encuentran por debajo de las normativas señaladas anteriormente; por lo que este talud se considera inestable, a diferencia del talud aguas arriba que podría considerarse estable estáticamente. Debido a esto, se considera necesario realizar trabajos de estabilización, cambiando la geometría o la instalación de elementos de refuerzo a lo largo del talud.

Con los resultados hallados se puede hacer la precisión, que las superficies de falla, al igual que el talud aguas arriba, es circular y abarca desde la carga distribuida del terraplén, hasta el pie del talud.

Los resultados se muestran en la Tabla 31, el cual nos muestra un valor máximo de 1,363 por el método de Bishop Simplificado. Finalmente se muestran las superficies de falla por el método de Bishop Simplificado (Figura 64), el método Fellenius u Ordinario (Figura 65), el método de Janbú Simplificado (Figura 66), el método de Morgenstern-Price (Figura 67) y el método de Spencer (Figura 68).

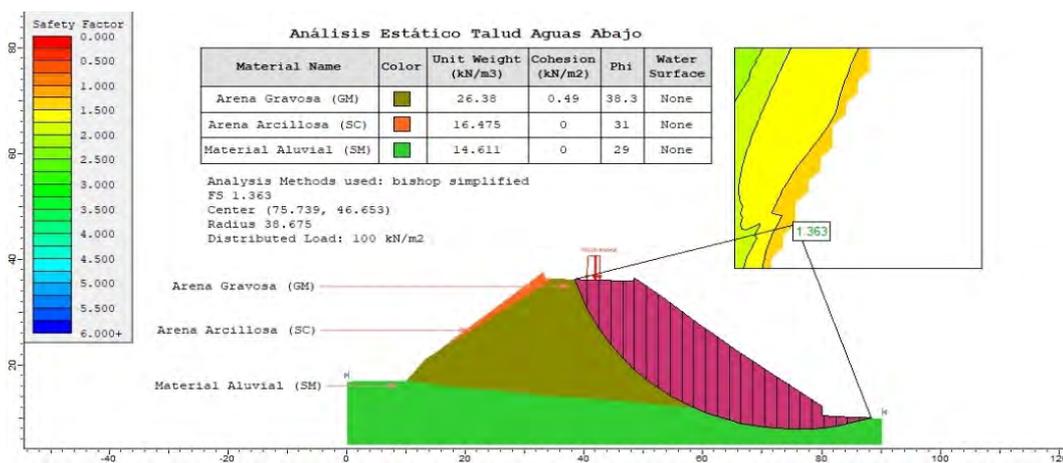
**Tabla 31**

*Valores del Factor de Seguridad en condiciones estáticas del talud aguas abajo*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	1,172
Bishop Simplificado	1,363
Janbú Simplificado	1,199
Spencer	1,331
Morgenstern - Price	1,331

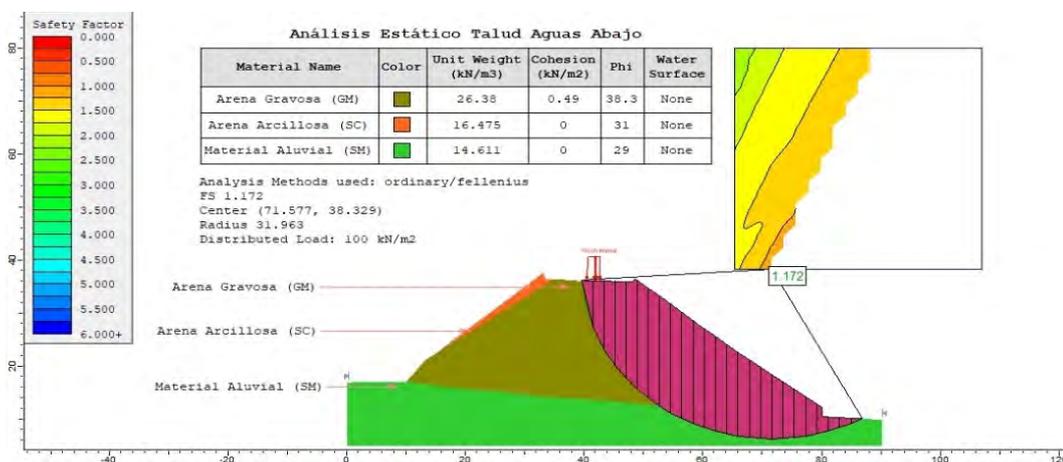
**Figura 64**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo*



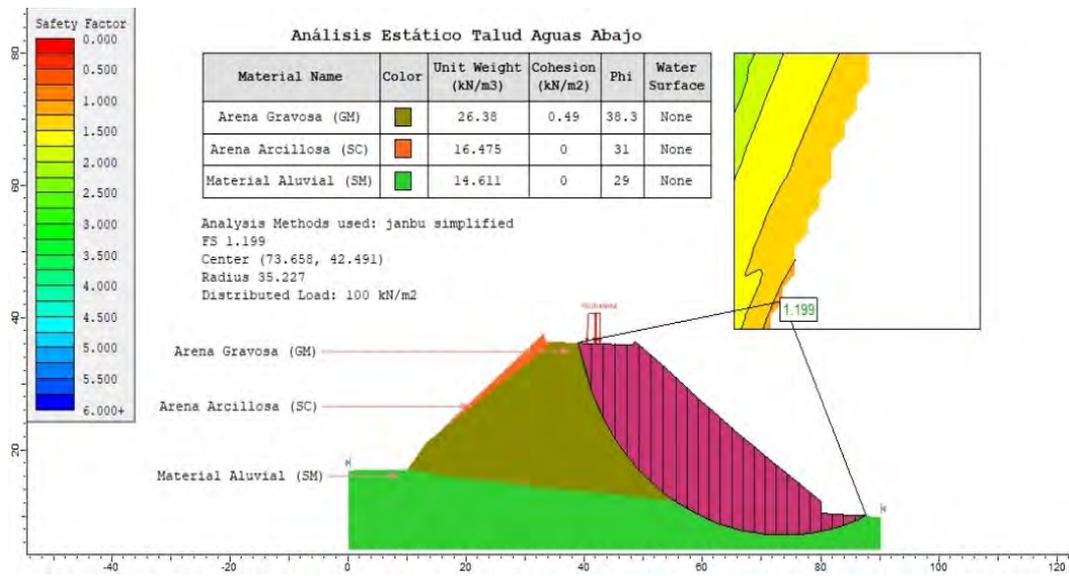
**Figura 65**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



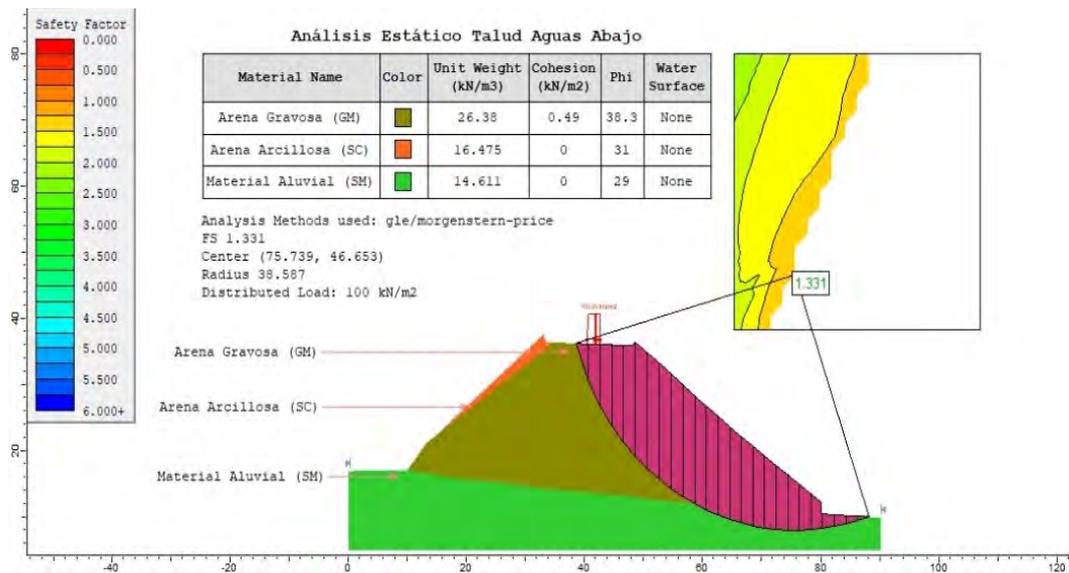
**Figura 66**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo*



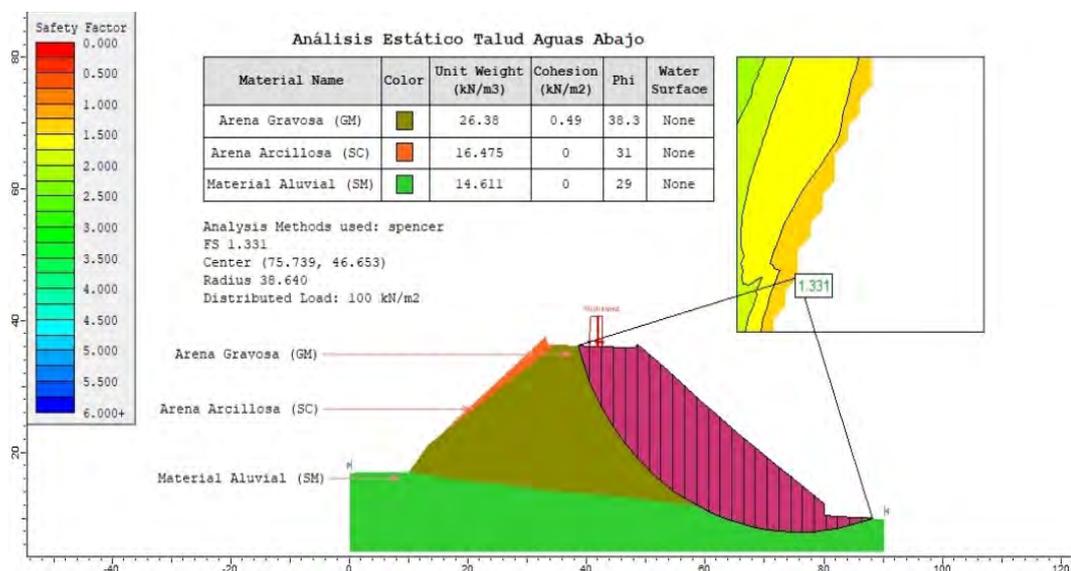
**Figura 67**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo*



**Figura 68**

*Superficie de falla en condiciones estáticas por el método de Spencer en talud aguas abajo*



#### 4.3.4.2. Evaluación Sísmico

Al igual que el análisis sísmico del talud anterior, presenta una gran disminución con un valor mínimo de  $FS = 0,633$ , esto evidencia una disminución considerable lo cual evidencia que este talud se encuentra más inestable que el anterior, por lo que se necesita realizar trabajos de estabilización del talud. De igual manera que el talud aguas arriba la superficie de falla se presenta circular y abarca la longitud del talud desde la carga distribuida en la parte superior del terraplén, hasta la parte del pie del talud. En la Tabla 32 se muestra los resultados.

**Tabla 32**

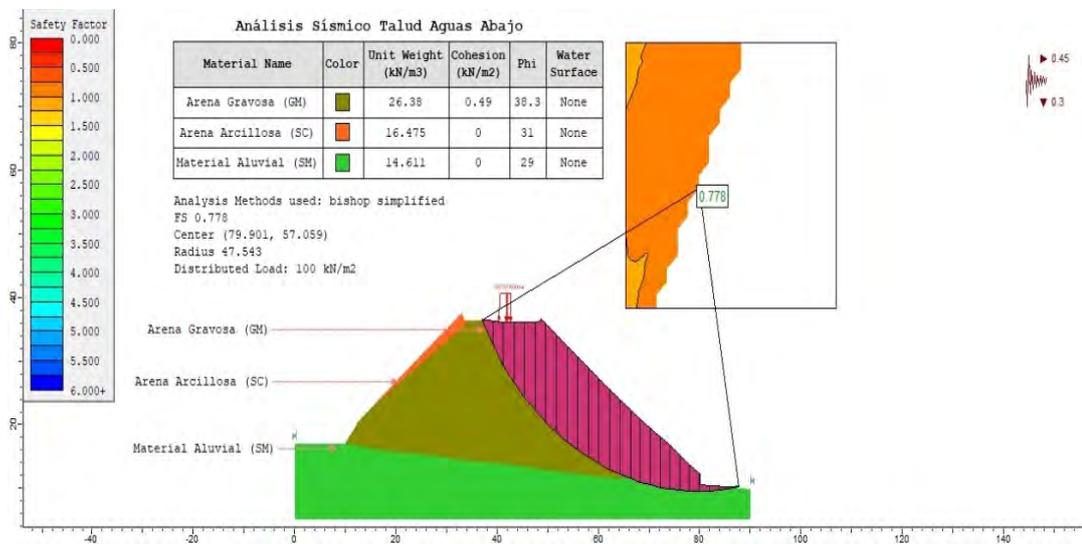
*Valores del Factor de Seguridad en condiciones sísmicas del talud aguas abajo*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	0,639
Bishop Simplificado	0,778
Janbú Simplificado	0,633
Spencer	0,775
Morgenstern - Price	0,763

Finalmente presentan las superficies de falla por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 69), Fellenius u Ordinario (Figura 70), Janbú Simplificado (Figura 71), Morgenstern-Price (Figura 72) y Spencer (Figura 73).

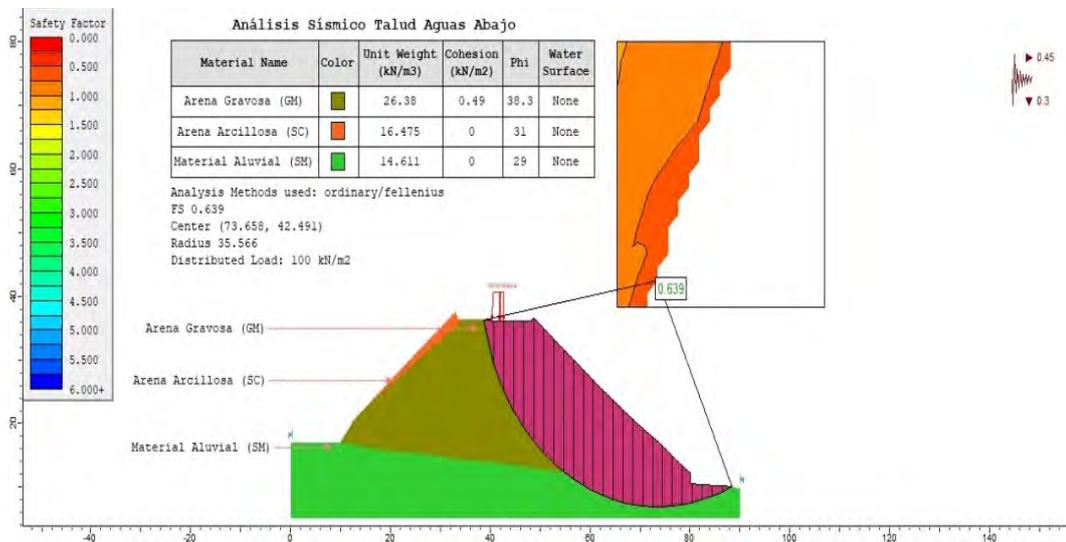
**Figura 69**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo*



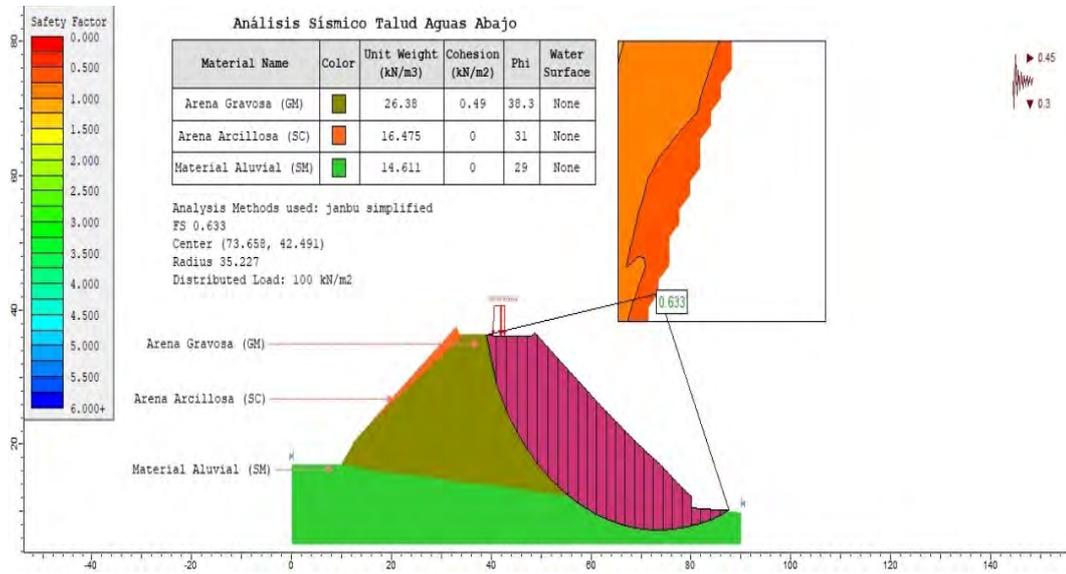
**Figura 70**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



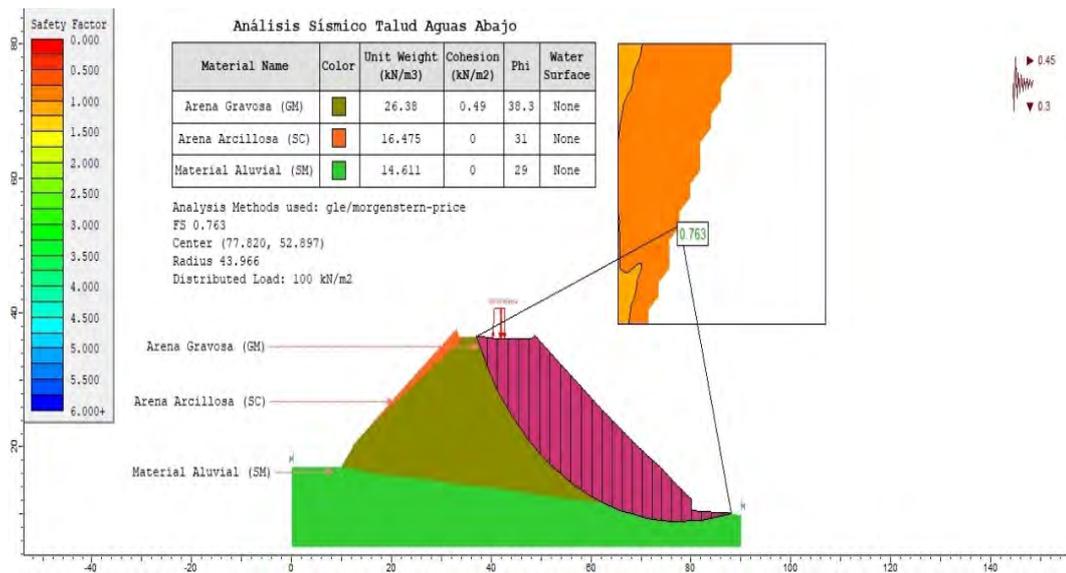
**Figura 71**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo*



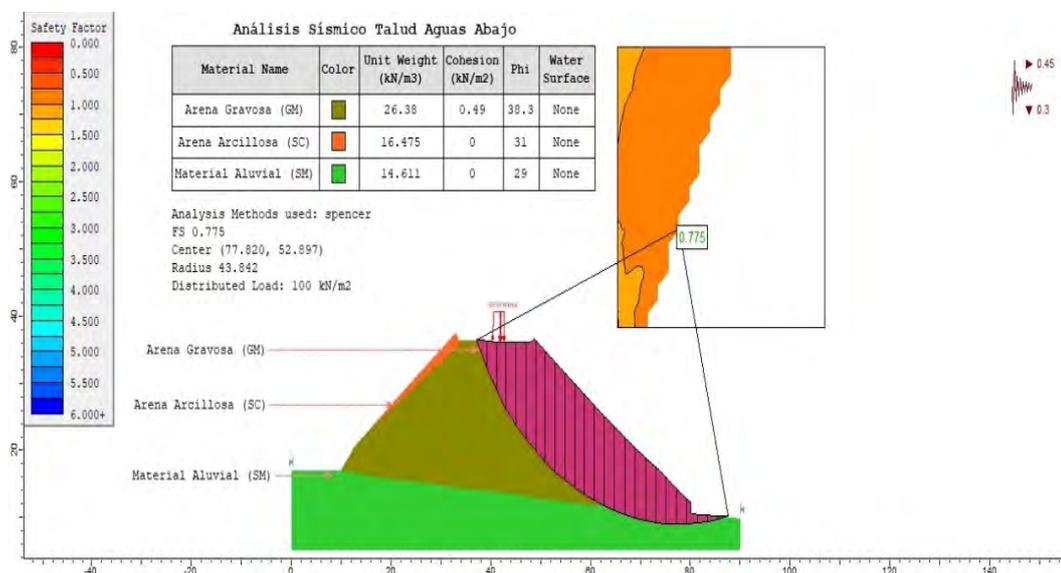
**Figura 72**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo*



**Figura 73**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas por el método de Spencer en talud aguas abajo*



#### **4.3.5. Evaluación de Taludes con Variación en la Geometría**

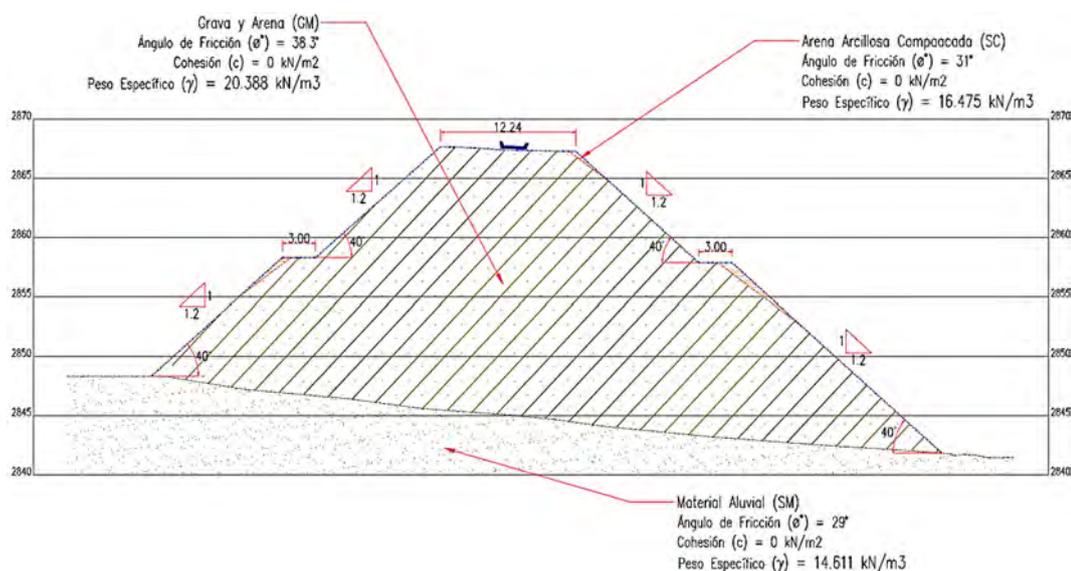
Una de las soluciones para mejorar la estabilización de los taludes más aplicadas, es cambiando su configuración geométrica mediante la variación del ángulo del talud, eliminando las crestas exageradas y realizando banquetas en los taludes para mejorar aún más la estabilización.

Para la variación geométrica se tomó en consideración lo estipulado en el Reglamento Nacional de Ferrocarriles (2005), en el cual nos da las dimensiones mínimas de las banquetas y de los lados de la vía férrea.

El resultado de esta configuración se muestra en la Figura 74 se muestra la configuración geométrica propuesta, en la que se eliminó gran cantidad del material arcilloso en ambos taludes, que se encuentra cubriendo al material gravoso arenoso, el cual es el material predominante dando como resultado un que solo un 2 % del terraplén queda aún cubierto por el material arcillosos y el resto, un 98 % del terraplén, queda con el material GM estudiado.

**Figura 74**

*Configuración geométrica propuesta y propiedades del talud*



*Nota.* Se muestra el perfil longitudinal propuesto, los tipos de suelo del terraplén, las relaciones de los taludes y las banquetas.

#### 4.3.5.1. Evaluación de Talud Aguas Arriba.

*Evaluación en condiciones estáticas.* Se logra un ligero incremento del Factor de Seguridad en los métodos que Fellenius y Janbú, que fueron los valores mínimos en el análisis en estado natural, dando en esta nueva configuración un valor mínimo FS = 1,340, en condiciones estáticas, siendo aún insuficiente para los valores del factor de seguridad que se eligió para el análisis.

