

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE UNA EXTENSIÓN DE 260 METROS EN LA VÍA PAPALLACTA BAEZA, SECTOR CUYUJA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO.**

OPCIÓN: ESTUDIO TÉCNICO

CÉSAR PATRICIO POZO VILLACÍS

pozocesar.gr12@gmail.com

cesar.pozo01@epn.edu.ec

DIRECTORA: MSc. MERCEDES VILLACÍS

mercedes.villacis@epn.edu.ec

CODIRECTOR: PhD. PEDRO REYES

pedro.reyes@epn.edu.ec

Quito, agosto 2021

DECLARACIÓN

Yo, César Patricio Pozo Villacís, declaro bajo juramento que el trabajo descrito es de mi autoría; y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se he consultado las referencias bibliográficas incluidas en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

César Patricio Pozo Villacís

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por César Patricio Pozo Villacís, bajo mi supervisión.

MSc. Mercedes Villacís

DIRECTORA DEL PROYECTO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por César Patricio Pozo Villacís, bajo mi supervisión.

PhD. Pedro Reyes

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Blanca, quien siempre ha estado para apoyarme en las buenas y en las malas, gracias por ser mi mejor amiga, por demostrarme tanto cariño y amor incondicional *TE AMO MAMÁ*.

A mi padre, Patricio, gracias por ser siempre mi mejor amigo, por cada consejo, por cada palabra de aliento y por demostrarme que todo lo que me propongo lo puedo lograr *TE AMO PAPÁ*.

A la MSc. Mercedes Villacís, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación, por la paciencia y la enseñanza que tuvo para mi persona, por brindarme el apoyo incondicional durante cada etapa del proyecto.

Al Ing. Xavier Mena, por su ayuda desinteresada en la toma de muestras y el levantamiento topográfico.

Al PhD. Pedro Reyes por todas las enseñanzas impartidas durante mi formación como profesional y como persona.

Al laboratorio LEMSUR de la Escuela Politécnica Nacional, por brindarme la ayuda necesaria para realizar los ensayos de mi trabajo de titulación.

A Monserrath, mi novia, amiga, compañera y confidente, que me ha brindado su apoyo incondicional con las palabras adecuadas, alentándome cuando he querido abandonarlo todo. Gracias, mi amor.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir este sueño.

*A mis padres que han sido constantemente mi fuerza e
inspiración y nunca me han dejado solo.*

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	2
CERTIFICACIÓN.....	3
CERTIFICACIÓN.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
DEDICATORIA.....	6
GLOSARIO.....	21
RESUMEN.....	22
ABSTRACT.....	23
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	24
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	24
1.1.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	24
1.1.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	25
1.1.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	26
1.2. HIPÓTESIS.....	27
1.3. OBJETIVOS.....	27
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	27
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	27
1.4.1. LOCALIZACIÓN.....	27
1.4.2. ASPECTO DEMOGRÁFICO.....	28
1.4.3. ASPECTO SOCIOECONÓMICO.....	29
1.4.4. ASPECTOS FÍSICOS.....	29
1.4.4.1. CLIMA.....	29
1.4.4.2. RELIEVE.....	30

1.4.4.3.	PRECIPITACIONES	31
1.4.4.4.	SISMICIDAD	31
1.5.	MARCO GEOLÓGICO	33
1.5.1.	AMBIENTE GEODINÁMICO ACTUAL.....	33
1.5.2.	GEOLOGÍA REGIONAL	34
1.5.3.	GEOLOGÍA LOCAL.....	35
1.5.3.1.	TERRENO LOJA	36
Unidad Agoyán	36	
Unidad Chiguinda	36	
Unidad Tres Launas	37	
Unidad Sabanilla	37	
Unidad Monte Olivo	37	
1.5.3.2.	TERRENO SALADO.....	37
Unidad Cuyuja.....	38	
Unidad Upano.....	38	
Unidad Cerro Hermoso.....	38	
Unidad Azafrán.....	38	
1.5.3.3.	TERRENO ALAO	39
Unidad Peltetec	39	
Unidad Alao-Paute.....	39	
Unidad el Pan	39	
Unidad Maguazo	40	
2.	CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL	41
2.1.	SUELOS.....	41
2.1.1.	DEPÓSITOS DE SUELO EN LA NATURALEZA	42
2.1.1.1.	SUELOS RESIDUALES	42

2.1.1.2.	SUELOS TRANSPORTADOS	42
2.1.1.3.	SUELOS ORGÁNICOS	42
2.1.2.	TAMAÑO DE PARTÍCULA DE SUELO.....	43
2.1.2.1.	GRAVAS	43
2.1.2.2.	ARENAS.....	43
2.1.2.3.	LIMOS	43
2.1.2.4.	ARCILLAS	43
2.1.3.	GRAVEDAD ESPECÍFICA	44
2.2.	CONSISTENCIA DEL SUELO.....	45
2.2.1.	LÍMITES DE ATTERBERG	45
2.2.1.1.	LÍMITE LÍQUIDO (L L)	45
2.2.1.2.	LÍMITE PLÁSTICO (LP).....	46
2.2.1.3.	LÍMITE DE CONTRACCIÓN (SL)	46
2.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	46
2.3.1.	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELO (SUCS)	46
2.4.	COMPACTACIÓN DE SUELOS	47
2.4.1.	PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO.....	48
2.5.	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	48
2.5.1.	LEY DE DARCY	49
2.5.2.	ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON CARGA CONSTANTE	50
2.6.	RESISTENCIA CORTANTE DEL SUELO	50
2.6.1.	CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB	50
2.6.2.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	52
2.6.3.	ENSAYO TRIAXIAL DE CORTE.....	53
2.6.3.1.	ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)	53
2.7.	ESTABILIDAD DE TALUDES	54

2.7.1.	TALUD.....	54
2.7.2.	FACTOR DE SEGURIDAD.....	55
2.7.3.	SUPERFICIE DE FALLA.....	56
2.7.4.	TIPOS DE ROTURA.....	57
2.7.5.	MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO.....	58
3.	CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	60
3.1.	MÉTODO DE ESTUDIO.....	60
3.2.	TRABAJO DE CAMPO.....	60
3.2.1.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	60
3.2.2.	SONDEOS SPT.....	62
3.2.2.1.	LITOLOGÍA SPT 1.....	63
3.2.2.2.	LITOLOGÍA SPT 2.....	64
3.2.2.3.	LITOLOGÍA SPT 3.....	64
3.2.2.4.	LITOLOGÍA SPT 4.....	65
3.2.2.5.	LITOLOGÍA SPT 5.....	65
3.2.2.6.	LITOLOGÍA SPT 6.....	66
3.2.3.	TOMA DE MUESTRAS.....	66
3.3.	INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO.....	67
3.3.1.	ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S).....	67
3.3.1.1.	GRANULOMETRÍA.....	67
3.3.1.2.	LÍMITES DE ATTERBERG.....	69
	LÍMITE LÍQUIDO.....	70
	LÍMITE PLÁSTICO.....	71
3.3.2.	ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO.....	72
3.3.3.	PERMEABILIDAD DE SUELOS CON CARGA CONSTANTE.....	75
3.3.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	76

3.3.5.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	78
3.3.6.	ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)	80
3.4.	MODELAMIENTO DIGITAL DE LOS DATOS OBTENIDOS	82
3.4.1.	ETAPA 1 (AutoCAD).....	82
3.4.2.	ETAPA 2 (GEO 5)	85
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	88
4.1.	RESULTADOS DE MUESTRAS OBTENIDAS DE PERFORACIONES.....	88
4.1.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S).....	88
4.2.	RESULTADOS DE MUESTRAS OBTENIDAS DE CALICATAS	94
4.2.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO.....	94
4.2.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS CON CARGA CONSTANTE	94
4.2.3.	RESULTADO DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA	95
4.2.4.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	95
4.2.5.	RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)	96
4.3.	MODELAMIENTO DIGITAL DEL TALUD	96
4.3.1.	MODELAMIENTO GEOLÓGICO	96
4.4.	CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y SUPERFICIE DE FALLA A TRAVÉS DEL SOFTWARE “GEO 5”	98
4.4.1.	PERFIL 1	98
4.4.2.	PERFIL 2.....	100
4.4.3.	PERFIL 3.....	101
4.4.4.	PERFIL 4.....	103
4.4.5.	PERFIL 5.....	104
4.4.6.	PERFIL 6.....	106

4.4.7.	PERFIL 7.....	107
4.4.8.	PERFIL 8.....	109
4.4.9.	PERFIL 9.....	110
4.4.10.	PERFIL 10	112
4.4.11.	PERFIL 11	113
4.4.12.	PERFIL 12	115
4.4.13.	PERFIL 13	116
4.4.14.	PERFIL 14	118
4.4.15.	PERFIL 15	119
4.4.16.	PERFIL 16	121
4.4.17.	PERFIL 17	122
4.4.18.	FACTORES DE SEGURIDAD CALCULADOS.....	124
4.5.	ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	124
4.5.1.	TERRAZAS	125
4.5.2.	PERFIL 1 ESTABILIZADO.....	126
4.5.3.	PERFIL 2 ESTABILIZADO.....	127
4.5.4.	PERFIL 3 ESTABILIZADO.....	129
4.5.5.	PERFIL 4 ESTABILIZADO.....	130
4.5.6.	PERFIL 5 ESTABILIZADO.....	132
4.5.7.	PERFIL 6 ESTABILIZADO.....	133
4.5.8.	PERFIL 7 ESTABILIZADO.....	135
4.5.9.	PERFIL 8 ESTABILIZADO.....	136
4.5.10.	PERFIL 9 ESTABILIZADO	138
4.6.	RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS	139
5.	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
5.1.	CONCLUSIONES.....	141

5.2. RECOMENDACIONES.....	143
6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS.....	148

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapas de localización de la zona de estudio en la Parroquia Cuyuja.	28
Figura 1.2: Mapa climático de la Parroquia Cuyuja.	30
Figura 1.3: Mapa de Geomorfología de la Parroquia Cuyuja.....	30
Figura 1.4: Registro de los valores pluviométricos mensuales en la parroquia Cuyuja..	30
Figura 1.5: Mapa para diseño sísmico.	31
Figura 1.6: Ubicación de Fallas Cuaternarias cercanas a la zona de estudio.....	32
Figura 1.7: Esquema geodinámico del Ecuador.....	33
Figura 1.8: Regiones tectono-morfológicas del Ecuador.	34
Figura 1.9: División de los terrenos tectono-estratigráficos del Ecuador.	35
Figura 2.1: Ciclo de las rocas y origen del suelo.	41
Figura 2.2: Límites de Atterberg.....	45
Figura 2.3: Envolvente de falla y criterio de Mohr-Coulomb.	52
Figura 2.4.: Envolvente de falla en pruebas triaxiales (CU).....	54
Figura 2.5: Diferencias entre un talud y ladera.....	55
Figura 2.6: Superficie de falla de un talud.....	57
Figura 2.7: Modelos de superficies de roturas en suelos.	58
Figura 2.8: a) Método de dovelas de Bishop. b) Esquema de fuerzas actuantes en la <i>n</i> -ésima dovela.	58
Figura 3.1: Topografía del talud de estudio.....	61
Figura 3.2: Ubicación de los sondeos SPT.	62
Figura 3.3: Esquema litológico sondeo SPT 1.....	63
Figura 3.4: Esquema litológico sondeo SPT 2.....	64
Figura 3.5: Esquema litológico sondeo SPT 3.....	64
Figura 3.6: Esquema litológico sondeo SPT 4.....	65
Figura 3.7: Esquema litológico sondeo SPT 5.....	65

Figura 3.8: Esquema litológico sondeo SPT 6.....	66
Figura 3.9: Muestreo para el análisis en laboratorio.....	67
Figura 3.10: Ensayo de granulometría.....	69
Figura 3.11: Curva granulométrica de una muestra previamente ensayada.....	69
Figura 3.12: Ensayo de límite líquido.....	71
Figura 3.13: Curva de flujo de una muestra ensayada.....	71
Figura 3.14: Ensayo de límite plástico.....	72
Figura 3.15: Ensayo de compactación Próctor Modificado.....	74
Figura 3.16: Gráfica de densidad seca vs humedad promedio.....	75
Figura 3.17: Ensayo de permeabilidad con carga constante.....	76
Figura 3.18: Ensayo de gravedad específica.....	78
Figura 3.19: Ensayo de corte directo.....	79
Figura 3.20: Gráfica de Esfuerzo normal vs Esfuerzo de corte máximo.....	80
Figura 3.21: Ensayo triaxial consolidado no drenado.....	81
Figura 3.22: Esquema de un equipo de ensayo triaxial.....	81
Figura 3.23: Extracto del plano topográfico del talud de estudio.....	82
Figura 3.24: Perfil 1 de los 17 en que se subdividió el talud.....	83
Figura 3.25: Creación de una polilínea.....	84
Figura 3.26: Formato compatible con el Software Geotécnico GEO5.....	84
Figura 3.27: Importar archivo (*.dxf).....	85
Figura 3.28: Asignación de datos en el programa.....	86
Figura 3.29: Asignación del suelo a la interfaz del perfil N°10.....	86
Figura 3.30a: Análisis de estabilidad de taludes (OPTIMIZACIÓN), perfil N°10.....	87
Figura 3.30b: Análisis de estabilidad de taludes (BÚSQUEDA DE GRILLA), perfil N°10.....	87
Figura 4.2: Vista de fondo del talud.....	97

Figura 4.3: Vista frontal del talud.....	97
Figura 4.4: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	98
Figura 4.5: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	99
Figura 4.6: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	100
Figura 4.7: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	100
Figura 4.8: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	101
Figura 4.9: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	102
Figura 4.10: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	103
Figura 4.11: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.....	103
Figura 4.12: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	104
Figura 4.13: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	105
Figura 4.14: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	106
Figura 4.15: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	106
Figura 4.16: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	107
Figura 4.17: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	108
Figura 4.18: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	109
Figura 4.19: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	109
Figura 4.20: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	110
Figura 4.21 SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	111
Figura 4.22: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	112
Figura 4.23: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	112
Figura 4.24: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	113
Figura 4.25: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	114
Figura 3.26: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	115
Figura 3.27: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	115
Figura 3.28: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	116

Figura 3.29: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	117
Figura 3.30: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	118
Figura 4.32: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	119
Figura 4.33: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	120
Figura 4.34: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	121
Figura 4.35: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	121
Figura 4.36: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN.....	122
Figura 4.37: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA.	123
Figura 4.38: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).....	126
Figura 4.39: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	126
Figura 4.40: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	127
Figura 4.41: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	128
Figura 4.42: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).....	129
Figura 4.43: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	129
Figura 4.44: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).....	130
Figura 4.45: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	131
Figura 4.46: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis OPTIMIZACIÓN (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).....	132
Figura 4.47: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	132
Figura 4.48: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	133

Figura 4.49: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	134
Figura 4.50: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	135
Figura 4.51: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	135
Figura 4.52: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	136
Figura 4.53: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	137
Figura 4.54: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	138
Figura 4.55: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis BÚSQUEDA DE GRILLA (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.	32
Tabla 2.3: Valores de gravedad específica.....	44
Tabla 2.1: Simbología para la clasificación de SUCS.....	47
Tabla 2.2: Tamaño de grano (mm), S.U.C.S.	47
Tabla 2.3: Valores típicos de conductividad hidráulica	49
Tabla 3.1: Coordenadas de los perfiles del talud de estudio.....	61
Tabla 3.3: Coordenadas de Calicatas.....	66
Tabla 4.1: Resultados del ensayo de Clasificación de SUCS.	88
Tabla 4.2: Resultado del ensayo de Límites de Atterberg.....	90
Tabla 4.3: Resultados del ensayo de Próctor Modificado.	94
Tabla 4.4: Resultados del ensayo de Permeabilidad.	94
Tabla 4.5: Resultados del ensayo de Gravedad Específica.	95
Tabla 4.6: Resultados del ensayo de corte directo en roca.....	95
Tabla 4.7: Resultados del ensayo triaxial CU	96
Tabla 4.8: Litologías presentes en el talud de estudio.	96
Tabla 4.9: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 1.	99
Tabla 4.10: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 2.	101
Tabla 4.11: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) perfil 3.....	102
Tabla 4.12: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) perfil 4.....	104
Tabla 4.13: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 5.	105
Tabla 4.14: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 6	107
Tabla 4.15: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 7.	108
Tabla 4.16: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 8.	110
Tabla 4.17: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 9.	111
Tabla 4.18: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 10.	112

Tabla 4.19: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 11.	114
Tabla 4.20: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 12.	116
Tabla 4.21: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 13.	117
Tabla 4.22: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 14.	119
Tabla 4.23: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 15.	120
Tabla 4.24: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 16.	122
Tabla 4.25: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 17.	123
Tabla 4.26: Factores de seguridad del método de BISHOP.	124
Tabla 4.27: Pendientes típicas para taludes en cortes.	125
Tabla 4.28: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 1 ESTABLIZADO.	127
Tabla 4.29: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 2 ESTABLIZADO.	128
Tabla 4.30: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 3 ESTABLIZADO.	130
Tabla 4.31: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 4 ESTABLIZADO.	131
Tabla 4.32: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 5 ESTABLIZADO.	133
Tabla 4.33: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 6 ESTABLIZADO.	134
Tabla 4.34: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 7 ESTABLIZADO.	136
Tabla 4.35: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 8 ESTABLIZADO.	137
Tabla 4.36: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 9 ESTABLIZADO	139
Tabla 4.37: Valores de factor de seguridad	139

GLOSARIO

AASHTO: sistema de clasificación de la American Association of State Highway Officials.

CD: corte directo.

CL: arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad.

FS: factor de seguridad.

LL: límite líquido.

LP: límite plástico.

OK: aceptable

SUCS: sistema unificado de clasificación de suelos.

SPT: ensayo de penetración estándar.

SM: arena limosa con grava.

SFC: superficie de falla crítica.

SL: límite de contracción.

NP: no posee.

NEC: norma ecuatoriana de la construcción.

RESUMEN

El talud de estudio se encuentra localizado en la vía Papallacta-Baeza sector Cuyuja, perteneciente al cantón Quijos, provincia de Napo, esta zona corresponde a una arteria vehicular muy importante de intercambio entre la Sierra y la Amazonía ecuatoriana. Geológicamente la zona de estudio se encuentra ubicada en el terreno Salado que es parte de la Cordillera Real.

Los sondeos SPT y los ensayos de laboratorio permitieron la caracterización física y mecánica de los diferentes tipos de suelo que se encuentran dentro del talud de estudio. Dentro de la clasificación de SUCS se diferenció (CL) caracterizado por la arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad y (SM) caracterizado por arena limosa con grava, internamente el talud está compuesto por un esquisto micáceo.

El modelamiento del FS se lo realizó en el programa GEO5, tomando como referencia el método de Bishop simplificado, el mínimo FS que debe cumplir el talud en este estudio es de 1,5 para ser considerado como un talud estable. En las condiciones en las que se realizó el muestreo (temporal de lluvias elevado), la zona norte del talud que corresponde a los perfiles 1,2,3 se encuentra en un estado inminente de falla, ya que los FS en esta zona son menores a 1.

Como medida de estabilización se planteó la construcción de bermas en los perfiles en donde el FS era menor a 1,5; se obtuvo resultados bastante satisfactorios, provocando que el FS se eleve considerablemente y por consiguiente logrando la estabilidad del talud por completo.

Palabras clave: estabilidad de taludes, factor de seguridad, Bishop simplificado, bermas

ABSTRACT

The study slope is in the Papallacta-Baeza Cuyuja sector, belonging to the Quijos canton, Napo province, this area corresponds to a very important vehicular artery of exchange between the Sierra and the Ecuadorian Amazon. Geologically, the study area is in the Salado terrain that is part of the Cordillera Real.

The SPT soundings and laboratory tests allowed the physical and mechanical characterization of the different types of soil found within the study slope. Within the SUCS classification, CL (inorganic sandy silty clay with low plasticity) and SM (silty sand with gravel) were differentiated, internally the slope is composed of a micaceous shale.

The safety factor modeling was carried out in the GEO5 program, taking as a reference the simplified Bishop method, the minimum safety factor that the slope should have in this study is 1.5 to be considered a stable slope. In the conditions in which the sampling was carried out (high rainy season), the northern zone of the slope corresponding to profiles 1,2,3 is in an imminent failure state, the safety factors in this zone are less than 1.

As a stabilization measure, the construction of berms was proposed in the profiles where the safety factor was less than 1.5; quite satisfactory results were obtained, causing the safety factor to rise considerably and consequently achieving the stability of the slope completely.

Keywords: slope stability, safety factor, simplified Bishop, berms

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estabilidad de taludes constituye uno de los temas más importantes dentro de la geotecnia y la geología. Un talud se define como una superficie de terreno o muro, el cual se encuentra inclinado respecto de la horizontal (Matteis, 2003).

El presente proyecto analizará la estabilidad de un talud que se encuentra ubicado en la vía Papallacta-Baeza, sector Cuyuja, el cual tiene una extensión de 260 metros a un lado de la vía Papallacta-Baeza.

El lugar en el que se encuentra el talud de estudio corresponde al km 66 de vía Quito-Baeza, tiene un flujo vehicular constante. Con un estudio correcto de estabilidad de taludes se puede asegurar un buen funcionamiento de este tramo de la vía.

El talud a ser analizado presenta erosión en la pendiente dominante, provocada por la limitada capa de cobertura vegetal, la lluvia, el tipo de suelo. Cuando la pendiente del talud aumenta, la velocidad y el volumen de la escorrentía superficial incrementa (Cantero et al., 2004).

Se analizará la estabilidad del talud en función de las características físico-mecánicas de los materiales que conforman el talud. Para ello se estudiará la geología de la zona, se realizarán ensayos de laboratorio tales como: ensayos de corte directo, ensayos de corte triaxial, permeabilidad, clasificación de SUCS, índices de plasticidad y límites Atterberg, los que permitirán conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo presente en el talud de estudio.

1.1. JUSTIFICACIÓN

1.1.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Un talud se puede considerar estable durante un determinado tiempo, tarde o temprano, la estabilidad presente se puede ver afectada por agentes naturales como: las fuerzas hidrostáticas, la meteorización, la erosión y otros factores antrópicos como obras de ingeniería. El talud puede estar expuesto a redistribución de esfuerzos por cortes o deslizamientos previos, además de una reducción de la resistencia del suelo

que conforma el talud, provocada en gran parte por la acción de la gravedad (Crespo, 2005).

La posibilidad de que ocurra un deslizamiento se encuentra latente desde el momento en que un talud se forma de manera natural o artificial, lo que conlleva a un análisis de diversas disciplinas de Ciencias de la Tierra y Ambientales (GEMM, 2007).

Uno de los fenómenos que determinan un posible deslizamiento son las grietas de tensión, las cuales aumentan la probabilidad de que falle un talud. Las grietas de tensión al llenarse fluido (agua de lluvia, por ejemplo), generan un cambio en la resistencia, lo que incrementa la carga sobre el plano de falla del talud con el aporte de presión del líquido aumentando por consiguiente la probabilidad de un deslizamiento. Estas grietas se producen principalmente en aquellos suelos que poseen una baja resistencia a la tracción (Abramson et al., 2002).

1.1.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

El presente estudio técnico está enfocado en evaluar la calidad geomecánica del talud a ser analizado, mediante una caracterización litológica, geológica y geotécnica, a lo largo de los 260 metros de extensión del talud de estudio.

La clasificación SUCS, se utiliza generalmente en ingeniería para poder describir la textura y el tamaño del suelo. La clasificación SUCS puede ser aplicada a materiales que no han sido consolidados (Crespo, 2005).

Los índices de plasticidad y límites de Atterberg aportarán al estudio de la capacidad de los suelos para deformarse hasta un cierto límite sin romperse, así como el grado de saturación y actividad de estos. A través de estas propiedades es posible medir el comportamiento de los suelos en diferentes épocas y condiciones de un tiempo determinado (Crespo, 2005).

El ensayo de CD corresponde a la resistencia interna por unidad de área, permite determinar los parámetros resistentes de cohesión y el ángulo de rozamiento interno, en un espécimen el cual se somete a un esfuerzo normal y otro cortante, este ensayo se lo realizará en muestras de suelo tomadas de calicatas (Caballero, 2001).

El ensayo triaxial, corresponde a la prueba más común y versátil con la que se puede determinar propiedades esfuerzo-deformación de los suelos, como resultado de este ensayo se obtienen datos que corresponden al ángulo de fricción interna y la cohesión del material, en condiciones de confinamiento lateral se puede extraer el módulo de deformación (Das, 2013).

La permeabilidad, es definida por la ley de Darcy, que relaciona las magnitudes características de una corriente. El coeficiente de permeabilidad tiene las dimensiones de una velocidad, se puede expresar en términos de centímetros por segundo o metros por segundo. Los suelos por lo general no son perfectamente homogéneos ni perfectamente isótropos, por lo que se los debe definir precisando la dirección de la corriente que es aplicada y el campo de aplicación (Das, 2013).

Una calicata se excava en un sitio que se ha determinado como representativo para una zona de estudio, el cual simboliza una posible unidad geológica y geomorfológica de una determinada área de estudio. De una calicata se pretende obtener características específicas de un suelo, en el cual se describen condiciones específicas como tipo de drenaje, vegetación, uso del suelo (Valverde & Wielemaker, 1995).

El levantamiento (geotécnico) de la zona será enfocado a la obtención de datos geológicos y litológicos que permitirán integrar, mejorar y realizar un análisis completo de la geotecnia y la geología.

1.1.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En el análisis de estabilidad de taludes se toman criterios geomecánicos del suelo, tipos de suelo tales como: suelos puramente cohesivos, suelos con cohesión y fricción y suelos estratificados (Badillo & Rico, 2004).

El análisis propuesto en este estudio aportará de una manera significativa al conocimiento que se tienen sobre la estabilidad de taludes en la Parroquia Cuyuja, en base a los datos geológicos, litológicos, propiedades físico-mecánicas del suelo, obtenidas en el transcurso del presente proyecto.