En los demás métodos se consigue el valor mínimo requerido, pero como se observó en el análisis del talud en estado natural, estos valores disminuirán en el análisis sísmico. Estos valores se resumen en la Tabla 33 y se muestran los resultados de las superficies de falla por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 75), Fellenius (Figura 76), Janbú Simplificado (Figura 77), Morgenstern-Price (Figura 78) y Spencer (Figura 79).

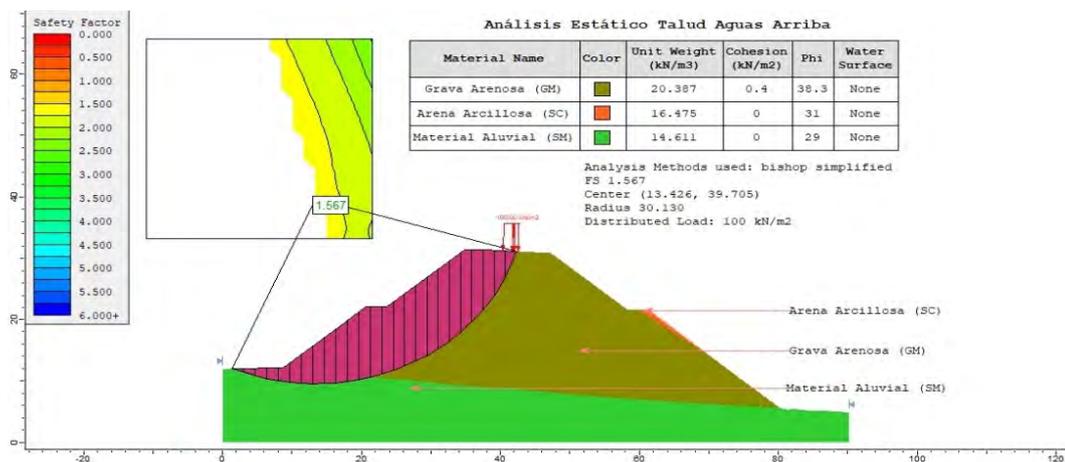
**Tabla 33**

Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica en condiciones estáticas del talud aguas arriba

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	1,340
Bishop Simplificado	1,567
Janbú Simplificado	1,348
Spencer	1,527
Morgenstern - Price	1,520

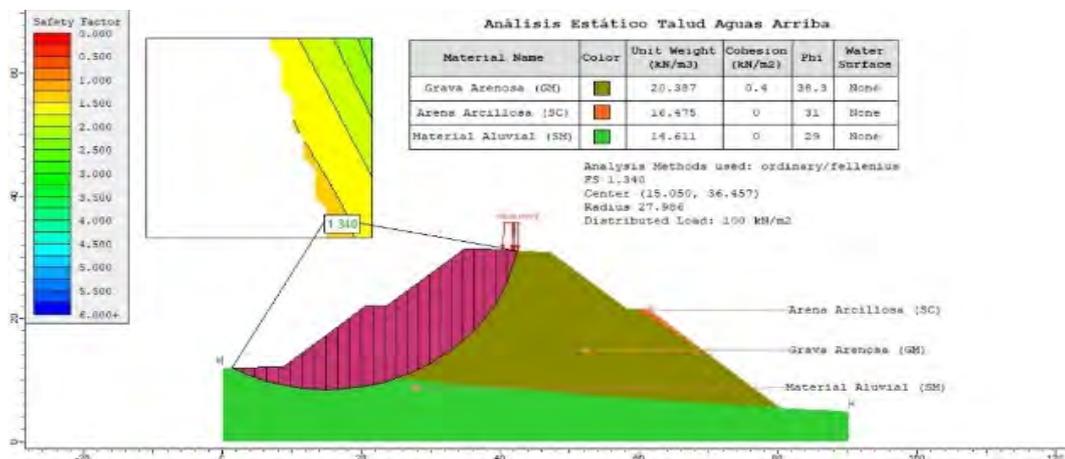
**Figura 75**

Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo



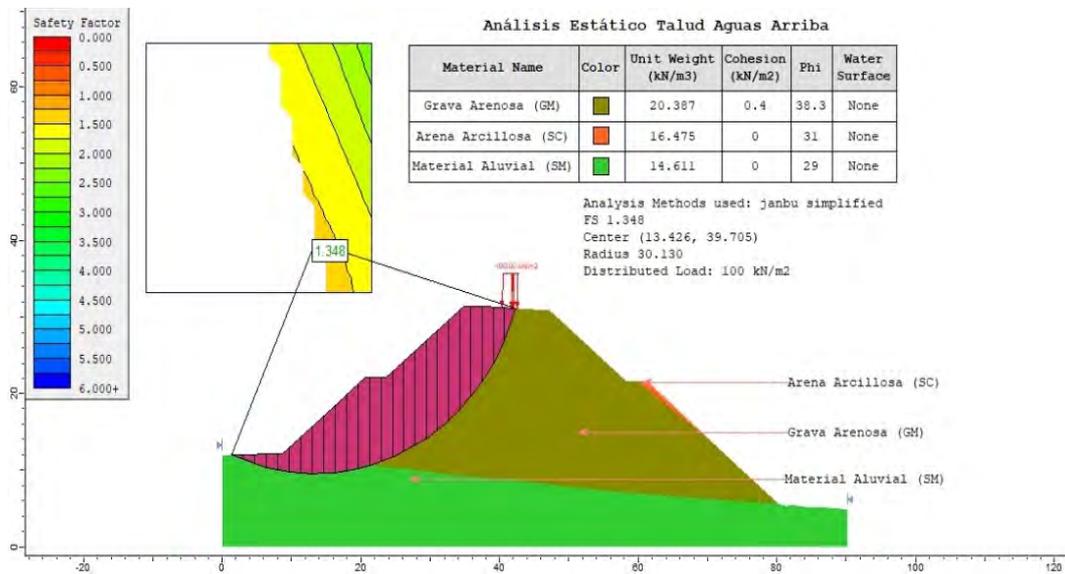
**Figura 76**

Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo



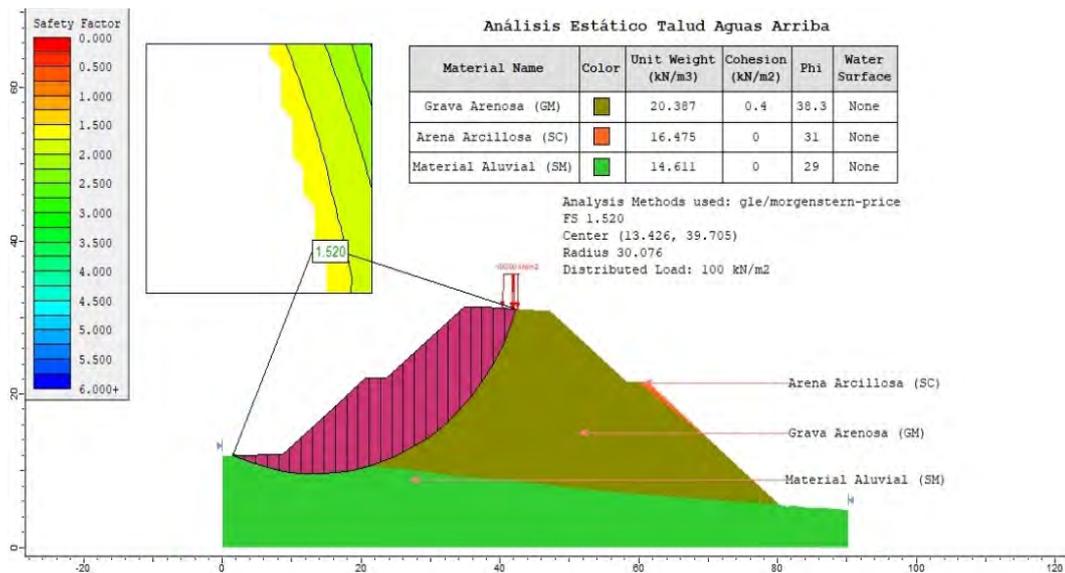
**Figura 77**

*Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo*



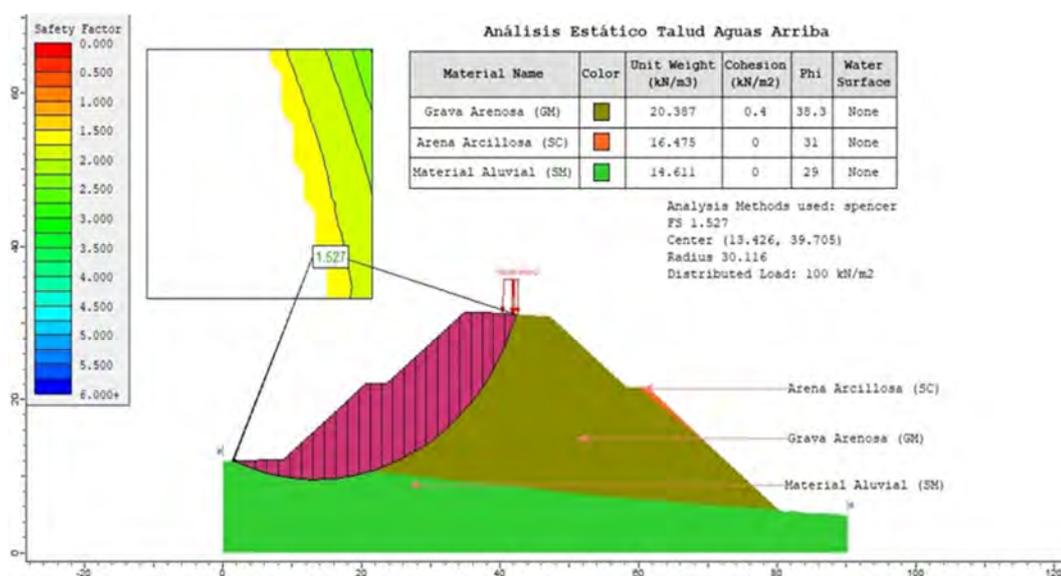
**Figura 78**

*Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo*



**Figura 79**

*Superficie de falla en condiciones estáticas con variación geométrica por el método de Spencer en talud aguas abajo*



*Evaluación en condiciones sísmica.* En el análisis sísmico el valor mínimo de FS = 0,717, que presenta una ligera mejora, sin embargo, no basta con la variación geométrica para la estabilización del talud por lo que se tendrá que adicionar refuerzos para estabilización final del talud, esto debido a los factores mencionados anteriormente. En la Tabla 34 se presentan los resultados del Factor de Seguridad.

**Tabla 34**

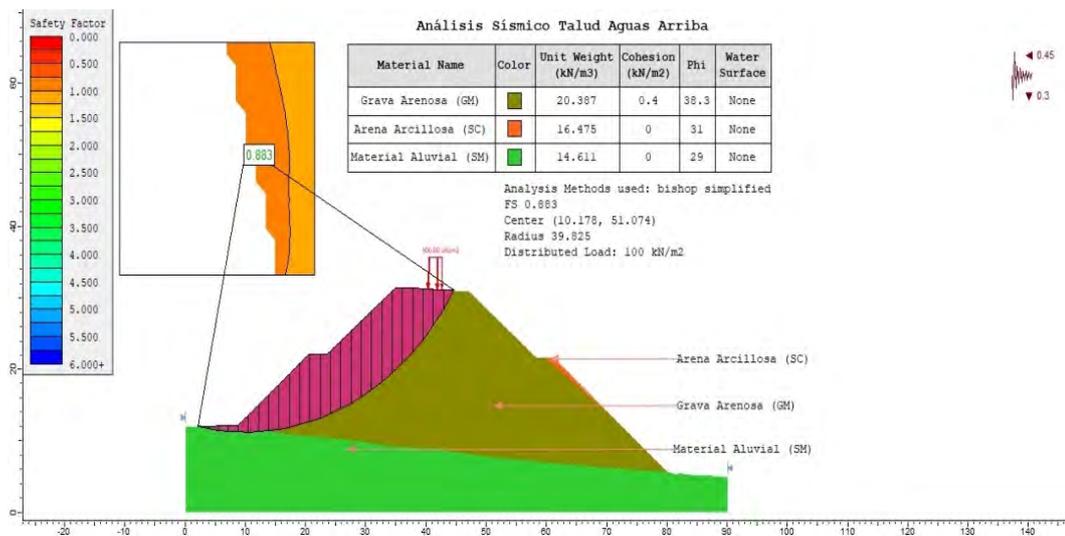
*Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica en condiciones sísmicas del talud aguas arriba*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	0,726
Bishop Simplificado	0,883
Janbú Simplificado	0,717
Spencer	0,896
Morgenstern - Price	0,878

A continuación, se muestran las superficies de falla resultantes por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 80), Fellenius (Figura 81) Janbú Simplificado (Figura 82), Morgenstern-Price (Figura 83) y Spencer (Figura 84).

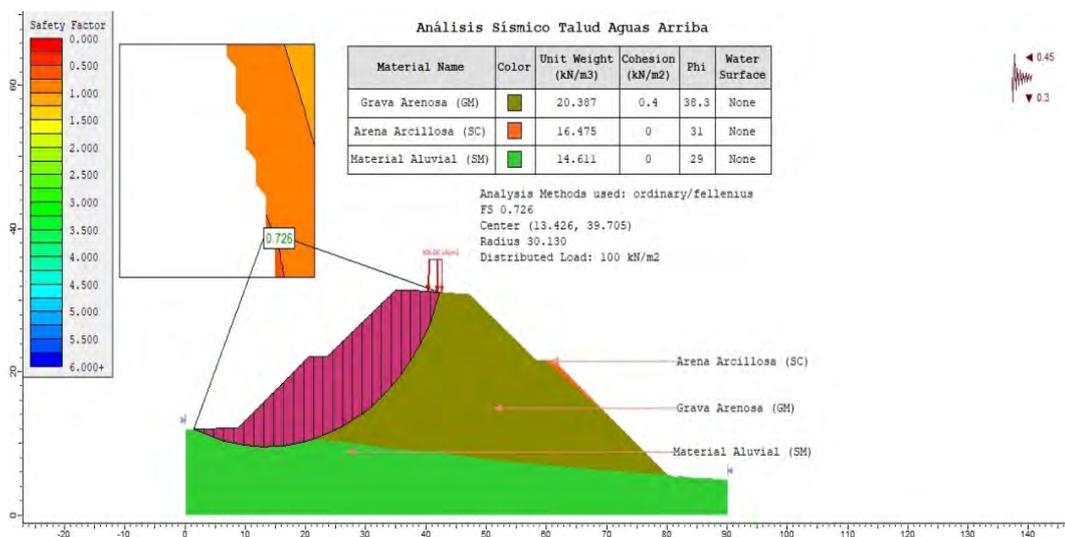
**Figura 80**

*Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba*



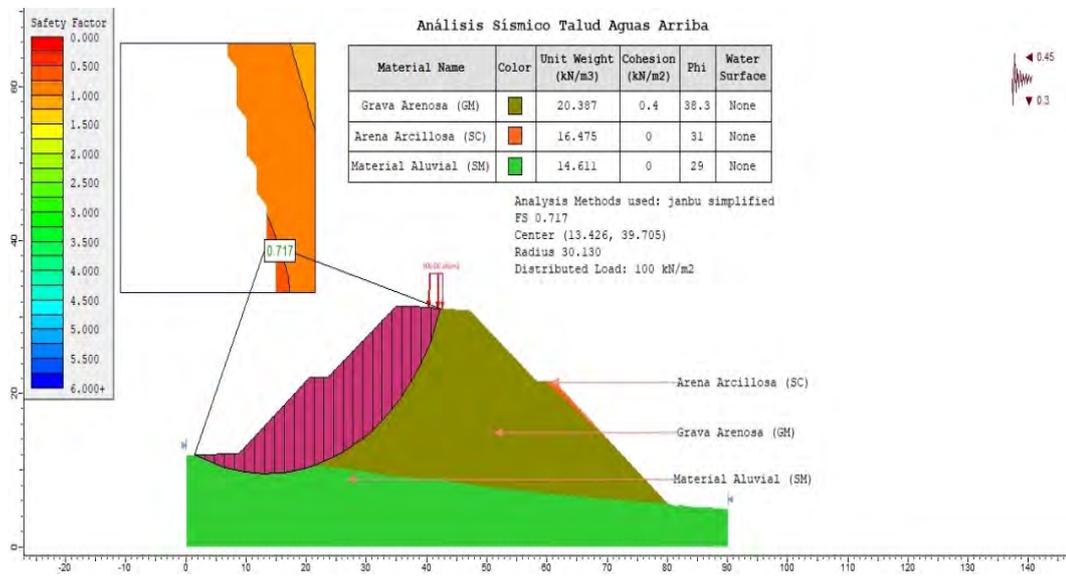
**Figura 81**

*Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas arriba*



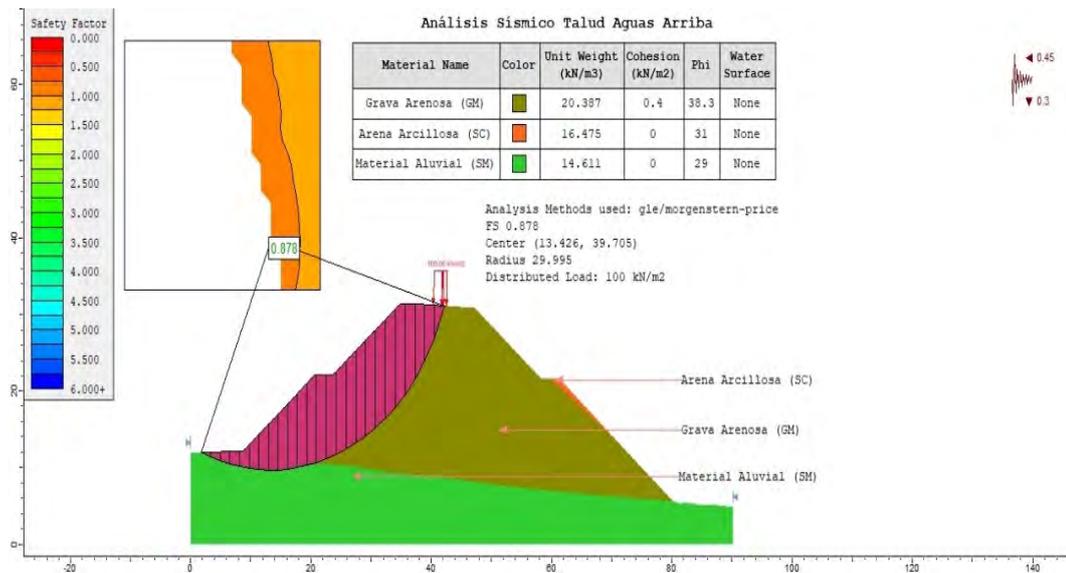
**Figura 82**

*Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas arriba*



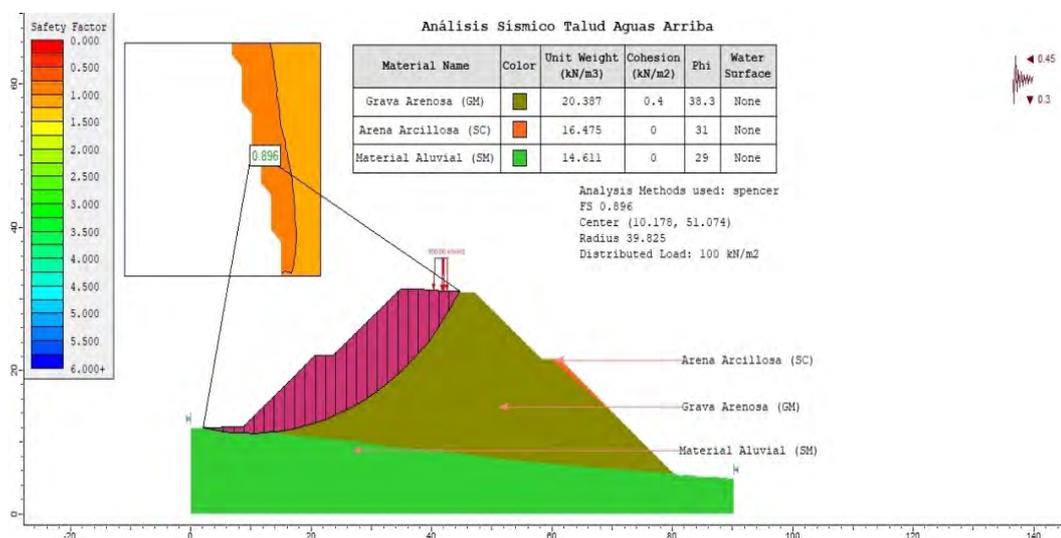
**Figura 83**

*Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba*



**Figura 84**

*Superficie de falla en condiciones sísmicos con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba*



#### 4.3.5.2. Evaluación de Talud Aguas Abajo

*Evaluación en condiciones estáticas.* En este talud, también se realiza variación geométrica variando el ángulo del talud, eliminación de crestas exageradas y la confección de banquetas. También se eliminó gran cantidad del material arcilloso, quedándonos con el material gravoso arenoso. Se logra un ligero incremento del FS = 1,139, en condiciones estáticas, sin embargo, este tampoco no llega a cumplir con las normas establecidas. Los valores se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35**

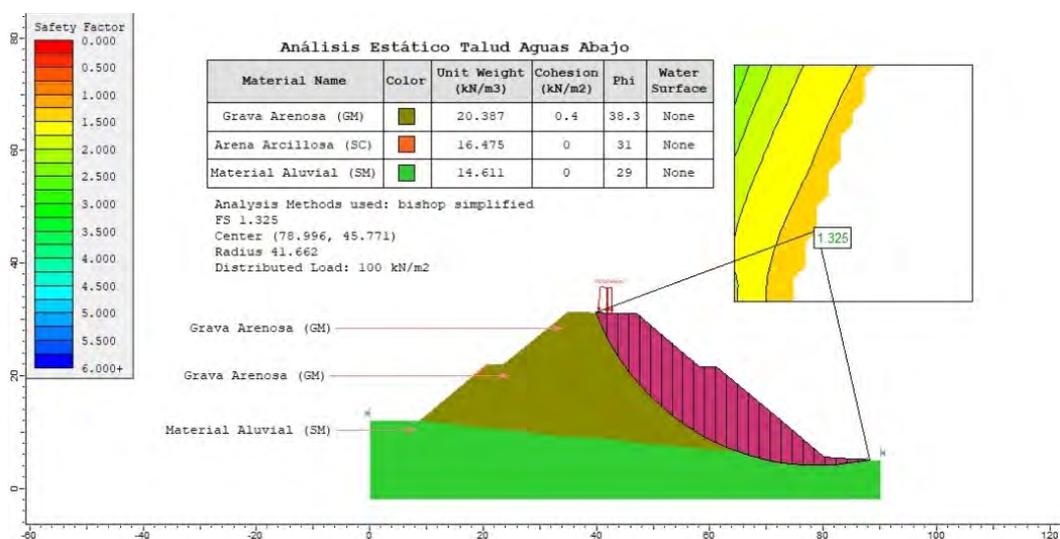
*Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica en condiciones estáticas del talud aguas abajo*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	1,139
Bishop Simplificado	1,325
Janbú Simplificado	1,159
Spencer	1,291
Morgenstern - Price	1,285

Así mismo, se muestran las superficies de falla resultantes, igual que en los casos anteriores, por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 85), Fellenius (Figura 86) Janbú Simplificado (Figura 87), Morgenstern-Price (Figura 88) y Spencer (Figura 89).

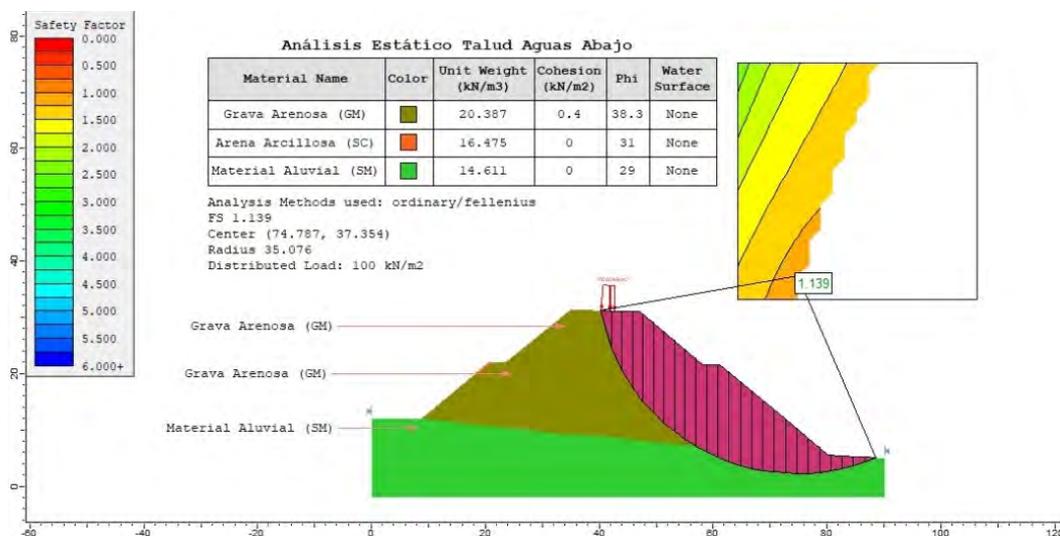
**Figura 85**

*Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo*



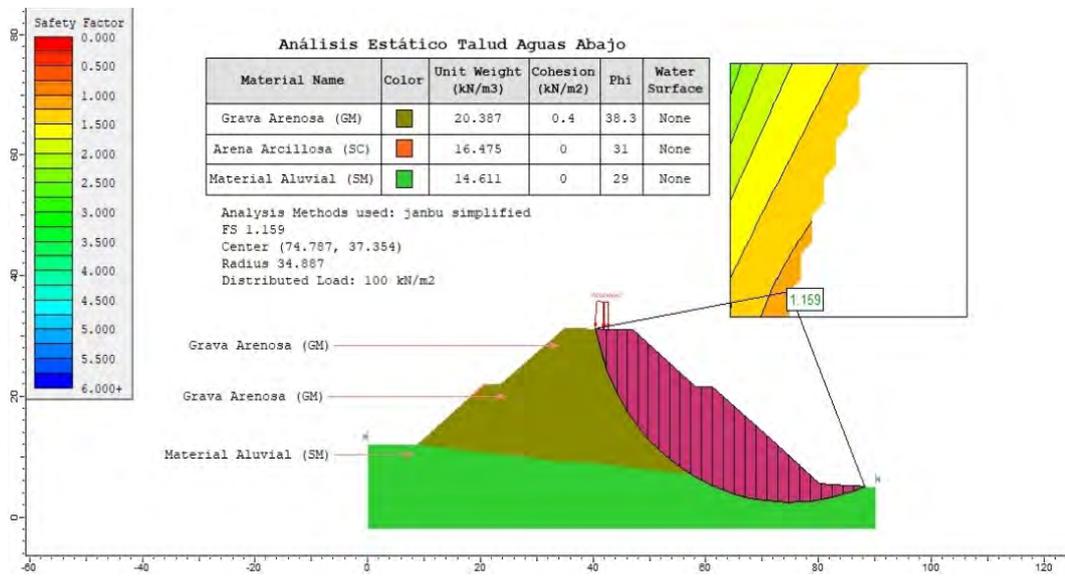
**Figura 86**

*Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



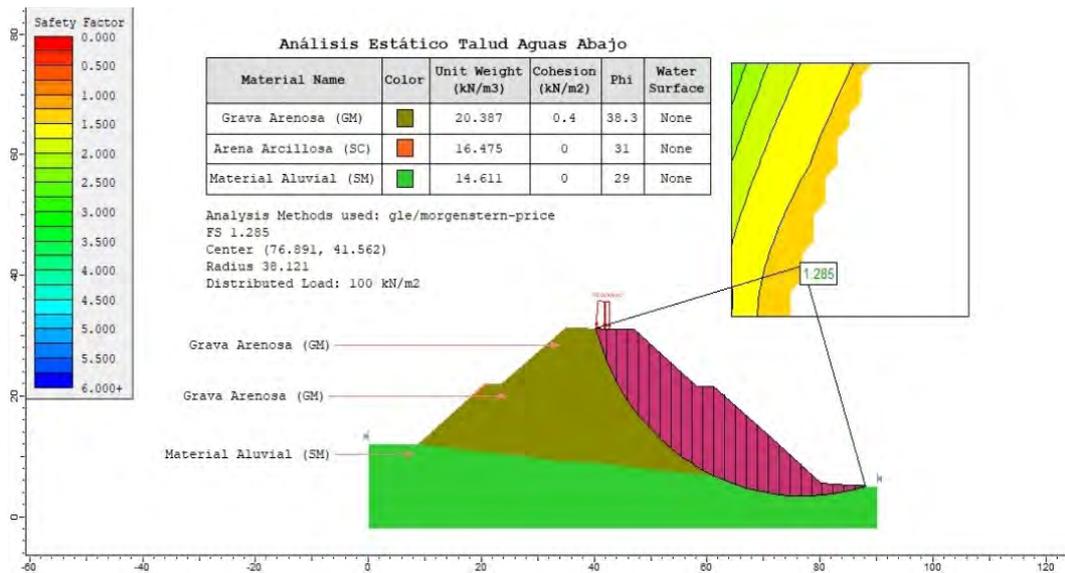
**Figura 87**

*Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



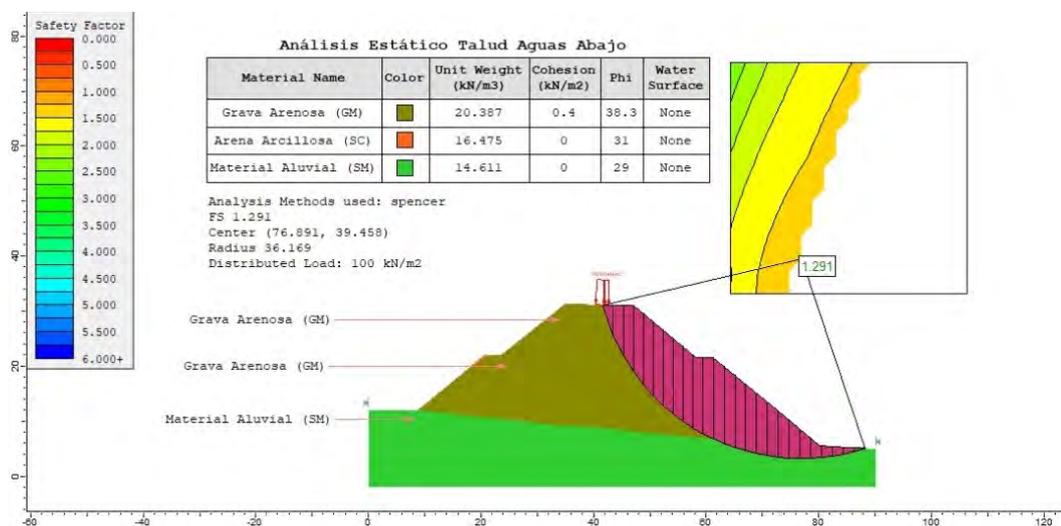
**Figura 88**

*Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo*



**Figura 89**

*Superficie de falla en condiciones estático con variación geométrica por el método de Spencer en talud aguas abajo*



*Evaluación en condiciones estáticas.* Al igual que el talud anterior, el análisis posterior es el análisis sísmico en las condiciones ya mencionadas, este resulta en  $FS = 0,610$ , lo que significa que con la variación geométrica no es suficiente para la estabilización del talud, por lo que, en este talud, también se necesitara de un refuerzo adicional final el cual satisfaga el valor mínimo solicitado por la normativa, estos resultados se muestran en la Tabla 36.

**Tabla 36**

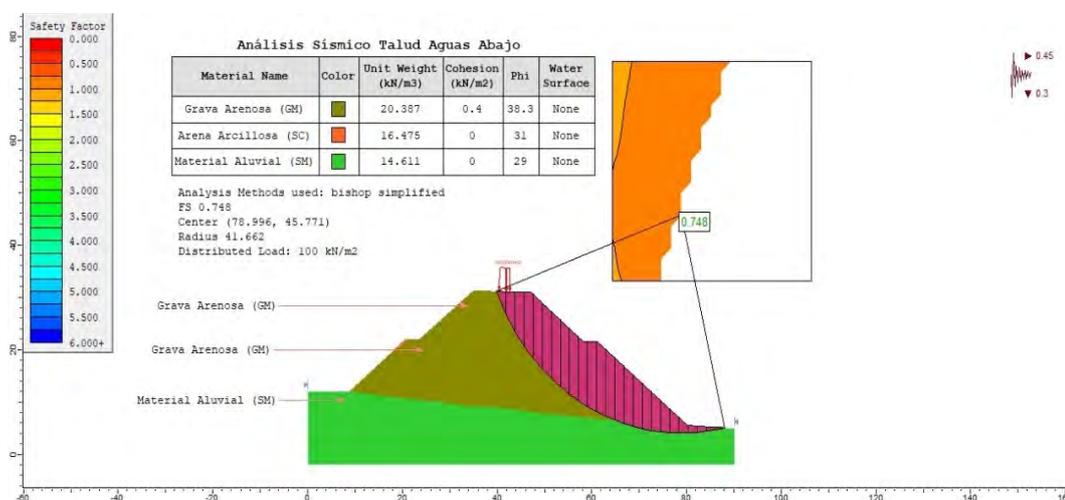
*Valores del Factor de Seguridad con variación geométrica en condiciones sísmicas del talud aguas abajo*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	0,610
Bishop Simplificado	0,748
Janbú Simplificado	0,612
Spencer	0,746
Morgenstern - Price	0,740

Seguidamente, se muestran las superficies de falla resultantes por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 90), Fellenius (Figura 91) Janbú Simplificado (Figura 92), Morgenstern-Price (Figura 93) y Spencer (Figura 94).

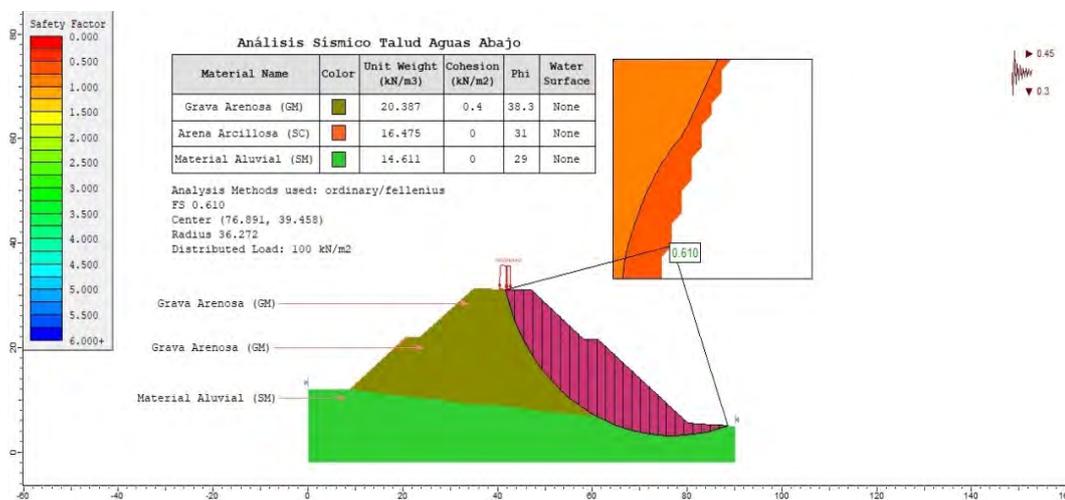
**Figura 90**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo*



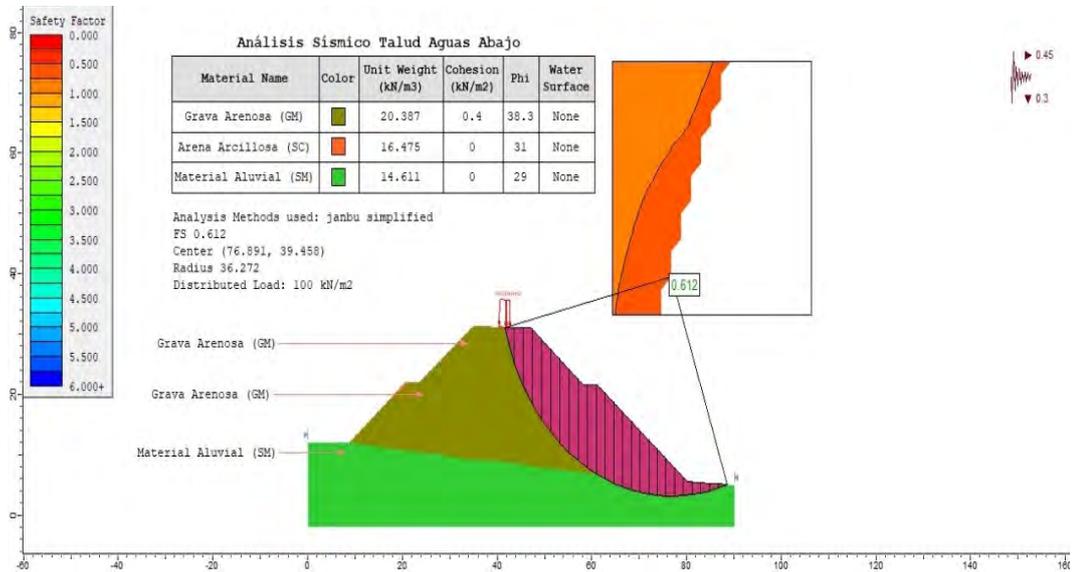
**Figura 91**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



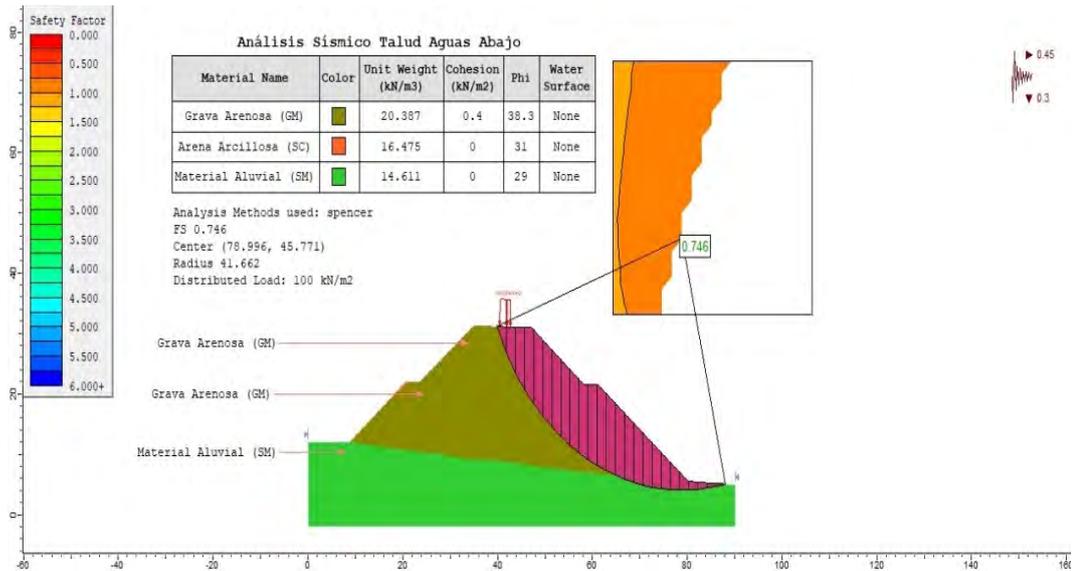
**Figura 92**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo*



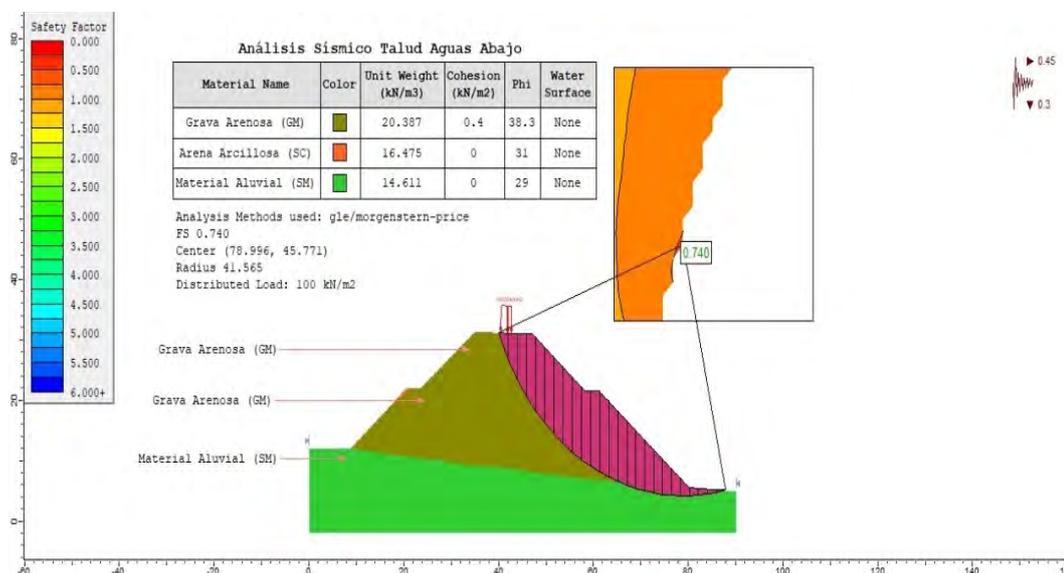
**Figura 93**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Spencer en talud aguas abajo*



**Figura 94**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas con variación geométrica por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo*



#### **4.3.6. Evaluación de Taludes con Propuesta Reforzada Final**

Con los datos obtenidos, se tiene que no es suficiente la variación geométrica propuesta, por lo tanto, el siguiente paso sería de colocarle soportes o reforzamientos, ya que la construcción del túnel se procederá a continuación de la estabilidad de taludes, se necesita un sistema fácil y rápido de instalación por lo que se utilizaras anclajes inyectados. Como pudimos observar en la superficie de falla en la configuración geométrica, se necesita de la estabilización de una superficie importante a lo largo de todo el talud tanto aguas arriba como aguas abajo. Las consideraciones que asumiremos para estos anclajes en la evaluación con el programa Slide se presentan en el plano del Anexo 5 y son las siguientes:

- Deberán tener la distancia suficiente para cubrir esta falla, por lo que se utilizarán anclajes inyectados de al menos 9,00 m de longitud, que es la distancia aproximada de la superficie al arco de la superficie de falla,
- Un espaciamiento el cual sea consistente para no dejar mucho espacio entre anclajes por lo que la separación que tendremos será de 1,5 m a lo largo de toda la longitud del talud,

- Se incluirá 1 anclaje en la banquetta, de cada talud con dirección a la superficie de falla.
- Para la configuración de los anclajes en el programa Slide se considerará una resistencia a la Tracción 100 kN, al igual que la capacidad del plato.
- La distancia que sobresale del talud se considerara de 0,15 m del talud y la platina.

#### 4.3.6.1. Evaluación de Talud Aguas Arriba

*Evaluación en condiciones estáticas.* Para este talud en condiciones estáticas, se obtiene el FS = 1,849, que cumple los requerimientos el valor mínimo de la norma el cual es un FS = 1,5. Con los refuerzos se observa un incremento sustancial en el FS, con lo que se considera que es necesario el uso de refuerzos para dar al talud la estabilidad que se requiere para que brinde la seguridad que se necesitara, en el momento del inicio de la construcción del túnel de drenaje.

Los resultados de los Factores de Seguridad de las evaluaciones por diferentes métodos se muestran en la Tabla 37, así mismo, se presentan las superficies de falla por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 95,) Fellenius (Figura 96), Janbú Simplificado (Figura 97), Morgenstern-Price (Figura 98) y Spencer (Figura 99).

**Tabla 37**

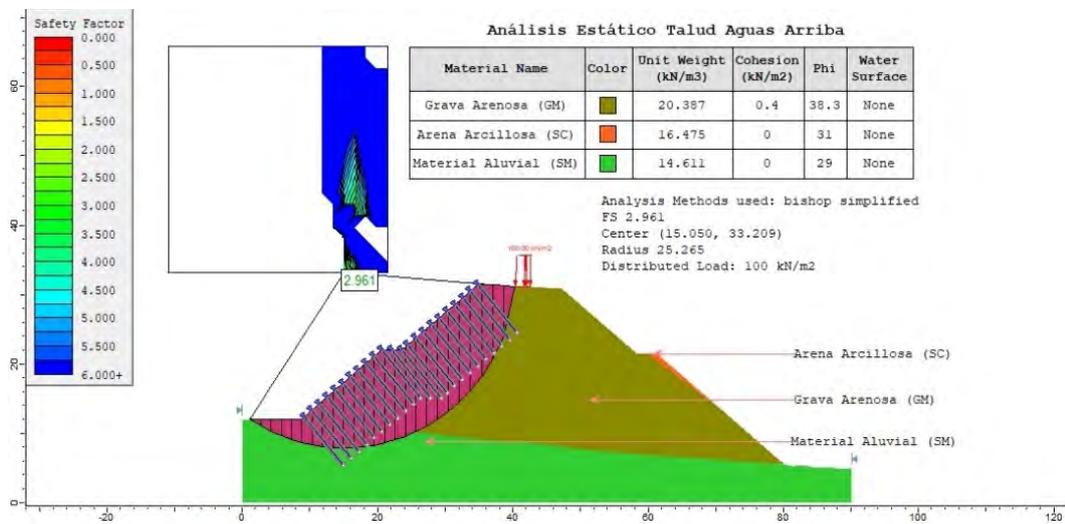
*Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada en condiciones estáticas del talud aguas arriba*

<b>Método</b>	<b>Factor de Seguridad Mínimo</b>
Ordinario o de Fellenius	2,094
Bishop Simplificado	2,961
Janbú Simplificado	1,849
Spencer	2,672
Morgenstern - Price	2,681

De igual manera que en las evaluaciones anteriores, se muestran las superficies de falla resultantes por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 95), Fellenius (Figura 96) Janbú Simplificado (Figura 97), Morgenstern-Price (Figura 98) y Spencer (Figura 99).