1.2. HIPÓTESIS

El análisis físico y mecánico de las muestras, permitirá conocer las condiciones de estabilidad del talud, en el tramo de 260 metros a lo largo de la vía Papallacta-Baeza

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la estabilidad del talud en un tramo de 260 metros, en la vía Papallacta Baeza, sector Cuyuja para establecer medidas de mitigación y estabilidad del talud.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar litológicamente el tramo de 260 m del talud ubicado en la vía Papallacta Baeza
- Realizar el cálculo de la superficie de rotura, para poder encontrar el plano de falla de falla del talud en análisis.
- Realizar una caracterización de las propiedades física y mecánicas de los suelos (cohesión, fricción, permeabilidad) del perfil, mediante ensayos de laboratorio.
- Determinar el factor de seguridad de estabilidad para un talud finito.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1. LOCALIZACIÓN

El talud de estudio está localizado al sureste de la provincia de Pichincha, en la parroquia Cuyuja del cantón Quijos, perteneciente a la provincia de Napo. El talud comprende una extensión de 260 metros a lo largo de la vía Papallacta-Baeza. (*figura 1.1*).

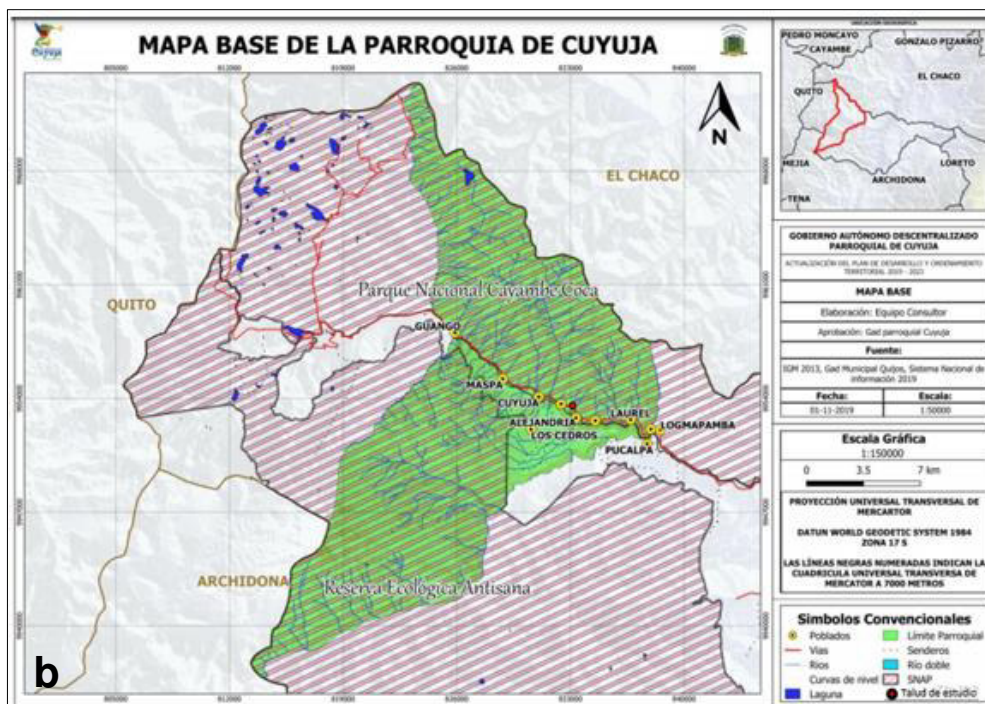
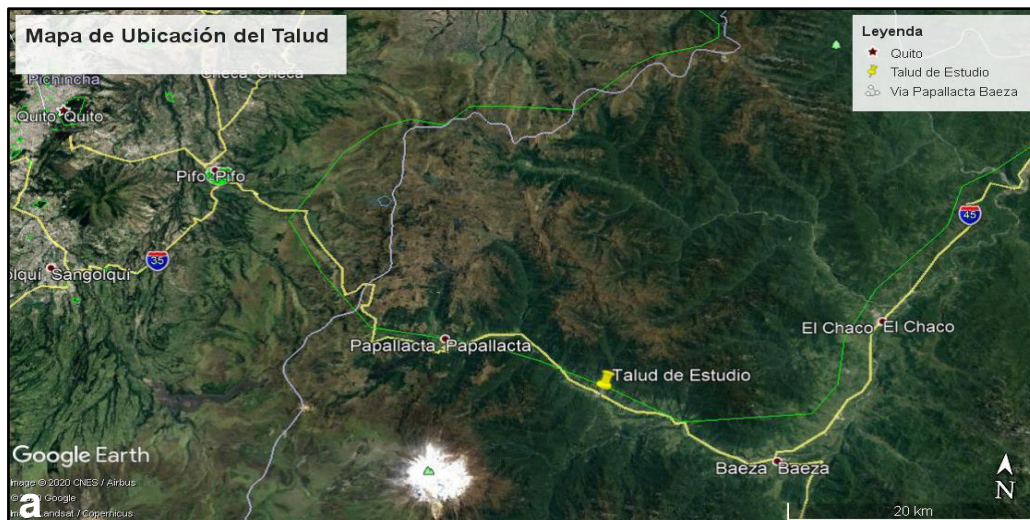


Figura 1.1: Mapas de localización del talud (Parroquia Cuyuja).
Fuente: a) Google Maps. b) PDOT-Cuyuja (2019-2020).

1.4.2. ASPECTO DEMOGRÁFICO

Los datos obtenidos del último censo nacional realizado en el año 2010, muestran la parroquia Cuyuja tiene 620 habitantes, teniendo un crecimiento poblacional anual en esta parroquia es de 1.35% (PDOT-Cuyuja, 2019-2020).

1.4.3. ASPECTO SOCIOECONÓMICO

La parroquia Cuyuja tiene una superficie de 316.4 Km², la cabecera cantonal tiene una extensión de 12 hectáreas esto equivale al 92.6% del área urbana total (PDOT-Cuyuja, 2019-2020).

En el sector de Cuyuja los habitantes han adoptado a la agricultura y ganadería como actividades principales en las cuales se encuentra basada su economía.

1.4.4. ASPECTOS FÍSICOS

1.4.4.1. CLIMA

Según (MEM- TEC- Cuyuja, 2012), la parroquia Cuyuja presenta temperaturas bajas, debido a la ubicación en la denominada zona de páramo. Las temperaturas varían, la más baja de 5°C y la más alta de 16.2°C. Debido a la ubicación geográfica, se pueden diferenciar 4 tipos de clima:

- *Bosque húmedo montano*: propio de las altitudes entre 2000 a 3000 msnm. Este tipo de clima se lo puede apreciar en la parte central de la zona, con temperaturas que varían entre los 6°C - 16°C.
- *Bosque muy húmedo subalpino*: las temperaturas oscilan entre los 3°C - 6°C, este clima es propio de la zona ubicada en lado noreste y sureste de Cuyuja.
- *Bosque muy húmedo alpino*: En la zona de Cuyuja es propia de la parte sur y este, con temperaturas que oscilan entre 1.5°C – 3°C a una altura correspondiente de 4000 msnm.
- *Nival*: propio de la zona del volcán Antisana, con temperaturas que varían de 0°C – 1.5°C, propio de la altura de 4500-4750 msnm.

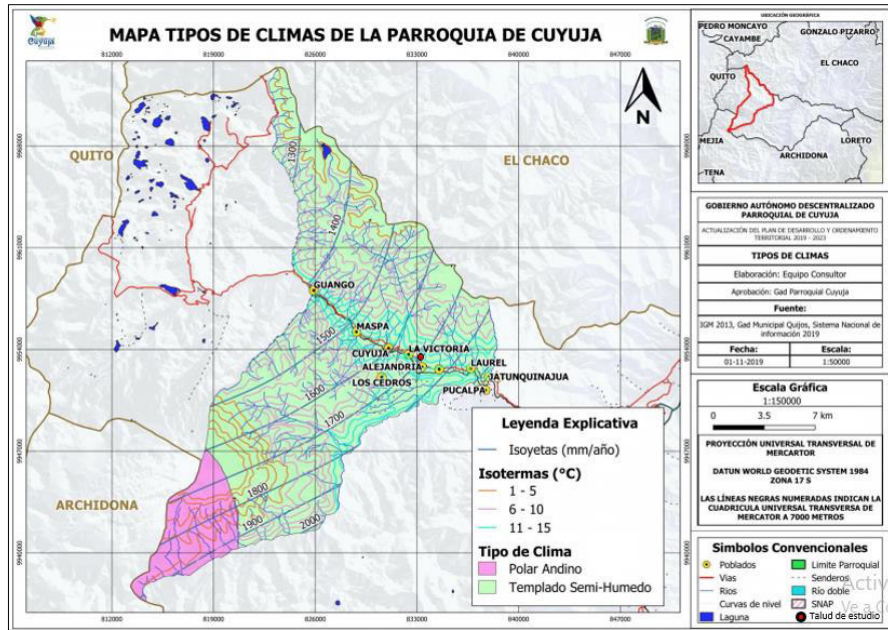


Figura 1.2: Mapa climático de la Parroquia Cuyuja.
Fuente: PDOT-Cuyuja. (2019-2020).

1.4.4.2. RELIEVE

Dominado principalmente por morfologías montañosas, abarcan un 66% de la superficie total de la zona. El 31% de la superficie se encuentra ocupado por el edificio volcánico del Antisana. Los Glacis ocupan una pequeña superficie de la extensión total (PDOT-Cuyuja, 2019-2020).

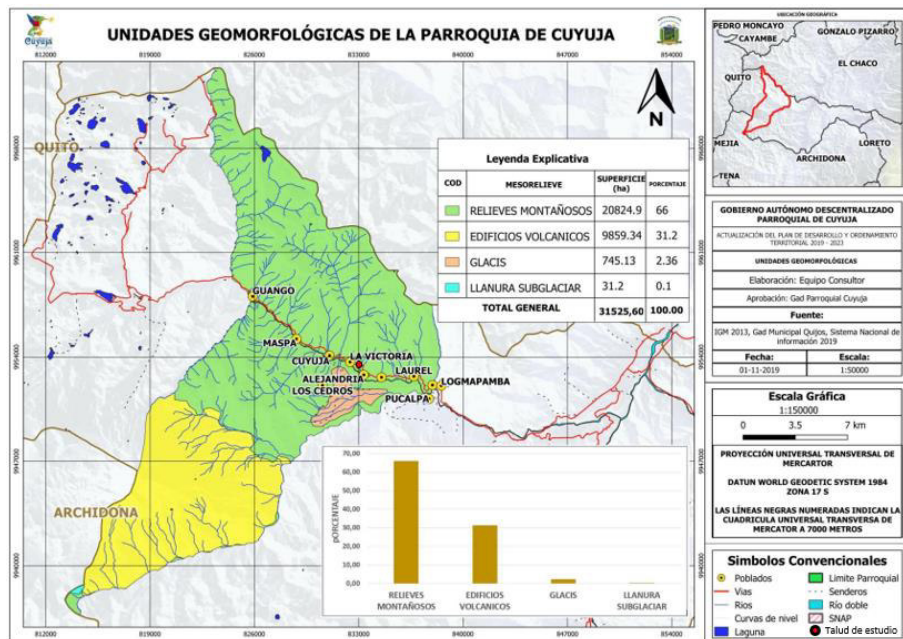


Figura 1.3: Mapa de Geomorfología de la Parroquia Cuyuja.
Fuente: PDOT-Cuyuja. (2019-2020).

1.4.4.3. PRECIPITACIONES

El régimen de precipitaciones es uniforme durante todo el año, con un incremento entre mayo-agosto que alcanza una máxima de 186.2 mm/mes y mínima de 84.2 mm/mes en enero (PDOT-Cuyuja, 2019-2020).

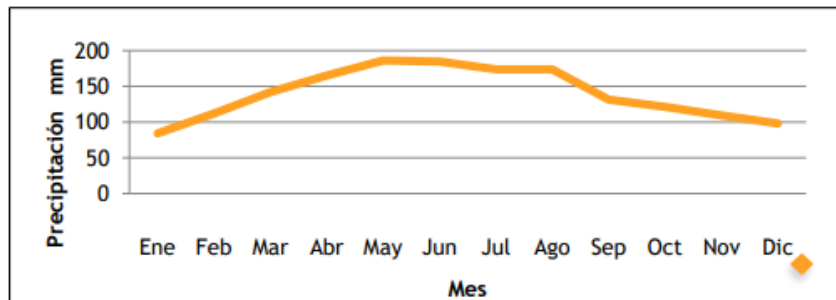


Figura 1.4: Registro de los valores pluviométricos mensuales en la parroquia Cuyuja.
Fuente: PDOT-Cuyuja. (2019-2020).

1.4.4.4. SISMICIDAD

El territorio ecuatoriano, se encuentra dividido en 6 zonas sísmicas, cada una de las zonas tiene un valor de factor Z determinado, este factor representa una aceleración máxima en una roca para un sismo de diseño. El factor Z se expresa como una fracción de la gravedad (NEC, 2014).

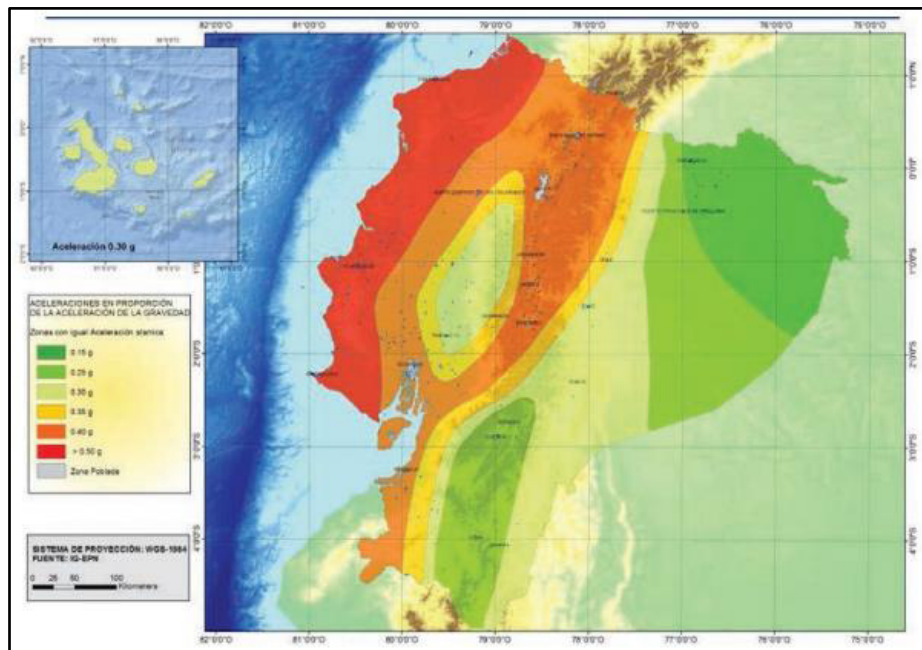


Figura 1.5: Mapa para diseño sísmico.
Fuente: NEC 2011.

El talud de estudio está ubicado en la zona sísmica V, presenta un valor de factor Z de 0.40g que se encuentra catalogado como peligro sísmico alto.

Tabla 1.1: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Fuente: NEC 2011.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor de Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Peligro Sísmico	Intermedio	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy alto

La estructura más cercana a la zona de estudio es la falla geológica Baeza-Chaco de tipo inversa (figura 1.6).

Al noreste del talud de estudio se encuentran la falla Salado (56), al este la falla Baeza-Chaco (57), al sur la falla Cosanga (58) y al oeste la falla Papallacta (33).

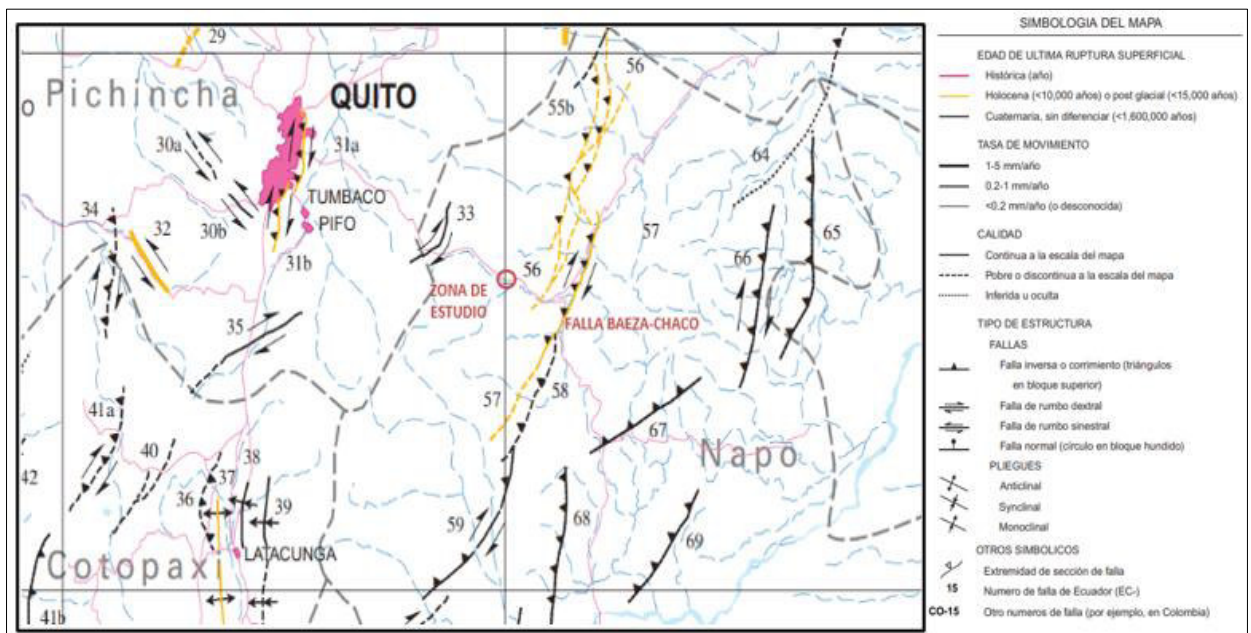


Figura 1.6: Ubicación de Fallas Cuaternarias.

Fuente: Extracto del Mapa de Fallas y Pliegues cuaternarias del Ecuador 2003.

1.5. MARCO GEOLÓGICO

1.5.1. AMBIENTE GEODINÁMICO ACTUAL

El Ecuador se encuentra ubicado en un ambiente geodinámico muy activo, debido a que la placa Nazca se subduce bajo la placa Sudamericana, a una velocidad de 58 mm/año (Trenkamp et al., 2002).

La Placa de Nazca junto con la Cordillera de Carnegie, corresponden a una larga cadena montañosa, representa el rastro que deja el hotspot de las Galápagos, subducen en el norte de Ecuador (1° N a 2° S), esto provoca que el bloque Nor-Andino sea una zona de intensa deformación crustal (figura 1.7) (Gutscher et al., 1999).

La dinámica del bloque Nor-Andino fue influenciado por la colisión de la placa Sudamericana con la Cordillera de Carnegie, además pudo haber generado la exhumación de la Cordillera de Los Andes en la parte septentrional del Ecuador en el mioceno (Spiking et al., 2001).

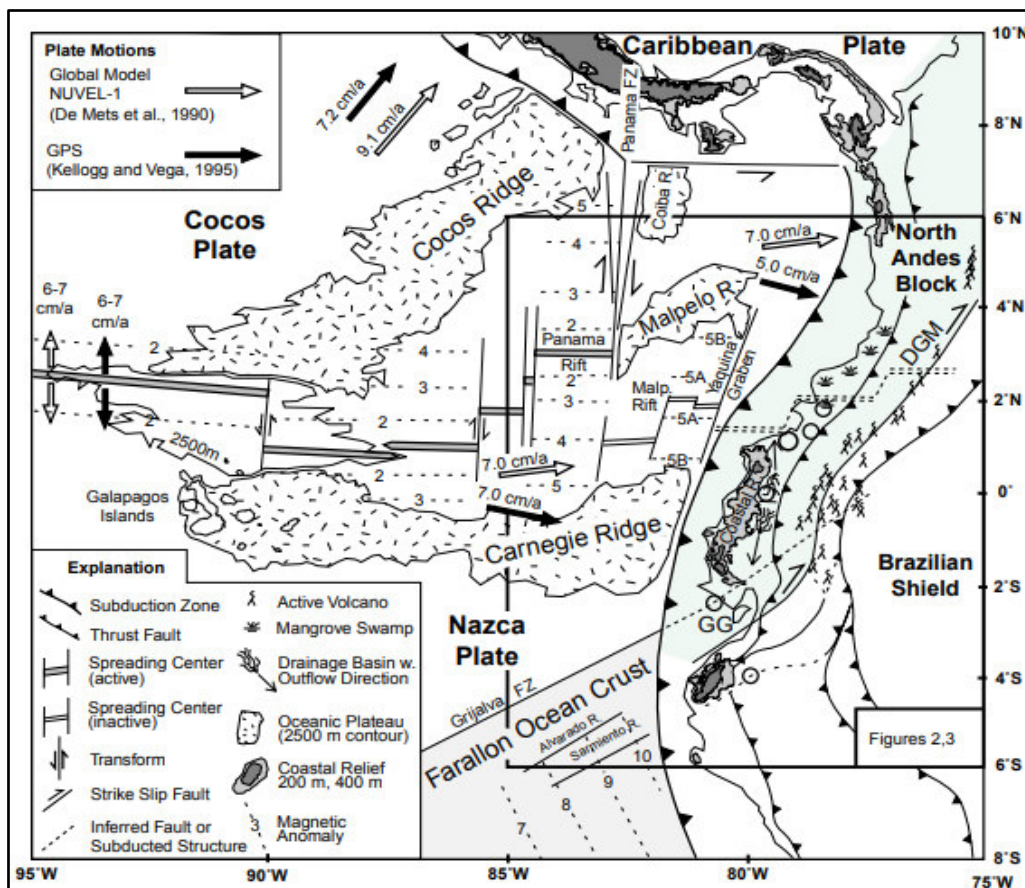


Figura 1.7: Geodinámica del Ecuador.

Fuente: Gutscher et al., (1999).

1.5.2. GEOLOGÍA REGIONAL

La convergencia de la placa Nazca con la placa Sudamericana, dio lugar al cinturón orogénico de los Andes con su volcanismo asociado, además ha controlado la formación de cinco provincias tectono-morfológicas subparalelas (*figura 1.8*); de Oeste a Este son: Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y Cuenca Oriente (Aspen & Litherland, 1992).

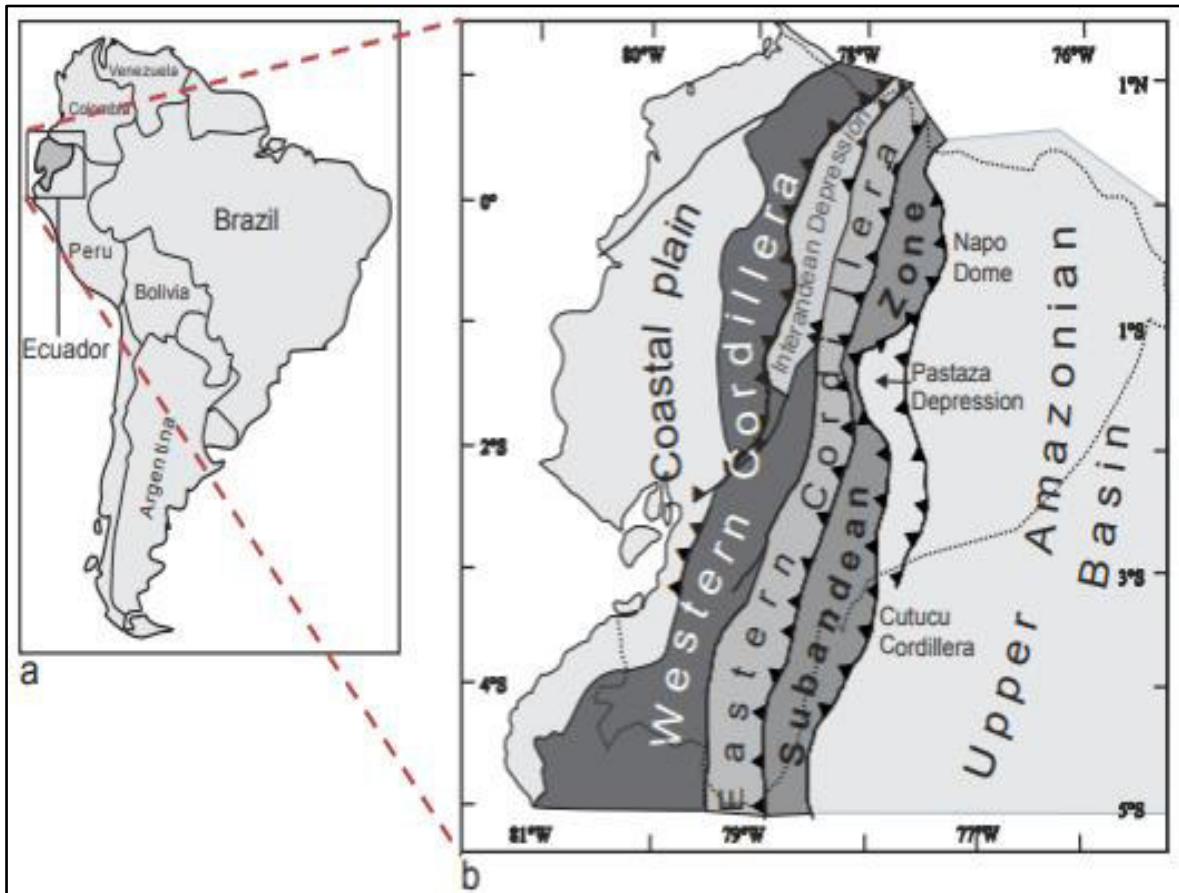


Figura 1.8: Regiones tectono-morfológicas del Ecuador.
Fuente: Modificado de Bès de Berc et al., (2005).