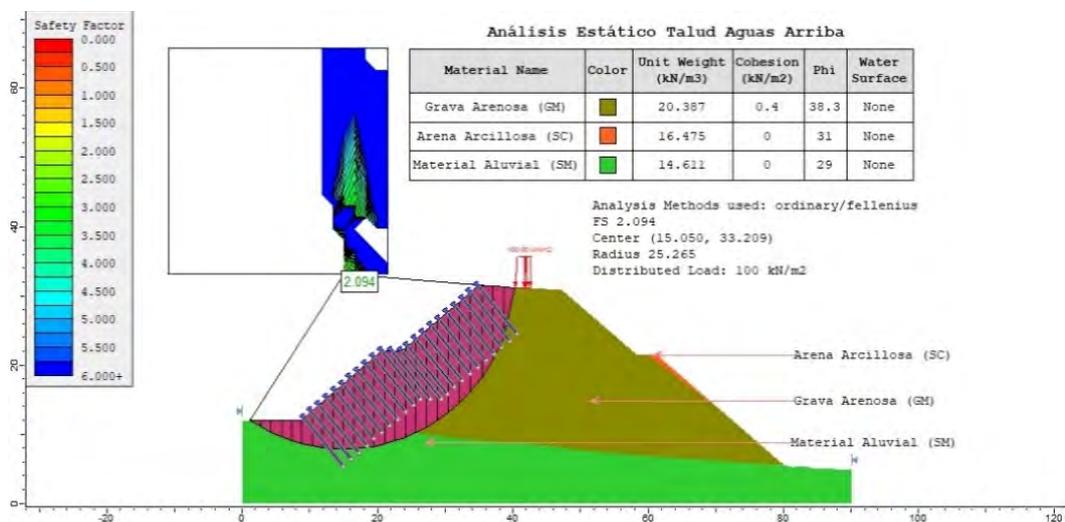
**Figura 95**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba*



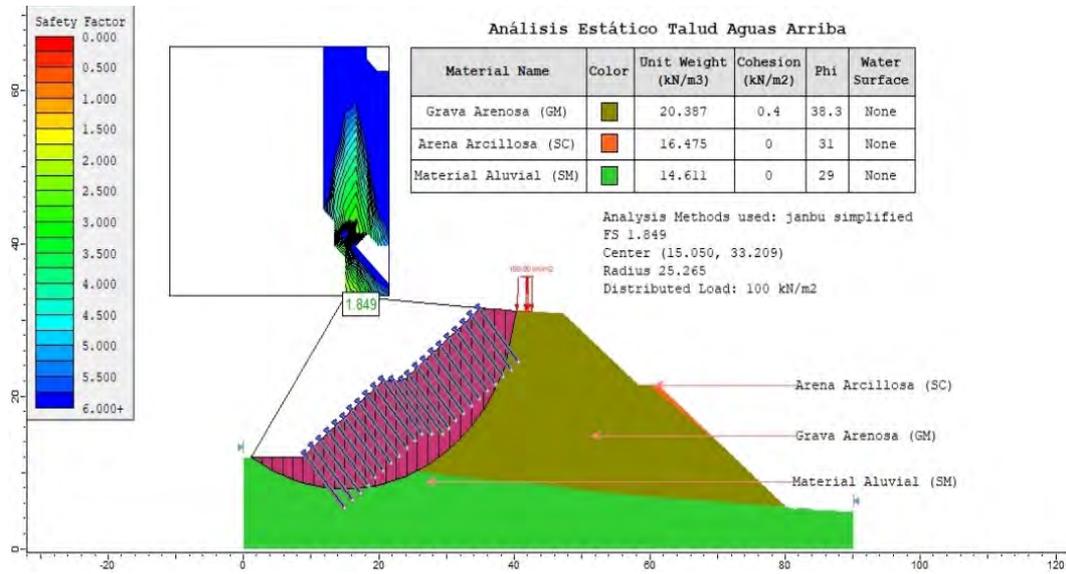
**Figura 96**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas arriba*



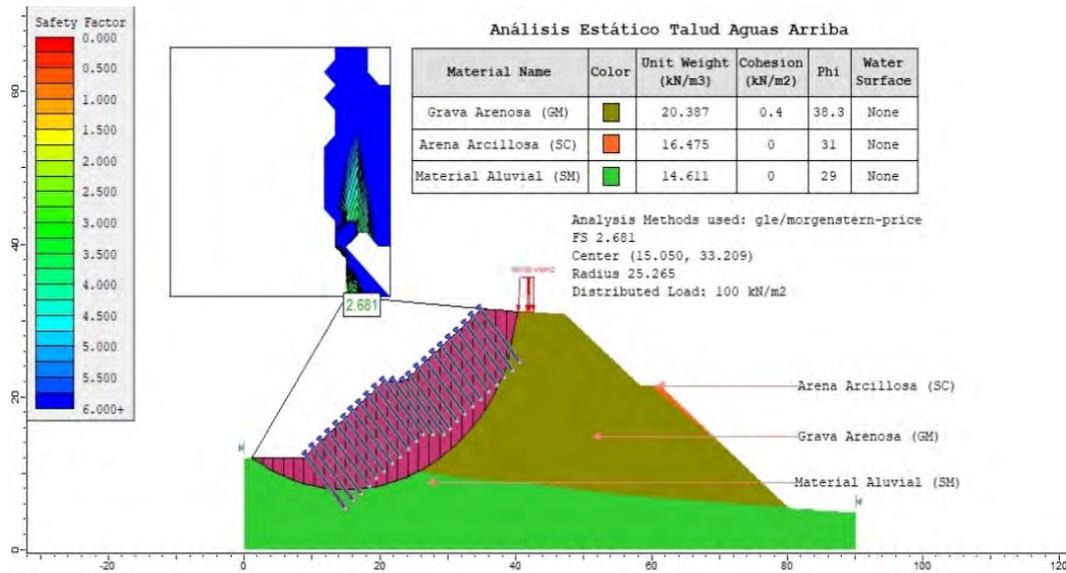
**Figura 97**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba*



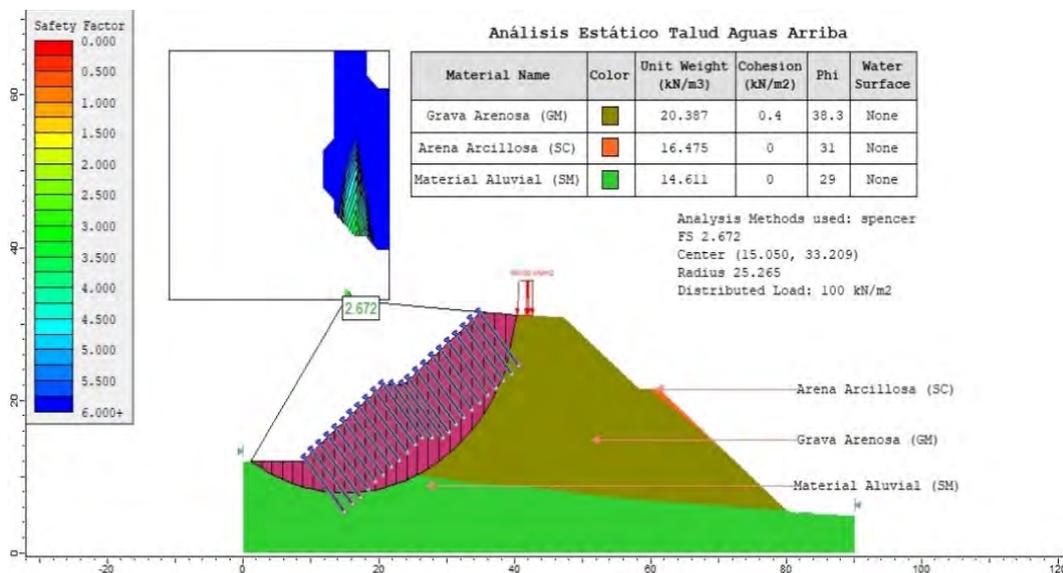
**Figura 98**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba*



**Figura 99**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas arriba*



*Evaluación en condiciones sísmicas.* En estas condiciones, el Factor de Seguridad mínimo que se obtuvo fue de FS = 1,269, esta satisface lo estipulado por la norma, en la que el valor mínimo es un FS=1,25. En estas condiciones se minimizaba considerablemente el Factor de Seguridad, pero se puede apreciar que este, aumenta considerablemente por lo que se puede determinar, que, con la propuesta realizada, que el talud se logra estabilizar.

**Tabla 38**

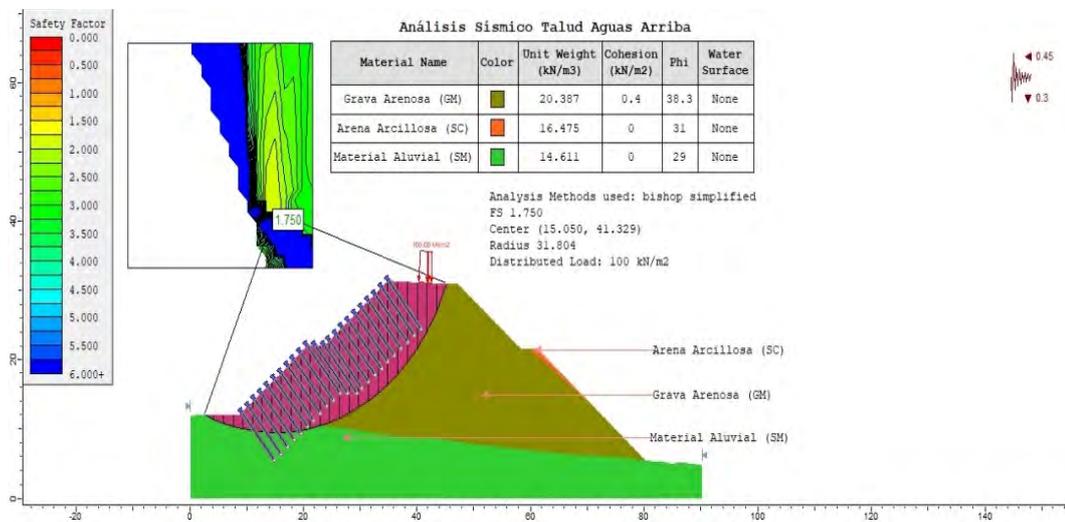
*Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada en condiciones sísmicas del talud aguas arriba*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	1,323
Bishop Simplificado	1,750
Janbú Simplificado	1,269
Spencer	1,644
Morgenstern - Price	1,636

Igualmente, como las evaluaciones anteriores, se muestran las superficies de falla resultantes por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 100), Fellenius (Figura 101) Janbú Simplificado (Figura 102), Morgenstern-Price (Figura 103) y Spencer (Figura 104).

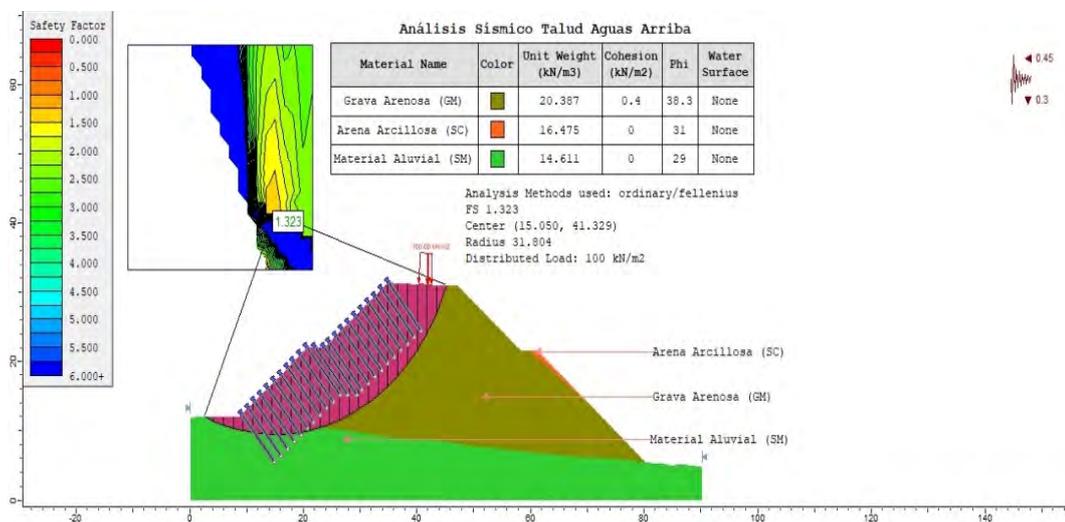
**Figura 100**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas arriba*



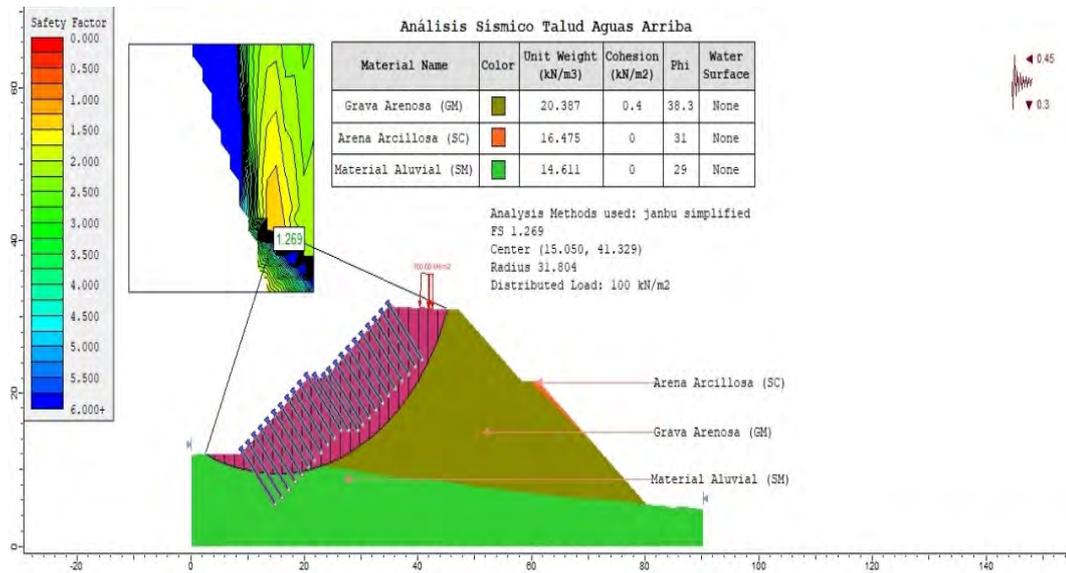
**Figura 101**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas arriba*



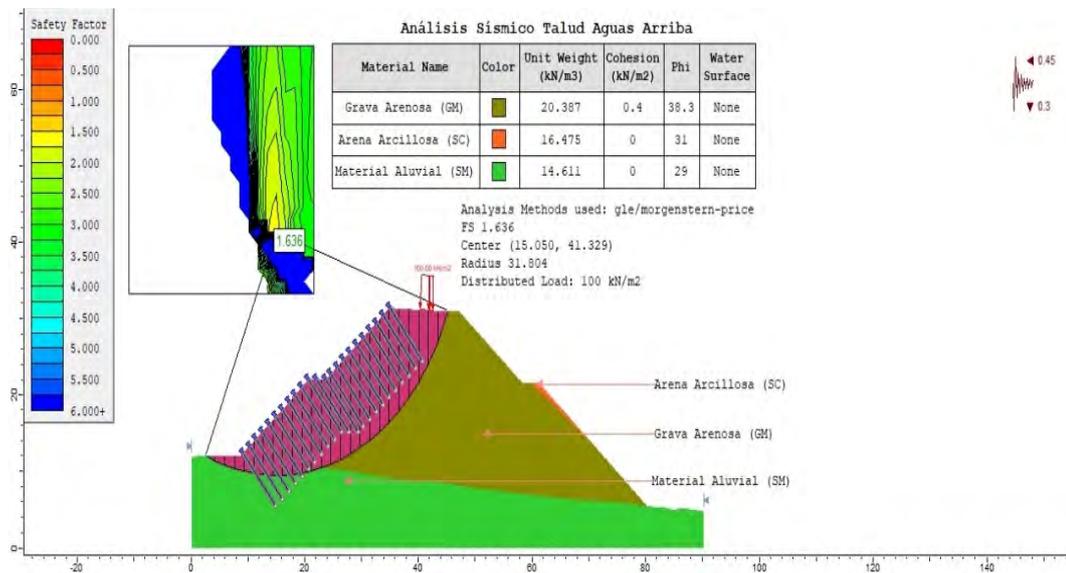
**Figura 102**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas arriba*



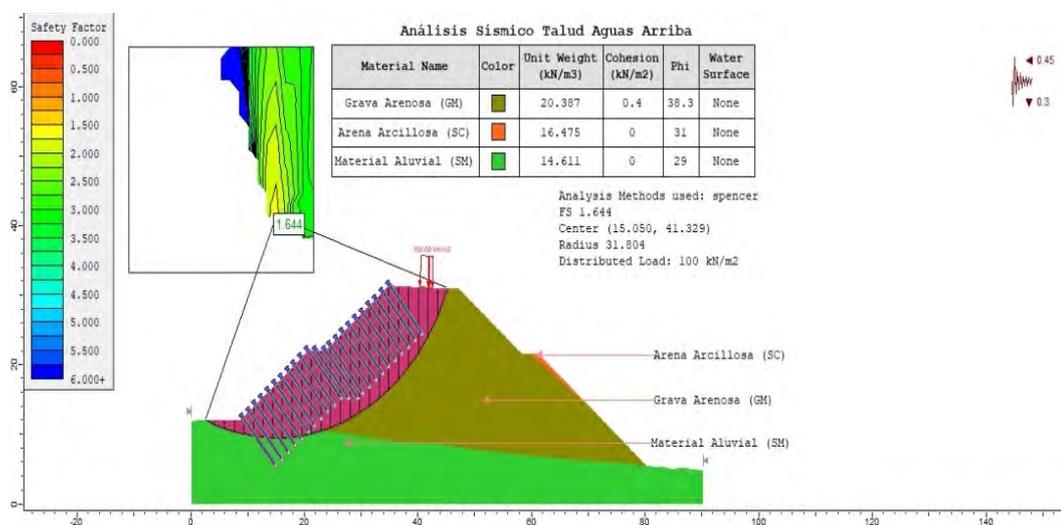
**Figura 103**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern-Price en talud aguas arriba*



**Figura 104**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas arriba*



#### 4.3.6.2. Evaluación de Talud Aguas Abajo

*Evaluación en condiciones estáticas.* Este talud presentaba los valores más bajos, a comparación del talud aguas arriba, pero mediante la implementación de los refuerzos, se pudo satisfacer los valores mínimos determinados por la norma, en condiciones estáticas, se obtiene el FS = 1,558 el cual cumple el FS = 1,5 que establece la norma. En la Tabla 39 se muestran los resultados de Factores de Seguridad hallados por los diferentes métodos estudiados.

**Tabla 39**

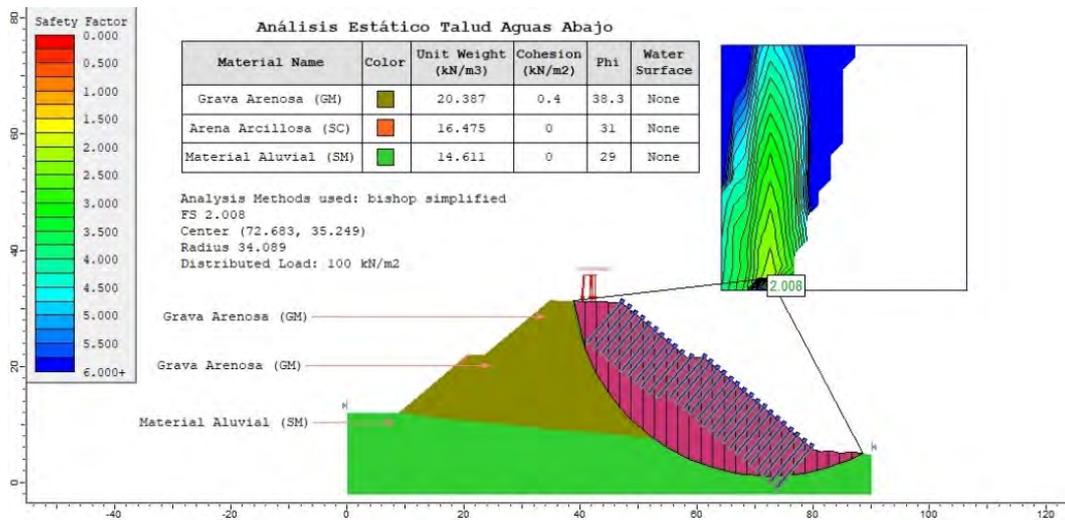
*Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada en condiciones estáticas del talud aguas abajo*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	1,559
Bishop Simplificado	2,008
Janbú Simplificado	1,558
Spencer	1,941
Morgenstern - Price	1,931

De igual manera que los casos anteriores, se muestran las superficies de falla hallados por los métodos de Bishop Simplificado (Figura 105), Fellenius (Figura 106), Janbú Simplificado (Figura 107), Morgenstern-Price (Figura 108) y Spencer (Figura 109)

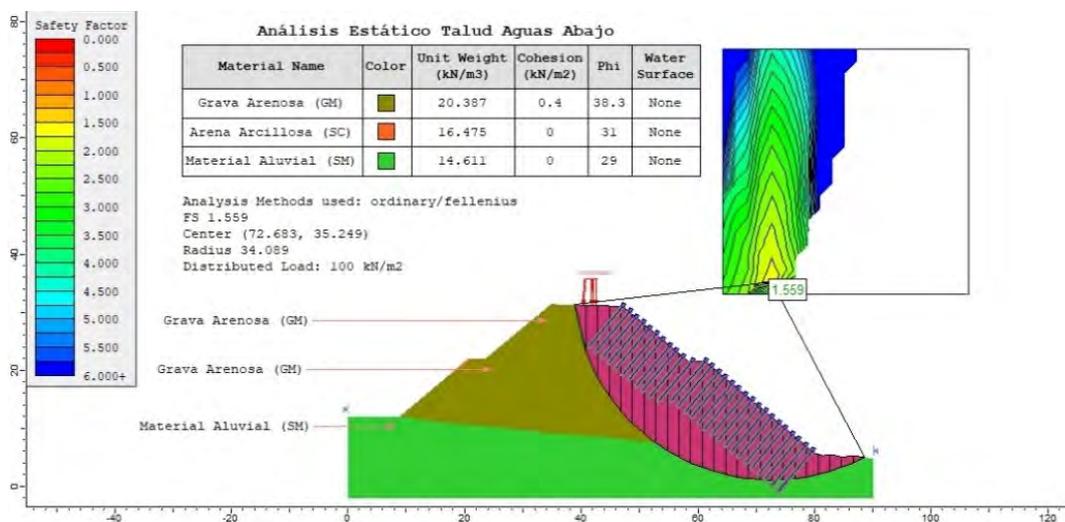
**Figura 105**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo*



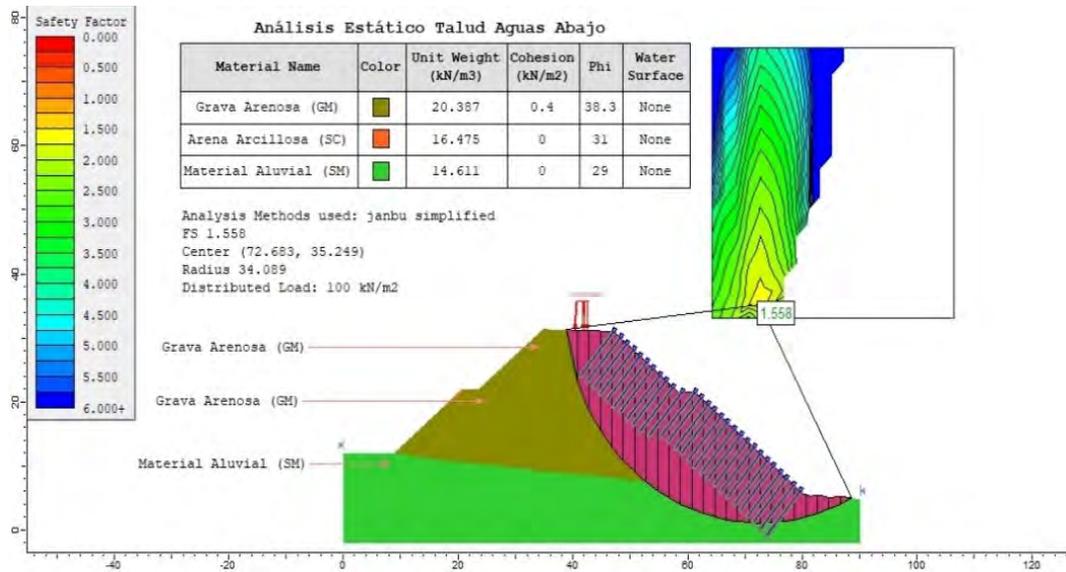
**Figura 106**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



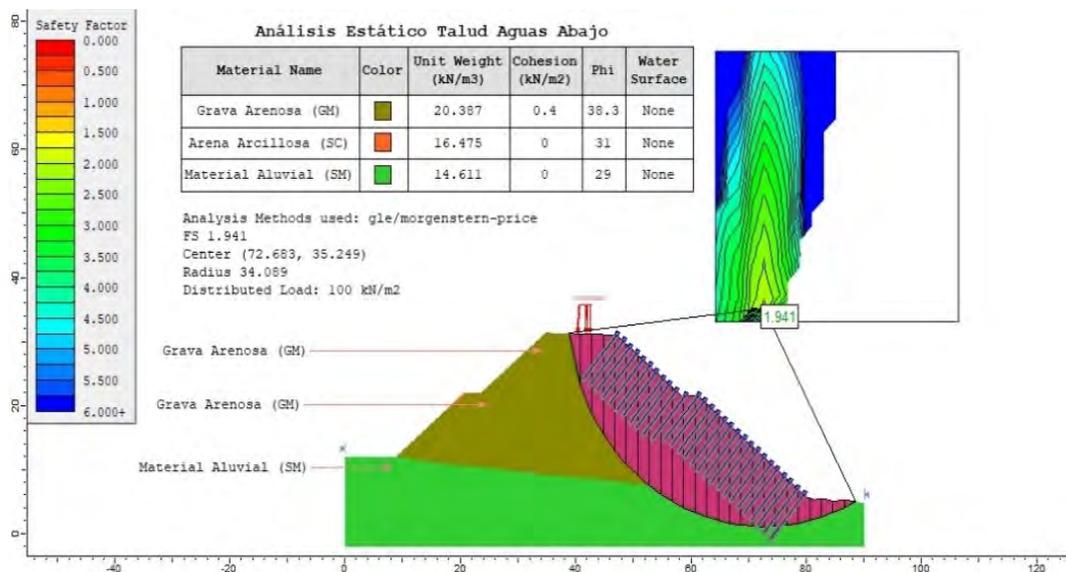
**Figura 107**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo*



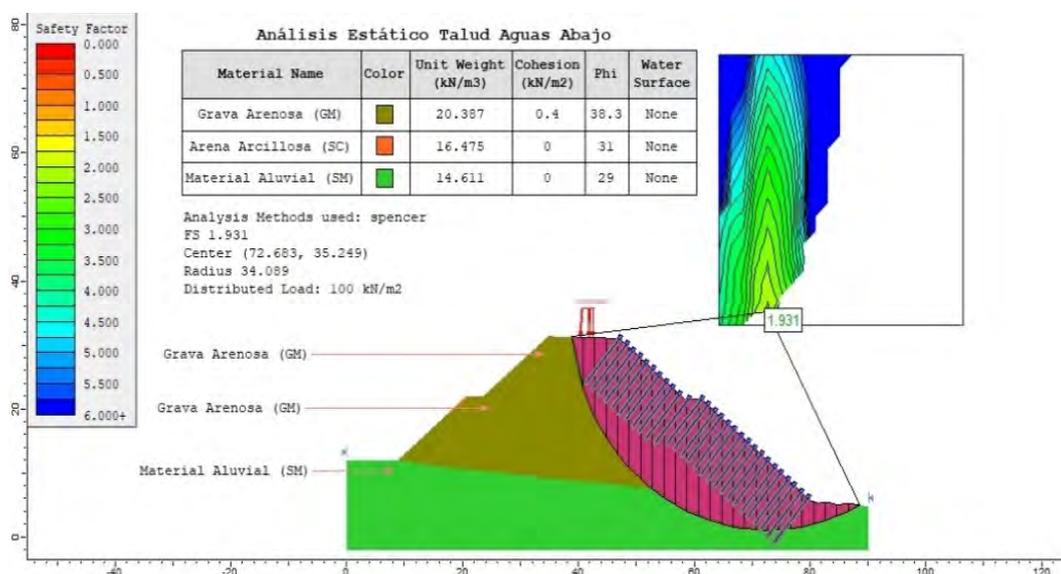
**Figura 108**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern-Price en talud aguas abajo*



**Figura 109**

*Superficie de falla en condiciones estáticas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas abajo*



*Evaluación en condiciones sísmicas.* En evaluaciones anteriores en esta condición, se tuvo los valores muy por debajo del mínimo requerido, pero con los reforzamientos añadidos a la simulación se logra incrementar considerablemente el Factor de Seguridad, que al igual que el talud aguas abajo, llega a satisfacer el requerimiento mínimo de la norma, a cual es  $FS = 1,25$  en condiciones sísmicas o pseudoestáticas, el cual nos da un valor de  $FS = 1,308$ , cumpliendo también con las normas señaladas, lo que nos da como resultado que se logra la estabilización con la propuesta planteada.