En la región occidental se encuentra la planicie costera, corresponde a la región de antearco, conformada por un basamento oceánico de edad Cretácica (Fm. Piñón) y grandes secuencias de depósitos sedimentarios correspondientes a las cuencas de Borbón, Manabí y separadas por la Cordillera Chongón Colonche de la cuenca de Progreso (Jaillard et al., 1995).

El sistema orogénico del Ecuador está conformado por una región de arco y esta a su vez formada por dos cadenas montañosas subparalelas en dirección NNE-SSW

respectivamente. En la parte oeste se encuentra la Cordillera Occidental en cuyas formaciones se encuentran rocas intrusivas a volcánicas de una composición variable de origen oceánico, mientras que al este la Cordillera Real se encuentra un cinturón de rocas metamórficas afectadas por una sucesión de eventos tectonomagmáticos, separados por una depresión morfotectónica compuesta por depósitos volcanosedimentarios denominado Valle Interandino (Winkler et al., 2005; Litherland et al., 1994).

La zona Oriente del Ecuador es una región de trasarco, que se encuentra sobre el escudo de Guayanés junto con una secuencia sedimentaria marino-continental y volcánica. Además, en la región de trasarco del Ecuador se encuentra ubicada la Zona Subandina, definida por una transición entre la cordillera y la planicie de la Cuenca Oriente, la cual se encuentra conformada: al Norte el levantamiento Napo y el levantamiento de Cutucú al Sur respectivamente (Ferrati & Tibaldi, 1992; Barragán et al., 2005).

1.5.3. GEOLOGÍA LOCAL

El talud a ser analizado se encuentra ubicado en la faja central-oriental de la Cordillera Real limitada por las fallas: Subandina (FSA) al oeste y la falla Cosanga (FC) al este.

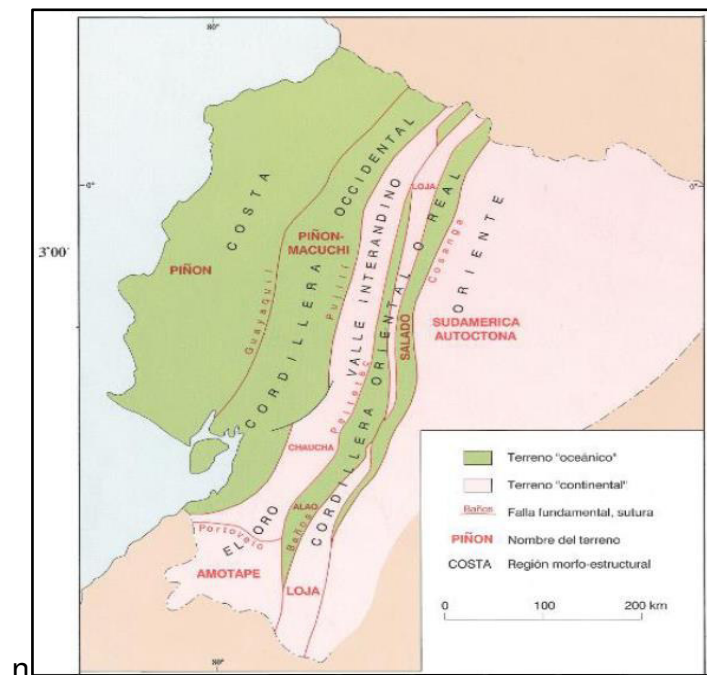


Figura 1.9: Terrenos tectono-estratigráficos del Ecuador.

Fuente: Extracto del mapa Geológico de la República del Ecuador 1983. Escala 1:1.000.000.

Este segmento de Cordillera Real es drenado por los ríos Quijos y Papallacta; en esta zona se encuentran estratovolcanes jóvenes y centros de emisión monogénicos.

Los volcánicos del Pleistoceno y Holoceno, se asientan sobre paquetes métricos lávicos Mio-pliocénicos, los cuales yacen de manera discordante sobre un basamento metamórfico a lo largo de la Cordillera Real constituida por cinco divisiones litotectónicas, solamente 3 afloran en las zonas cercanas al talud de estudio

- Terreno Loja
- Terreno Salado
- Terreno Alao

1.5.3.1. TERRENO LOJA

En la zona de Loja se encuentra la mayor extensión de este terreno litotectónico, unos 35 km de ancho aproximadamente, ocupa gran parte de la faja central del complejo metamórfico al sur de la cordillera. En la parte oeste se encuentra limitado por la falla Baños, en el este se encuentra delimitado por el contacto con el Terreno Salado (*figura 1.9*) y el cratón Amazónico. El Terreno Loja se subdivide en las siguientes Unidades:

Unidad Agoyán
Unidad Chiguinda
Unidad Tres Lagunas
Sabanilla
Monte Olivo

Unidad Agoyán

Los afloramientos de esta unidad se encuentran en la parte Oeste de la parroquia Cuyuja, se extiende a lo largo de una franja de unos 1500 metros de ancho, litológicamente esta unidad está constituida por esquistos y gneis semipelíticos de color gris verdoso, en el sector del Río Chalpi se encuentran gneis con pequeñas vetas de granitoide que es una evidencia de la magmatización incipiente (Litherland et al., 1994).

Unidad Chiguinda

Es una secuencia que proviene de una fuente continental, por sus características puede haber sido una cuenca intracratónica de edad Paleozoica está constituida por esquistos grafitosos, filitas negras, pizarras y cuarcitas. Los minerales metamórficos de las rocas

de esta unidad corresponden a un metamorfismo de bajo grado incluido la clorita - cericita - biotita – granate (Litherland et al., 1994).

Unidad Tres Launas

Es la principal unidad ígnea del terreno Loja, corresponde a un granito del triásico superior, asociado a las rocas metasedimentarias de las unidades Agoyán y Chiguinda, aflora en la parte occidental del área en donde se ubica el talud de estudio. Está conformado de granitos masivos, con tamaños de grano que van de fino a medio, con megacristales de feldespato alcalino grisáceo, cuarzo azul o gris, plagioclasas, biotita de un 1 centímetro de diámetro las más grandes (Litherland et al., 1994).

Unidad Sabanilla

Se ubica en la frontera con el Perú, forman una franja de 10 km de ancho, esta unidad está limitada al oeste por la unidad Chiguinda y al este la unidad Zamora. Litológicamente constituido por orto-paragneiss y esquistos con un grado medio a alto de metamorfismo (Litherland et al., 1994).

Unidad Monte Olivo

Esta unidad de edad paleozoica, caracterizada por esquistos anfibolíticos con cuarzo – hornblenda – calcita – epidota – biotita, esta unidad corresponde a una fase de diques máficos que cortan a los metasedimentos de las unidades Chiguinda y Agoyán (Litherland et al., 1994).

1.5.3.2. TERRENO SALADO

Denominado de así debido a que aflora a lo largo del Río Salado, se encuentra limitado al este por la falla Cosanga-Mendez, hacia la parte este se ubican los contactos tectónicos con el terreno metamórfico Loja (Litherland et al., 1994).

El terreno metamórfico Salado está comprendido por las siguientes unidades:

Unidad Cuyuja

Unidad Upano

Unidad Cerro Hermoso

Unidad Azafrán

Unidad Cuyuja

Ubicada al norte de la Cordillera Real, aflora en las zonas aledañas a la Parroquia Cuyuja (carretera Papallacta-Baeza), formando una franja de 10 km de ancho dentro del complejo de Napas Cuyuja. Las rocas correspondientes a esta unidad son esquistos pelíticos y grafiticos de grano medio a grueso (cuarzo – albita – muscovita ± clorita ± grafito ± cloritoide ± granate ± biotita ± sulfuros).

La edad de esta unidad corresponde al jurásico y un metamorfismo relacionado al evento Peltetec (Litherland et al., 1994).

Unidad Upano

La Unidad Upano es de edad Jurásica, son rocas de carácter andesítico y una coloración verdosa que presentan metamorfismo, esquistos verdes y metagrauvas que se encuentran intercaladas con esquistos grafiticos y pelíticos, este conjunto de rocas forma un cinturón que se extiende 15 km a lo largo de la faja oriental de la Cordillera Real.

Unidad Cerro Hermoso

De edad Jurásica temprana a media, constituida por metasedimentos, filitas calcáreas negras. Mármoles con alto contenido de granate que se encuentran intruídas por el plutón Azafrán.

Las unidades Cerro Hermoso y Cuyuja pueden representar una facies más distal hacia el oeste de la secuencia volcanosedimentaria Upano o la extensión superior de la misma (Litherland et al., 1994).

Unidad Azafrán

Tiene una edad de Jurásico a Cretácico, litológicamente caracterizado por granitoides metamorfizados que se extienden a lo largo de la parte septentrional de la Cordillera Real; la Unidad Azafrán se encuentra conformada por el Plutón Azafrán y el Plutón La Bonita, estos últimos posiblemente forman un batolito continuo en profundidad separados por el complejo de napas Cuyuja.

1.5.3.3. TERRENO ALAO

Es cinturón metamórfico, compuesto principalmente por rocas metavolcánicas y metasedimentarias del jurásico, comprenden a las unidades metamórficas Peltetec, Alao-Paute, El Pan y Maguazo, las fases plutónicas y subvolcánicas no han sido reportadas en este terreno a diferencia de terrenos adyacentes; por lo que el terreno Alao corresponde a una sucesión de rocas verdes con protolito volcánico, que se extiende a lo largo de 35 km. Limitado al occidente por la sutura denominada Peltetec, representa una zona de colisión entre terrenos pre-cretácicos, en la parte oriental se encuentra limitada por el contacto con el terreno Loja a través de la falla frente Baños (Litherland et., al 1990).

Unidad Peltetec

Conocida también como la subdivisión ofiolítica Peltetec, ocurre en forma de ventanas de 1 a 2 kilómetros de ancho, en la parte oeste se encuentra limitada por la falla Peltetec, al este por la unidad Maguazo. Las rocas encontradas en esta unidad corresponden a metagabros, metabasaltos, serpentinitas, piroxenitas, hornblenditas, rocas volcánicas y filitas negras.

Unidad Alao-Paute

Son esencialmente rocas verdes que ocurren a lo largo de una faja de hasta 25 km de ancho, se extiende desde el río Pastaza llegando al río Paute (Litherland et., al 1990).

La unidad Alao-Paute, litológicamente está constituida en la parte central por esquistos y rocas verdes de composición andesítica, mientras que al noreste existen rocas metasedimentarias como filitas granatíferas-cuarcíferas y algunas rocas con tremolita-clinozoicita (Aspen & Litherland, 1992).

Unidad el Pan

Es una unidad Volcanosedimentaria que contiene rocas metamórficas esquistosas verdes dominadas por cuarzo-calcita-clorita, filíticas de cuarzo-sericita y esquistos gráficas. Esta unidad presenta el grado de metamorfismo más alto de toda la división Alao (Litherland et., al 1990).

Unidad Maguazo

Se extiende de 5-10 km, es una unidad definida por turbiditas de grano fino y silíceas, contienen fragmentos volcánicos y rocas con una coloración predominantemente verdes de una composición andesítica; otras litologías presentes en esta zona incluyen metatobas verdes, pizarras negras, mármoles, ortocuarcitas rojizas y chert (Litherland et al., 1994).

2. CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL

2.1. SUELOS

El suelo, desde un punto de vista geológico, se lo conceptualiza como un agregado no consolidado de minerales y materia orgánica descompuesta, los cuales conforman la fase sólida de un determinado suelo. Los espacios que no han sido ocupados por minerales y materia orgánica son ocupados por la fase líquida y gaseosa del suelo (Das, 2013).

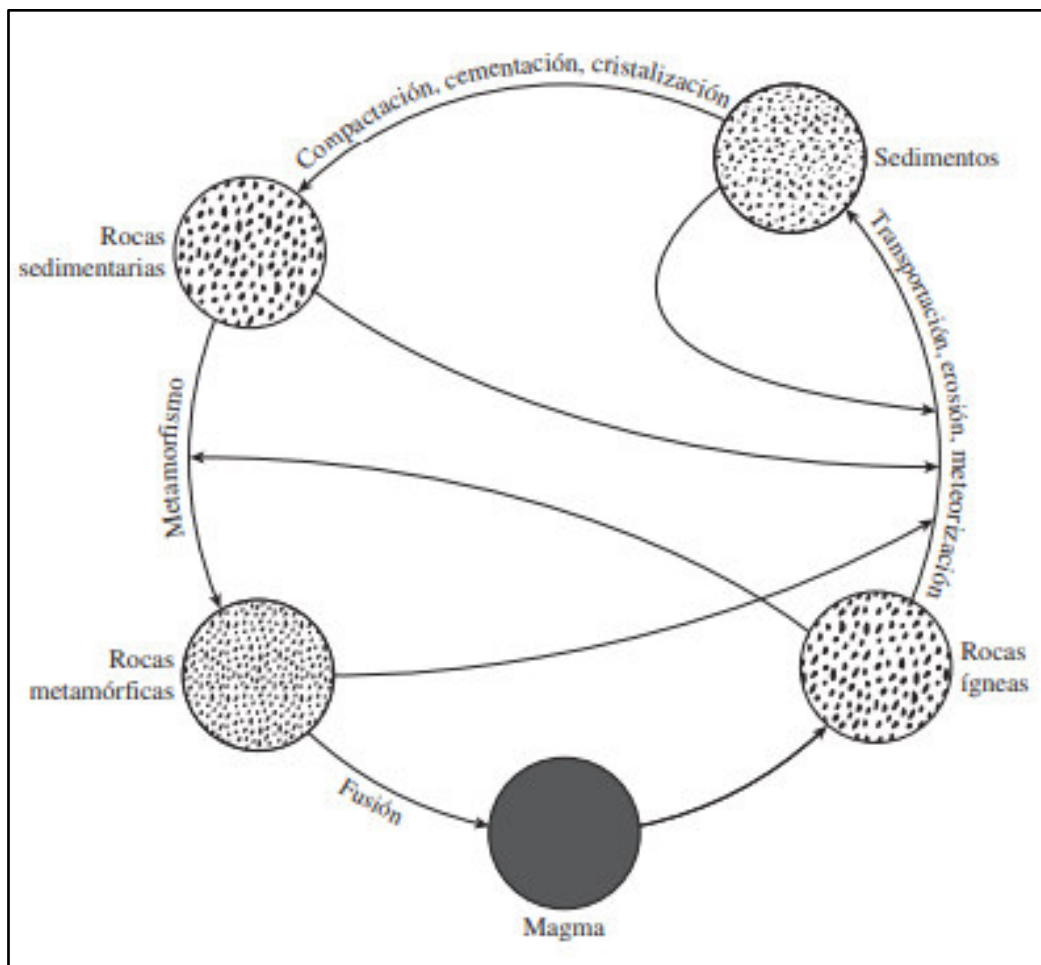


Figura 2.1: Ciclo de las rocas y origen del suelo.

Fuente: Das. (2013).

El suelo se forma a partir de un proceso denominado meteorización que puede ser física o química de cualquier roca, el cual es un proceso por el que se generan fragmentos de roca cada vez más pequeños, dando origen a los suelos inorgánicos; generalmente empieza cuando esfuerzos deforman y por consiguiente fraccionan a la roca, siendo la

meteorización el proceso que permite la disminución de presiones (*figura 2.1*). Los suelos orgánicos, al contrario, son generalmente resultado de los procesos biológicos en los que interviene actividad bacteriana.

2.1.1. DEPÓSITOS DE SUELO EN LA NATURALEZA

2.1.1.1. SUELOS RESIDUALES

Son suelos inorgánicos que se depositan en el mismo lugar en donde se formaron debido al proceso de meteorización de un material rocoso. En zonas donde existe una elevada temperatura y humedad la tasa de meteorización es mayor comparada con las zonas que son secas y más frías (Das, 2013).

2.1.1.2. SUELOS TRANSPORTADOS

Son suelos que se desarrollan sobre el material meteorizado, el mismo que fue transportado debido a diferentes procesos físicos (Monroe et al., 2008).

De acuerdo con el agente transportador, se tiene lo siguiente:

- *Lacustres*: depositados en lugares en donde se tiene una baja energía, lagos.
- *Fluviales*: depositados por agua que posee una velocidad determinada.
- *Coluviales*: depositados por acción de la gravedad.
- *Eólicos*: depositados debido a la acción del viento
- *Glaciales*: depositados por la acción glacial
- *Marinos*: formados por el depósito de mareas.

2.1.1.3. SUELOS ORGÁNICOS

Para que un suelo sea catalogado como orgánico necesita más de un 12% de Carbono en su estructura. Este tipo de suelos se forman en zonas donde la descomposición es lenta debido a temperaturas frías o humedad excesiva (Das 2013).

Un suelo orgánico generalmente presenta las siguientes características:

- El contenido de humedad natural se encuentra en un rango de 200 a 300%.
- Presentan un carácter altamente compresible.

- En ensayos de laboratorio se ha demostrado que bajo cargas se derivan grandes asentamientos a partir de la consolidación secundaria.

2.1.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA DE SUELO

El tamaño de partículas que forman parte del suelo varía ampliamente, independientemente del origen. Los tamaños de partículas usados en el ámbito de la ingeniería se describen a continuación:

2.1.2.1. GRAVAS

Corresponden a fragmentos de roca suelta que se acumulan, ocasionalmente contienen partículas de feldespato, cuarzo y otros minerales (Das, 2013).

2.1.2.2. ARENAS

Son partículas de grano fino, en las que predominan minerales como el cuarzo y el feldespato, además puede existir presencia de otros minerales (Das, 2013).

2.1.2.3. LIMOS

Son fracciones microscópicas de suelo con poca o ninguna plasticidad y de granulometría generalmente uniforme, consiste en fragmentos muy finos de cuarzo y minerales laminares tales como son las micas (Das, 2013).

El origen de este tipo de suelo es puramente mineral o parcialmente orgánico, en algunos países este material se lo conoce como polvo de roca.

2.1.2.4. ARCILLAS

Son partículas que al mezclarse con una cantidad determinada de agua cambian a un comportamiento plástico, generalmente su estructura se presenta en forma de láminas microscópicas y submicroscópicas, que son generadas por la descomposición química de ciertos constituyentes de las rocas, tienen tamaños menores a 0,002 milímetros (Das, 2013).

Dentro de los silicatos de aluminio se pueden englobar los minerales de arcilla, los mismos que pueden ser de sílice tetraédrica o sílice octaédrica.

2.1.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica de sólidos es usada para el cálculo de las relaciones entre fases de un suelo. La gravedad específica se la determina experimentalmente con un alto grado precisión, en gran parte los minerales poseen una gravedad específica que esta entre el rango de 2.6 a 2.9 (Das, 2013).

En la *tabla 2.3* se muestran algunos valores típicos de gravedad específica.

Tabla 2.3: Valores de gravedad específica.
Fuente: Das, (2013)

MINERAL	GRAVEDAD ESPECÍFICA, G_s
Cuarzo	2.65
Caolinita	2.6
Ilita	2.8
Montmorillonita	2.65 - 2.80
Haloisita	2.0 - 2.55
Feldespato de potasio	2.57
Feldespato de sodio y calcio	2.62 - 2.76
Clorita	2.6 - 2.9
Biotita	2.8 - 3.2
Muscovita	2.76 - 3.1
Hornblenda	3.0 - 3.47
Limonita	3.6 - 4.0
Olivino	3.27 - 3.37

2.2. CONSISTENCIA DEL SUELO

2.2.1. LÍMITES DE ATTERBERG

El comportamiento del suelo de grano fino en la naturaleza depende del contenido de agua presente en su estructura, se divide en 4 estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, la transición entre cada estado está definida por límites de consistencia o Límites de Atterberg (*figura 2.2*), permiten generar una clasificación para suelos finos (Das, 2013).

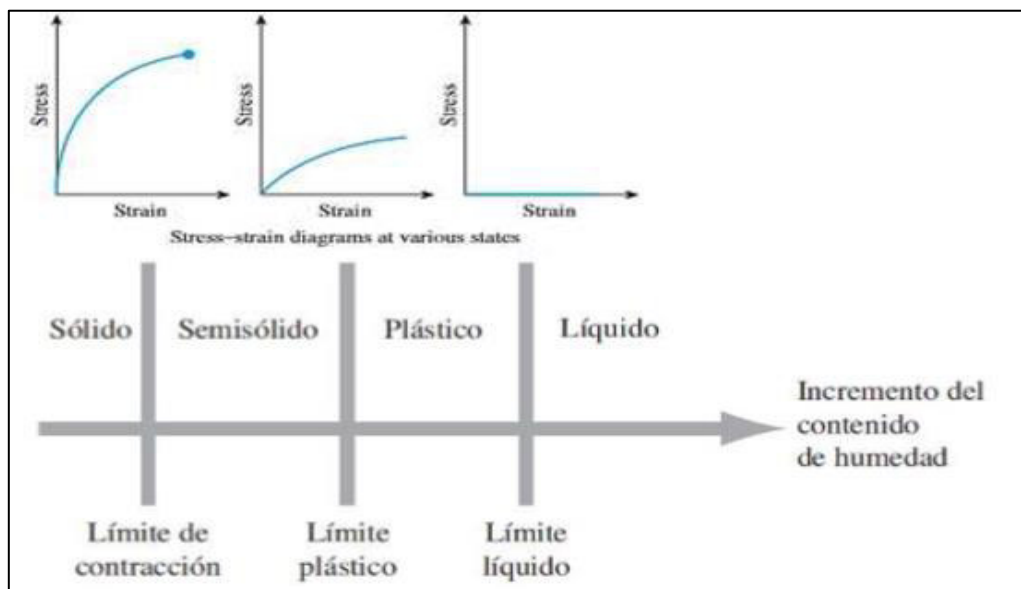


Figura 2.2: Límites de Atterberg.
Fuente: Modificado de (Das, 2013).

2.2.1.1. LÍMITE LÍQUIDO (L L)

Es la transición entre el estado plástico y el estado líquido. El LL es el contenido de agua expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra de suelo. En el límite líquido los suelos que tienen un carácter plástico, tienen una resistencia muy pequeña al esfuerzo cortante (Das, 2013).

2.2.1.2. LÍMITE PLÁSTICO (LP)

Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, en el que el suelo al moldearse en pequeños cilindros de 3 milímetros de diámetros se agrieta o rompe. Representa el límite inferior del carácter plástico del suelo (Das, 2013).

El LP es el límite inferior del estado plástico del suelo.

2.2.1.3. LÍMITE DE CONTRACCIÓN (SL)

Una muestra de suelo tiende a encogerse a medida que disminuye su humedad gradualmente hasta alcanzar un estado de equilibrio en el cual ya no es posible perder más humedad, por lo tanto, no se dará una variación en el volumen. El SL se lo define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, en el que el cambio de volumen de la masa llega a un equilibrio (Das, 2013).

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Das (2013), señala que existen dos clasificaciones de los suelos, desde el punto de vista técnico:

- La clasificación SUCS, empleado en el ámbito geológico, permite agrupar litologías para su uso en la ingeniería geotécnica.
- La clasificación AASHTO, es un sistema de clasificación de suelo aplicado en la construcción de obras civiles

En el presente estudio se hará uso de la clasificación SUCS descrita en este capítulo.

2.3.1. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELO (SUCS)

La clasificación SUCS (*tabla 2.1*), está basada en los límites de Atterberg y la granulometría del suelo para determinar su clasificación basándose en la textura de limos, arcillas arenas y gravas (Wentworth, 1922).

Tabla 2.1: Simbología para la clasificación de SUCS.
Fuente: Wentworth, (1922).

SÍMBOLO	SEDIMENTO	NOMBRE (Inglés)
G	Grava	Gravel
S	Arena	Sand
M	Limo	Silt
C	Arcilla	Clay
O	Suelo orgánico	Organic soils
P	Turba	Peat solis

El nombre de una muestra de suelo se da de acuerdo con el tamaño de partícula (*tabla 2.2*).

Tabla 2.2: Tamaño de grano (mm), S.U.C.S.
Fuente: Das, (2013).

PARTÍCULA	TAMAÑO DE GRANO (mm)
Grava	76.2 a 4.75
Arena	4.75 a 0.075
Finos (limos y arcillas)	< 0.075

2.4. COMPACTACIÓN DE SUELOS

El suelo sobre el que yace cualquier obra de ingeniería debe ser compactado previamente para aumentar las características de resistencia; e incrementar la capacidad de carga sobre estos. La compactación de suelos genera mayor estabilidad en los taludes (Das, 2013).

Las pruebas de compactación se las puede realizar en el campo, o en un laboratorio con ello se desarrollan ciertos parámetros específicos compactación del suelo de una determinada zona.

La compactación del suelo se define como la consolidación a través de la eliminación de aire, la dimensión de este proceso mecánico es medible en términos de peso unitario seco. En el proceso de compactación debe existir un agente que suavice el suelo, en

este caso es el agua, que a medida que es adicionada permite que las partículas internas deslicen y se muevan en una posición densamente empaquetada (Das, 2013).

2.4.1. PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO

El ensayo de proctor, permite determinar el peso por unidad de volumen de un suelo previamente compactado bajo parámetros determinados de contenido de humedad. Con los datos obtenidos de laboratorio se puede estimar la densidad seca máxima y la humedad óptima con la que se debe compactar un terreno (Crespo, 2005).

La compactación por proctor modificado en el laboratorio permite simular una compactación homogénea desde la base hasta la parte superior de una capa. El esfuerzo mecánico con el que se compacta aumenta gradualmente a consecuencia de esto el peso unitario seco máximo del suelo incrementa. Al tener un incremento del peso unitario seco máximo el contenido de humedad óptimo disminuye, el total de golpes en el ensayo de Proctor modificado aceptadas por ASTM es 25 golpes/capa (Das, 2013).