Finalmente se puede determinar que la propuesta realizada satisface los requerimientos mínimos estipulados en la Norma CE.020, logrando la estabilidad en los dos taludes que conforman el terraplén. Si bien en la similitud se logra satisfacer los requerimientos de la norma en todos los métodos, no todos son recomendables para establecer un Factor de Seguridad final, por lo que se toma en consideración los métodos que cumplan mas condiciones de equilibrio como lo son el método de Morgenstern-Price y el de Spencer que con mas exactos por analizar el equilibrio de momentos, fuerzas horizontales y fuerzas verticales. Los demás métodos pueden ser tomados como un punto de partida inicial, como el método de Fellenius que no estudia todas las condiciones de equilibrio.

En la Tabla 40 se muestran los resultados en condiciones sísmicas en las que se aprecie el incremento del Factor de Seguridad y finalmente se esquematizan las superficies de falla de los diferentes métodos usados que son el de Bishop Simplificado (Figura 110), el de Fellenius (Figura 111), el de Janbú Simplificado (Figura 112), el de Morgenstern-Price (Figura 113) y el de Spencer (Figura 114).

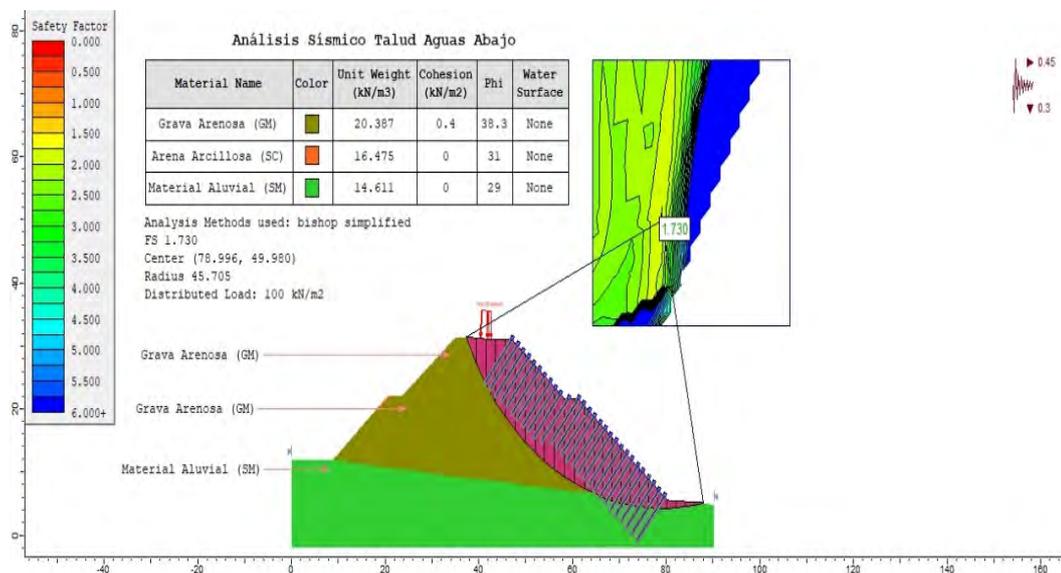
**Tabla 40**

*Valores del Factor de Seguridad de propuesta final reforzada en condiciones sísmicas del talud aguas abajo*

Método	Factor de Seguridad Mínimo
Ordinario o de Fellenius	1,351
Bishop Simplificado	1,730
Janbú Simplificado	1,308
Spencer	1,609
Morgenstern - Price	1,594

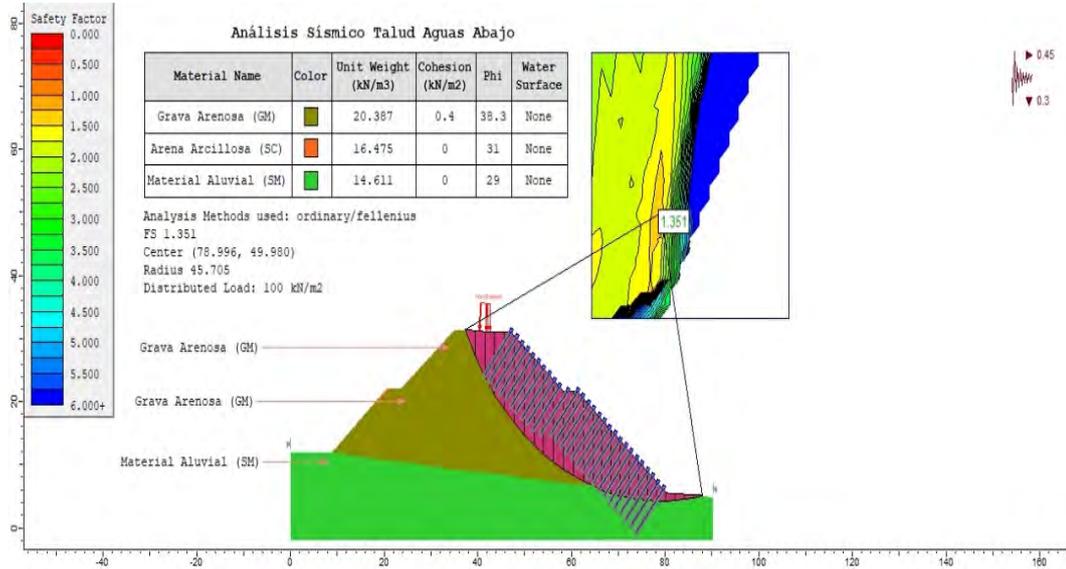
**Figura 110**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Bishop Simplificado en talud aguas abajo*



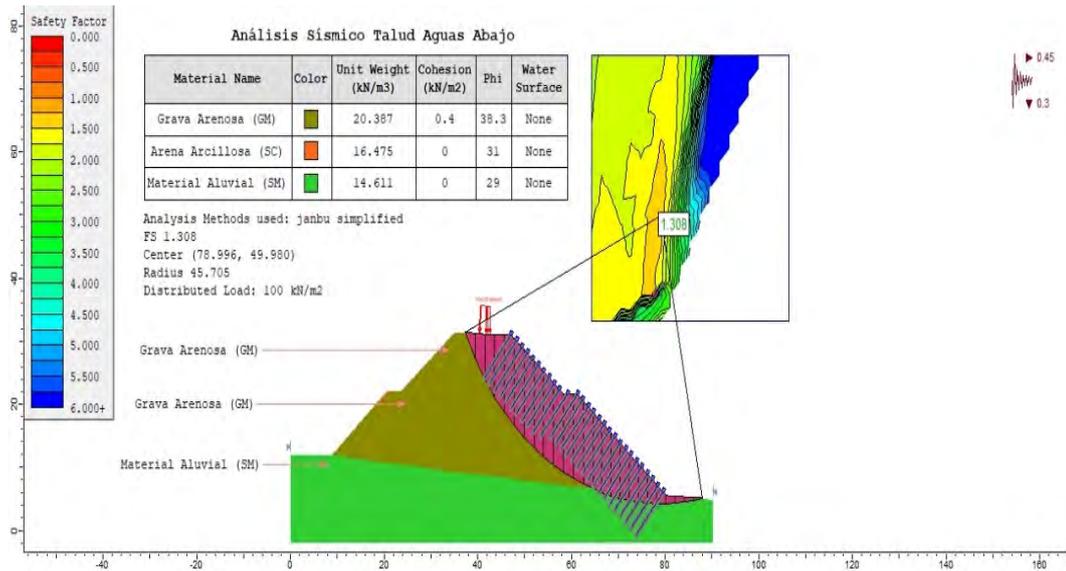
**Figura 111**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Fellenius en talud aguas abajo*



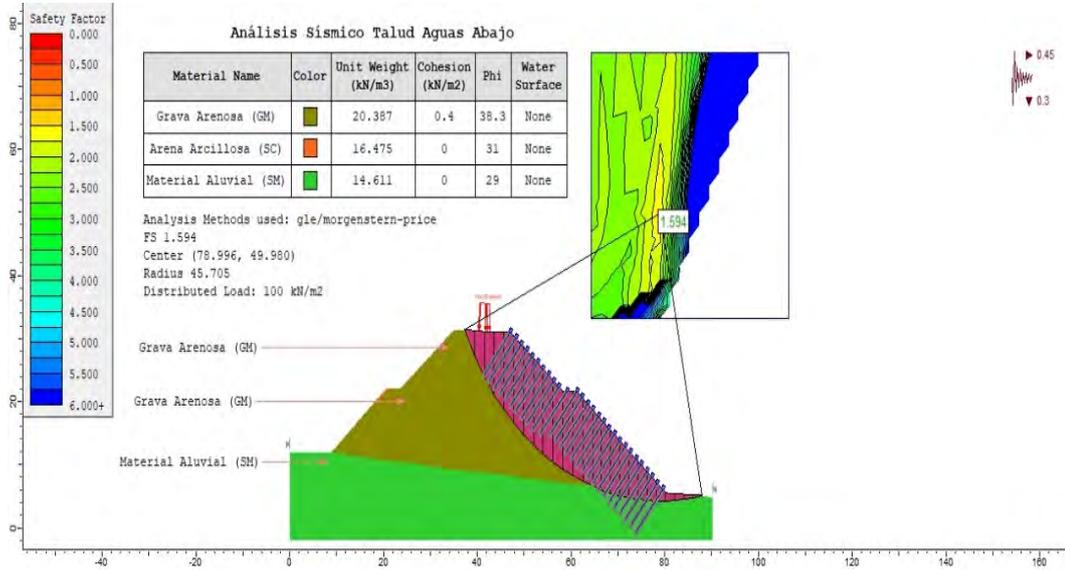
**Figura 112**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Janbú Simplificado en talud aguas abajo*



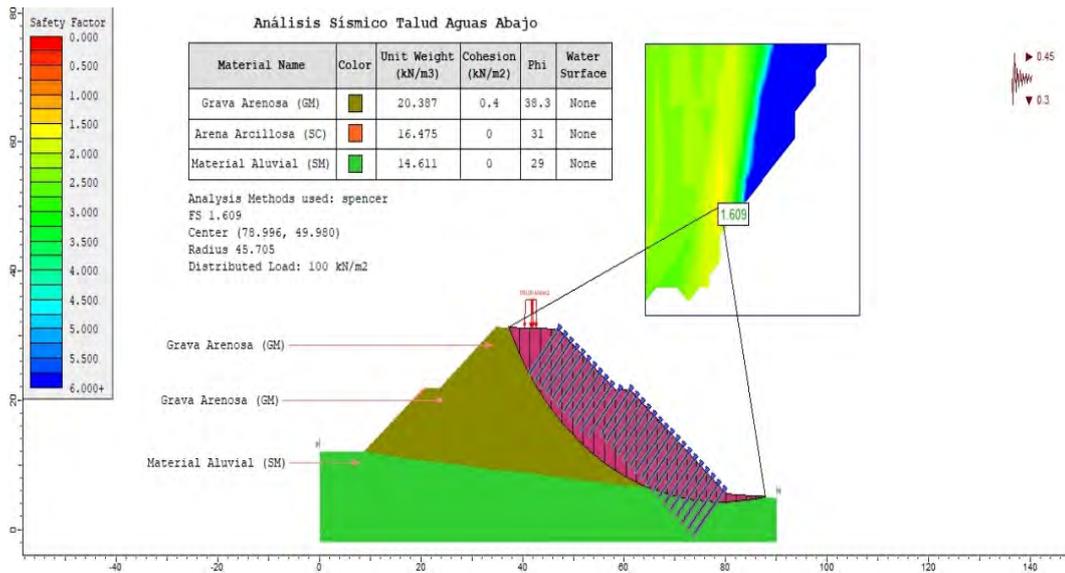
**Figura 113**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Morgenstern- Price en talud aguas abajo*



**Figura 114**

*Superficie de falla en condiciones sísmicas de propuesta reforzada final por el método de Spencer en talud aguas abajo*



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En el estudio presentado por Breña (2019), utiliza un factor de seguridad mínimo de 1 para condiciones pseudoestáticas, sin embargo, en la norma CE.020 nos indica un valor mínimo de 1,2. En este estudio se usó como mínimo este valor para denominar al talud como estable, debido a que la zona de estudio y sobre todo por la utilidad de uso que tiene el talud el cual está sometido a cargas de trabajo sirviendo de soporte a una vía por lo que se tiene que usar valores conservadores. Si bien los taludes de estudio se encuentran en la zona más crítica teniendo en cuenta el mapa sísmico de la norma E.030, Breña utilizó el mapa de aceleraciones sísmicas propuestas por el IGN, las cuales podría usarse para reducir las aceleraciones propuestas de la norma E.030 ya que tienen un espectro más amplio y específico.

El estudio propuesto por Camavilca (2019), presenta similares características por lo que se tiene un tipo de suelo GM, lo cual es igual al tipo de suelo encontrado en este estudio en el que se tiene un Factor de Seguridad de 0.813 por el método de Spencer con el software Slide, este valor podría considerarse el mayor, ya que en la evaluación los valores máximos fueron de este método y Morgenstern-Price, en lo que se coincide con este estudio es la importancia de hallar los parámetros necesarios que se requiere para la evaluación de taludes entre los cuales son indispensables, como lo son el peso específico, el ángulo de fricción y la cohesión.

En el estudio realizado por Campos, se utiliza el software Slide el mismo que usamos en este estudio. Los valores obtenidos del Factor de Seguridad muestran una diferencia entre los métodos de Bishop y Spencer, esta variación entre métodos también se hace notar en este estudio, aunque en este estudio son aún más notables, lo que confirmaría que mediante el método de Bishop se obtienen los valores más bajos del Factor de Seguridad.

En cuanto a los datos recogidos de las entrevistas la mayoría de entrevistados concuerdan que antes de la ejecución de sondajes es recomendable para la exploración del suelo, porque se puede llegar mayor profundidad. En cuanto a las superficies de falla, no siempre pueden ser circulares y dependerá de diferentes factores que ocasionen esta falla en los taludes como pueden ser estratos débiles, presencia de nivel freático o un evento sísmico.

Los entrevistados también recomendaron el uso de banquetas para la configuración final en caso se necesite de un cambio en la geometría del talud, ya que no solo ayuda a la disminución de fuerzas producidas por el peso del talud, sino también a la contención de posibles deslizamiento o caídas de tocas y favorece a las operaciones de trabajo en caso de necesitarse la instalación de refuerzos.

Finalmente, en lo que concierne a la evaluación de estabilidad de taludes se considera que un talud puede ser considerado como estable si el Factor de Seguridad es mayor a 1, pero es recomendable dar una porcentaje mayor como la presentada en la Norma CE.020 y de no llegar a este valor se debe de considerar el uso de reforzamientos como anclajes, ya que estos aumentan en gran medida la estabilidad de taludes.

## CONCLUSIONES

La evaluación de la estabilidad de taludes determinó el estado actual de los taludes. En condiciones estáticas se presentan como valores mínimos de FS = 1,318 en el talud aguas arriba y un FS = 1,172 en el talud aguas abajo (ambos valores determinados con el Método de Fellenius) y como valores máximos un FS = 1,582 en el talud aguas arriba y un FS = 1,363 (ambos determinados por el Método de Fellenius), se concluye entonces, que tomando en cuenta el valor mínimo de FS = 1,5 propuesto en la norma CE-020 para condiciones estáticas, se considera estable el talud aguas arriba e inestable el talud aguas abajo. En condiciones sísmicas los valores mínimos fueron FS = 0,889 (Método de Spencer) en talud aguas arriba y FS = 0,633 (Método de Janbú Simplificado) en el talud aguas abajo, se concluye, que tomando en cuenta el valor mínimo de la norma CE-020 que es de FS = 1,25 para condiciones sísmicas o pseudoestáticas, se consideran ambos taludes inestables. Estos resultados finales confirman la necesidad de realizar trabajos de estabilización de taludes para mejorar el terraplén, antes de la construcción del túnel de drenaje.

La caracterización del suelo del terraplén, la clasificación del suelo según el SUCS es de GM según los sondajes realizados, tratándose de un suelo gravoso, en la que el porcentaje que pasa la malla N° 200 es muy baja, con una humedad natural variable de 1,40% a 3,67%, se muestra una densidad In Situ de variable de 1,59 a 2,08 g/cm<sup>3</sup> y los resultados de los ensayos necesarios para la evaluación de estabilidad de los taludes fueron: el peso específico del material del terraplén promedio de 2,69 g/cm<sup>3</sup>. Finalmente, los valores de los parámetros resistentes nos dieron resultados de un ángulo de fricción de entre 34,1° a 38,3° y con un valor de cohesión bajo de 0,0042 kg/cm<sup>2</sup>.

La configuración geométrica final tiene una relación de 1:1.2 en ambos taludes, los cuales se subdividen en inferior y superior separados por una banqueteta de 3 metros de ancho. Para esta configuración final se tomó en consideración el material arcilloso que cubre los taludes, el cual se logró eliminar casi en su totalidad de la superficie de los taludes. Finalmente, para la configuración final se consideró también el Reglamento Nacional de Ferrocarriles para las dimensiones mínimas requeridas tanto para las banquetetas y el ancho mínimo que se requiere entre la vía férrea y el borde del talud.

Para lograr una propuesta estable, el Factor de Seguridad óptimo en el terraplén se necesitó de reforzamientos adicionales para que pueda cumplir los valores mínimos requeridos por la norma, en la cual se utilizaron pernos de anclaje inyectados de 9,00 m con un espaciamiento de 1,50 m, los cuales deben de instalarse a lo largo de la superficie de falla presentados en la simulación. Mientras tanto los valores mínimos en condiciones estáticas fueron de  $FS = 1,849$  (Método de Janbu) en talud aguas arriba y un  $FS = 1,558$  (Método de Janbu) en el talud aguas abajo, que superan el valor mínimo requerido. Para las condiciones sísmicas o pseudoestáticas se obtuvo un valor mínimo de un  $FS = 1,269$  (Método de Janbú) en el talud aguas arriba y un  $FS = 1,351$  (Método de Fellenius) en el talud aguas abajo, al valor mínimo requerido por la norma, por lo que se concluye que, con la propuesta, se logra la estabilización de ambos taludes del terraplén y ayuda significativamente para una adecuada construcción del túnel.

## RECOMENDACIONES

En este estudio se utilizó diferentes tipos de métodos para realizar una comparación de los valores, se recomienda usar los métodos que cumplan todas las ecuaciones de equilibrio, dentro de estas se encuentran los métodos de Spencer y Morgenstern-Price, los cuales nos brindan datos más exactos y confiables.

Si bien para este estudio, se utilizaron valores teóricos para el tipo de suelo encontrado en el estrado de suelo Tipo SM, el cual es el tipo del suelo de la base del terraplén, se recomienda a los ejecutores que desarrollarán la estabilización del talud, realizar ensayos de laboratorio para hallar los parámetros residentes de este tipo de suelo, como el ángulo de fricción y la cohesión, que son necesarios para el modelamiento en cualquier software especializado.

Para otorgar mayor seguridad a la estabilidad del talud, se recomienda a los ejecutantes que realicen la estabilidad del talud, adicionar un sistema de contención a la configuración geométrica, generalmente en afrontamientos se realiza una capa de shotcrete a la superficie del talud con el fin de evitar peligros, u otro tipo de contención.

Finalmente, debido a las condiciones que se presentan, se recomienda el uso de refuerzos en los taludes, si bien en la simulación se usó el uso de los anclajes de sostenimiento, podrían usarse otro tipo de refuerzos. Los ejecutantes de la estabilización del talud tendrán que instalar un método de refuerzo que no requiera mucho tiempo de instalación, ya que la construcción del túnel tendrá que terminar antes que empiecen las precipitaciones que se presentan en el área de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bravo, E. B. (1979). *Geología del Cuadrangulo de Moquegua*. Instituto Geológico Minero y Metalurgico.  
[https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/132/3/A015-Boletin\\_Moquegua-35u.PDF](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/132/3/A015-Boletin_Moquegua-35u.PDF)
- Breña, C. H. (2019). *Estabilidad de Taludes de la Carretera Longitudinal de la Sierra; Tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú*. [Tesis de Postgrado, Universidad Mayor de San Marcos].  
<https://core.ac.uk/download/pdf/323353566.pdf>
- Camavilca, E. (2019). Análisis de Estabilidad de Talud y Propuesta de Estabilización en el km 93 de la Carretera Central, Distrito San Mateo – Huarochirí, Lima 2019. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/40015>
- Campos, Y. E., & Espinoza, J. J. (2021). *Análisis de Estabilidad de Taludes Mediante el Equilibrio Límite Para Evitar Daños al Caserío Cercano a la Cantera El Arenal, Pátapo*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/61493>
- Carter, M. y Bentley, S. (2016). *Propiedades del suelo y sus Correlaciones*. Wiley.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119130888>
- Ciotlaus, M., Kollo, G., Moldovan, D., y Muntean, L. (2017). Estabilidad de Taludes en Terraplenes de Via Ferreas. *Procedia Engineering*, 181, 52-59.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.362>
- Cornejo Álvarez, L. (1996). *Manual de Túneles Interurbanos de Carretera*. Geoconsult.  
<https://b-ok.lat/book/17216812/3f994d?id=17216812&secret=3f994d>
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Limusa.  
[https://www.academia.edu/35912353/Crespo\\_Villalaz\\_MECÁNICA\\_DE\\_SUELOS\\_Y\\_CIMENTACIONES\\_PDF](https://www.academia.edu/35912353/Crespo_Villalaz_MECÁNICA_DE_SUELOS_Y_CIMENTACIONES_PDF)
- Cuyutupa, F. (2019). *Evaluación Geomecánica con Fines De Estabilidad de Talud Carretera Mariscal Castilla Huancayo - Huancavelica*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de los Andes].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12848/926>

- De Matteis, Á., Angelone, S., y Garibay, M. T. (2003). *Geología y Geotecnia: Estabilidad de Taludes*. Universidad Nacional de Rosario.  
<https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Duncan, J. M. y Wright, S. G. (2005). *Esfuerzo en Suelo y Estabilidad de Taludes*. John Wiley & Sons, Inc.  
[https://www.academia.edu/27372272/SOIL\\_MECHANICS\\_and\\_SLOPE\\_STABILITY\\_BY\\_J\\_MICHAEL\\_DUNCAN\\_and\\_STEPHEN\\_G\\_WRIGHT\\_pdf](https://www.academia.edu/27372272/SOIL_MECHANICS_and_SLOPE_STABILITY_BY_J_MICHAEL_DUNCAN_and_STEPHEN_G_WRIGHT_pdf)
- Escario, V. (1981). *Terraplenes y Pedraplenes: Estado Actual de la Técnica*. MOPU Direccion General de Carreteras.  
<https://ingenieriasmg.com/images/normativas/Terraplenes%20y%20Pedraplenes.pdf>
- González de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. Pearson Prentice Hall.  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod\\_resource/content/1/Livro%202.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf)
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill.  
<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Herrera Rodríguez, F. (2003). *Introducción a la Estabilidad de Taludes*. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos: Delegación Zaragoza.  
<https://docplayer.es/25125721-Vi-curso-de-geotecnia-ilustre-colegio-oficial-de-geologos-delegacion-de-aragon.html>
- Hunt, R. (2005). *Métodos de Investigación Geotécnica: Una Guía de Campo Geotécnica*. Taylor & Francis. <https://www.routledge.com/Geotechnical-Investigation-Methods-A-Field-Guide-for-Geotechnical-Engineers/Hunt/p/book/9780367390013>
- Instituto Geológico y Minero De España. (2006). *Manual de Taludes*. IGME  
[http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075\\_0001.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf)
- Juarez Badillo, E., y Rico Rodriguez, A. (2014). *Mecánica de Suelos: Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos* (Vol. I y II). Limusa.