2.5. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

En el interior de los suelos se encuentran espacios vacíos (poros) interconectados entre sí, haciendo posible que el agua pueda fluir a través de ellos desde zonas que tienen alta energía hacia las zonas de baja energía.

En el estudio de la filtración, la conductividad hidráulica es un parámetro a tener en cuenta, se define como la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de una determinada sección transversal del suelo (Das, 2013).

Existen 2 pruebas en laboratorio para poder obtener la conductiva hidráulica del suelo: el ensayo con carga constante y el ensayo de caída de carga. En este estudio se hará uso del ensayo de permeabilidad con carga constante.

2.5.1. LEY DE DARCY

H Philibert G Darcy en 1856 publica una ecuación matemática, basada en el flujo de un fluido a través de arenas limpias, con la que describe la velocidad de descarga del agua a través de suelos saturados (Das, 2013).

La ley de Darcy se la describe como:

$$v = ki \quad (2.1)$$

donde:

v = velocidad de descarga, cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de una sección transversal.

k = coeficiente de permeabilidad.

i = gradiente hidráulico

La descarga se expresa en m³/s y la conductividad hidráulica en cm/s o m/s.

Tabla 2.3: Valores típicos de conductividad hidráulica
Fuente: (Das, 2013).

TIPO DE SUELO	$k(\text{cm/s})$
Grava limpia	100-1
Arena gruesa	1.0-0.01
Arena fina	0.01-0.001
Arcilla limosa	0.001-0.00001
Arcilla	<0.000001

2.5.2. ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON CARGA CONSTANTE

El ensayo de permeabilidad con carga constante es utilizado para determinar la conductividad hidráulica de un suelo cualquiera. En suelos que tienen un tamaño de grano grueso la conductividad suele ser elevada, mientras en suelos con tamaño de grano fino, las velocidades de flujo son relativamente bajas pero cuantificables (Das, 2013).

2.6. RESISTENCIA CORTANTE DEL SUELO

Matemáticamente se define como la resistencia por unidad de área que un segmento de suelo presenta a la falla a lo largo de un plano interior (Das, 2013).

La resistencia al cortante del suelo está definida por:

- Cohesión existente entre las partículas que forman un suelo.
- Resistencia a la fricción entre partículas sólidas que conforman el suelo.
- La presión de agua intersticial y el contenido de humedad de un suelo.

2.6.1. CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB

En 1900 Mohr propuso su teoría acerca de la ruptura de materiales, donde se menciona que cualquier material puede fallar debido a una conjugación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante (Das, 2013).

La relación entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, se lo define de la siguiente manera:

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (2.2)$$

donde:

τ_f = esfuerzo cortante en la superficie de falla

σ = esfuerzo normal en el plano de falla

El criterio de falla de Mohr-Coulomb está definido por la siguiente expresión:

$$\tau_f = c + \sigma \tan\phi \quad (2.3)$$

donde:

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción interna

En los suelos saturados por agua, el esfuerzo normal está definido como la suma del esfuerzo efectivo y la presión de agua intersticial.

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.4)$$

Se debe tener en cuenta que el esfuerzo efectivo (σ') lo realizan los sólidos que componen el suelo; debido a esto para poder aplicar la ecuación (2.4) en mecánica de suelos:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u)\tan\phi' = c' + \sigma'\tan\phi' \quad (2.5)$$

donde:

c' = esfuerzo de cohesión efectivo.

ϕ' = ángulo de fricción efectivo.

u = presión de poro

Tomando en cuenta la envolvente de falla, existen tres estados tensionales de un elemento de suelo, dos de cuales son reales y un tercero improbable (Das, 2013):

- En el punto A, la falla se produce a lo largo del plano (*figura 2.3*).

- El punto B recae sobre la envolvente de falla; la falla de corte se produce a lo largo del plano (figura 2.3).
- El punto C no es probable ya que los esfuerzos se encuentran sobre la envolvente de falla (figura 2.3).

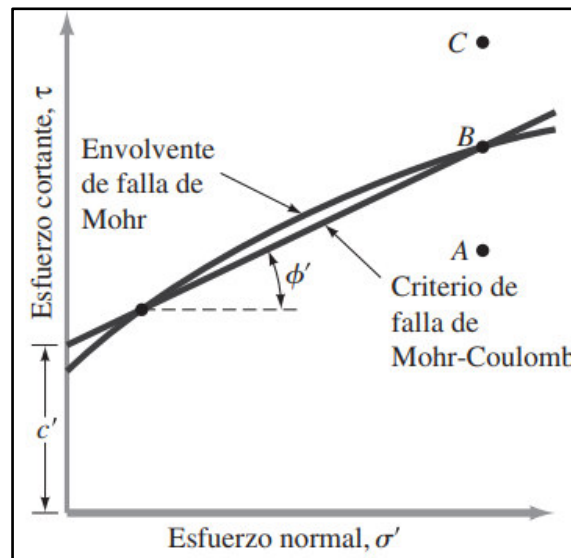


Figura 2.3: Envolvente de falla y criterio de Mohr-Coulomb.
Fuente: (Das, 2013).

2.6.2. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Este tipo de ensayo es la forma más antigua y simple de prueba de corte. Los especímenes que se ensayan pueden tener una forma cilíndrica o poligonal, las dimensiones de las muestras es variable, por lo general el área de sección transversal tiene un máximo de 25 cm² y una máxima 30 mm de altura. El esfuerzo normal aplicado sobre una muestra en este ensayo puede ser de hasta 1000 kN/m³ (Das, 2013).

Se diferencian 2 tipos de ensayo dependiendo del equipo que use, el de esfuerzo controlado y el de deformación controlado.

En el ensayo de esfuerzo controlado, se aplica la fuerza de corte de manera que los incrementos sea equivalentes hasta que ocurra el fallo de la muestra a lo largo del plano de división de la caja de corte. La variación de volumen del espécimen se la puede medir de las lecturas del movimiento vertical de la placa superior de carga (Das, 2013).

En el ensayo de deformación controlada, un motor induce con una velocidad constante un desplazamiento de cizalla a una de las mitades de la roca, la velocidad constante se mide a través de un indicador ubicado en el cuadrante horizontal. El desplazamiento de cizalladura medido por una celda de carga corresponde a la fuerza de resistencia cortante del suelo (Das, 2013).

2.6.3. ENSAYO TRIAXIAL DE CORTE

Los datos obtenidos a través de la aplicación de este ensayo son valores con alta confiabilidad al momento de determinar los parámetros de resistencia cortante; la confiabilidad de este tipo de ensayo radica en lo siguiente (Das, 2013):

- La información que proporciona acerca del comportamiento de esfuerzo-deformación del suelo es mucho más completa que la proporcionada por el ensayo de CD.
- Cuando se realiza la concentración de esfuerzos a lo largo del plano de falla, el ensayo triaxial brinda condiciones de esfuerzos más uniformes que las proporcionadas por el ensayo de CD.

En el ensayo triaxial, se distinguen 3 tipos:

- Ensayo triaxial consolidado-drenado.
- Ensayo triaxial consolidado-no drenado.
- Ensayo triaxial no consolidado-no drenado.

En el presente estudio se hará uso del ensayo triaxial de corte (CU).

2.6.3.1. ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

El ensayo triaxial CU es el más utilizado debido a la precisión de los resultados que describen las características mecánicas de los suelos. El ensayo triaxial CU, tiene como finalidad determinar los parámetros efectivos de c' y ϕ' .

Para realizar el ensayo triaxial, el espécimen de suelo saturado se consolida con una presión envolvente (σ_3) del fluido (agua) que está dentro de la cámara. Seguido de esto

la presión de poro generada por la presión de confinamiento aumenta y se estabiliza, el esfuerzo desviador ($\Delta\sigma_d$) incrementa; provocando una falla de corte en la muestra. El drenaje del sistema permanece cerrado durante la fase de ensayo. Al no permitirse el drenaje la presión de poro (Δu_d) incrementa, se toman mediciones de $\Delta\sigma_d$ y Δu_d durante el ensayo (Das, 2013).

Los parámetros de resistencia cortante, se los puede determinar al realizar varias pruebas con muestras similares a diferentes presiones de confinamiento. La envolvente de falla del esfuerzo total se la determina al trazar una línea tangente a los círculos y esta debe pasar por el origen de coordenadas (figura 2.4).

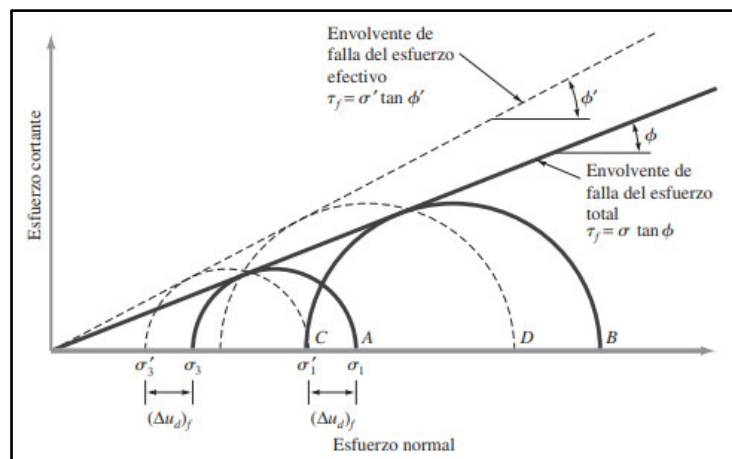


Figura 2.4.: Envolvente de falla en pruebas triaxiales (CU).
Fuente: (Das, 2013).

2.7. ESTABILIDAD DE TALUDES

2.7.1. TALUD

El término talud hace referencia a una masa de tierra que tiene una pendiente determinada o presenta cambios significativos en su altura y su origen es atribuido a procesos naturales (figura 2.5).

Los taludes y laderas son sistemas complejos que se encuentran en constante evolución, es así que pueden fallar de manera imprevista debido a cambios en la topografía del terreno, sísmicos, flujos de agua subterránea, meteorización, cambios en la resistencia del suelo causado por acciones naturales o antrópicas, etc (Suárez, 2009).

Es necesario conocer la dinámica de los taludes o laderas para poder realizar análisis y diseños de obras de estabilización.

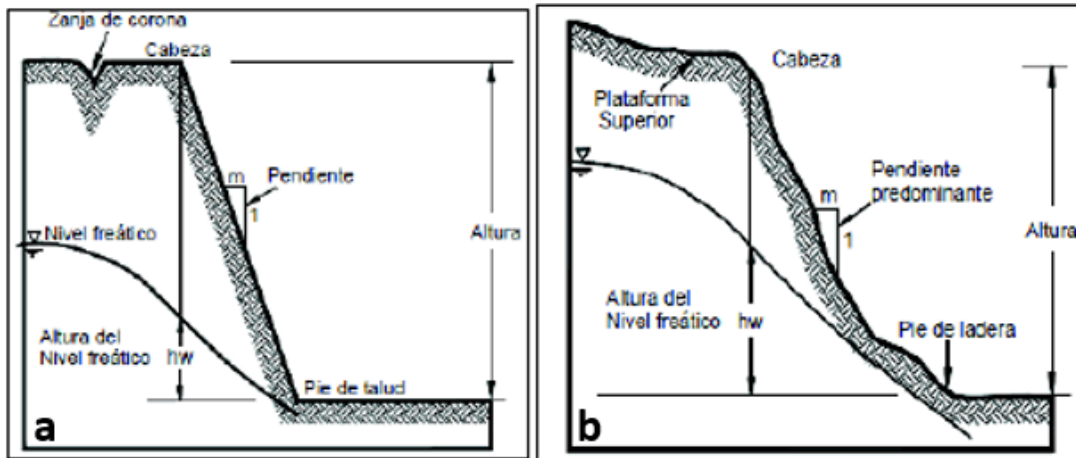


Figura 2.5: Diferencias entre un talud (a) y una ladera (b), con los elementos que componen cada masa de tierra.

Fuente: Suárez. (2009).

2.7.2. FACTOR DE SEGURIDAD

El FS se define como (Das, 2013):

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.6)$$

donde:

FS = factor de seguridad respecto a la resistencia.

τ_f = resistencia media del suelo al corte

τ_d = esfuerzo cortante promedio a lo largo de la potencial superficie de falla

La resistencia al corte de un suelo es función de (Das, 2013):

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.7)$$

donde:

c' = cohesión

ϕ' = ángulo de fricción drenado

σ' = esfuerzo normal efectivo a lo largo de la potencial superficie de falla

El esfuerzo cortante promedio se puede escribir de la siguiente manera (Das, 2013):

$$\tau_d = c_d' + \sigma' \tan \phi_d' \quad (2.8)$$

donde:

c_d' = cohesión eficaz

ϕ_d' = ángulo de fricción desarrollado a lo largo de la superficie de falla.

Reescribiendo la ecuación (2.6), en función de las ecuaciones (2.7) y (2.8) se tiene:

$$FS_s = \frac{c' + \sigma' \tan \phi'}{c_d' + \sigma' \tan \phi_d'} \quad (2.9)$$

El factor de seguridad puede ser definido en función de:

$$FS = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

2.7.3. SUPERFICIE DE FALLA

Es un plano circular o poligonal asumido, el cual se extiende a lo largo del plano en el que se puede producir la rotura de un talud, se asume que el FS es el mismo a lo largo de todo el plano de rotura. La pendiente de un talud puede ser de origen natural o creada por la mano del hombre (*figura 2.6*), cuando la pendiente de un talud es muy grande, puede ocurrir que toda la masa de suelo que se encuentra en la superficie de falla, se desprenda y se deslice hacia abajo (Das, 2013).

Para un análisis estabilidad de taludes, se identifican un número finito de planos de falla, entre los cuales se encuentra un plano con un FS mínimo, este plano se denomina como superficie crítica de falla.

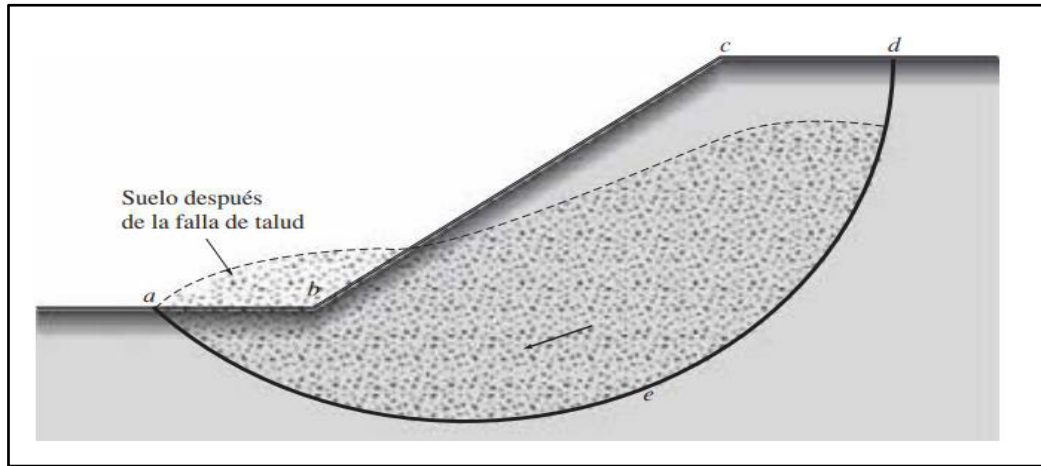


Figura 2.6: Superficie de falla de un talud, la masa de tierra ABCD puede deslizarse hacia abajo.
Fuente: Das. (2013).

2.7.4. TIPOS DE ROTURA

La rotura de un talud está relacionada con los factores geológicos (planos y zonas de debilidad) y factores geométricos (inclinación y altura). Los taludes se suelen romper siguiendo las superficies de falla del talud (Gonzales de Vallejo et al., 2002). En roturas de taludes en suelo, se diferencian 4 tipos:

- Rotura planar y rotura poligonal (*figura 2.7a - 2.7d*), son producto de estratos con diferentes litologías o con una diferente competencia.
- Rotura circular de pie y rotura circular profunda (*figura 2.7b – 2.7c*), ocurren cuando los estratos presentes en un determinado talud están formados por un material homogéneo, el alcance de la superficie de rotura suele darse al nivel del pie del talud o por debajo del mismo.

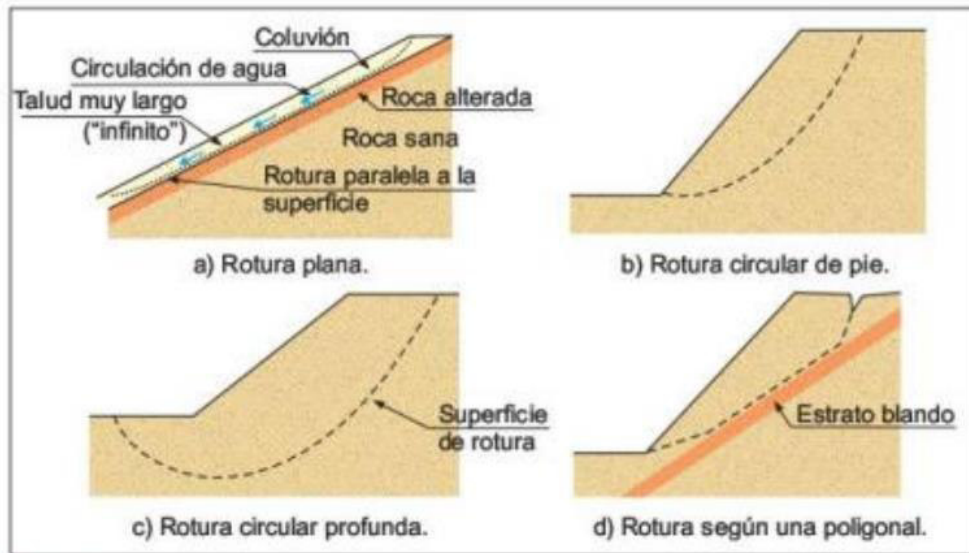


Figura 2.7: Modelos de superficies de roturas en suelos.

Fuente: Gonzales de Vallejo et al., (2002).

2.7.5. MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO.

En el año 1995, Bishop propuso un modelo de análisis que complementaba al método de dovelas ordinario (figura 2.8). En el método de Bishop la masa deslizante se divide en un número indefinido de dovelas en las que se toman en cuenta las cargas externas y las fuerzas normales, se desprecian la tensión tangencial que existe entre las dovelas (Das, 2013).

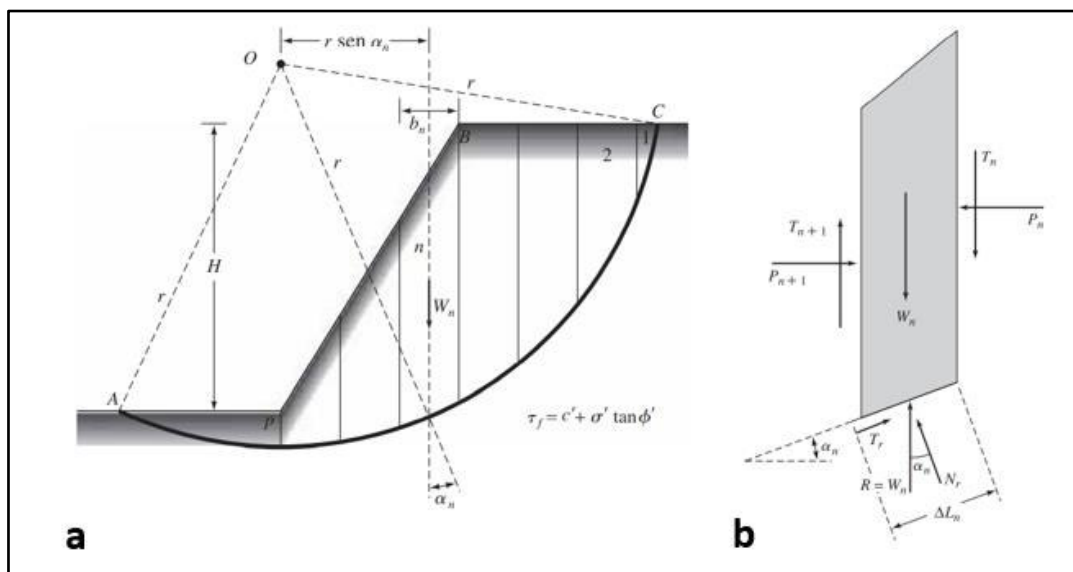


Figura 2.8: a) Método de dovelas de Bishop. b) Esquema de fuerzas actuantes en la n -ésima dovela.

Fuente: Das. (2013).

Matemáticamente se puede realizar el cálculo de la estabilidad con el método de Bishop, calculamos el FS con la siguiente expresión:

$$FS_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi'] \frac{1}{m(\alpha)_n}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \operatorname{sen} \alpha_n} \quad (2.10)$$

donde:

b_n = ancho de la dovela.

W = peso de cada dovela

c', ϕ' = parámetros de resistencia al suelo

u_n = presión de poro en la base de la dovela

α_n = ángulo entre el radio y la vertical en cada dovela

El método de Bishop simplificado es el más utilizado, brinda una alta confiabilidad en los resultados. Los softwares geotécnicos incorporan principalmente este método para el análisis de estabilidad de taludes.

3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

En el análisis de estabilidad de un talud finito, se debe realizar un estudio previo basado en la geología, topografía y características geotécnicas de los materiales que comprenden el área de estudio lo que permite un diagnóstico preciso sobre el problema existente.

La modelación matemática de un talud se realiza para analizar las condiciones de estabilidad, seguridad y funcionalidad de un determinado talud .

3.1. MÉTODO DE ESTUDIO

El presente estudio técnico hace uso de la metodología descrita a continuación:

- Reconocimiento del lugar de estudio.
- Recopilación y estudio de la información existente.
- Estudio de las características topográficas y geotécnicas de la zona de estudio.
- Investigación de campo para la toma de muestras.
- Investigación de laboratorio.
- Modelación de los resultados obtenidos en laboratorio, mediante el software GEO 5 (versión gratuita).

3.2. TRABAJO DE CAMPO

3.2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico implica replicar a escala un determinado perímetro de terreno, para evidenciar los diferentes niveles de cota, sistema de drenajes, etc. Un correcto trabajo durante la etapa del levantamiento topográfico asegura que los datos obtenidos tengan mayor confiabilidad. Los errores cometidos durante esta etapa inicial de cualquier proyecto geotécnico serán arrastrados durante todo el procedimiento, provocando resultados erróneos.

El talud analizado tiene una altura máxima de 104.5 metros en la parte noroeste, y una altura mínima de 42.08 metros en la parte sureste (figura 3.1). El talud de estudio se subdividió en 17 perfiles, separados por una distancia 9 metros entre sí, con ello se puede tener un estudio más detallado de la geomecánica del talud (tabla 3.1).

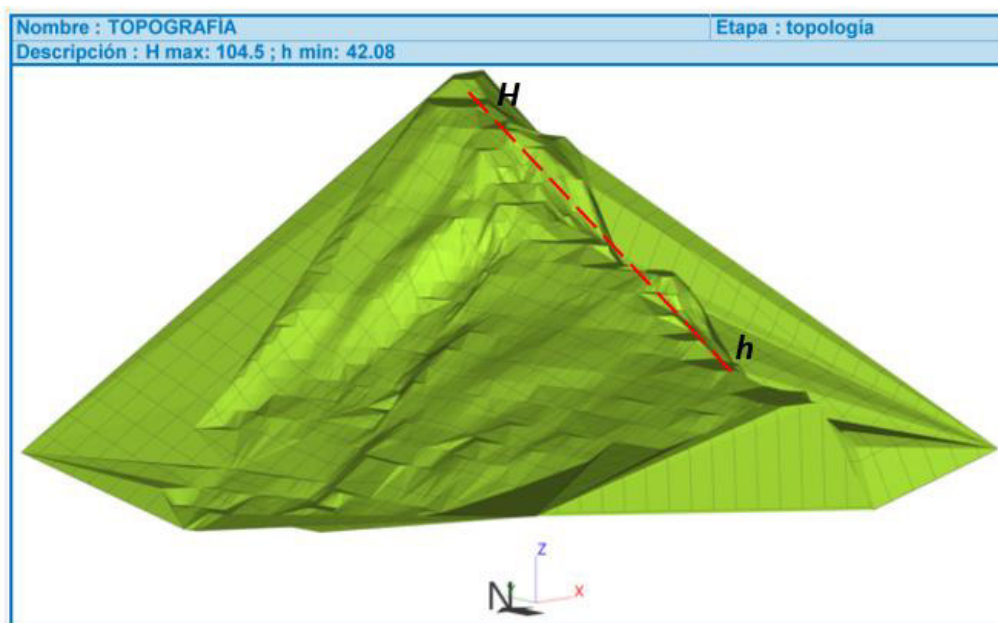


Figura 3.1: Topografía del talud de estudio (H representa la altura máxima; h representa la altura mínima).

Fuente: Autor.

Tabla 3.1: Coordenadas de los perfiles del talud de estudio

Fuente: Autor

Nº de Perfil	COORDENADAS DE INICIO DE PERFIL		COORDENADAS DE FINAL DE PERFIL	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
1	831502.709	9954968.352	831322.736	9954956.157
2	831506.034	9954962.039	831325.202	9954942.126
3	831500.410	9954955.403	831327.764	9954928.363
4	831494.640	9954916.375	831330.877	9954915.776
5	831493.242	9954906.449	831333.286	9954905.798
6	831494.763	9954896.211	831337.056	9954895.878
7	831494.598	9954886.583	831341.283	9954885.915
8	831493.721	9954876.576	831345.736	9954875.652
9	831491.659	9954866.466	831351.763	9954865.853

10	831490.470	9954856.291	831356.809	9954856.129
11	831486.062	9954846.588	831361.599	9954846.162
12	831485.816	9954836.401	831370.497	9954835.996
13	831483.849	9954826.576	831379.194	9954825.928
14	831480.427	9954816.335	831388.180	9954816.002
15	831479.970	9954806.508	831396.955	9954806.135
16	831479.108	9954796.253	831404.201	9954796.174
17	831478.413	9954786.231	831410.793	9954785.865

3.2.2. SONDEOS SPT

En el talud de estudio se identificó y caracterizó los diferentes tipos de material para su posterior muestreo.