[https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod\\_resource/content/1/Mecanica%20de%20suelos%20-%20Juarez%20Badillo.pdf](https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod_resource/content/1/Mecanica%20de%20suelos%20-%20Juarez%20Badillo.pdf)

Khan, M. I., y Wang, S. (2021). Análisis de Estabilidad de Taludes para Correlacionar el Esfuerzo Cortante con Taludes. *Appl. Sci.*, 11, 4568. doi:<https://doi.org/10.3390/app11104568>

Liu, C. Y., & Hounsa, U. S. (2018). Análisis de Estabilidad de Taludes en Terraplenes en Caminos. *Open Journal of Civil Engineering*, 8, 121-128. doi:<https://doi.org/10.4236/ojce.2018.82010>

López Jimeno, C., Aduvire Pataca, O., Almiralli Bellido, J., Aparicio Muñoz, M., Aznar Salinero, J., Castells Fernández, E., Díaz Méndez, B., García Bermúdez, P., Quiralte López, F., Rivas de la Riega, J. L., Hacar Rodríguez, F., Estafanía Puebla, S., Noriega Fidalgo, R. B., Sagaseta Millán, C., Santiago Gayubas, J. C., Trabada Guijarro, J., Mendaña Saavedra, F., Oteo Mazo, C., Celada Tamames, B., . . . Torrego Castro, V. (1997). *Manual de Túneles y Obras Subterráneas*. Entorno Gráfico. <https://www.minerosunsa.com/2019/06/manual-de-tuneles-y-obras-subterranas.html>

Mesa Lavista, M., Álvarez Pérez, J., y Chávez Gómez, J. H. (2020). Evaluación del Factor de Seguridad en Taludes de Terraplenes Carreteros Altos Ante Carga Sísmica. *Revista de Ingeniería Sísmica* (103), 1-17. doi:DOI: 10.18867/ris.103.489

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Manual de Carreteras Sección Geología y Geotecnia*. [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4040.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4040.pdf)

MTC. (2005). *Reglamento Nacional de Ferrocarriles*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_ferrocarriles/documentos/Anexo%20DS%20N%200032-2005-MTC%20Reglamento%20de%20Ferrocarriles.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_ferrocarriles/documentos/Anexo%20DS%20N%200032-2005-MTC%20Reglamento%20de%20Ferrocarriles.pdf)

Obrzud, R., y Truty, A. (2018). *El Complicado Modelo del Suelo: Una Guía Práctical* Préverenges: ZSOIL. [http://www.zsoil.com/zsoil\\_manual\\_2018/Rep-HS-model.pdf](http://www.zsoil.com/zsoil_manual_2018/Rep-HS-model.pdf)

- Ortuño Abad, L. (2003). *Estabilidad de Taludes en Suelos*. Uriel y Asociados.  
<http://www.urielyasociados.es/img/formacion/CALCULO%20TEXTO.pdf>
- Ramírez Oyaguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes* (Primera ed., Vol. II).  
<https://hdl.handle.net/11537/25438>
- Ruiz Esparza, G., Murrieta Cummings, R., & Poon Hung, C. (2016). *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  
[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_Tuneles/Indice.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Tuneles/Indice.pdf)
- Suárez Díaz, J. (2009). *Deslizamiento: Análisis Geotécnico*. Publicaciones UIS.  
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica*. Limusa.  
<https://cucjonline.com/biblioteca/files/original/874e481a4235e3e6a8e3e4380d7adb1c.pdf>
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *Civilizate*(7), 50-54. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76781/taludes.pdf>

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

### “ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021”

INTERROGANTE DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODOS	PRUEBA ESTADÍSTICA O ESTRATEGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿En qué medida la evaluación estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de terraplén para la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 1</b></p> <p>¿Cuáles son las características geotécnicas del suelo del terraplén para la evaluación de estabilidad de taludes en el mejoramiento de terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, 2021?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 2</b></p> <p>¿Cuál será la configuración geométrica final que ayude a la prevención de deslizamientos de los taludes de terraplén para la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, al 2021?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 3</b></p> <p>¿Qué propuesta satisficará los requerimientos mínimos para lograr la estabilización de taludes en el mejoramiento de los taludes del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, al 2021?</p>	<p><b>OBJETIVO PRINCIPAL</b></p> <p>Evaluar la estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de un túnel de drenaje en Toquepala-Tacna, 2021.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 1</b></p> <p>Determinar las características geotécnicas del suelo para la evaluación de estabilidad de taludes en el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 2</b></p> <p>Desarrollar la configuración geométrica de los taludes del terraplén en la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 3</b></p> <p>Desarrollar una propuesta de estabilización de taludes para la mejora del terraplén en la construcción del tune de drenaje en Toquepala – Tacna, 2021.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La evaluación estabilidad de taludes determina el estado actual para el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje en Toquepala – Tacna, al 2021.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1</b></p> <p>Las características del suelo son determinantes para la evaluación de estabilidad de taludes en el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2</b></p> <p>La configuración geométrica final desarrollada disminuye los deslizamientos producidos en los taludes en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3</b></p> <p>La propuesta de estabilización de taludes satisfice los requerimientos mínimos para condiciones estáticas y sísmicas en la construcción del túnel de drenaje de Toquepala – Tacna, al 2021.</p>	<p><b>X 1:</b></p> <p>Estabilidad de Taludes</p> <p><b>Y 1:</b></p> <p>Mejoramiento del Terraplén para la Construcción del Túnel de Drenaje</p>	<p>Caracterización de Suelo</p> <p>Configuración Geométrica</p> <p>Superficie de Falla</p> <p>Factor de Seguridad</p> <p>Proceso Constructivo</p> <p>Deslizamientos</p> <p>Afrontonamiento</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> Aplicada</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> Evaluativa</p> <p><b>ÁMBITO DE ESTUDIO</b> Toquepala – Tacna</p> <p><b>TIEMPO SOCIAL</b> Año 2021</p> <p><b>POBLACIÓN</b> Terraplén de Vía Férrea Toquepala - Ilo</p> <p><b>MUESTRA</b> La muestra son los dos taludes que conforman el terraplén.</p>	<p><b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b></p> <p>a) Entrevista b) Juicio de expertos</p> <p><b>PROCESAMIENTO DE DATOS</b></p> <p>a) Software AutoCAD Civil 3D b) Software Slide V6.0 c) Software SGOS</p>

## ANEXO 2: PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE CALICATAS

REGISTRO GEOTÉCNICO DE EXCAVACIONES						<b>CALICATA 01</b>		
						CODIGO SONDAJE:	C-01	
						TIPO DE SONDAJE:	CALICATA MANUAL	
						FECHA:	05-03-17	
<b>UBICACIÓN</b>	E:	323306	PROYECTO: "REHABILITACION DE LA ALCANTARILLA DE CRUCE LINEA FERREA KM 176 EN QUEBRADA CIMARRONA-FFII"			<b>DIMENSIONES</b>		
	N:	8092688				ANCHO X LARGO:	1.20 X 1.50m.	
	Z:	2871				PROFUNDIDAD:	2.00m.	
<b>NIVEL FREATICO: NO EXISTE</b>			LOCALIDAD: TOQUEPALA, DISTRITO: ILABAYA, PROVINCIA: JORGE BASADRE. REGION: TACNA					
PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREATICO	MUESTRA	LÍMITES %	SUCS	GRÁFICO	<b>DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO</b>		
0.1 0.2 0.3 0.4						Material de relleno de color beige claro		
0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4		M - 1	LL:26.34 LP:17.01 IP:9.33	GW - GC		Material de relleno amarillento a café claro, conformado principalmente por gravas sub angulosas a angulosas (49), limos y arcilla (31%), presenta bloques de 12 a 45cm de diámetro (20%). En general este estrato se encuentra con humedad muy baja y compacidad baja.		
1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0		M - 2	LL:25.47 LP:21.81 IP:3.66	GM		Material de relleno (coluvial), de color café claro, conformado principalmente por s sub angulosas a angulosas (72%) y limos (28%). Este estrato presenta humedad baja relativamente superior a los anteriores estratos y compacidad media a alta.		
<b>FOTOGRAFIAS</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>							
<b>OBSERVACIONES:</b> Existe una excavacion masiva, no se observa presencia de napa freatica a una profundidad de 2.00, respecto al terreno natural.								

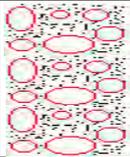
# REGISTRO GEOTÉCNICO DE EXCAVACIONES

## CALICATA 02

CODIGO SONDAJE:	C-02
TIPO DE SONDAJE:	CALICATA MANUAL
FECHA:	06-03-17

<b>UBICACIÓN</b>	E:	323343	PROYECTO: "REHABILITACION DE LA ALCANTARILLA DE CRUCE LINEA FERREA KM 176 EN QUEBRADA CIMARRONA-FFII"
	N:	8092661	
	Z:	2871	
<b>NIVEL FREATICO: NO EXISTE</b>			

<b>DIMENSIONES</b>	
ANCHO X LARGO:	1.20 X 1.50m.
PROFUNDIDAD:	2.00m.
LOCALIDAD: TOQUEPALA, DISTRITO: ILABAYA, PROVINCIA: JORGE BASADRE. REGION: TACNA	

PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREATICO	MUESTRA	LÍMITES %	SUCS	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO
0.1						Material de relleno de color gris cafecino, conformado principalmente por limos, presenta gravas sub angulosas a angulosas (50%), el estrato se encuentra con humedad y compacidad baja.
0.2						
0.3						
0.4						Relleno de bloques de un diámetro max. aproximado de 12cm y gravas.
0.5		M - 1	LL:23.81 LP:17.55 IP:6.26	SP - SM		Material de relleno café oscuro, formado por limos y arenas (44%), presenta gravas sub angulosas a angulosas (56%) y bloques de 12 a 20cm de diámetro (20%), en estrato se encuentra con humedad baja a media y compacidad baja.
0.6						
0.7		M - 2	NP	GW		Lente de material de relleno de color blanquecino, conformado por limos y arenas (43%), presenta gravas redondeadas a sub redondeadas (57%). En general este estrato se encuentra con humedad baja y compacidad baja.
0.8						
0.9						Material de relleno de color café claro a beige conformado principalmente por gravas sub angulosas a angulosas (69%) en una matriz limo arenosa (31%), presenta . En general este estrato se encuentra relativamente seco y compacidad baja.
1.0		M - 3	LL:25.10 LP:14.78 IP:10.32	GW		
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						Material relleno de bloques desde 12 a 50cm de diámetro.
1.6						
1.7						
1.8						
1.9						
2.0						



**OBSERVACIONES:** Existe una excavacion masiva, no se observa presencia de napa freatica a una profundidad de 1.20ml, respecto al terreno natural.

REGISTRO GEOTÉCNICO DE EXCAVACIONES						CALICATA 03	
						CODIGO SONDAJE: C-03	
						TIPO DE SONDAJE: CALICATA MANUAL	
						FECHA: 05-03-17	
UBICACIÓN	E:	323373	PROYECTO: "REHABILITACION DE LA ALCANTARILLA DE CRUCE LINEA FERREA KM 176 EN QUEBRADA CIMARRONA-FFII"			DIMENSIONES	
	N:	8092725				ANCHO X LARGO:	1.20 X 1.50M.
	Z:	2863				PROFUNDIDAD:	2.00M.
NIVEL FREATICO: NO EXISTE						LOCALIDAD: TOQUEPALA, DISTRITO: ILABAYA, PROVINCIA: JORGE BASADRE. REGION: TACNA	
PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREATICO	MUESTRA	LÍMITES %	SUCS	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO	
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6		M - 1	LL:39.76 LP:33.07 IP:6.69	SM		Material de origen proluvial café claro a beige, conformado por arenas y limos (39%), presenta gravas sub redondeadas a sub angulosas, (26%), bloques de 15 a 60cm de diámetro (35%). En general este estrato presenta humedad media y compacidad baja.	
0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8		M - 2	NP	SM		Material de origen aluvial de color café claro, conformado por arenas y limos (59%), presenta gravas (41%). En general este estrato se encuentra con humedad alta y compacidad baja. - No se determinó nivel freático a los 1.80m.	
FOTOGRAFÍAS							
OBSERVACIONES: Existe una excavacion masiva, no se observa presencia de napa freatica a una profundidad de 2.10ml, respecto al terreno natural.							

REGISTRO GEOTÉCNICO DE EXCAVACIONES					CALICATA 04	
UBICACIÓN E: 323275 N: 8092621 Z: 2847 PROYECTO: "REHABILITACION DE LA ALCANTARILLA DE CRUCE LINEA FERREA KM 176 EN QUEBRADA CIMARRONA-FFII" NIVEL FREÁTICO: NO EXISTE					CODIGO SONDAJE: C-04 TIPO DE SONDAJE: CALICATA MANUAL FECHA: 07-03-17	
					DIMENSIONES ANCHO X LARGO: 1.20 X 1.50m. PROFUNDIDAD: 2.00m.	
					LOCALIDAD: TOQUEPALA, DISTRITO: ILABAYA, PROVINCIA: JORGE BASADRE. REGION: TACNA	
PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO	MUESTRA	LÍMITES %	SUCS	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5						Encontramos en superficie un material muy contaminado con cenizas y materia orgánica (50%), de color negruzco, amarillento y verde limón, este estrato se encuentra con humedad media y compacidad suelta
0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0		M - 1	LL:22.48 LP:17.27 IP:5.21	SP - SC		Material de origen proluvial de color café oscuro conformado principalmente por limos y arenas (41%), presenta gravas sub angulosas a sub redondeadas (39%). bloques de diámetro de 12 a 35cm (20%). En general este estrato se encuentra con humedad media y compacidad media a alta. - En el nivel de excavación no se determino nivel freático.
FOTOGRAFÍAS						
						
<b>OBSERVACIONES:</b> Existe una excavacion masiva, no se observa presencia de napa freatica a una profundidad de 1.80m., respecto al terreno natural.						

## **ANEXO 3: GUÍA DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA**

### **DATOS GENERALES DEL ENTREVISTADO**

¿Cuál es su profesión?, ¿Qué especialidad tiene?, ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene en proyectos de tunelería?

### **ESTABILIDAD DE TALUDES**

#### **A. CARACTERIZACIÓN DE SUELO**

¿Qué técnicas exploración geotécnica recomendaría para la caracterización de un suelo para fines de estabilización de taludes?, ¿Qué ensayos de laboratorio considera determinantes para una buena caracterización del suelo en taludes?, ¿De qué manera la caracterización del suelo determina el proceso de corte de los taludes?

#### **B. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA**

¿Qué consideraciones topográficas considera necesarias para la configuración geométrica de los taludes?, ¿De qué manera, la configuración geométrica ayuda en la estabilización de taludes?, ¿La inclusión de banquetas en la configuración geométrica mejora la estabilidad de los taludes?

#### **C. FACTOR DE SEGURIDAD**

En su experiencia, ¿por qué es recomendable el método de equilibrio límite para hallar el Factor de Seguridad en taludes?, ¿Qué métodos de reforzamiento son los que recomienda usar para incrementar el Factor de Seguridad?

#### **D. SUPERFICIE DE FALLA**

¿Cuál es la parte del talud donde más se ha presentado superficies de falla?, ¿Cómo se pueden prevenir estas superficies de fallas y los problemas que ocasiona?

### **CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL**

#### **A. MÉTODO CONSTRUCTIVO**

¿Por qué es necesario la caracterización del suelo para la elección del método constructivo de un túnel?, ¿Qué problemas ha encontrado en la fase de excavación de túneles?

## **B. DESLIZAMIENTOS**

¿En qué parte del talud suelen ocurrir deslizamientos?, ¿Qué medidas de seguridad se deberían de adoptar ante los deslizamientos?

## **C. AFRONTONAMIENTO**

¿Por qué es importante la fase inicial de afrontonamiento?, ¿Qué problemas podrían suceder durante en el proceso de afrontonamiento de un túnel?

## **CONSIDERACIONES Y COMENTARIOS FINALES**

- A. ¿Un adecuado análisis de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de terraplenes para la posterior para la construcción del túnel?
- B. ¿Qué parámetros geomecánicos son necesarios de la caracterización del suelo determinará el proceso constructivo en la construcción del túnel?
- C. ¿De qué manera configuración geométrica ayuda a la estabilización de taludes?
- D. ¿Qué valor mínimo de factor de seguridad sería el adecuado para que un talud se considere estable?

## ANEXO 4: ENTREVISTAS A EPERTOS

ENTREVISTA N° 01	
<b>TESIS:</b> "ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021"	
<b>FECHA:</b>	10/10/2021
<b>HORA:</b>	11:00 PM
<b>PLATAFORMA:</b>	ZOOM

**TESISTA:** Buenas noches, empezaremos la entrevista con algunos datos sobre su carrera, ¿Cuál es su profesión?, ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene usted?, ¿En qué sector se desempeña actualmente?

**EXPERTO N° 1:** Buenas noches, soy Ingeniero Geólogo, tengo más de 15 años de experiencia laboral, en proyectos de minería y construcción de carreteras. Actualmente estoy realizando consultoría en gestión de proyectos en la ciudad de Lima.

**TESISTA:** Bueno las primeras preguntas serán sobre la exploración del suelo, ¿Qué técnicas exploración geotécnica recomendaría para la caracterización de un suelo para fines de estabilización de taludes?, ¿Qué ensayos de laboratorio considera determinantes para una buena caracterización del suelo en taludes?, ¿De qué manera la caracterización del suelo determina el proceso de corte de los taludes?

**EXPERTO N° 1:** Lo que consideraría más recomendable son los sondeos de perforación, en cuanto más profundo se llegue es mucho mejor, te da muchas ventajas, pero la mayor ventaja es que se pueden obtener muestras del suelo y eso te da mucha información de las condiciones en las que se encuentra el terreno, sobre todo en suelos donde hay arenas o limos. En cuanto a los ensayos es bueno realizar los básicos que establece la norma, pero si es para una evaluación de taludes si es necesario conocer los parámetros resistentes, porque en todos lo programas que se realizan los análisis siempre se tienen que tener estos parámetros el ángulo de fricción y la cohesión son importantes. Ahora para el corte de taludes lo que se usa generalmente son maquinaria pesada y en caso de tener roca hay distintos métodos como la voladura.

**TESISTA:** ¿Se podrían realizar calicatas?

**EXPERTO N° 1:** Se podría, si el talud no tiene bastante altura, porque si se tiene un talud que es muy inclinado no se podrá hacer o si se encuentra presencia de agua o tal vez nivel freático. En esos casos no podría realizarse.

**TESISTA:** Las preguntas siguientes con sobre la topografía, ¿Qué consideraciones topográficas considera necesarias para la configuración geométrica de los taludes?, ¿De qué manera, la configuración geométrica ayuda en la estabilización de taludes?, ¿La inclusión de banquetas en la configuración geométrica mejora la estabilidad de los taludes?

**EXPERTO N° 1:** En cuanto a la topografía, lo principal es saber la pendiente si esta empinada o no, si presenta fallas a nivel superficial y los accesos posibles a este más que todo por un tema de operaciones, se debe de dar todas las condiciones de trabajo para que se realice de manera favorable y segura. En cuanto a forma las banquetas son de gran ayuda porque estabiliza los taludes, ¿has notado la forma que tienen las minas a tajo abierto como Cuajone o Toquepala? Usan este sistema por que ofrece una menor inclinación y ayuda a la liberación de sobrecarga, porque lo que sí recomendaría el banqueteo por que mejorar en gran medida la estabilización de un talud sobre todo en taludes que son de gran altura.

**TESISTA:** Esta sección tiene como tema los métodos de cálculo. ¿En su experiencia, porque es recomendable el método de equilibrio límite para hallar el Factor de Seguridad en taludes?, ¿Qué métodos de reforzamiento son los que recomienda usar para incrementar el Factor de Seguridad?

**EXPERTO N° 1:** Porque es más sencillo de aplicar, además que los softwares que se especializan en el análisis de estabilidad de taludes los usan y tiene métodos muy variados, aunque eso depende de algunos criterios que podrían tomarse en consideración, nos da valores confiables.

**TESISTA:** ¿Qué criterios?

**EXPERTO N° 1:** Con la teoría que seguro ya revisaste, hay varios métodos dentro del equilibrio límite y no todos cumplen condiciones, como ya habrás estudiado, los métodos cumplen ciertas condiciones con lo que a equilibrio de fuerzas respecta, en este sentido cuando un método cumple más condiciones es más seguro y dan resultados más exactos, en este sentido los que he usado han sido el de Spencer y el de Morgenstern Price que dan valores relativamente similares.

**TESISTA:** ¿Y para el reforzamiento?

**EXPERTO N° 1:** En el reforzamiento puedes encontrar varios métodos, el que mas he usado ha sido los anclajes que en toca funciona muy bien y elementos de contención como muros o gaviones este funciona, pero para esto es necesario saber el tipo de material que existe en el talud de esto depende el tipo de reforzamiento.

**TESISTA:** Esta sección es sobre las superficies de falla. ¿Cuál es la parte del talud donde más se ha presentado superficies de falla?, ¿Cómo se pueden prevenir estas superficies de fallas y los problemas que ocasiona?

**EXPERTO N° 1:** En los proyectos que estuve no he presenciado la falla de un talud, sin embargo, tuve la oportunidad de asistir a una presentación del Dr, Alva Hurtado en el que presentaba deslizamientos por un sismo en El Salvador, en la que la superficie de falla se hallaba en el hombre del talud y se deslizaba hacia abajo causada probablemente por licuación y presencia de materiales blando y sin cohesión y se tenía presencia de arcillas. Por esto es necesario que en el análisis se tenga un factor de seguridad conservador e instalar sistemas de contención mallas, shotcrete o barreras como gaviones o muros de contención.

**TESISTA:** Con relación a la construcción de túnel. ¿Por qué es necesario la caracterización del suelo para la elección del método constructivo de un túnel?, ¿Qué problemas ha encontrado en la fase de excavación de túneles?

**EXPERTO N° 1:** Porque del tipo de suelo te dará el método de avance en excavación, tengamos en cuenta que la excavación es el proceso más peligroso porque puede haber derrumbes internos ocasionados tal vez por espacios vacío o por presencia de agua, en este sentido la excavación en suelo es más complicado por lo que te mencione, a diferencia de excavar en roca en la que el procedimiento es voladura en la que el avance es mayor. En tunelería se tienen muchos problemas como los que comente, además de subsidencias y caída de rocas, por eso es fundamental la implementación de un plan de seguridad bueno, tomando en consideración las diferentes fases si bien la excavación es la más complicada, también se debe tener en cuenta el transporte del material y la instalación del sistema de sostenimiento. Ahora, el proceso constructivo de túneles es muy complejo y por más que se tenga buenos conocimientos siempre ocurren problemas los cuales se tienen que resolver durante la construcción, con esto mencionado podría decir que el método o proceso constructivo inicial si se puede establecer mediante las características de exploración cuando se está en el proceso podría cambiar.

**TESISTA:** En lo que respecta a deslizamientos. ¿En qué parte del talud suelen ocurrir deslizamientos?, ¿Qué medidas de seguridad se deberían de adoptar ante los deslizamientos?

**EXPERTO N° 1:** Los deslizamientos podrían producirse más en los hombros como te comentaba de la presentación del Dr. Alva, por lo que se tiene que tomar medidas de contención, por si se originara no se llegue a caer y producir accidentes.

**TESISTA:** En la experiencia, que tiene, ¿Por qué es importante la fase inicial de afrontamiento?, ¿Qué problemas podrían suceder durante en el proceso de afrontamiento de un túnel?

**EXPERTO N° 1:** Porque esta perturbación, por decirlo de alguna manera genera inestabilidad en cualquier tipo de suelo o de roca de ser el caso y todo el material que este por encima tendera a descender por el eso el afrontamiento es muy importante, pero no solo el portal de entrada, también hay que asegurar bien los primeros metros del túnel por un tema de operación y también evacuación.

**TESISTA:** Ingeniero para cerrar, ¿Un adecuado análisis de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de un terraplén para la posterior construcción de un túnel?

**EXPERTO N° 1:** Definitivamente, el mejoramiento favorecerá mucho a que se den las condiciones favorables para la operación del túnel.

**TESISTA:** ¿Qué parámetros geomecánicos son necesarios de la caracterización del suelo determinará el proceso constructivo en la construcción del túnel?

**EXPERTO N° 1:** Saber su clasificación y su nivel de compacidad, como te decía si es un suelo blando, muy suelto es un poco más complicado en la fase de excavación, a diferencia de la roca que también se utilizan diferentes métodos.

**TESISTA:** ¿De qué manera configuración geométrica ayuda a la estabilización de taludes?

**EXPERTO N° 1:** El banqueteo es muy recomendable en la configuración geométrica con esto mejora mucho a la estabilización del talud.

**TESISTA:** ¿Qué valor mínimo de factor de seguridad sería el adecuado para que un talud se considere estable?

**EXPERTO N° 1:** En cuanto al factor de seguridad, se podría decir que si es mayor a uno en condiciones sísmicas el talud es estable, sin embargo, siempre tiene que darse un porcentaje mayor por precaución sobre todo si el talud recibirá cargas.