Figura 3.2: Ubicación de los sondeos SPT.
Fuente: Autor.

Los sondeos SPT permiten explorar la litología del talud, debido a que no existen afloramientos expuestos para su estudio, de esta manera se puede caracterizar los perfiles que se muestran en la sección 4.3.

Tabla 3.2: Coordenadas de los sondeos SPT.

Fuente: Autor.

Código Sondeo	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
SPT1	831482.713	9954981.493
SPT2	831472.023	9954945.593
SPT3	831470.360	9954930.530
SPT4	831499.423	9954930.343
SPT5	831489.954	9954880.150
SPT6	831437.660	9954880.150

3.2.2.1. LITOLOGÍA SPT 1

El sondeo SPT 1 tiene una profundidad máxima de 55 metros. Desde el nivel del suelo hasta los 22 metros de profundidad encontramos arena limosa con grava. Desde los 22 metros de profundidad hasta los 55 metros de profundidad existe la presencia de esquistos micáceos.

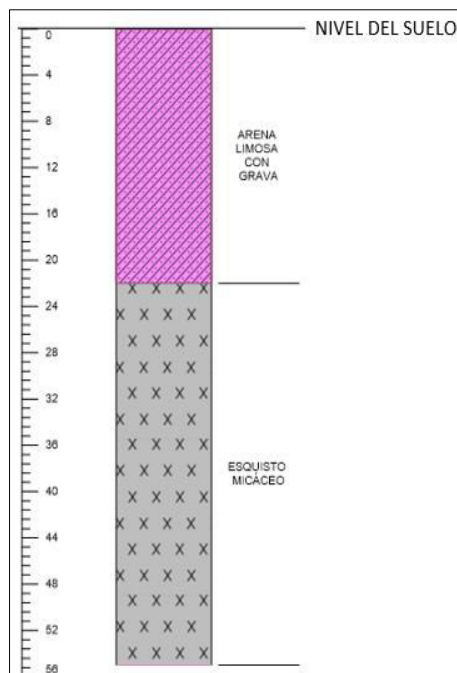


Figura 3.3: Esquema litológico sondeo SPT 1.

Fuente: Autor.

3.2.2.2. LITOLOGÍA SPT 2

El sondeo SPT 2 tiene una profundidad máxima de 25 metros. Desde el nivel del suelo hasta los 11 metros de profundidad encontramos arena limosa con grava. Desde los 11 metros de profundidad hasta los 25 metros de profundidad existe la presencia de esquisto micáceo.

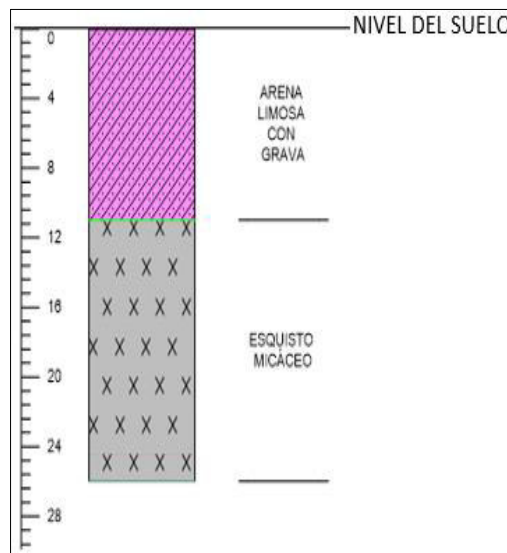


Figura 3.4: Esquema litológico sondeo SPT 2.
Fuente: Autor.

3.2.2.3. LITOLOGÍA SPT 3

El sondeo SPT 3 tiene una profundidad máxima de 12 metros. Desde el nivel del suelo hasta su máxima profundidad se encuentra ocupado por esquisto micáceo.

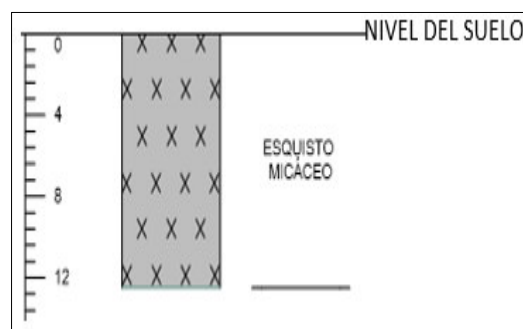


Figura 3.5: Esquema litológico sondeo SPT 3.
Fuente: Autor.

3.2.2.4. LITOLOGÍA SPT 4

El sondeo SPT 4 tiene una profundidad máxima de 24 metros. Desde el nivel del suelo hasta su máxima profundidad se encuentra ocupado por esquistos micáceos.

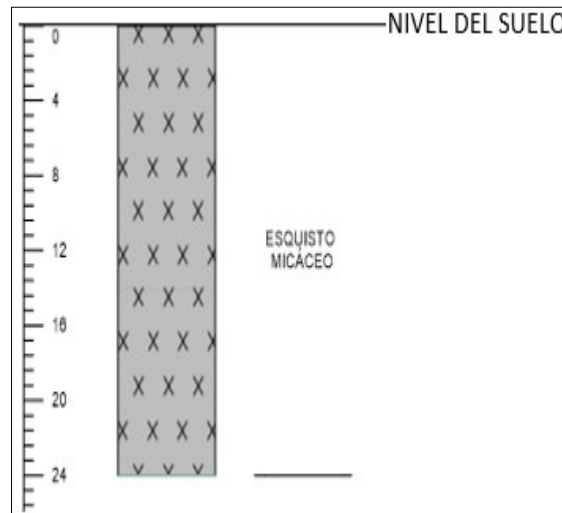


Figura 3.6: Esquema litológico sondeo SPT 4.

Fuente: Autor.

3.2.2.5. LITOLOGÍA SPT 5

El sondeo SPT 5 tiene una profundidad máxima de 20 metros. Desde el nivel del suelo hasta su máxima profundidad se encuentra ocupado por esquistos micáceos.



Figura 3.7: Esquema litológico sondeo SPT 5.

Fuente: Autor.

3.2.2.6. LITOLOGÍA SPT 6

El sondeo SPT 6 tiene una profundidad máxima de 17 metros. Desde el nivel del suelo hasta los 8 metros de profundidad encontramos arcilla limo arenosa inorgánica. Desde los 8 metros de profundidad hasta los 17 metros de profundidad existe la presencia de esquisto micáceo.

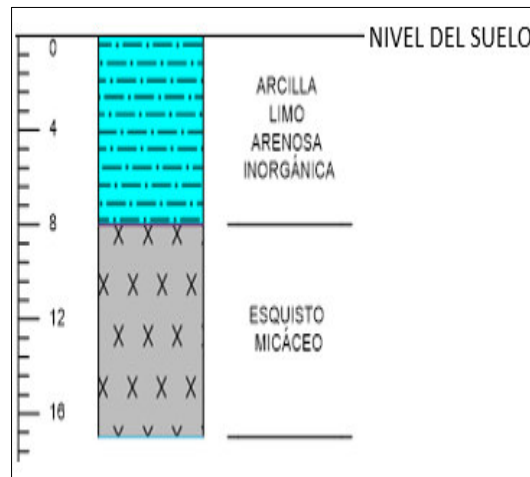


Figura 3.8: Esquema litológico sondeo SPT 6.

Fuente: Autor.

3.2.3. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se la efectuó en base a los requerimientos de los ensayos que se van a realizar. Se toma el material de los sondeos SPT, mientras que para el muestreo de material inalterado, es necesario la excavación de calicatas; posteriormente las muestras extraídas se las recubre con plástico film y se depositan en cajones de madera con aserrín para poder conservar la humedad natural, durante su transporte y almacenamiento, para después ser analizadas en el laboratorio (*figura 3.9*).

Tabla 3.3: Coordenadas de Calicatas.

Fuente: Autor.

Código de Sondeo	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
MC1	831474.535	9954972.729
MC2	831480.495	9954962.025
MC3	831481.471	9954949.304
MC4	831448.533	9954788.994

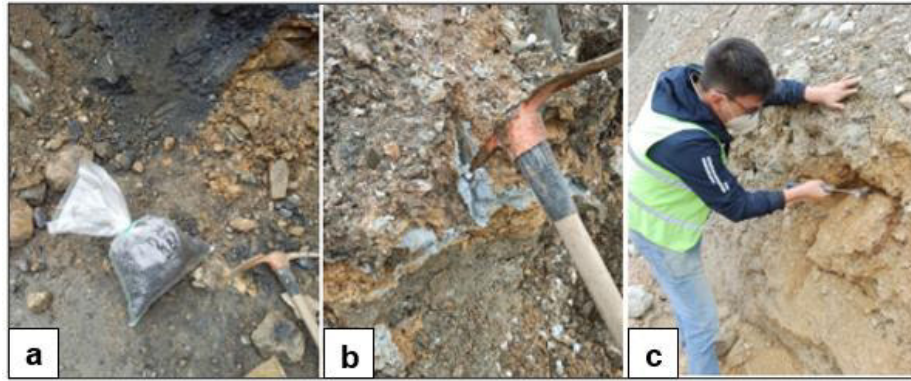


Figura 3.9: Muestreo para el análisis en laboratorio. a) Toma de muestras alteradas del talud. b) y c) Excavación de una calicata para la extracción de muestra inalterada en el talud.

Fuente: Autor.

3.3. INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

3.3.1. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S).

Para realizar este ensayo se toma como referencia la clasificación SUCS, la cual está basada en parámetros de granulometría y los límites de Atterberg. Este ensayo se lo realizó en base a la norma ASTM D2487 (2017).

3.3.1.1. GRANULOMETRÍA.

El ensayo de granulometría sirve para determinar la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de partículas que constituyen el suelo.

Para realizar el ensayo de granulometría por tamizado, la metodología a seguir es la descrita a continuación:

Lavado previo

- 1) El suelo contenido en la funda debe ser mezclado rápida y enérgicamente, para integrar todo el material, se debe tomar 2 porciones de muestra para determinar el contenido de humedad y anotar los datos en la hoja de control.
- 2) En una cápsula se toma una fracción representativa de muestra de suelo húmedo, que equivalga al menos a 100 gramos (*figura 3.10a*)

- 3) Sobre el tamiz N° 200 se coloca el tamiz N°40 para que proteja la malla fina del tamiz N°200.
- 4) Verter la porción de muestra sobre el juego de tamices y colocarlos bajo un chorro constante de agua, procurando agitar y disgregar con las yemas de los dedos la muestra que está lavándose (*figura 3.10b*).
- 5) Se repite el paso 4 las veces que sea necesario, hasta conseguir que el agua que atraviesa los tamices sea cristalina (*figura 3.10c*).
- 6) Todo el material retenido en los tamices N°40 y N°200 se recogen en una cápsula para llevarlo a secar en el horno.

Tamizado

- 1) Después de al menos 24 horas, se retira la cápsula del horno que contiene el suelo seco.
- 2) La muestra de suelo previamente secado se lo hace pasar por una serie de tamices, de arriba hacia abajo el número de tamices son: N°4, N°10, N°20, N°40 y N°200. Colocar el suelo seco sobre el primer tamiz y taparlo herméticamente, agitar la serie de tamices con movimientos bruscos de rotación horizontales y verticales por un período mínimo de al menos 10 minutos (*figura 3.10d*).
- 3) Se retira la tapa del tamiz superior y se recolectar en las cápsulas el material retenido por cada tamiz (*figura 3.10e*)
- 4) Se pesa las cápsulas que contienen el material obtenido en el paso 3 y se anotan los datos en la hoja de control.
- 5) Se repite el paso 3 y 4 para el resto de tamices.





Figura 3.10: a) Lavado de la muestra de suelo. b) Pesaje y etiquetado de la cápsula vacía. c) Muestra recogida del tamiz N°200. d) Tamices ordenados de mayor a menor abertura. e) Pesaje del material retenido por cada uno de los tamices.

Fuente: Autor.

Con los datos obtenidos se determina el porcentaje de material que pasa por cada uno de los tamices, para poder realizar el trazo de la curva granulométrica (figura 3.11).

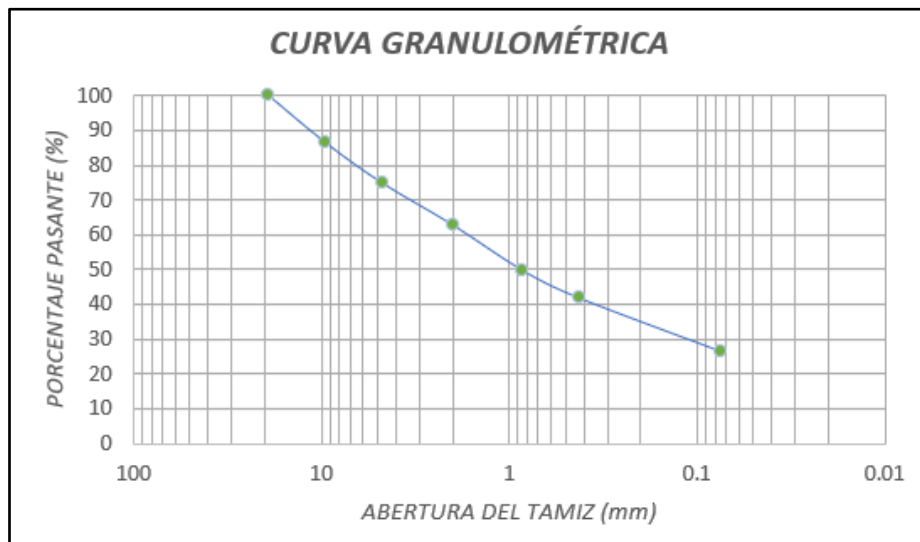


Figura 3.11: Curva granulométrica de una muestra previamente ensayada.

Fuente: Autor.

3.3.1.2. LÍMITES DE ATTERBERG

Preparación de las muestras

Este ensayo permite conocer y caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

- 1) La muestra de suelo se disgrega de manera tal que sean partículas sueltas.

- 2) Recoger en un recipiente todo el material que pasa por el tamiz N° 40.
- 3) Con la ayuda de una pizeta agregar agua y revolver hasta obtener una mezcla de consistencia homogénea.
- 4) Dejar reposar la muestra durante 24 horas en un recipiente con tapa hermética, esto se lo hace para que el agua se distribuya de manera uniforme en la muestra.

LÍMITE LÍQUIDO

El ensayo de límite líquido se efectúa de la siguiente manera:

- 1) La muestra preparada con antelación se mezcla en una cápsula, ayudado de una espátula (*figura 3.12a*).
- 2) La mezcla se coloca en la copa Casagrande.
- 3) Con la ayuda de un espátula se debe enrasar la superficie de la muestra en la copa Casagrande, teniendo en cuenta que la zona mas profunda de la copa tenga 1cm de espesor de muestra (*figura 3.12b*). .
- 4) Con el acanalador se realiza una división en un solo movimiento de arriba a abajo, de manera tal que exista una simetría entre el canal y la articulación de la copa Casagrande (*figura 3.12c*).
- 5) Se acciona el mecanismo de manivela de la copa a razón de 2 golpes por segundo, contar el número de golpes necesarios hasta que las dos mitades se junten a lo largo de al menos 1.3 cm, por fluidez el suelo y no por el desmoronamiento de este. (*figura 3.12d*).
- 6) El número de golpes del primer ensayo debe estar comprendido entre 26 y 30 golpes, de no ser así se debe añadir agua y repetir los paso del 2 a 5, hasta que esta condición se cumpla.
- 7) Del sitio en donde se juntan los bordes en el canal, se toma un porción de muestra en una cápsula para determinar el contenido de humedad (*figura 3.12e*).
- 8) Repetir los pasos del 2 al 7 por lo menos 3 veces, se utiliza el mismo suelo variando únicamente la cantidad de agua para cada repetición, la cual debe aumentarse de tal manera que los golpes para cerrar el canal para el segundo ensayo estén comprendidos entre 21 y 25 golpes, para el tercer ensayo entre 15 y 20 golpes.
- 9) Realizar la interpretación de los resultados, con lo que se obtiene la curva de flujo, con ello se puede determinar el límite líquido de una muestra a 25 golpes (*figura 3.13*).

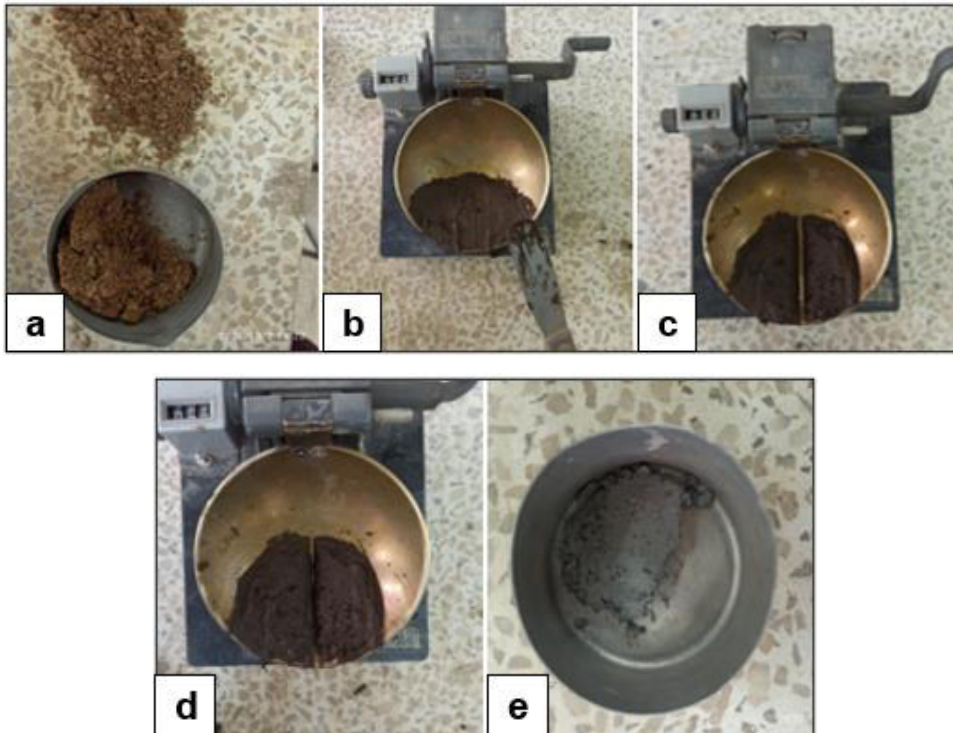


Figura 3.12: a) Separación de muestra para el ensayo. b) Mezcla homogénea en la copa Casagrande. c) División de la muestra hecha con el ranurador. d) Parte inferior del talud de la ranura se cierra por acción de los golpes. e) Muestra recogida de la copa Casagrande, para su posterior pesaje y secado.

Fuente: Autor.

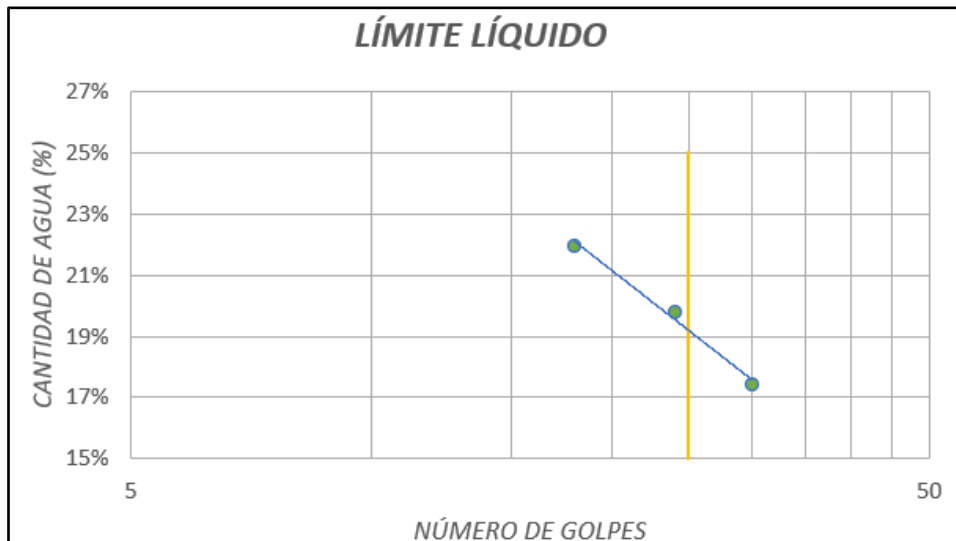


Figura 3.13: Curva de flujo de una muestra ensayada.

Fuente: LEMSUR.

LÍMITE PLÁSTICO

El procedimiento se describe a continuación:

- 1) Se recoge en una cápsula aproximadamente 50 gramos de material previamente preparado.
- 2) Con la ayuda de una espátula se mezcla, hasta obtener una masa homogénea que fácilmente puede ser moldeada con los dedos sin que la muestra se adhiera a estos.
- 3) Se toma una porción de unos 10 gramos de muestra y se forma un pequeño ovoide de unos 2 centímetros de diámetro, rápidamente debe rolarse sobre una superficie lisa con ayuda de la palma de la mano (*figura 3.14a*).
- 4) El procedimiento de rolado sobre una superficie lisa, se repite las veces que sea necesario, hasta que los filamentos se agrieten o rompan una vez alcanzado los 3 milímetros de diámetro, los suelos que no es posible rolar con ningún contenido de humedad, se consideran suelos no plásticos (*figura 3.14b*).
- 5) La velocidad de rolado debe ser de unos 80 a 90 movimientos por minuto.
- 6) Los filamentos obtenidos de 3 milímetros de diámetro, se recogen en una cápsula para determinar el contenido de humedad (*figura 3.14c*).
- 7) Se repite el ensayo 2 veces y se anotan los resultados en la hoja de control.

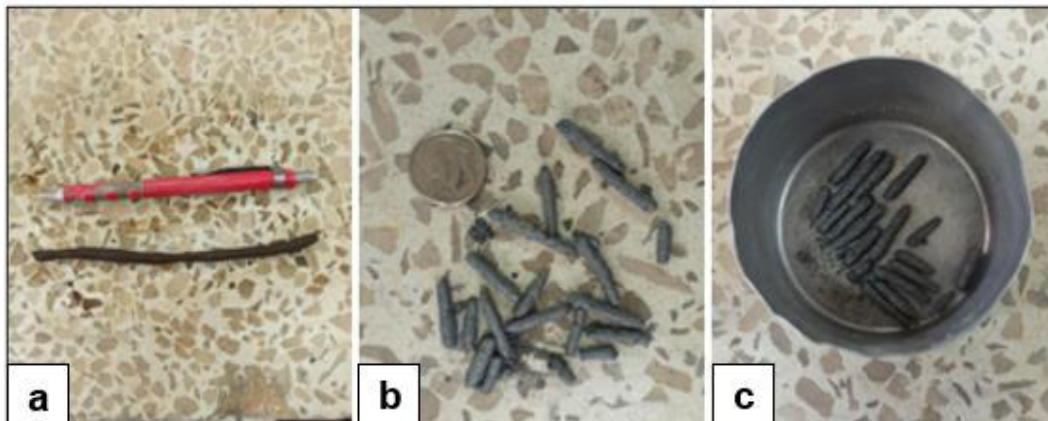


Figura 3.14: a) Material rolado, suelo arcilloso. b) Filamentos de 3 milímetros de diámetro y de 15 milímetros de largo. c) Filamentos recogidos en una cápsula para su pesaje y posterior secado.

Fuente: Autor.

3.3.2. ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO

Este ensayo se realiza para determinar humedad óptima y la densidad seca máxima del suelo. La metodología descrita a continuación obedece la norma ASTM D1557 (2012).

Preparación de las muestras

- 1) En un recipiente se recogen de 6 a 7 kilogramos de muestra de suelo para secarlas en el horno (*figura 3.15a*).
- 2) Colocar la muestra de suelo sobre bandeja metálica grande para poder disgregarla con la ayuda del martillo con cabeza de caucho.
- 3) En la máquina tamizadora se ensambla un juego de mallas para tamizar la muestra previamente secada, las mallas se colocan de la siguiente manera en la parte superior está la malla 3/4, seguido de la malla 3/8, 4 y a la base se encuentra la bandeja.
- 4) Se recoge el material retenido en cada una de las mallas y se pesa, para poder determinar el método adecuado que se utilizará para cada muestra, los métodos A, B y C dependerán de la granulometría (*figura 3.15b*).

Ensayo próctor modificado

- 1) Pesar y registrar el peso del molde, placa base sin el collarín en la hoja de control.
- 2) Determinado el método de ensayo, se recoge el material seleccionado en un recipiente para agregar un determinado contenido de agua (*figura 3.15c*).
- 3) Es necesario mezclar de forma envolvente la muestra de suelo y el agua de tal manera que al comprimirla la muestra con la mano no se adhiera material ni libere agua.
- 4) Agregar al molde la cantidad de material suficiente correspondiente a la primera capa, el volumen de muestra de suelo debe llegar al menos hasta la mitad del molde, de tal forma que al compactar el volumen de suelo, este ocupe la tercera parte del molde.
- 5) El suelo que se halla en el molde debe compactarse sobre una superficie plana con el número de golpes requerido de acuerdo al método de ensayo, los golpes se distribuyen de una manera equitativa sobre la superficie de la muestra contenida en el molde (*figura 3.15a*).
- 6) Se repite los pasos 4 y 5 hasta que la última capa compactada sobrepase con al menos 1 centímetro el collarín.
- 7) Se retira el collarín de la parte superior, se eliminan los excedentes de material y se enrasa la muestra compactada con el molde, se procede al pesaje de la

placa base más el cilindro que contiene el suelo compactado (*figura 3.15b & 3.15c*).