**TESISTA:** Bueno Ingeniero, agradecer la entrevista y su apoyo al aporte de datos para este proyecto.

**EXPERTO N° 1:** Un gusto, buenas noches.

ENTREVISTA N° 02	
<b>TESIS:</b> “ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021”	
<b>FECHA:</b>	13/10/2021
<b>HORA:</b>	10:00 PM
<b>PLATAFORMA:</b>	Llamada telefónica

**TESISTA:** Buenas noches, la entrevista que le realizare será con motivo de recabar información en base su experiencia en proyecto de taludes y tuneleros para una investigación de tesis relacionado con estos temas.

¿Cuál es su profesión?, ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene usted?, ¿En qué sector se desempeña actualmente?

**EXPERTO N° 2:** Muy buenas noches. Soy Ingeniero de Minas, tengo más de 30 años de experiencia laboral y me he desempeñado en el sector minero como Jefe de Operaciones y Supervisor de Seguridad.

**TESISTA:** Empezaremos con la primera parte de las preguntas. ¿Qué técnicas exploración geotécnica recomendaría para la caracterización de un suelo para fines de estabilización de taludes?, ¿Qué ensayos de laboratorio considera determinantes para una buena caracterización del suelo en taludes?, ¿De qué manera la caracterización del suelo determina el proceso de corte de los taludes?

**EXPERTO N° 2:** Para conocer en las propiedades del suelo generalmente es más común el uso de calicatas son más sencillas de realizar siempre y cuando el terreno en el que se haga no cuente con desniveles o presente, pero si se realizara perforaciones seria mucho mejor eso si nos daría con mucho más precisión las condiciones de suelo aunque claro que es más complicado por la logística que se necesita, sin embargo los estudios son más acertados. Si hablamos de proceso constructivo de los taludes generalmente se realizan con maquinaria pesada de línea amarilla como excavadoras o similares, pero para esto se necesita de un estudio de suelos si existe la presencia de rocas el proceso se necesitará de otro método que fracture la roca pero eso es ya es otro tópico.

**TESISTA:** Continuando con la topografía, ¿Qué consideraciones topográficas considera necesarias para la configuración geométrica de los taludes?, ¿De qué manera, la configuración geométrica ayuda en la estabilización de taludes?, ¿La inclusión de banquetas en la configuración geométrica mejora la estabilidad de los taludes?

**EXPERTO N° 2:** En cuanto a geometría tenemos que conocer la facilidad de acceso que existe, la maquinaria que realizará el corte tiene que tener fácil acceso a la zona de los taludes los cuales por un tema de excavación, se debe tener en cuenta si existe presencia de fisuras o elementos que se tengan sobresalientes en el talud que podrían descender y ocasionar problemas sobre todo por que si ocurrieran deslizamientos ocurren en la parte superior del talud, en este sentido la banqueta no solo ayuda a la estabilización, sino también a la protección ante caídas de material o materiales procedentes de el borde superior.

**TESISTA:** Con respecto a método de cálculo. ¿En su experiencia, porque es recomendable el método de equilibrio límite para hallar el Factor de Seguridad en taludes?, ¿Qué métodos de reforzamiento son los que recomienda usar para incrementar el Factor de Seguridad?

**EXPERTO N° 2:** Porque es más aceptado y los otros métodos que se desarrollaron no cuentan con la versatilidad y la rapidez, si tienes el modelamiento topográfico, la geometría es sencillo llevarlo del Autocad a otro programa como el Slide o el Slope, lo que se tendría que tener en cuenta seria los métodos y los valores aceptables para considerar al talud estable, este apartado si bien existe la normativa y valores que son trabajados en otros países, lo más recomendable seria que se trabaje con valores extremos sobre todo cuando se realiza un análisis pseudoestático, en alguna oportunidad pude ver que no tomaron en consideración la aceleración sísmica vertical y solo trabajaron con la aceleración horizontal.

**TESISTA:** ¿A qué se debió esto?

**EXPERTO N° 2:** Se apoyaban con estudios y bibliografía al respecto de los valores que en ellos se tomaba para suelos similares. Pero si se podría usar los valores de estudios geofísicos o valores de aceleraciones artificiales que simulan terremotos, estos si se podrían utilizar y serian mas exactos sobre el comportamiento del suelo, pero como te decía la norma está ahí y recomendaría tomarla en cuenta, además la norma seria un buen argumento en caso que sucediera algo que amerite investigación o algo similar.

**TESISTA:** Continuando con las superficies de falla. ¿Cuál es la parte del talud donde más se ha presentado superficies de falla?, ¿Cómo se pueden prevenir estas superficies de fallas y los problemas que ocasiona?

**EXPERTO N° 2:** Generalmente ocurre en la parte superior, quizás recuerdes tal vez si viviste el terremoto del 2001, en las carreteras se podía apreciar la falla de los taludes en la parte superior, aunque también en una oportunidad cuando estaba en un proyecto en Cajamarca en la que el talud debido a las intensas lluvias aumentó un caudal del río y la consecuencia fue que al no tener una defensa ribereña se socavó y produjo el derrumbe. Aquí cuenta mucho el factor climático la humedad el tipo de terreno también si son suelos expansivos o no.

**TESISTA:** Continuando con el tema de tunelería, porque la estabilización de taludes nos da condiciones favorables. ¿Por qué es necesario la caracterización del suelo para la elección del método constructivo de un túnel?, ¿Qué problemas ha encontrado en la fase de excavación de túneles?

**EXPERTO N° 2:** Porque dependiendo del material, se podrá escoger toda la maquinaria el sistema de sostenimiento los trabajadores y muchas cosas más, por eso no diría que es importante sino fundamental. En cuanto a la excavación de túneles ocurren muchos problemas desde subsidencias producidas por el material, si es que quizás es un suelo suelto o problemas mecánicos de los equipos, que son los que más retrasan la labor, porque de nada sirve tener condiciones adecuadas si no se tiene la logística para el proceso de operaciones. Algunos problemas también que se tienen son problemas de calidad, los túneles con fines civiles suelen tener más en cuenta la calidad con la que se construye y tiene que ir a la par con el área de operaciones, cuando es minería las cosas son más flexibles porque bueno nadie aparte de los trabajadores lo verán así que no se requiere un acabado en detalle, pero si, en ambos se requieren que los sistemas de instalados antes de excavación como paraguas inyectados para los suelos blandos y anclajes o sistemas de cable Bolting en caso de tener macizo rocoso, estén correctamente instalados.

**TESISTA:** En cuanto a deslizamientos, ¿En qué parte del talud suelen ocurrir deslizamientos?, ¿Qué medidas de seguridad se deberían de adoptar ante los deslizamientos?

**EXPERTO N° 2:** Generalmente como te mencionaba se da en las partes superiores en parte por intemperismo o por acción de terremoto. Las medidas de seguridad tendrán que ver con el tipo de material que se desprende, por ejemplo, si es roca con un enmallado podría ser suficiente o quizás añadir una capa de concreto lanzado shotcrete si digamos se encontrara la roca

fracturada, como la roca de la superficie está expuesta al ambiente tiende a ser más débil que la roca que se encuentra más internamente. También se debe tener en cuenta el uso y a ubicación del talud, como te comentaba si está en un río y tiene que instalarse gaviones; y si es carretera quizás un muro de contención sería lo ideal como te digo se tiene que tomar en cuenta ciertas condiciones para poder escoger el que mejor se adecue.

**TESISTA:** En su experiencia, ¿Por qué es importante la fase inicial de afrontamiento?, ¿Qué problemas podrían suceder durante en el proceso de afrontamiento de un túnel?

**EXPERTO N° 2:** En el afrontamiento el problema más grave se podría decir que son derrumbes, se tiene que ser bastante cuidadoso con el portal de entrada tiene que estar debidamente sostenido, sobre todo en suelos malos sueltos, antes de empezar la excavación e ir avanzando cuidadosamente. En este tipo de suelos malos también se podría realizar falsos túneles tal vez con cimbras que ofrezcan más seguridad ante un eventual desprendimiento debido a la inestabilidad provocada en el corte de inicio.

**TESISTA:** Ingeniero para finalizar, ¿Un adecuado análisis de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de un terraplén para la posterior construcción de un túnel?

**EXPERTO N° 2:** Como te decía anteriormente, la estabilidad de taludes es muy importante para el inicio de construcción de taludes, porque los túneles son proyectos riesgosos por lo que se tienen que dar las condiciones más favorables posibles.

**TESISTA:** ¿Qué parámetros geomecánicos son necesarios de la caracterización del suelo determinará el proceso constructivo en la construcción del túnel?

**EXPERTO N° 2:** Priorizar su clasificación y los parámetros que se necesita introducir en los programas de estabilización como el ángulo de fricción.

**TESISTA:** ¿De qué manera configuración geométrica ayuda a la estabilización de taludes?

**EXPERTO N° 2:** Ayuda a prevenir deslizamientos, sobre todo como te comentaba con el banqueteo sirve también como una primera barrera de las caídas de las partes altas del talud.

**TESISTA:** Finalmente, ¿Qué valor mínimo de factor de seguridad sería el adecuado para que un talud se considere estable?

**EXPERTO N° 2:** Aquí depende mucho del criterio y del tipo de suelo, si bien podría considerarse como mayor a 1 en condiciones dinámicas, siempre tenemos que aumentar un porcentaje mayor para tener mayor seguridad de que el talud no fallara.

**TESISTA:** Eso sería toda la entrevista ingeniero, agradecerle por el tiempo brindado que servirá de ayuda en mi proyecto de investigación.

**EXPERTO N° 2:** Un gusto, este es un tema extenso y muy interesante, hasta una próxima oportunidad buenas noches.

ENTREVISTA N° 03	
<b>TESIS:</b> "ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021"	
<b>FECHA:</b>	14/10/2021
<b>HORA:</b>	8:30 PM
<b>PLATAFORMA:</b>	ZOOM

**TESISTA:** Buenas noches ingeniero, primero agradecerle la participación en esta investigación de tesis, con esta entrevista para expandir los conocimientos que pude obtener al realizar esta tesis. Empecemos con algunas preguntas

¿Cuál es su profesión?, ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene usted?, ¿En qué sector se desempeña actualmente?

**EXPERTO N° 3:** Muy buenas noches. Soy Ingeniero de Minas de profesión, tengo casi 30 años de experiencia laboral y estuve desempeñándome como Jefe de Seguridad para una empresa en Toquepala.

**TESISTA:** Empecemos con la entrevista revisando el primer apartado ¿Qué técnicas exploración geotécnica recomendaría para la caracterización de un suelo para fines de estabilización de taludes?, ¿Qué ensayos de laboratorio considera determinantes para una buena caracterización del suelo en taludes?, ¿De qué manera la caracterización del suelo determina el proceso de corte de los taludes?

**EXPERTO N° 3:** El proceso de tunelería se vuelve complicado cuando no se tiene un suelo rocoso, para el talud en el que se va afrontar se podrían realizar calicatas si el talud en cuestión no es muy profundo, pero que no si se tiene taludes de grandes alturas lo más conveniente serían ensayos de perforación o ensayos de refracción, recuerda que el estado interno del suelo es muy importante para realizar excavaciones, y en cuanto a ensayos serían necesarios los parámetros resistentes que son los necesarios para el análisis de estabilidad. Dependiendo del terreno con maquinaria pesada bastaría, pero si es roca podría ser conveniente voladura o perforar taladros de pre-corte y rellenarlos con algún material expansivo que logre el fracturamiento de la roca.

**TESISTA:** Ingeniero y en relación con la topografía, ¿Qué consideraciones topográficas considera necesarias para la configuración geométrica de los taludes?, ¿De qué manera, la

configuración geométrica ayuda en la estabilización de taludes?, ¿La inclusión de banquetas en la configuración geométrica mejora la estabilidad de los taludes?

**EXPERTO N° 3:** En la topografía se debe primero delimitar la zona de trabajo, ver las condiciones de los taludes en especial si presentan alguna falla en cuanto a la configuración geométrica y si es una altura considerable la que tiene el talud lo recomendable será realizar banquetas que ayudan mucho a evitar deslizamientos y por un tema de operaciones.

**TESISTA:** En cuanto en cuanto al diseño, ¿En su experiencia, porque es recomendable el método de equilibrio límite para hallar el Factor de Seguridad en taludes?, ¿Qué métodos de reforzamiento son los que recomienda usar para incrementar el Factor de Seguridad?

**EXPERTO N° 3:** En los proyectos que me ha tocado supervisar, siempre usaron los métodos de equilibrio limite es el mas sencillo de usar y porque los softwares especializados tienen en su mayoría este método tal vez podría usarse otros métodos más complejos, pero podría demandar más tiempo y de un especialista que este capacitado y que a veces en proyectos cortos es un poco complicado de conseguir. En el reforzamiento lo que más me ha dado resultados son los anclajes, los pernos dependiendo del tipo de material, pero los pernos son mas usados y sobre todo más rápidos de instalar.

**TESISTA:** Los taludes podrían presentar varios problemas, pero ¿Cuál es la parte del talud donde más se ha presentado superficies de falla?, ¿Cómo se pueden prevenir estas superficies de fallas y los problemas que ocasiona?

**EXPERTO N° 3:** En los proyectos en los que he podido estar, no he visto que se presentan este tipo de problemas, pero hay que tener mucho cuidado cuando se empieza a excavar porque podría ocurrir subsidencias del en el frontón o en los metros iniciales de empezado la excavación.

**TESISTA:** ¿Por qué es necesario la caracterización del suelo para la elección del método constructivo de un túnel?, ¿Qué problemas ha encontrado en la fase de excavación de túneles?

**EXPERTO N° 3:** Dependiendo si el suelo es arenoso o arcilloso se podrían usar micropilotes o sistemas paraguas inyectados que son los más usuales para tipos de suelo sueltos inyectados, o también podrían instalarse micropilotes o marchavantes. Para el sostenimiento final se debe asegurar con shotcrete una vez terminado con todo el sostenimiento. La excavación tiene que hacerse con todos los aspectos de seguridad posibles las herramientas de gestión tienen que realizarse antes de entrar al frente de trabajo, ya que los problemas son muchos, pero los más principales son las subsidencias y la presencia de agua que dificulta mucho el avance los túneles

por eso se debe realizar mapeos geomecánicos cada avance para ver la presencia de materiales existentes en el frente.

**TESISTA:** Con respecto al problema de deslizamientos. ¿En qué parte del talud suelen ocurrir deslizamientos?, ¿Qué medidas de seguridad se deberían de adoptar ante los deslizamientos?

**EXPERTO N° 3:** En cuanto a seguridad, se debe delimitar y remarcar al personal las rutas de evacuación y realizar charlas de seguridad para capacitar al personal. Hay que tener presente que para evitar problemas en el afrontamiento se podría realizar un falso túnel el cual protegería la entrada, pero que solo serviría para la entrada dejando los lados expuestos por lo que, necesariamente se tendría que instalar algún refuerzo externo en la parte superficial del talud y como te mencionaba hace rato el shotcrete es con el refuerzo que he trabajado y ha funcionado bien en prevenir este problema.

**TESISTA:** En su experiencia, ¿Por qué es importante la fase inicial de afrontamiento?, ¿Qué problemas podrían suceder durante en el proceso de afrontamiento de un túnel?

**EXPERTO N° 3:** Es tal vez la parte mas importante, porque no solo es la entrada si no también una salida, cuando el túnel ya lleva avanzado un trecho considerable, la entrada se convierte en una ruta de salida, recuerda que el túnel es un espacio confinado y la única manera de salir es por la entrada es por eso que se tiene que tener extremo cuidado de reforzara bien la entrada sobre todo si sucediera un evento sísmico o cualquier otro evento que podría dificultar la salida del túnel lo que si podría ocasionar problemas serios hasta fatales.

**TESISTA:** Finalmente ingeniero ¿Un adecuado análisis de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de un terraplén para la posterior construcción de un túnel?

**EXPERTO N° 3:** Definitivamente, la caracterización es no solo básica sino lo mas importante porque te presenta las condiciones los tipos de suelo y esto sirve de base para determinar el proceso constructivo correcto.

**TESISTA:** ¿Qué parámetros geomecánicos son necesarios de la caracterización del suelo determinará el proceso constructivo en la construcción del túnel?

**EXPERTO N° 3:** Existen mucho pero tal vez el más importante es el tipo de suelos, la clasificación del suelo su densidad para saber que tipo de reforzamiento previo al proceso de excavación será el más adecuado.

**TESISTA:** ¿De qué manera configuración geométrica ayuda a la estabilización de taludes?

**EXPERTO N° 3:** Ayuda mas que todo en la prevención de deslizamientos y aquí entra de nuevo saber el tipo de suelo que tiene.

**TESISTA:** ¿Qué valor mínimo de factor de seguridad sería el adecuado para que un talud se considere estable?

**EXPERTO N° 3:** En cuanto al factor de seguridad lo recomendable seria tomar en consideración lo que establece la norma nacional.

**TESISTA:** Finalmente ingeniero agradecerle por el tiempo brindado que servirá de ayuda en mi tesis.

**EXPERTO N° 2:** Te agradezco a ti por tomarme en cuenta en tu trabajo de investigación. Saludos.

## ENTREVISTA N° 04

**TESIS:** "ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021"

**FECHA:** 15/10/2021

**HORA:** 9:30:00 PM

**PLATAFORMA:** Llamada telefónica

**TESISTA:** Buenas noches ingeniera, el presente trabajo tiene como finalidad, recopilar información acerca de la estabilidad de taludes y la construcción de proyectos tuneleros en base a su experiencia en este tipo de proyectos, bueno empecemos con algunas preguntas iniciales.

¿Cuál es su profesión?, ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene usted?, ¿En qué sector se desempeña actualmente?

**EXPERTA N° 4:** Buenas noches, mi profesión es Ingeniera Civil tengo 10 años de experiencia laboral entre proyectos civiles en unidades mineras y actualmente trabajo en una empresa constructora en Lima, encargada de realizar proyectos diversos.

**TESISTA:** Ingeniera empezaremos con preguntas relacionadas al estudio de mecánica de suelos ¿Qué técnicas exploración geotécnica recomendaría para la caracterización de un suelo para fines de estabilización de taludes?, ¿Qué ensayos de laboratorio considera determinantes para una buena caracterización del suelo en taludes?, ¿De qué manera la caracterización del suelo determina el proceso de corte de los taludes?

**EXPERTA N° 4:** Como bien sabes la caracterización es básica en cualquier proyecto de construcción y cuantos más ensayos se realicen se tendrá más información. Si hablamos de exploración en taludes y dependiendo de las condiciones en las que se encuentra la zona de estudio, sería recomendable realizar perforaciones con diamantina si bien estos estudios suelen ser costosos son muy fiables porque conoceremos en detalle todos los estratos presentes en el suelo y si es posible un estudio geofísico que nos daría mas detalles de la composición del suelo.

**TESISTA:** Ingeniera, ¿Y se pueden realizar calicatas?

**EXPERTA N° 4:** Si se puede, pero las calicatas no te ofrecerán una visión de los estratos más profundos, claro esto depende de la altura del talud, porque si es un talud relativamente bajo con

calicatas podría ser suficiente, pero si se puede hacer las perforaciones sería lo más recomendable. Si es un suelo que es blando se podría realizar ensayos de SPT que en algún momento lo realice, pero el suelo tiene que ser arenosa o limosa, con el que podrías hallar el ángulo de fricción usando las correlaciones desarrolladas en la bibliografía del ensayo, y no es muy costoso así que sería una opción, además, se pueden recuperar muestras del suelo naturales que te servirán para los ensayos de laboratorio

**TESISTA:** ¿Y con respecto al proceso constructivo?

**EXPERTA N° 4:** Para el proceso constructivo se puede realizar mediante maquinaria pesada una vez que se tenga la forma final del corte del talud.

**TESISTA:** En cuestión de la topografía, ¿Qué consideraciones topográficas considera necesarias para la configuración geométrica de los taludes?, ¿De qué manera, la configuración geométrica ayuda en la estabilización de taludes?, ¿La inclusión de banquetas en la configuración geométrica mejora la estabilidad de los taludes?

**EXPERTA N° 4:** Una de las consideraciones topográficas es saber la pendiente del terreno y la pendiente final del modelo final, para la geometría se tiene que tomar como punto de partida el ángulo de fricción del suelo del terreno, con estos datos ya se puede realizar un modelamiento para su análisis, en este sentido las banquetas ayudan mucho en la estabilización ya que disminuye las fuerzas que actúan en el talud pero al realizar banquetas intermedias el talud queda dividido en dos por que su comportamiento se hace independiente.

**TESISTA:** En lo que respecta a la evaluación de taludes, ¿En su experiencia, porque es recomendable el método de equilibrio límite para hallar el Factor de Seguridad en taludes?, ¿Qué métodos de reforzamiento son los que recomienda usar para incrementar el Factor de Seguridad?

**EXPERTA N° 4:** Es recomendable porque su uso es fácil y los programas que utilizan este método no se necesita de muchos datos, y los resultados que se obtienen son rápidos y no son complicados de interpretar, además que los resultados del factor de seguridad son confiables y no varía mucho los resultados dependiendo del método que se utilice.

**TESISTA:** ¿Qué método recomienda?

**EXPERTA N° 4:** Recomendaría un método que cumpla más condiciones de equilibrio, en un proyecto de carreteras en el que me tocó estar se tenía que estabilizar taludes de un tramo e un a carretera y para el diseño se utilizó el método de Spencer que es uno de los métodos que más

condiciones cumple y el diseño realizado se ha desempeñado bien hasta el momento. También podría usarse otro método parecido que cumpla con las mismas condiciones, porque los valores no varían demasiado a diferencia de los métodos tradicionales que dan como resultado valores más bajos que Spencer.

**TESISTA:** ¿Y en lo que respecta a los reforzamientos?

**EXPERTA Nº 4:** Los anclajes son los que mejor trabajan sobre todo si se tiene toca, pero también podría estabilizarse el suelo con inyecciones, pero dependerá del tipo de suelo que se tenga para escoger el refuerzo que mejor se adapte a las condiciones existentes.

**TESISTA:** Ahora las preguntas se relacionarán a los taludes, ¿Cuál es la parte del talud donde más se ha presentado superficies de falla?, ¿Cómo se pueden prevenir estas superficies de fallas y los problemas que ocasiona?

**EXPERTA Nº 4:** En sismos lo que más se observa es que los derrumbes se tienen en el hombro del talud y se extiende la longitud del talud, cuando ocurre un sismo los deslizamientos ocurren arriba ocasionando caída de rocas que bloquean carreteras. Lo que se puede realizar para mitigar esto es partir primero con un buen análisis de estabilidad y ver donde ocurre la superficie de falla y tratar de reforzar lo mas que se pueda con esa zona, sobre todo si la superficie de falla es grande. Ahora si lo vemos de un lado de costos es importante saber el refuerzo y la cantidad que se necesita porque si es una extensión amplia, podría ser costoso como los pilotes o los muros de contención esto dependerá de la altura y longitud del talud por lo que se debe de buscar un método para que el proyecto no termine siendo muy costoso.

**TESISTA:** Las siguientes preguntas son relacionadas a la tunelería. ¿Por qué es necesario la caracterización del suelo para la elección del método constructivo de un túnel?, ¿Qué problemas ha encontrado en la fase de excavación de túneles?

**EXPERTA Nº 4:** Es muy básico tener el conocimiento general del material existente para una excavación, pero aún así los suelos suelen ser cambiantes hay problemas que se generan durante el proceso constructivo, es riesgoso por eso se debe de tener cuidado con todo el ciclo constructivo del túnel. Hace unos años estuve en un proyecto en Cuajone, un proyecto interesante, pero a la vez fue muy difícil por las condiciones de terreno que se tenía por el tipo de material que se tenía al momento de la excavación, se tuvo que realizar reforzamientos externos e internos.

**TESISTA:** ¿Qué tipo de reforzamientos?

**EXPERTA N° 4:** Pues el primer tramo del túnel estaba constituido por material bastante blando, suelto, hubo una subsidencia considerable, que llegó a la superficie, por lo que se tuvo que realizar perforaciones con pernos inyectados con lechada para estabilizar la parte superior del túnel ya que la separación del terreno natural y la corona del túnel no era mucho, pero que se iba incrementando a medida que se avanzaba con la construcción. Después de las inyecciones el terreno logro estabilizarse por lo que ya no se tuvo subsidencias, pero de todas maneras se procedió a la excavación con mayor cuidado.

**TESISTA:** Retomando el tema de taludes. ¿En qué parte del talud suelen ocurrir deslizamientos?, ¿Qué medidas de seguridad se deberían de adoptar ante los deslizamientos?

**EXPERTA N° 4:** En cuanto a deslizamientos, por lo que pude apreciar los vi generalmente en las partes superiores, sin embargo, algunas veces pueden darse en partes medias talud sobre todo en zonas de lluvia donde pueden producirse filtraciones en el suelo del talud. Una medida de seguridad seria la implementación de sistemas de contención en la base del talud como muros de contención o una protección superficial como podrían ser mallas dependerá del tipo de material del talud.