- 8) Se recoge una pequeña cantidad de muestra de suelo compactado en una cápsula para determinar su humedad (*figura 3.15d*).
- 9) Desarmar el molde para la extracción del suelo compactado, posteriormente se disgrega con las manos y se mezcla con el restante de muestra.
- 10) Se repite los pasos del 3 al 9, agregando un 3% de peso de agua correspondiente del peso en seco de la muestra, mezclar hasta el agua se haya homogeneizado por completo con el suelo.

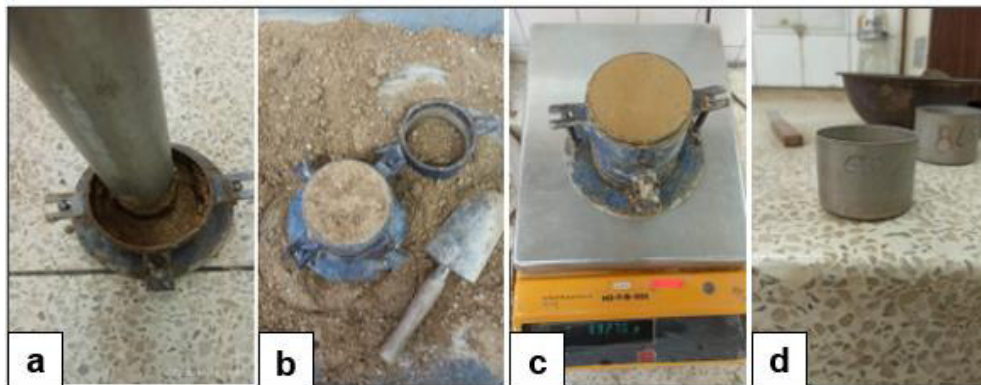


Figura 3.15: a) Proceso de compactación con el martillo de 2.5 kg. b) Enrasado de la muestra compactada en el cilindro. c) Pesaje del cilindro con la muestra compactada. d) Se toma una pequeña porción de muestra compactada para determinar su humedad.

Fuente: Autor.

- 11) El peso del suelo compactado aumenta conforme exista un incremento el contenido de agua de la muestra, cuando los espacios vacíos del suelo se llenan de agua, se presenta una disminución apreciable en el peso de la muestra compactada (*figura 3.16*).

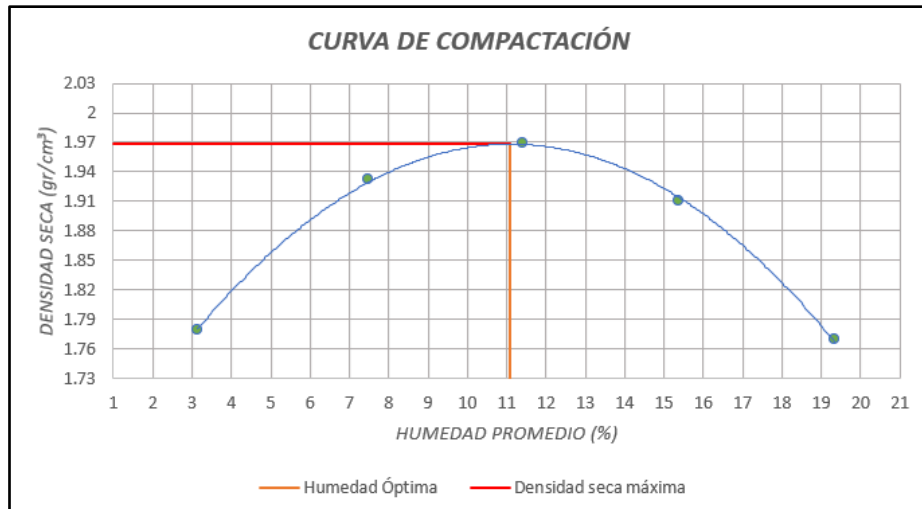


Figura 3.16: Gráfica de densidad seca vs humedad promedio.

Fuente: Autor.

3.3.3. PERMEABILIDAD DE SUELOS CON CARGA CONSTANTE

A continuación se detalla la metodología aplicada para realizar este ensayo:

- 1) Registrar los datos del cilindro, altura, diámetro, peso y anotarlos en la hoja de control (*figura 3.17a*).
- 2) Seleccionar la muestra, teniendo en cuenta la orientación de los estratos.
- 3) Agregar la muestra de suelo al permeámetro, se lo acomoda con la ayuda de espátulas dentro del permeámetro.
- 4) El permeámetro conjuntamente con la muestra de suelo que se encuentra en su interior se pesan y se anotan los datos en la hoja de control (*figura 3.17b*).
- 5) Se satura por capilaridad, sumergiendo el permeámetro en un recipiente con agua, procurando que el nivel de saturación esté por encima del nivel de agua del recipiente, para que puede ser expulsado el aire contenido.
- 6) En la parte superior e inferior del permeámetro se colocan empaques circulares, para encajarlos con una base, con el fin de no permitir que haya fuga de presión o agua, en la parte inferior a más de un empaque se coloca papel filtro y una piedra porosa (*figura 3.17c*).
- 7) La parte inferior del equipo posee una pequeña cañería por donde el agua sale en forma de gotas, una vez que atraviesa toda la masa de suelo, el papel filtro y la piedra porosa. Es necesario recolectar en una probeta para medir el volumen de agua que sale durante el ensayo (*figura 3.17d*).

- 8) El permeámetro tiene en la parte superior un orificio, por donde se conecta una manguera que se encarga de proveer agua a una presión constante equivalente a 28 PSI (*figura 3.17e*).
- 9) Dejar circular el agua, pasando por el permeámetro y desemboque en la probeta de medición.
- 10) Las medidas del volumen de agua que se toman en la probeta, se las hace cada determinado período de tiempo, en este estudio se tomó cada 15 minutos, durante 2 horas con la finalidad de tener la mayor cantidad de datos (*figura 3.17f*).
- 11) Cuando las medidas de agua y tiempo son obtenidas, se desmolda la muestra de suelo que se encuentra ya saturada, para determinar el contenido de humedad.

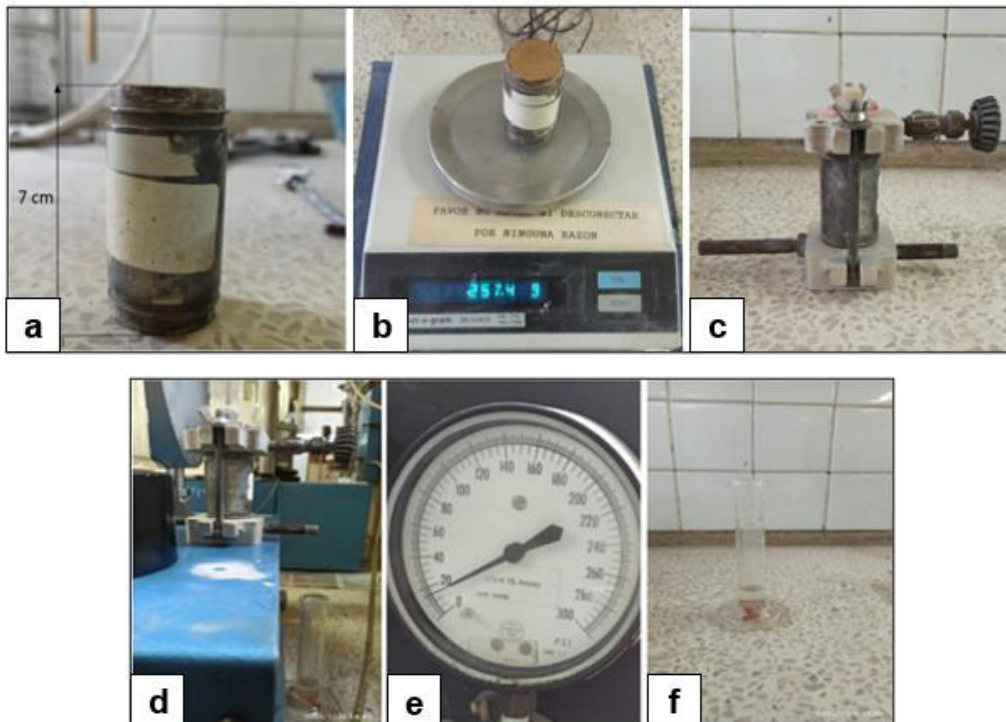


Figura 3.17: a) Medición de las dimensiones del cilindro. b) Pesaje del cilindro con la muestra. c) Ensamblado del permeámetro. d) Permeámetro conectado a la fuente que provee agua a una presión constante. e) Presión constante a la que está sometida la muestra, 28 PSI. f) Volumen de agua que atraviesa el permeámetro.

Fuente: Autor.

3.3.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La metodología de este ensayo se describe a continuación:

- 1) Pesar y etiquetar el matraz, anotar estos datos en la hoja de control.
- 2) Llenar el matraz con agua hasta la medida indicada, para pesar el volumen de agua más el matraz.
- 3) El material para utilizar en este ensayo debe haberse tamizado con antelación, ya que se hace uso únicamente del material que pasa por el tamiz N°40, se deposita aproximadamente 60 gramos de muestra en una cápsula
- 4) Agregar agua a la cápsula que contiene la muestra, para mezclarla energicamente en la batidora por al menos 5 minutos o hasta que todo la muestra y el agua formen una mezcla homogénea (*figura 3.18a*).
- 5) Verter agua en el matraz, aproximadamente hasta la cuarta parte de su capacidad (*figura 3. 18b*).
- 6) La mezcla de suelo-agua batida, se la vierte dentro del matraz en el que previamente se colocó agua.
- 7) Tapar herméticamente el matraz con el tapón que tiene un sistema de conexión con la bomba de succión a través de una tubería, con la ayuda de una franela se lo mantiene en un ángulo de 45° para que exista una mejor succión del aire; se enciende la bomba de succión durante 25 minutos (*figura 3. 18c*).
- 8) Transcurrido el tiempo sugerido para la extracción de aire, se desmonta el matraz del cierre hermético.
- 9) Agregar agua a la muestra previamente extraída el aire hasta la medida inscrita en el matraz (*figura 3. 18d*).
- 10) Tomar la temperatura y pesar el matraz que contiene agua-suelo, anotar estos datos en la hoja de control (*figura 3. 18e*).
- 11) Etiquetar y pesar un recipiente metálico, donde se vierte el contenido absoluto del matraz, es necesario la ayuda de una piseta, para facilitar el lavado interno del matraz, permitiendo que todo el material sea depositado en el recipiente.
- 12) Se lleva el recipiente al horno, para dejarlo secar durante un día.
- 13) El recipiente que contiene la muestra seca se debe pesar y anotar los datos obtenidos en la hoja de control (*figura 3. 18f*).

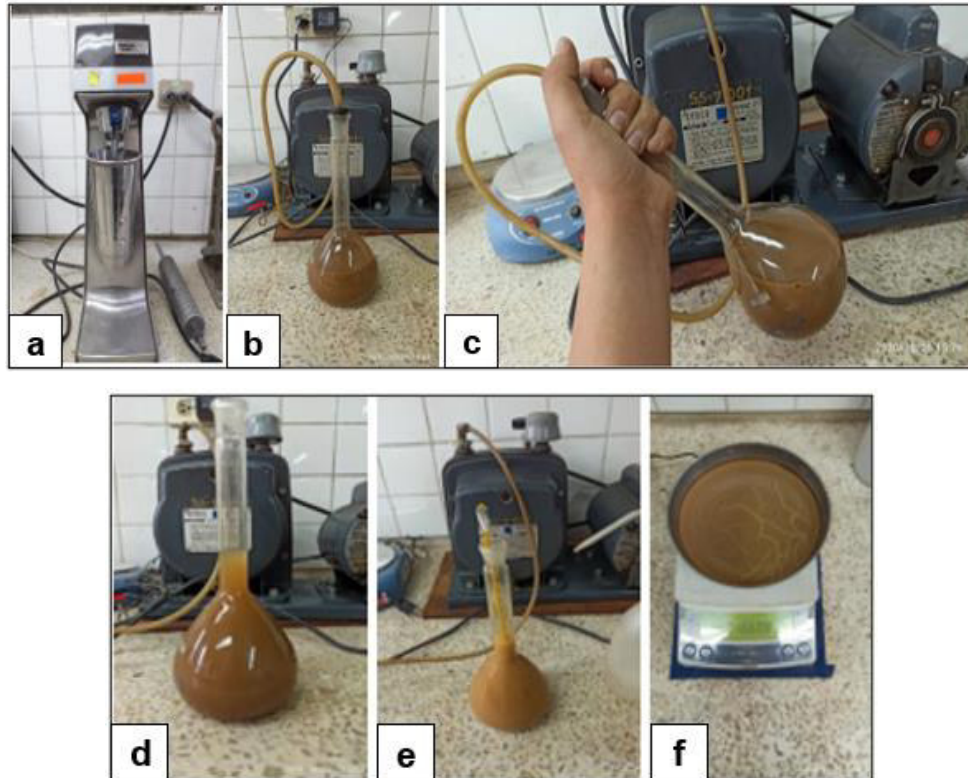


Figura 3.18: a) Batidora para mezclar el agua con la muestra de suelo. b) Matraz con la muestra de suelo. c) Inclinación de 45° del matraz para facilitar la absorción del aire contenido. d) Matraz aforado con la muestra. e) Toma de la temperatura. f) Recipiente con la muestra previamente secada, sometida al pesaje final.

Fuente: Autor.

3.3.5. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El ensayo de CD se realizó en un espécimen de roca, la cual conforma gran parte de todo el talud de estudio. La norma ASTM D5607 sirvió como base para su realización:

- 1) Cortar la muestra de roca con la ayuda de una cierra circular (*figura 3.19a*).
- 2) La muestra cortada debe tener la forma de un prisma rectangular de 7 cm de base por 9 cm de altura (*figura 3.19b*).
- 3) Realizar el cálculo de la superficie de rotura que existe entre los dos fragmentos del prisma rectangular (*figura 3.19c*).
- 4) Encapsular cuidadosamente las mitades de la roca para aislar la zona de corte (*figura 3.19d*).
- 5) Las cápsulas que contienen las secciones de la muestra de roca se colocan cuidadosamente en la caja de corte de sección diagonal de forma que las mitades estén en contacto en el plano de corte.

- 6) Ensamblar el equipo de ensayo de corte directo. En la parte superior se incorpora un pistón vertical el cual se encarga de aplicar la carga axial, en la parte inferior existen 2 pistones a los lados para la acción de la fuerza horizontal de corte (figura 3.19e).
- 7) Aplicar presión a los pistones mediante bombas hidráulicas que son accionadas manualmente (figura 3.19f).
- 8) Las medidas de la fuerza tangencial se toman de acuerdo con la deformación que se presenta progresivamente en la muestra, a medida que la carga aplicada aumenta.
- 9) Se toman datos de las deformaciones horizontales cada 5 milímetros, con su respectiva fuerza tangencial, se anotan en la hoja de control, para su análisis matemático.

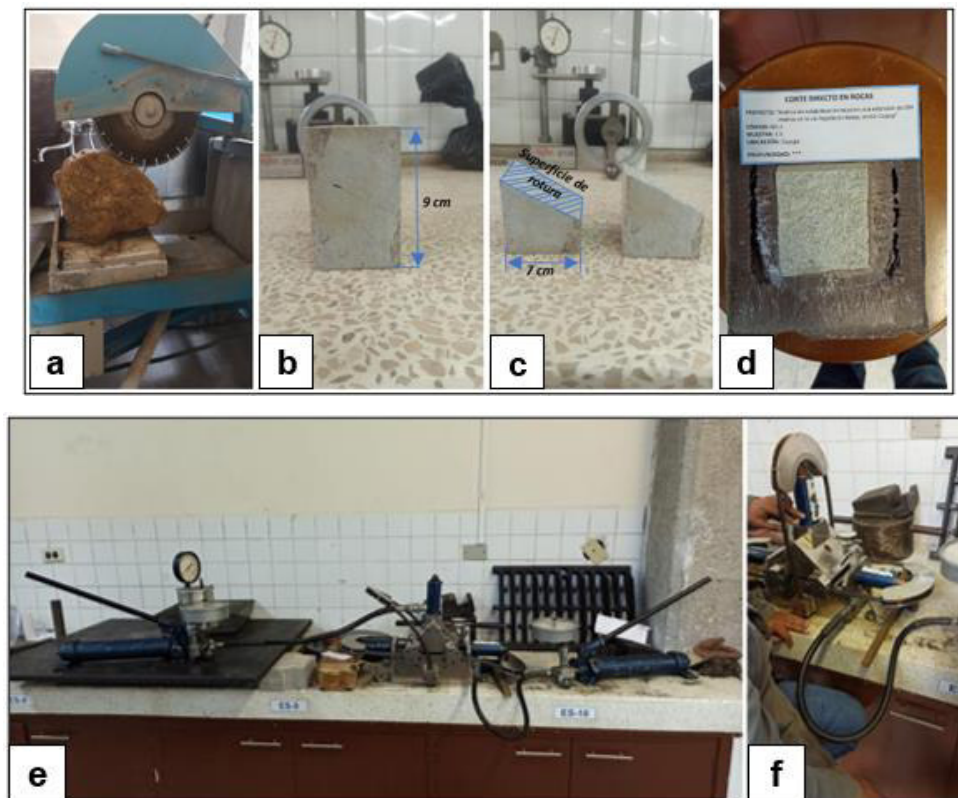


Figura 3.19: a) Corte de la muestra con la cierra circular. b) Prisma rectangular obtenido del corte de la muestra. c) Superficie de contacto de la muestra. d) Caja de corte de sección diagonal con la muestra a ser ensayada. e) Equipo de ensayo de corte directo, a los lados pistones acción reversible de corte. f) Equipo de ensayo de corte directo durante la aplicación de presión hidráulica.

Fuente: Autor.

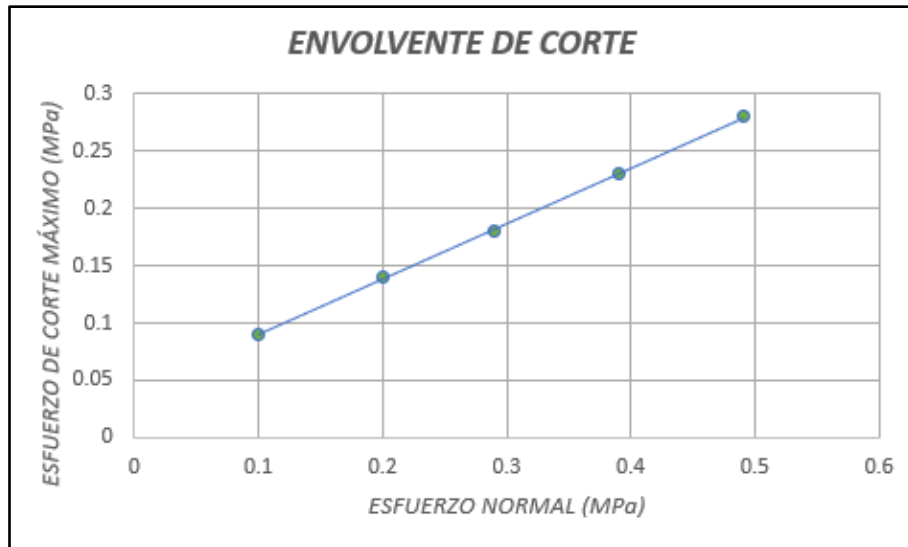


Figura 3.20: Gráfica de Esfuerzo normal vs Esfuerzo de corte máximo.
Fuente: LEMSUR.

3.3.6. ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

La norma ASTM D2850 (2015) sirvió como base para realizar este ensayo, la metodología se describe a continuación:

- 1) Extraer una muestra del bloque de suelo, tomando en cuenta orientación de los estratos (*figura 3.21a*).
- 2) Tallar de forma perpendicular a los estratos con la ayuda de espátulas, hasta obtener un tamaño similar al de la probeta de ensayo triaxial (*figura 3. 21b*).
- 3) En los extremos de la probeta de ensayo triaxial se sella herméticamente con la ayuda de anillos de tipo “o-rings” (*figura 3. 21c*).
- 4) Los tubos de drenaje se conectan a un sistema que permite visualizar el volumen de agua absorbido o expulsado por el suelo durante el ensayo.
- 5) El espécimen se coloca dentro de la cámara de presión la cual posee en la parte superior un vástago cuya función es la de transmitir la carga axial durante el ensayo.
- 6) Se consolida el espécimen bajo un régimen de presión hidrostática, con esto se puede obtener el esfuerzo efectivo que actúa sobre la fase sólida del suelo.
- 7) Las líneas de drenaje se cierran y el espécimen se carga hasta alcanzar su fallo en condiciones no drenadas
- 8) Terminado el ensayo, se retira la muestra resultante del equipo para llevarla al horno a secar.

9) El procedimiento se lo repite con 3 muestras cilíndricas del mismo suelo.



Figura 3.21 a) Preparación de muestra para el moldeado cilíndrico. b) Cilindros de suelo para el ensayo triaxial. c) Vástago que contiene el cilindro a ser ensayo juntamente con agua que ejerce una presión hidrostática constante.

Fuente: Autor.

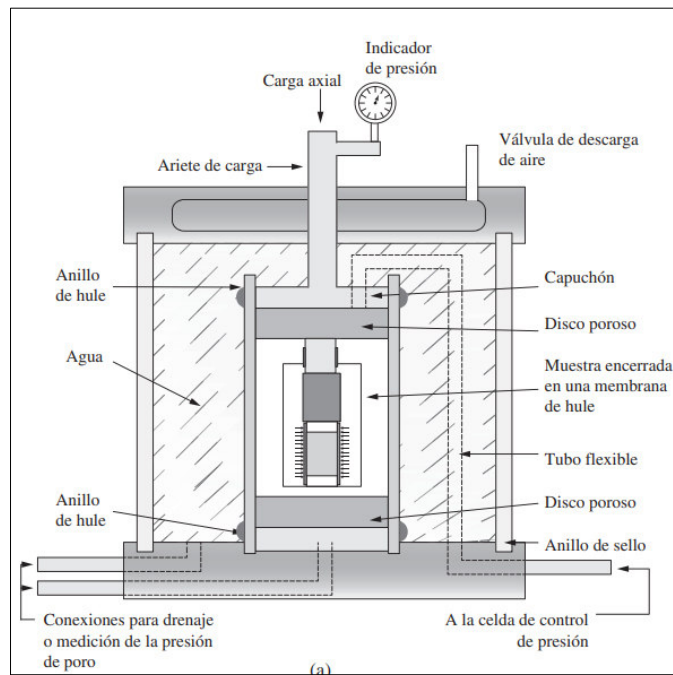


Figura 3.22: Esquema de un equipo de ensayo triaxial.

Fuente: (Das, 2013).

3.4. MODELAMIENTO DIGITAL DE LOS DATOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos del levantamiento topográfico y de los ensayos de laboratorio son utilizados para la modelación de cada uno de los perfiles que están ubicados a lo largo de los 260 metros del talud de estudio. El análisis de estabilidad de taludes, se hizo en 2 etapas, la primera etapa en el software de diseño asistido AutoCAD y la segunda etapa en el software geotécnico GEO 5.

3.4.1. ETAPA 1 (AutoCAD)

- 1) Los datos obtenidos del levantamiento topográfico, se los digitaliza en AutoCAD para realizar un mapa de diseño en 2D del talud y generar las diferentes curvas de nivel con lo que se puede obtener el plano topográfico del talud de estudio (figura 3.23).

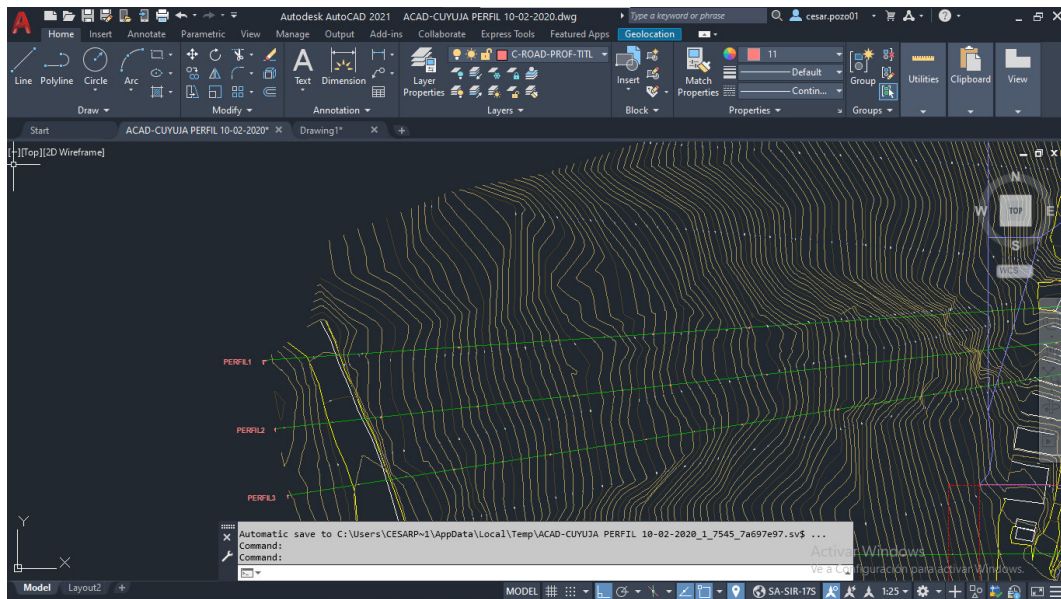


Figura 3.23: Extracto del plano topográfico del talud de estudio; las líneas amarillas representan las curvas de nivel, las líneas en color verde representan a los perfiles en los que se ha dividido el talud de estudio.

Fuente: Autor.

- 2) Los perfiles en los que está subdividido el talud de estudio se extraen del plano topográfico generado en AutoCAD (Figura 3.24a). Para voltear el perfil y que este quede en la dirección delimitada por el plano topográfico, se utiliza el comando MIRROR para crear una copia idéntica al perfil sin perder ningún punto en el plano (figura 3.25b).