**TESISTA:** En su experiencia, ¿Por qué es importante la fase inicial de afrontamiento?, ¿Qué problemas podrían suceder durante en el proceso de afrontamiento de un túnel?

**EXPERTA N° 4:** Los afrontamientos son complicados por que se tiene que asegurar muy bien la entrada no solamente la sección del túnel que se va a excavar, también toda la parte superior y los costados para que no ocurra algún derrumbe, es por eso que el frente debe de estar muy bien sostenido con un sistema que se acomode al material existente en el frente, en los que he tenido la oportunidad de participar fueron siempre anclados, seguidos por una malla electrosoldada para finalmente recubrir con una capa de shotcrete todo el frente del túnel.

**TESISTA:** Ingeniera para terminar las siguientes preguntas son relacionadas con los problemas planteados en la investigación. ¿Una adecuada evaluación de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de un terraplén para la posterior construcción de un túnel?

**EXPERTA N° 4:** Si, porque al final de la evaluación se determinara si esta estable o no, y de no estarlo poder realizar un modelo que cumpla con los valores requeridos para lograr la estabilidad.

**TESISTA:** ¿Qué parámetros geomecánicos son necesarios de la caracterización del suelo determinará el proceso constructivo en la construcción del túnel?

**EXPERTA N° 4:** Pues lo esencial son la clasificación del suelo, estudiar el tipo su densidad su compacidad esto determinará el método de sostenimiento que se necesitará para la construcción del túnel.

**TESISTA:** ¿De qué manera configuración geométrica ayuda a la estabilización de taludes?

**EXPERTA N° 4:** Inicialmente la referencia será de cortar el talud de tal manera que la pendiente sea la menor posible, esto se debe de analizar con diferentes modelos propuestos, a medida que la inclinación sea menor, se tendrá una mejor estabilización y funciona mucho en suelos que son friccionantes como las arenas, pero que si el talud es muy alto ya no sería recomendable por la cantidad de material que tendría que cortarse.

**TESISTA:** ¿Qué valor mínimo de factor de seguridad sería el adecuado para que un talud se considere estable?

**EXPERTA N° 4:** Lo mínimo sería un factor de 1, aplicando la aceleración sísmica que nos da la normativa, aunque el valor mínimo de la norma es mayor siempre se debe tener valores por encima del mínimo siempre se tiene que ser muy conservador sobre todo en zonas de alto riesgo sísmico.

**TESISTA:** Bueno ingeniera eso sería toda la entrevista, de nuevo agradecerle por su tiempo y espero poder tener la oportunidad de coincidir de nuevo en un proyecto.

**EXPERTA N° 4:** De nada, espero que haya sido de utilidad la información brindada y espero que el proyecto de investigación salga de la mejor manera posible. Hasta pronto.

<b>ENTREVISTA N° 05</b>	
<b>TESIS:</b> "ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL MEJORAMIENTO DEL TERRAPLÉN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE DRENAJE TOQUEPALA - TACNA, 2021"	
<b>FECHA:</b>	16/10/2021
<b>HORA:</b>	13:00 PM
<b>PLATAFORMA:</b>	ZOOM

**TESISTA:** Buenas noches ingeniero, la entrevista que se le realizara será con fines académicos para tener información sobre los tópicos que se tocaran en el proyecto de investigación que estoy llevando a cabo.

¿Cuál es su profesión?, ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene usted?, ¿En qué sector se desempeña actualmente?

**EXPERTO N° 5:** Muy buenas noches. Soy Ingeniero Civil de profesión, tengo 20 años de experiencia laboral y actualmente estoy laborando en el sector construcción, específicamente en una entidad pública.

**TESISTA:** Bueno empezaremos con preguntas relacionadas a la exploración de suelos. ¿Qué técnicas exploración geotécnica recomendaría para la caracterización de un suelo para fines de estabilización de taludes?, ¿Qué ensayos de laboratorio considera determinantes para una buena caracterización del suelo en taludes?, ¿De qué manera la caracterización del suelo determina el proceso de corte de los taludes?

**EXPERTO N° 5:** Lo que recomendaría para la exploración del suelo seria la realización de sondajes para lo que refiere al tema de taludes, también pruebas de perforación dependiendo del material encontrado puede ser DPL o SPT que son sencillos de ejecutar y se pueden hallar los valores de las propiedades resistentes mediante el uso de correlaciones en ese sentido, en la bibliografía existente se tiene bastantes formulas de correlaciones. Con estas correlaciones se puede halar el ángulo de fricción, incluso la bibliografía nos.

**TESISTA:** ¿Qué consideraciones topográficas considera necesarias para la configuración geométrica de los taludes?, ¿De qué manera, la configuración geométrica ayuda en la estabilización de taludes?, ¿La inclusión de banquetas en la configuración geométrica mejora la estabilidad de los taludes?

**EXPERTO N° 5:** Pues si el talud es existente se deberían de tomar en consideración de la inclinación del talud y si se realizan banquetas el ángulo de las banquetas tiene que ser menor al ángulo de reposo, debemos tener en cuenta que ángulos más rectos generan más carga y hay mayor esfuerzo cortante. Es por esto por lo que las banquetas ayudan mucho a la estabilidad de los taludes además que sirve de un punto de partida para establecer la configuración geométrica final de los taludes.

**TESISTA:** Continuando con los métodos de cálculo. ¿En su experiencia, porque es recomendable el método de equilibrio límite para hallar el Factor de Seguridad en taludes?, ¿Qué métodos de reforzamiento son los que recomienda usar para incrementar el Factor de Seguridad?

**EXPERTO N° 5:** Porque es el método de mayor aceptación, además que existen diversos métodos que pueden aplicarse. Pero los que mayor aceptación y más recomendables son los métodos que cumplen el equilibrio de todas las fuerzas y momentos en ese sentido se debería emplear el método que más condiciones cumpla.

En cuanto a los reforzamientos los anclajes son los que más se usan y brindan el sostenimiento necesario dependiendo donde se encuentre la superficie de falla en la simulación reforzamiento con anclajes perforados aumenta el factor de seguridad, hay que tener en cuenta que la superficie de falla no siempre es circular, pero en las simulaciones por los diferentes programas nos sirve de apoyo para identificar la zona más crítica que pudiera fallar durante algún sismo o fuerzas externas. También hay que considerar si se presenta un cambio a un estrato débil esto causaría una inestabilidad en el talud y por ende traería problema en la construcción del túnel.

**TESISTA:** En cuanto a las superficies de falla. ¿Cuál es la parte del talud donde más se ha presentado superficies de falla?, ¿Cómo se pueden prevenir estas superficies de fallas y los problemas que ocasiona?

**EXPERTO N° 5:** Como te mencionaba la superficie de falla podría darse en los cambios de estratos o en zonas que tienen baja compacidad terrenos sueltos, por eso recomiendo realizar estudios geofísicos. Estos nos ampliarán el conocimiento de las condiciones internas en las que se encuentra el talud. El análisis de estas zonas críticas nos hace replantear el sistema constructivo tanto del talud como la posterior construcción del túnel. El problema que más consecuencias acarrea son los deslizamiento o los desprendimientos internos cuando se esta realizando el corte se puede prevenir mediante sistemas de soportes como los anclajes.

**TESISTA:** Ingeniero con relación a la tunelería. ¿Por qué es necesario la caracterización del suelo para la elección del método constructivo de un túnel?, ¿Qué problemas ha encontrado en la fase de excavación de túneles?

**EXPERTO N° 5:** En lo que respecta a túneles se debe tener en consideración la caracterización del suelo, aquí un estudio de refracción sísmica nos muestra una radiografía completa del estado interno del talud por lo que se tiene que saber si el suelo es blando y la presencia de agua que es muy peligroso ya que es un factor que produce inestabilidad en el terreno. Si se tuviera la presencia de material suelo ocasionaría derrumbes por lo que es necesario el uso de elementos de sostenimiento que sirvan de apoyo en el proceso de corte del túnel, los derrumbes internos los cuales dejan un espacio al descender y se tiene que inyectar con lechada con un acelerante para cubrir esa zona en el menor tiempo posible para evitar otros deslizamiento o problemas en la excavación.

**TESISTA:** Se sabe que se producen deslizamientos en los taludes pero, ¿En qué parte del talud suelen ocurrir?, ¿Qué medidas de seguridad se deberían de adoptar ante los deslizamientos?

**EXPERTO N° 5:** Los deslizamientos pueden ser ocasionados por muchos factores, como climáticos o sísmicos y pueden producirse en diferentes zonas, pero he visto mas en los bordes del talud. Dependiendo de la finalidad del talud, se necesitaría de reforzamientos externos como mallas, geotextiles y otros y el pie podrían realizarse construcciones de contención como muros. Estos refuerzos ayudan bastante a la mitigación de problemas que podría ocasionar si se diera un deslizamiento considerable.

**TESISTA:** ¿Un adecuado análisis de estabilidad de taludes permitirá el mejoramiento de un terraplén para la posterior construcción de un túnel?

**EXPERTO N° 5:** Definitivamente y cuanto más estudios se hagan mejor será la caracterización del suelo será mucho mejor, para aplicar métodos constructivos y de reforzamiento.

**TESISTA:** ¿Qué parámetros geomecánicos son necesarios de la caracterización del suelo determinará el proceso constructivo en la construcción del túnel?

**EXPERTO N° 5:** Su clasificación su compacidad son necesarios sobre todo si son suelos blandos que necesitan un tratamiento especial en todos los aspectos a diferencia de la roca que es relativamente mas estable.

**TESISTA:** ¿De qué manera configuración geométrica ayuda a la estabilización de taludes?

**EXPERTO N° 5:** Ayuda a disminuir el peso del talud y con las banquetas se logra mejores resultados.

**TESISTA:** ¿Qué valor mínimo de factor de seguridad sería el adecuado para que un talud se considere estable?

**EXPERTO N° 5:** Como te comentaba con que el factor sea mayor a 1, se considera estable pero lo recomendable es que haya un 20% o 30% de holgura para tener mayor seguridad.

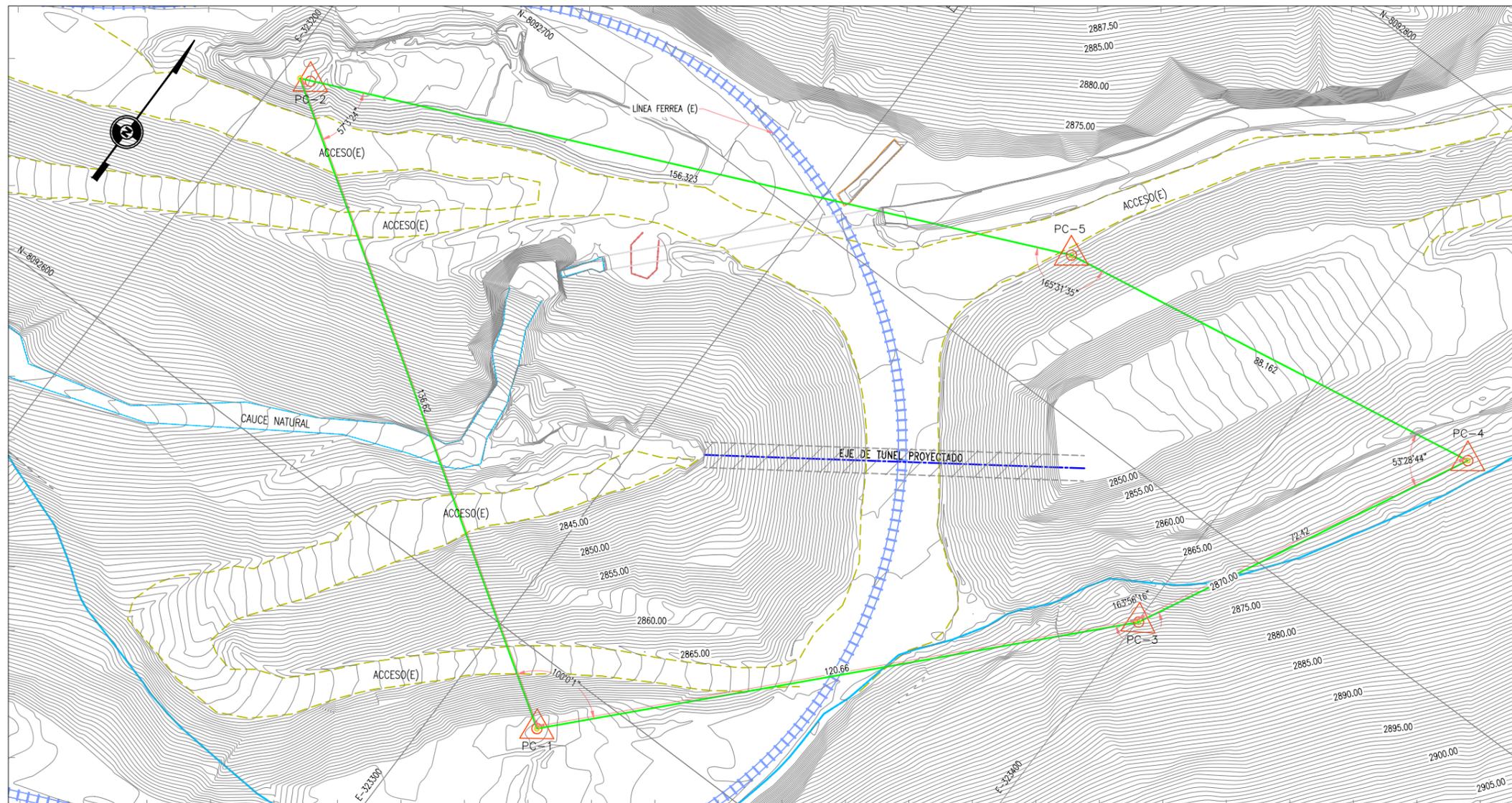
**TESISTA:** Bueno ingeniero agradecerle los minutos de su tiempo para esta entrevista que servirá de mucho a esta investigación.

**EXPERTO N° 5:** Buenas noches, me hubiera gustado dar más alcances, pero por motivos de tiempo no se me hizo posible, espero que para otra oportunidad se pueda profundizar en este tema. Buenas Noches.

## **ANEXO 5: PLANOS**

<b>Plano 1.</b> Curvas de Nivel y Puntos de Cntrol .....	175
<b>Plano 2.</b> Perfil Topográfico .....	176
<b>Plano 3.</b> Propuesta de Estabilización .....	177

**UBICACIÓN**



**SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS**

- (E) =EXISTENTE
- (P) =PROYECTADO
- =CURVAS DE NIVEL  
2.5m May., 0.5m Men.
- =EJE DE ALINEAMIENTO
- =TÚNEL PROYECTADO
- =LINEA FERREA
- =ACCESOS
- =TUBERIA EXISTENTE
- =PUNTOS DE CONTROL
- =LINEA DE POLIGONAL

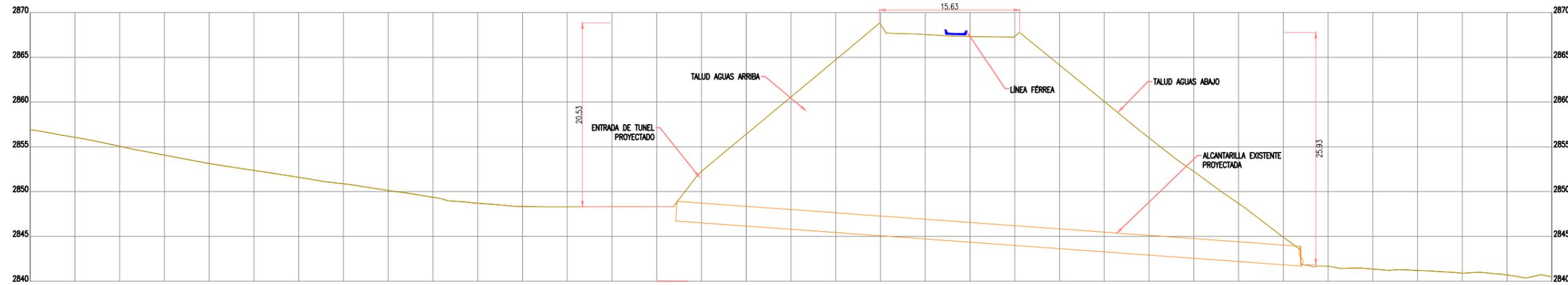
- NOTAS:**
- EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM-WGS84 19S.
  - LAS CURVAS DE NIVEL ESTÁN A CADA 0.50m.
  - LAS ELEVACIONES ESTÁN DADAS EN METROS.
  - LAS CURVAS DE NIVEL EN ESTE PLANO FUERON PROPORCIONADAS EN SU TOTALIDAD POR SVR.

**PUNTOS DE CONTROL TOPOGRAFICOS**  
ESC: 1:1000

PUNTOS DE CONTROL			
PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACION
PC-1	8092587.880	323318.203	2871.851
PC-2	8092587.880	323203.428	2871.032
PC-3	8092676.346	323400.252	2875.730
PC-4	8092741.004	323432.888	2868.477
PC-5	8092726.110	323345.996	2867.512

Área: 15967.442 m<sup>2</sup>  
 Área: 1.59674 ha  
 Perímetro: 574.184 ml

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">No.</th> <th style="width: 95%;">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	No.	OBSERVACIONES									UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ELABORADO POR: JONATHAN ANTHONY ZAVALA VENEGAS		TACNA QUEBRADA CIMARRONA ESTABILIDAD DE TALUDES TOPOGRAFÍA CURVAS DE NIVEL Y PUNTOS DE CONTROL	ADVERTENCIA  SI ESTA BARRA NO MIDE 25mm EL DIBUJO NO ESTÁ A ESCALA. PROY. DIB. ESC: INDICADAS PLANO N°: TOPOGRAFÍA-01
No.	OBSERVACIONES													



PROGRESIVA	0+000	0+005	0+010	0+015	0+020	0+025	0+030	0+035	0+040	0+045	0+050	0+055	0+060	0+065	0+070	0+075	0+080	0+085	0+090	0+095	0+100	0+105	0+110	0+115	0+120	0+125	0+130	0+135	0+140	0+145	0+150	0+155	0+160	0+165	0+170
COTA TERRENO NATURAL	2856.93	2856.06	2855.07	2854.08	2853.14	2852.37	2851.60	2850.88	2850.13	2849.37	2848.70	2848.34	2848.31	2848.31	2848.31	2852.24	2856.42	2860.57	2864.73	2868.69	2867.54	2867.33	2867.32	2864.14	2860.07	2856.01	2852.25	2848.68	2844.91	2841.67	2841.35	2841.18	2840.90	2840.69	2840.46
COTA SUBRASANTE TUNEL																2845.594	2845.469	2845.345	2845.220	2845.095	2844.971	2844.846	2844.722	2844.597	2844.472	2844.348	2844.223								

**PERFIL LONGITUDINAL - SECCIÓN A**  
 ESC: H=1:500 ; V=1:500

**SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS**

(E)	=EXISTENTE
(P)	=PROYECTADO
---	=TERRENO NATURAL (E)
—	=ALCANTARILLA EXISTENTE

**NOTAS:**  
 1.- LAS ELEVACIONES ESTAN DADAS EN METROS.  
 2.- EL TRAZO DE LAS ESTRUCTURAS SON REFERENCIALES, ESTAS ESTARÁN SUJETAS AL REPLANTEO EN CAMPO CUANDO SEA RETIRADO EL MATERIAL QUE CUBRE LA ALCANTARILLA AGUAS ARRIBA.

No.	OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



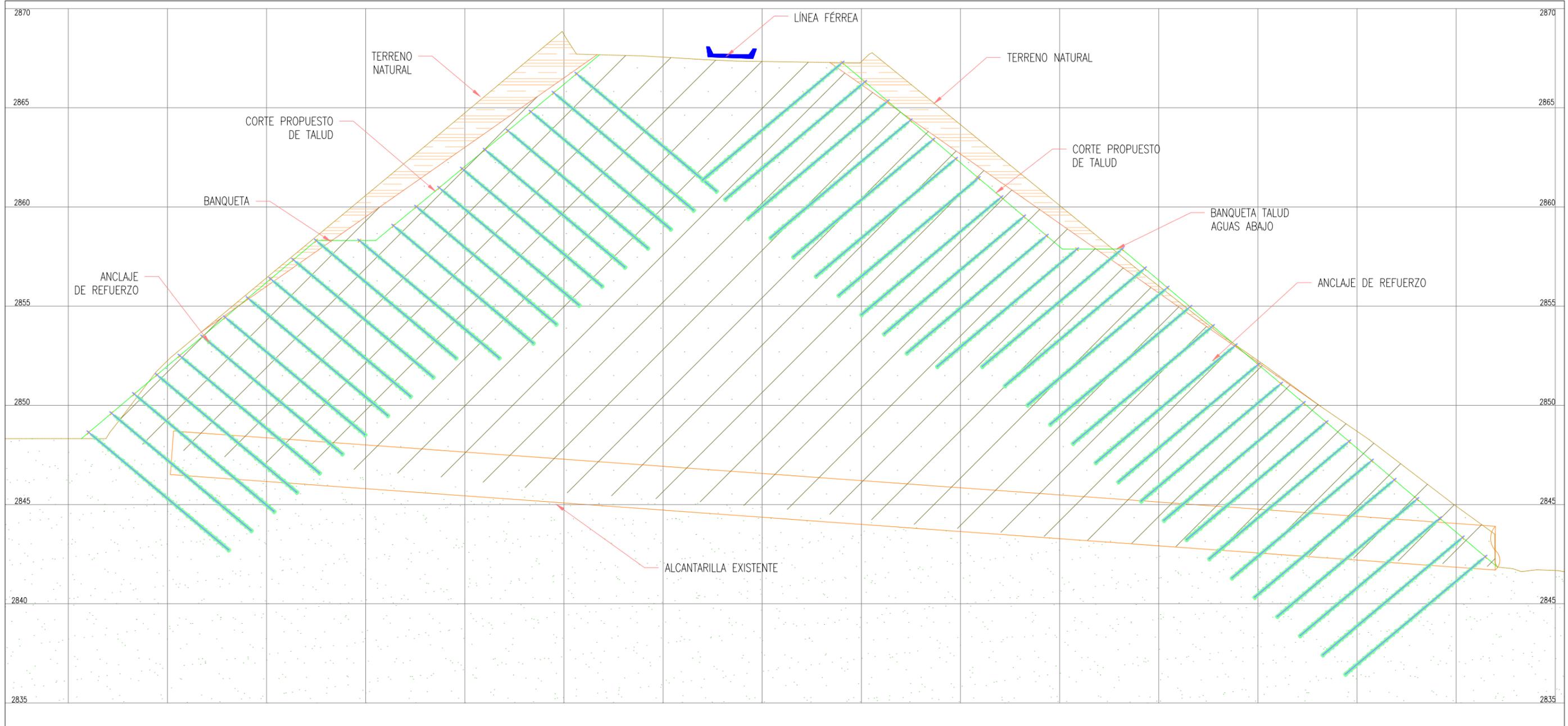
ELABORADO POR: JONATHAN ANTHONY ZAWALA VENEGAS

TACNA  
 QUEBRADA CIMARRONA  
 ESTABILIDAD DE TALUDES  
 TOPOGRAFÍA  
 PERFIL TOPOGRAFICO

ADVERTENCIA  
 SI ESTA OBRA NO MIDE 25mm EL DIBUJO NO ESTÁ A ESCALA.

PROY. DIB. INDICADAS

PLANO N°:  
**TOPOGRAFÍA-02**



**PROPUESTA DE ESTABILIDAD**  
 ESC: H=1:200 ; V=1:200

**SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS**

	=TERRENO NATURAL
	=ANCLAJE INYECTADO (E)
	=ARENA ARCILLOSA (SC)
	=GRAVA Y ARENA (GM)
	=MATERIAL ALUVIAL (SM)

- NOTAS:**
- 1.- LECHADA A INYECTAR, RESISTENCIA PROMEDIO DE 100 kg/cm<sup>2</sup>.
  - 2.- LOS ANCLAJES INYECTADOS SERAN DE 9.00 m DE LARGO A UN DISTANCIAMIENTO DE 1.50 m.
  - 3.- LAS BANQUETAS TENDRAN UN ANCHO DE 3.00 m.
  - 4.- LA RELACION DE LOS TALUDES SERA 1:1.2

No.	OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ELABORADO POR: JONATHAN ANTHONY ZAVALA VENEGAS

TACNA  
 QUEBRADA CIMARRONA  
 ESTABILIDAD DE TALUDES  
 GEOMECANICA  
 PROPUESTA DE ESTABILIZACION

ADVERTENCIA  
 SI ESTA BARRA NO MIDE 25mm EL DIBUJO NO ESTA A ESCALA.

PROY. DIB. ESC: INDICADAS

PLANO N°:  
**PROPUESTA-01**