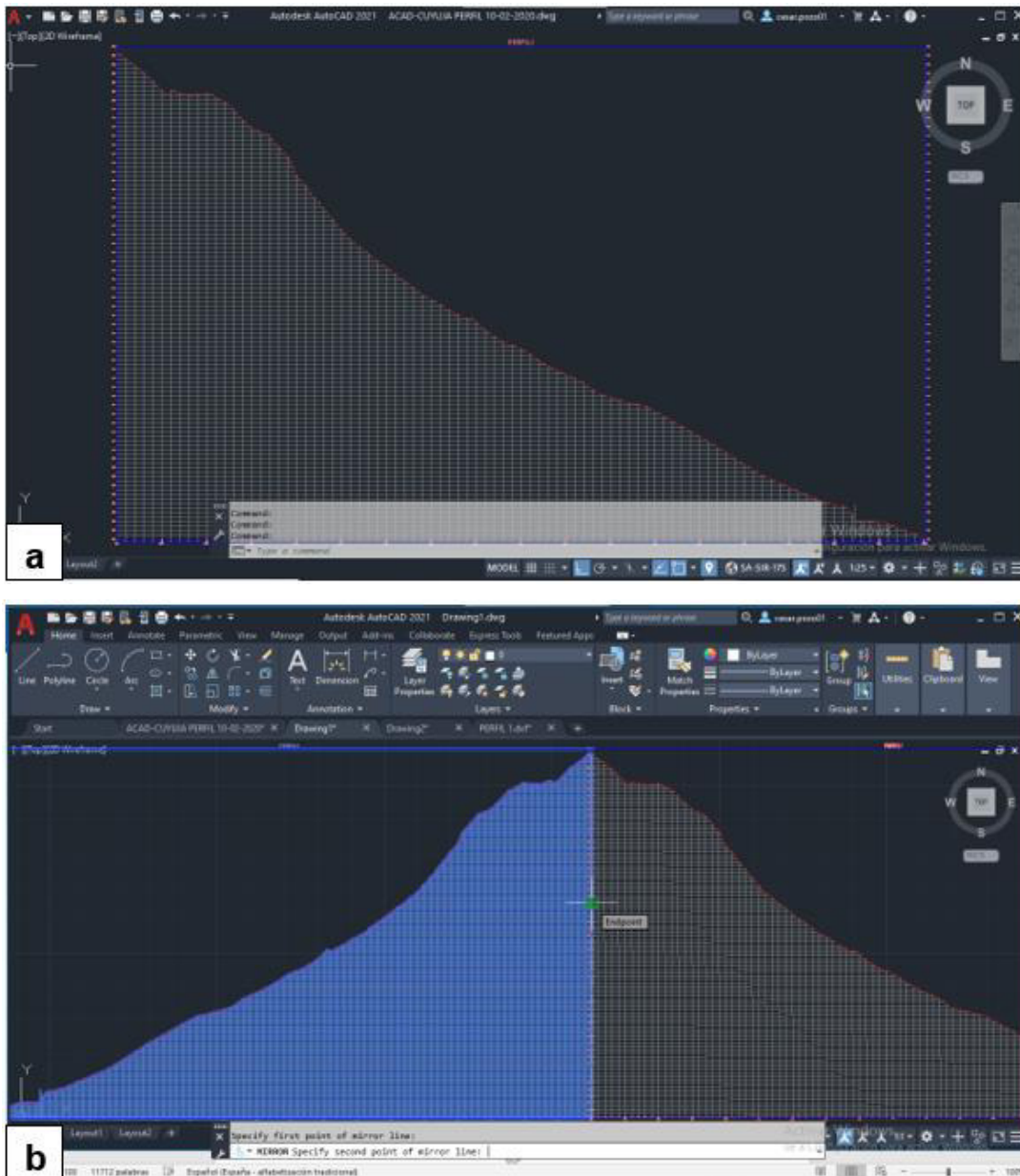


Figura 3.24: a) Perfil 1 de los 17 en que se subdividió el talud. El eje x representa la distancia desde el pie del talud a la base, en el eje y representa la altura. b) En lado izquierdo el perfil original, al lado derecho el perfil idéntico al original creado por el comando MIRROR.

Fuente: Autor.

- 3) Crear una polilínea y se la extrae a otro archivo, se ubica en el origen del plano de coordenadas X, Y. Con el comando JOIN se unen todos los nodos que forman la polilínea, en un solo elemento (figura 3.25).

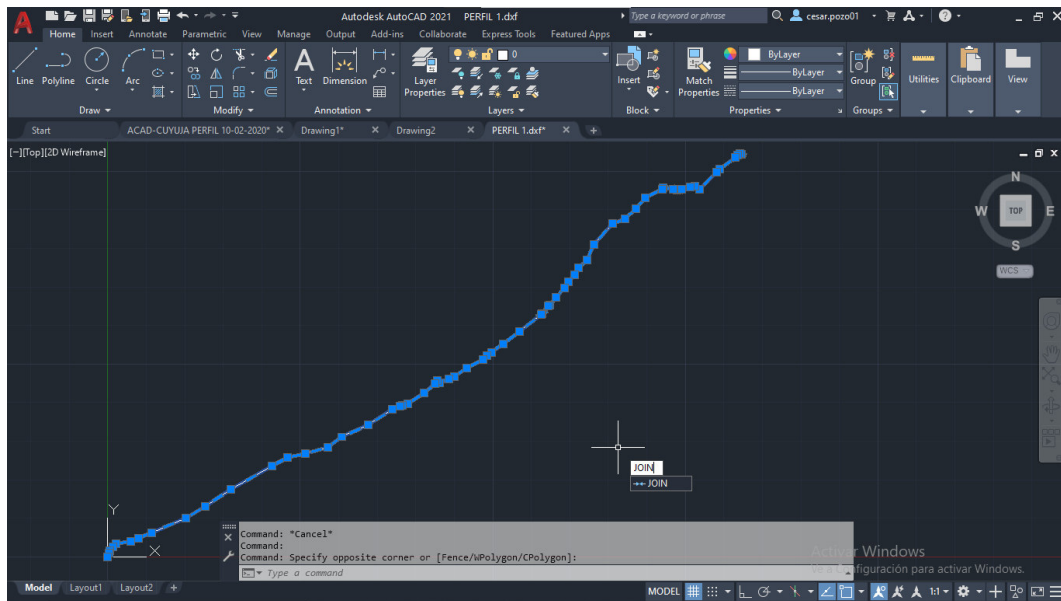


Figura 3.25: Los cuadrados azules representan nodos que forman la polilínea los cuales con el comando JOIN se han conjugado en un solo elemento.

Fuente: Autor.

- 4) El conjunto de nodos agrupados en un solo elemento (Línea) se guarda en formato (*.dxf) (figura 3.26).

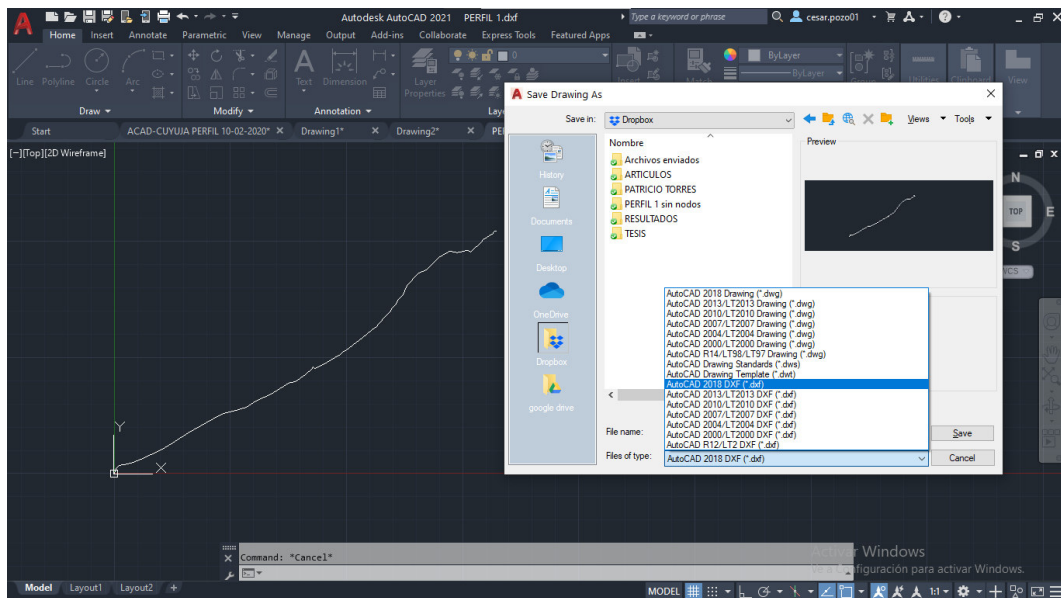


Figura 3.26: Formato compatible con el Software Geotécnico GEO5.

Fuente: Autor.

3.4.2. ETAPA 2 (GEO 5)

- 1) Importar el archivo (*.dxf) desde la barra de herramientas de acceso rápido (figura 3.27).

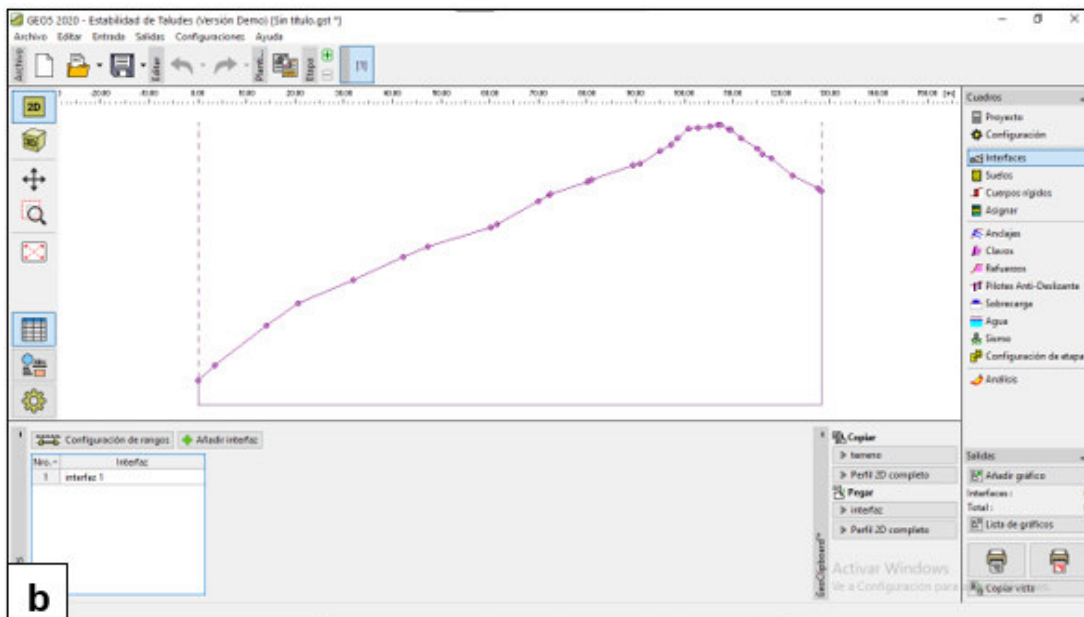
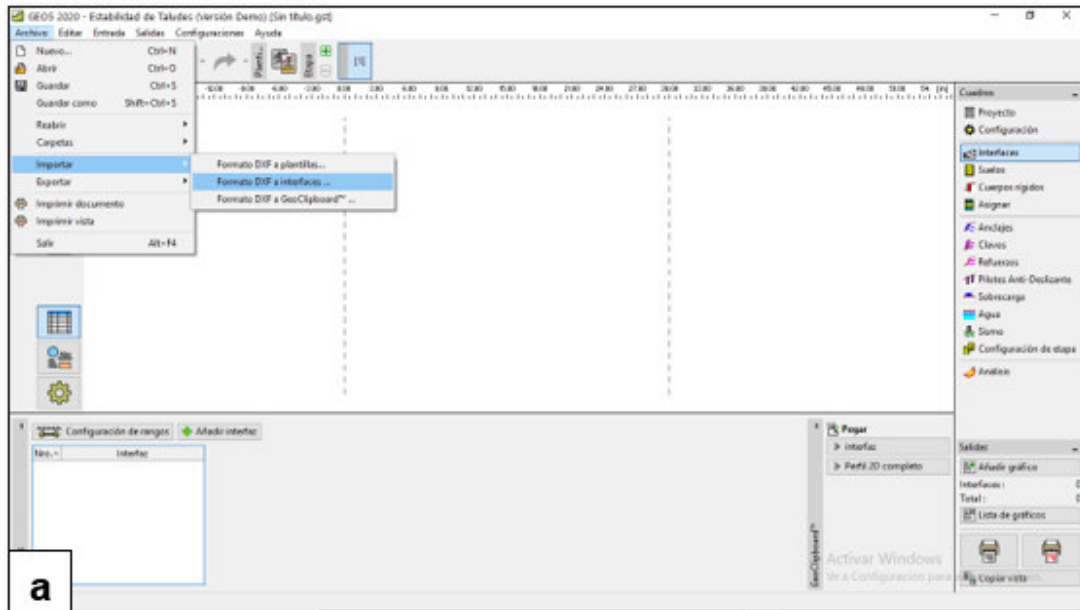


Figura 3.27: a) Forma correcta de importar el archivo (*.dxf) desde un lugar de almacenamiento determinado. b) Se muestra la interfaz principal con el archivo (*.dxf) del perfil N°10 importado.

Fuente: Autor.

- 2) Ingresar el tipo de suelo en función de los datos obtenidos de ensayos de laboratorio.

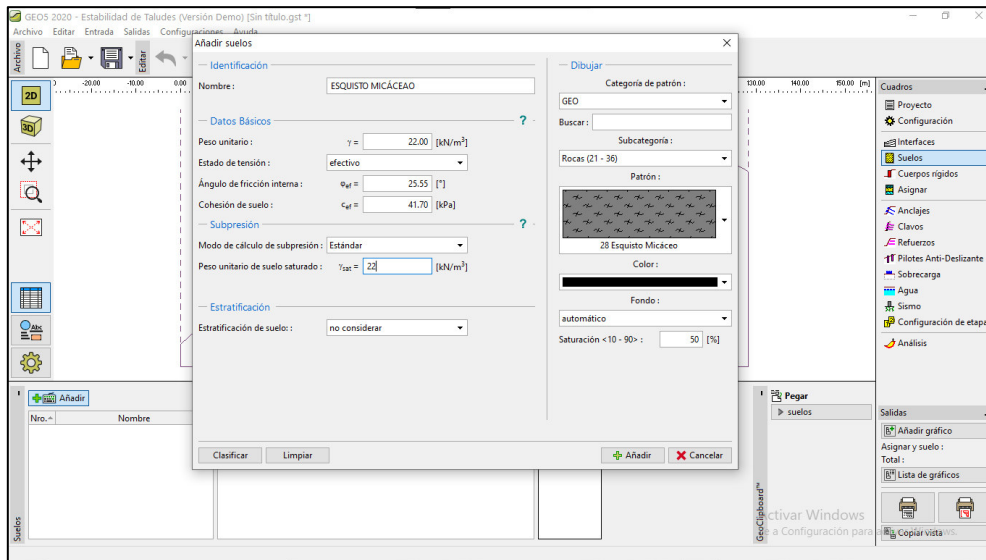


Figura 3.28: Los campos de datos básicos, se llenan con los datos de los resultados de los laboratorios.
Fuente: Autor.

- 3) En el apartado de cuadros, los datos del suelo ingresado al programa deben asignarse al perfil importado a la interfaz del programa, con la opción ASIGNAR.

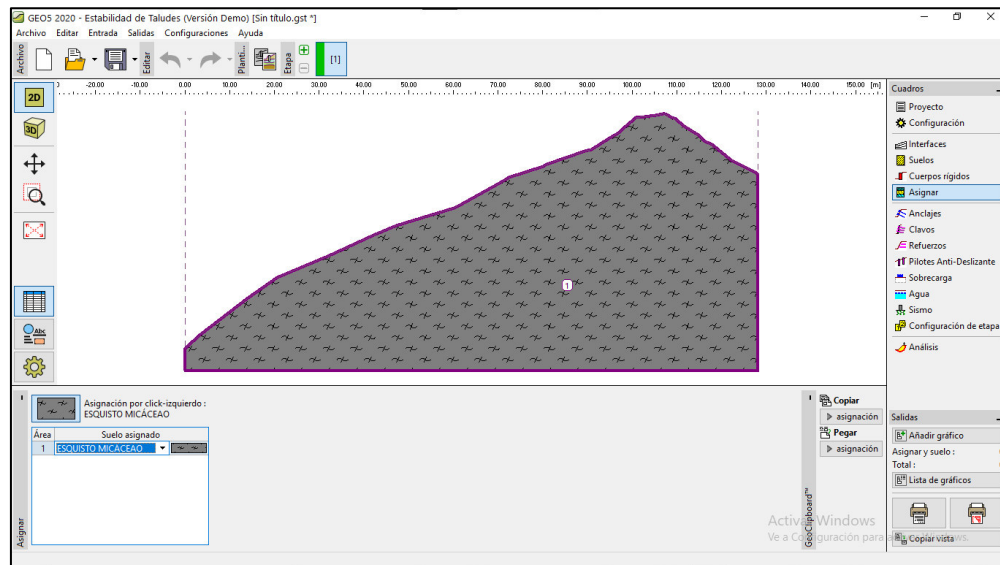


Figura 3.29: Asignación del suelo a la interfaz del perfil N°10.
Fuente: Autor.

- 4) Seleccionar la opción de análisis, se ingresa gráficamente una superficie de falla circular en el perfil, seleccionar el método de Bishop, además se cambia a la opción "Optimización" en el primer análisis (*Figura 3.30a*). Para el segundo análisis se cambia la opción a búsqueda de "Grilla", con esto se puede encontrar el círculo con el FS más crítico dentro de todo el perfil (*figura 3.30b*).

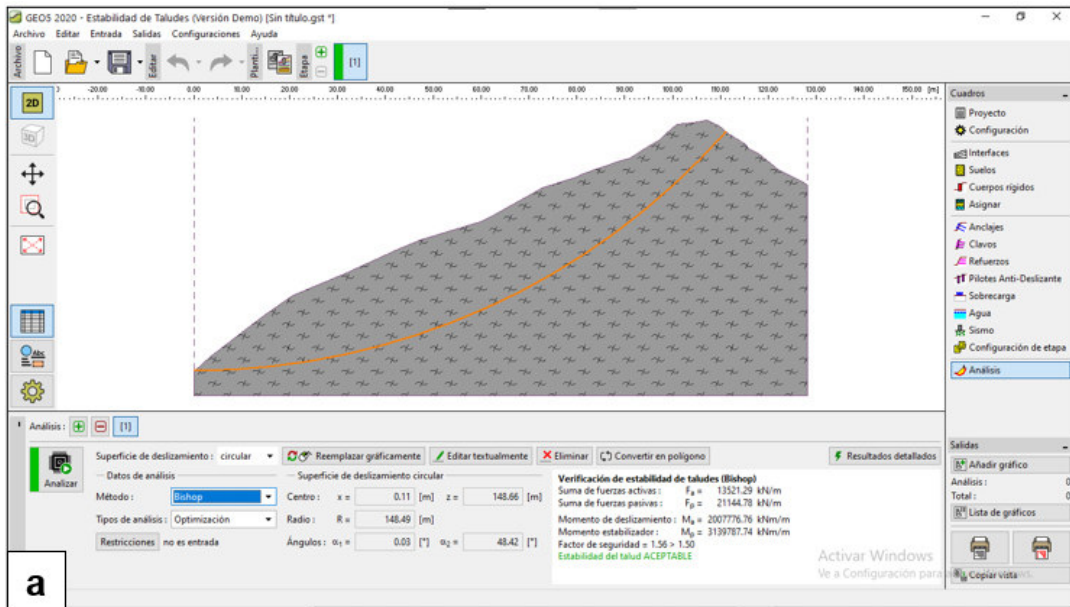


Figura 3.30a: Análisis de estabilidad de taludes (OPTIMIZACIÓN), perfil N°10.
Fuente: Autor.

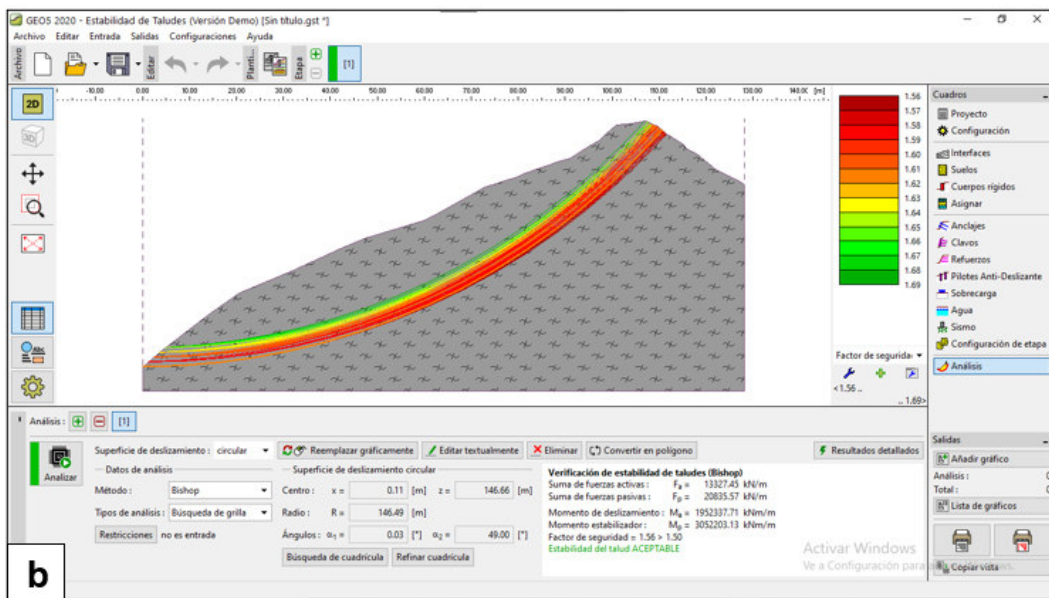


Figura 3.30b: Análisis de estabilidad de taludes (BÚSQUEDA DE GRILLA), perfil N°10.
Fuente: Autor.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE MUESTRAS OBTENIDAS DE PERFORACIONES

4.1.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S)

La metodología del ensayo se describe en la sección 3.3.1. En la tabla 4.1 se presentan los resultados del ensayo

Tabla 4.1: Resultados del ensayo de Clasificación de SUCS.
Fuente: LEMSUR.

N° Sondeo	N° Muestra	Profundidad (metros)	CONTENIDO DE GRAVA (%)	CONTENIDO DE ARENA (%)	CONTENIDO DE FINOS (%)	TIPO DE SUELO o ROCA	
						Símbolo	Nombre
SPT1	M1	0	24	55	21	SM	Arena Limosa con grava
SPT1	M2	5	25	48	27	SM	Arena limosa con grava
SPT1	M3	10	13	62	25	SM	Arena limosa
SPT1	M4	15	24	55	21	SM	Arena Limosa con grava
SPT1	M5	20	39	40	21	SM	Arena limosa con grava
SPT1	M6	25	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT1	M7	30	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT1	M8	35	-	-	-	-	Esquisto micáceo

SPT1	M9	40	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT1	M10	45	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT1	M11	50	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT2	M12	0	19	46	35	SM	Arena limosa con grava
SPT2	M13	5	22	53	25	SM	Arena limosa con grava
SPT2	M14	10	19	46	35	SM	Arena limosa con grava
SPT2	M15	15	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT2	M16	20	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT3	M15	0	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT3	M16	5	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT3	M17	10	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT4	M18	0	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT4	M19	5	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT4	M20	10	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT4	M21	15	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT4	M22	20	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT5	M23	0	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT5	M24	5	-	-	-	-	Esquisto micáceo

SPT5	M25	10	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT5	M26	15	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT5	M27	20	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT6	M28	0	5	32	57	CL	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad
SPT6	M29	5	6	40	54	CL	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad
SPT6	M30	10	-	-	-	-	Esquisto micáceo
SPT6	M31	15	-	-	-	-	Esquisto micáceo

Los resultados de los límites de Atterberg se presentan en la tabla 4.2

Tabla 4.2: Resultado del ensayo de Límites de Atterberg.
Fuente: LEMSUR.

N° Sondeo	N° Muestra	Profundidad (metros)	TIPO DE SUELO o ROCA	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SPT1	M1	0	Arena limosa con grava	22	NP	NP	NP
SPT1	M2	5	Arena limosa con grava	17	NP	NP	NP

SPT1	M3	10	Arena limosa con grava	8	NP	NP	NP
SPT1	M4	15	Arena limosa con grava	11	NP	NP	NP
SPT1	M5	20	Arena limosa con grava	11	NP	NP	NP
SPT1	M6	25	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT1	M7	30	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT1	M8	35	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT1	M9	40	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT1	M10	45	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT1	M11	50	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT2	M12	0	Arena limosa con grava	12	NP	NP	NP
SPT2	M13	5	Arena limosa con grava	15	NP	NP	NP
SPT2	M14	10	Arena limosa con grava	15	NP	NP	NP
SPT2	M15	15	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT2	M16	20	Esquisto micáceo	-	-	-	-

SPT3	M15	0	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT3	M16	5	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT3	M17	10	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT4	M18	0	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT4	M19	5	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT4	M20	10	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT4	M21	15	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT4	M22	20	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT5	M23	0	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT5	M24	5	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT5	M25	10	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT5	M26	15	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT5	M27	20	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT6	M28	0	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad	13	27	20	7

SPT6	M29	5	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad	17	19	15	4
SPT6	M30	10	Esquisto micáceo	-	-	-	-
SPT6	M31	15	Esquisto micáceo	-	-	-	-

**NP= No Posee*

Al determinar los límites de Atterberg, las muestras de suelo que no presentan límite plástico ni límite líquido son suelos no plásticos; la capacidad de resistencia al corte es muy baja.

Las muestras que tienen un índice de plasticidad son suelos plásticos, este índice se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, representa el intervalo de humedad para ir del estado semisólido al estado semilíquido (González de Vallejo., et al., 2002).

4.2. RESULTADOS DE MUESTRAS OBTENIDAS DE CALICATAS

4.2.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO

El procedimiento de este ensayo se detalla en la sección 3.3.2. de la metodología, en la tabla 4.3 se detallan los valores de densidad seca máxima y humedad óptima de 4 muestras.

Tabla 4.3: Resultados del ensayo de Próctor Modificado.
Fuente: LEMSUR.

N° MUESTRA	TIPO DE SUELO	DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³)	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
MC1	Arena limosa con grava	1.979	11.40
MC2	Arena limosa con grava	2.117	9.09
MC3	Arena limosa con grava	2.061	10.45

4.2.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS CON CARGA CONSTANTE

Este tipo de ensayo permite el cálculo del coeficiente de permeabilidad se muestra en la tabla 4.4 La metodología de este ensayo se describe en la sección 3.3.3.

Tabla 4.4: Resultados del ensayo de Permeabilidad.
Fuente: LEMSUR.

N° Muestra	TIPO DE SUELO	PERMEABILIDAD MEDIA	
		K _t (cm/seg.)	K ₂₀ (cm/seg.)
MC3	Arena limosa con grava	3.5368E-07	3.6241E-07
MC4	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad	1.0105E-07	1.0355E-07

4.2.3. RESULTADO DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Se lo conoce también como ensayo de densidad de sólidos, los resultados se detallan en la tabla 4.5. El método para realizar este ensayo se describe en la sección 3.3.4.

Tabla 4.5: Resultados del ensayo de Gravedad Específica.
Fuente: LEMSUR.

N° Muestra	TIPO DE SUELO	G_s 20°C promedio (gr/cm³)
MC1	Arena limosa con grava	2.593
MC2	Arena limosa con grava	2.629
MC3	Arena limosa con grava	2.559
MC4	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad	2.630

4.2.4. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Este ensayo se realizó en una muestra de roca correspondiente a un esquistó micáceo, este está presente en la mayor parte del talud. En la metodología 3.3.5. se explica el procedimiento para realizar este ensayo.

Tabla 4.6: Resultados del ensayo de CD en roca.
Fuente: LEMSUR.

TIPO DE ROCA	ESFUERZO DE CORTE MÁXIMO		ESFUERZO DE CORTE RESIDUAL	
	cohesión (MPa)	Ángulo de fricción (°)	cohesión (MPa)	Ángulo de fricción (°)
Esquistó Micáceo	0.0417	25.55	0.0227	24.54

4.2.5. RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

El ensayo se lo realizó en 2 muestras de suelo que son las más representativas dentro de todo el talud, en la tabla 4.7 se muestran los resultados. La metodología de este ensayo se describe en la sección 3.3.6.

Tabla 4.7: Resultados del ensayo triaxial CU
Fuente: LEMSUR.

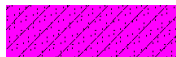
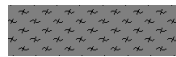

N° Muestra	TIPO DE SUELO	Cohesión Efectiva (MPa)	Ángulo de fricción Efectivo (°)
MC3	Arena limosa con grava	0.00882	27.7°
MC4	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad	0.00784	20.46

4.3. MODELAMIENTO DIGITAL DEL TALUD

4.3.1. MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Con los datos de los sondeos SPT se generan mallas que dividen las diferentes litologías internas del talud. Se han identificado 3 litologías existentes en el talud de estudio, las cuales se detallan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8: Litologías presentes en el talud de estudio.
Fuente: Autor.

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA
	Arena limosa con grava
	Esquisto micáceo
	Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad

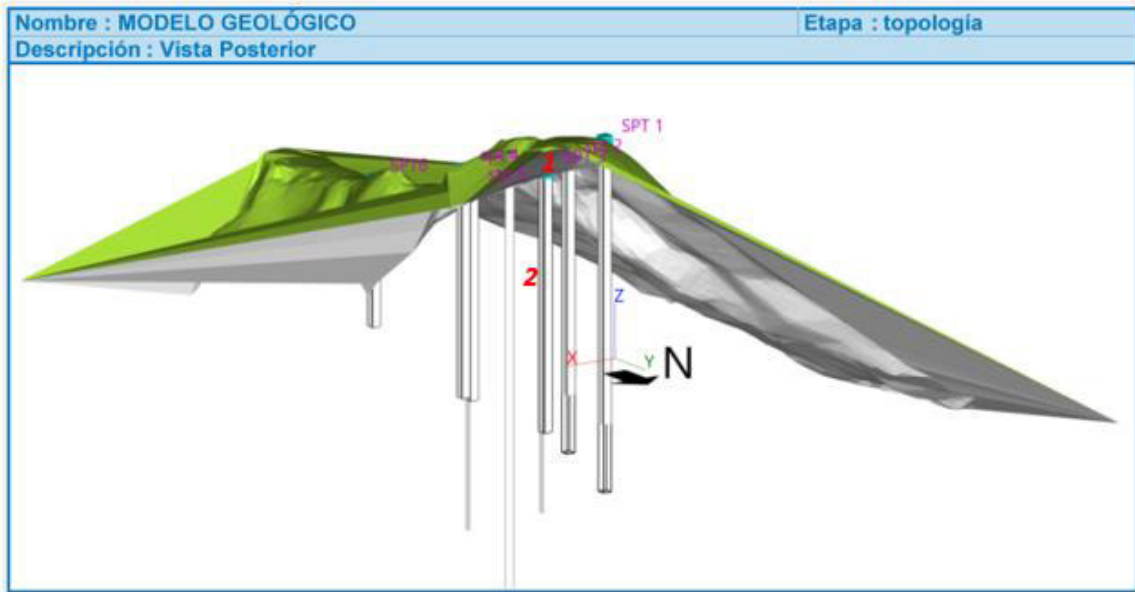


Figura 4.2: Vista de fondo del talud (1 es el estrato de SM, 2 es esquistos micáceo).
Fuente: Autor.

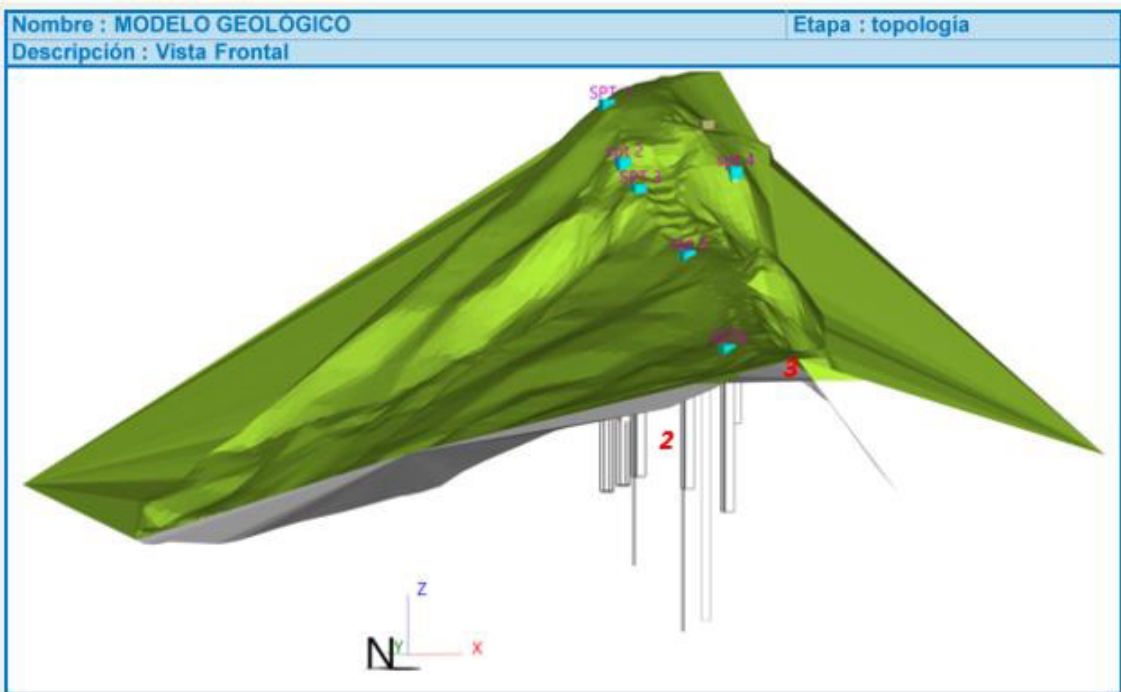


Figura 4.3: Vista frontal del talud (3 es el estrato CL).
Fuente: Autor.

4.4. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y SUPERFICIE DE FALLA A TRAVÉS DEL SOFTWARE “GEO 5”

El modelamiento de los datos obtenidos en laboratorio permite calibrar el programa GEO 5 para analizar la estabilidad del talud del presente estudio.

En este capítulo con la ayuda del software GEO5 se calcula la posible superficie de falla de cada uno de los perfiles en los que se ha subdividido el talud.

Se ha calculado el FS de 17 perfiles de manera perpendicular a lo largo de los 260 metros de extensión del talud. Se plantea la superficie de rotura en forma circular en función del método escogido.

4.4.1. PERFIL 1

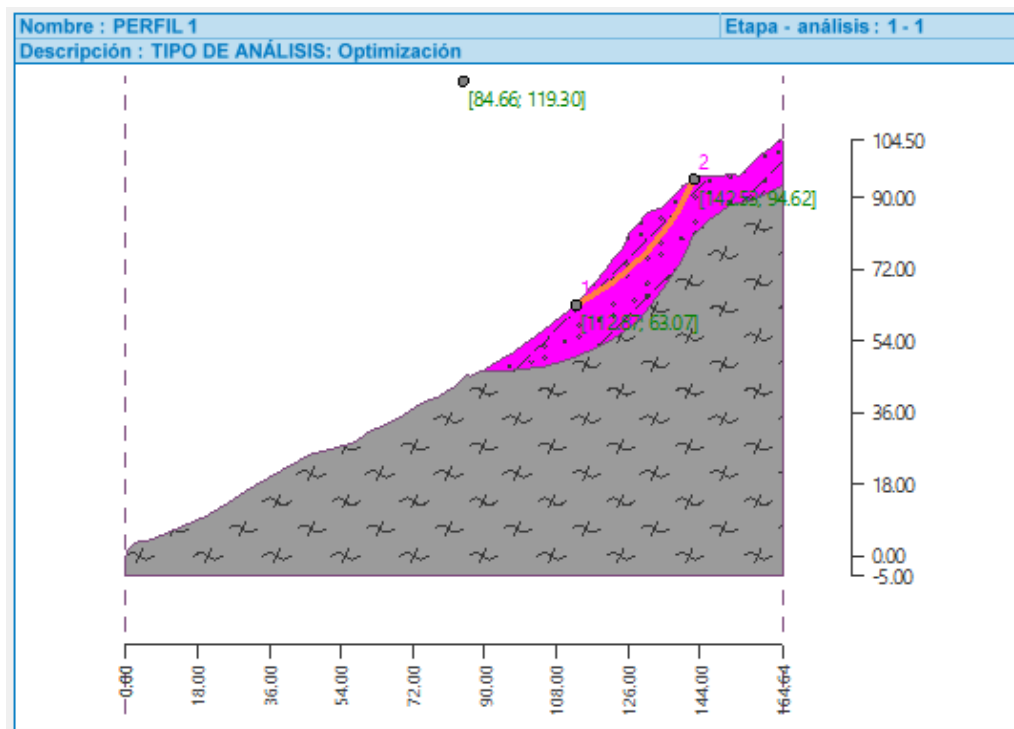


Figura 4.4: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “OPTIMIZACIÓN”.

Fuente: Autor.

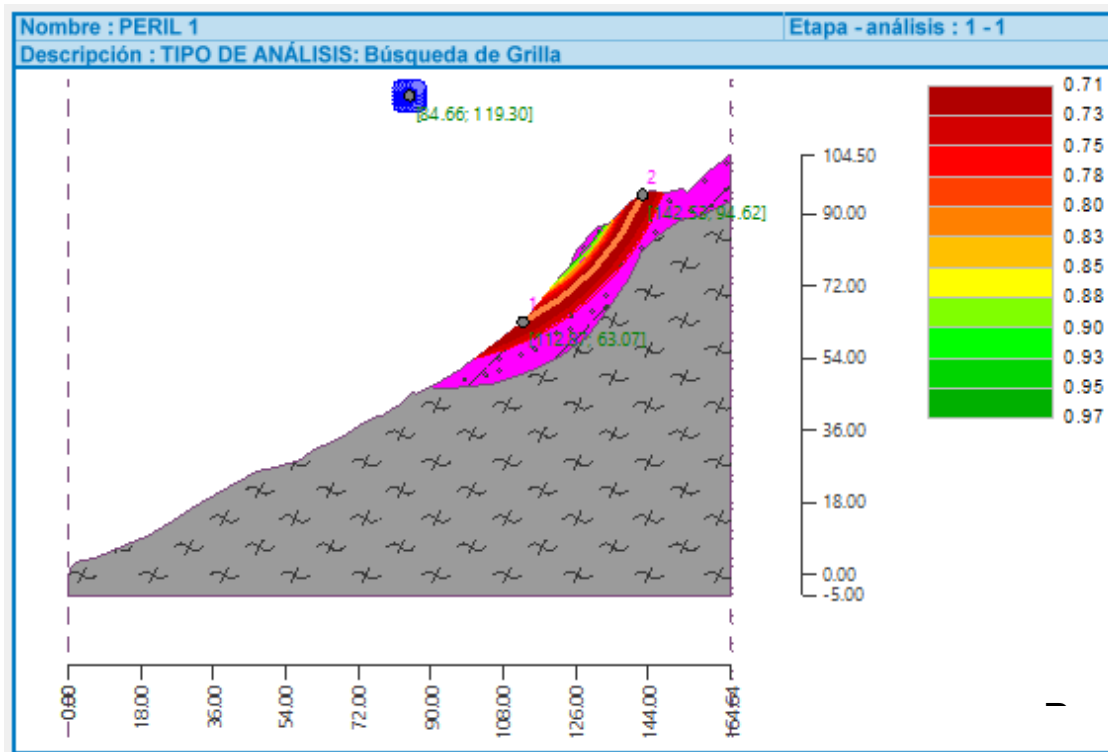


Figura 4.5: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.

Fuente: Autor.

Tabla 4.9: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 1.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 2356.01 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 1958.66 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 166499.56 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 138418.47 [kNm/m]
Factor de seguridad= 0.83 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 81.76 [m] y Z= 122.97 [m] y radio R= 70.67 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.2. PERFIL 2

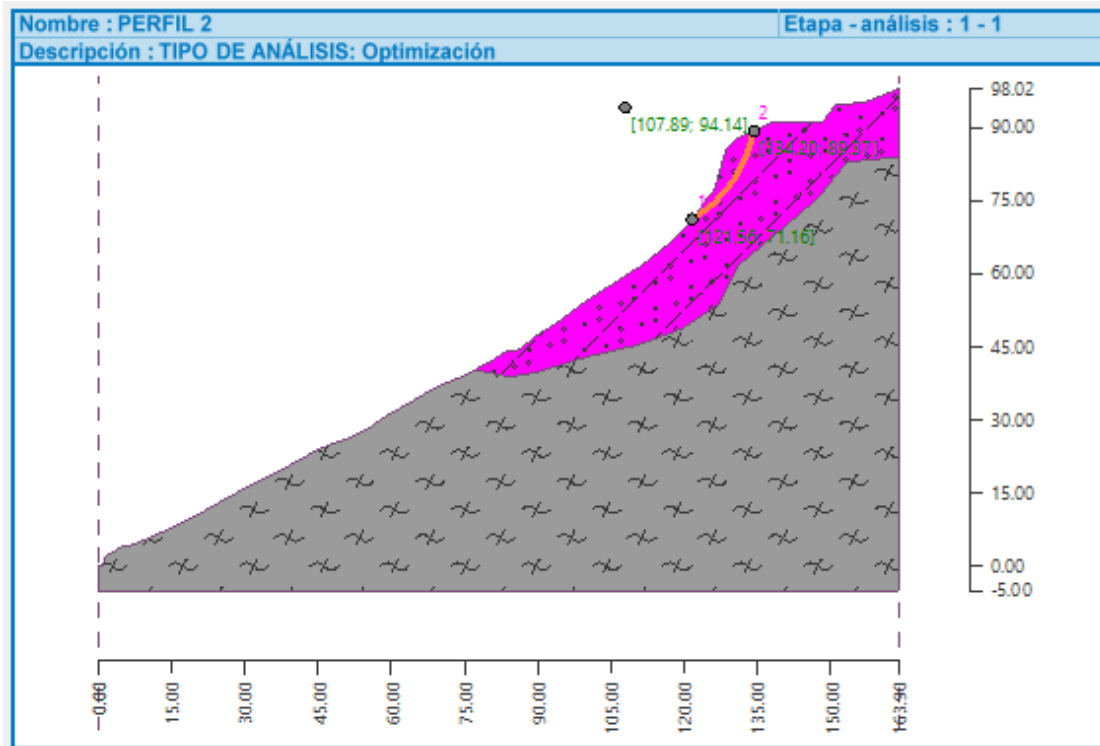


Figura 4.6: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

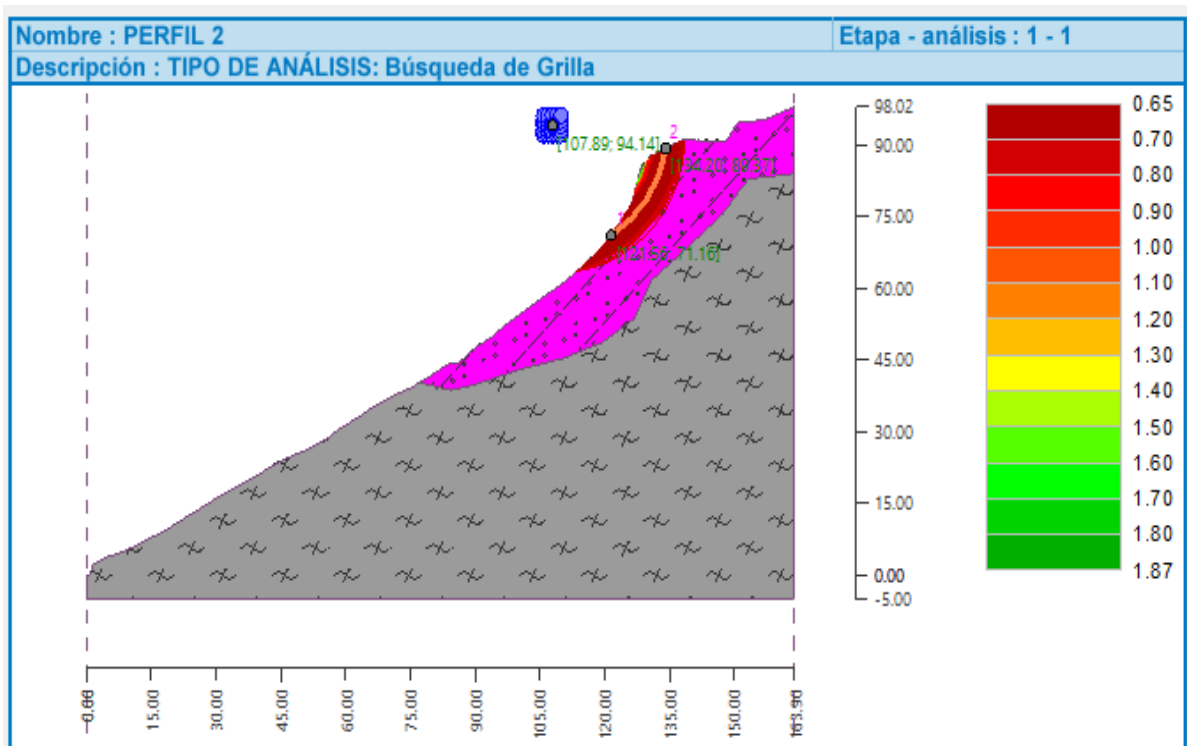


Figura 4.7: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.10: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 2.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 855.44[kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 554.88 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 23396.27 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 15176.09 [kNm/m]
Factor de seguridad= 0.65 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 107.6 [m] y Z= 94.7 [m] y radio R= 27.35 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.3. PERFIL 3

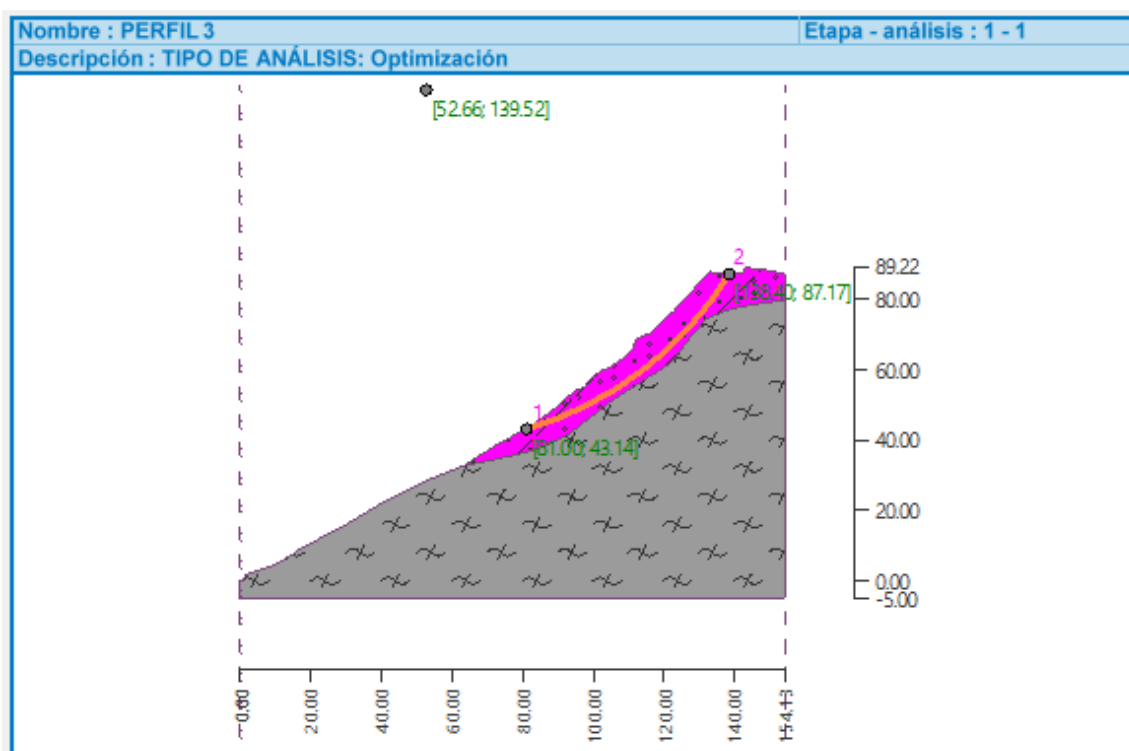


Figura 4.8: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".

Fuente: Autor.

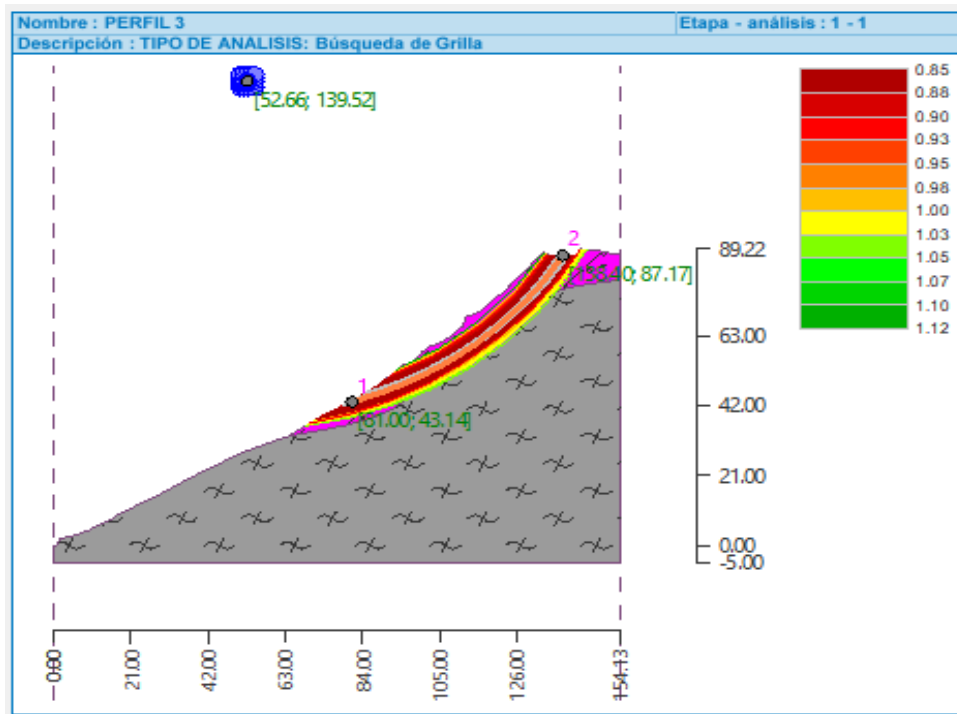


Figura 4.9: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.
Fuente: Autor.

Tabla 4.11: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) perfil 3.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 4482.35 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 3788.45 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 450297.1 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 380587.46 [kNm/m]
Factor de seguridad= 0.85 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 52.66 [m] y Z= 139.52 [m] y radio R= 100.46 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.4. PERFIL 4

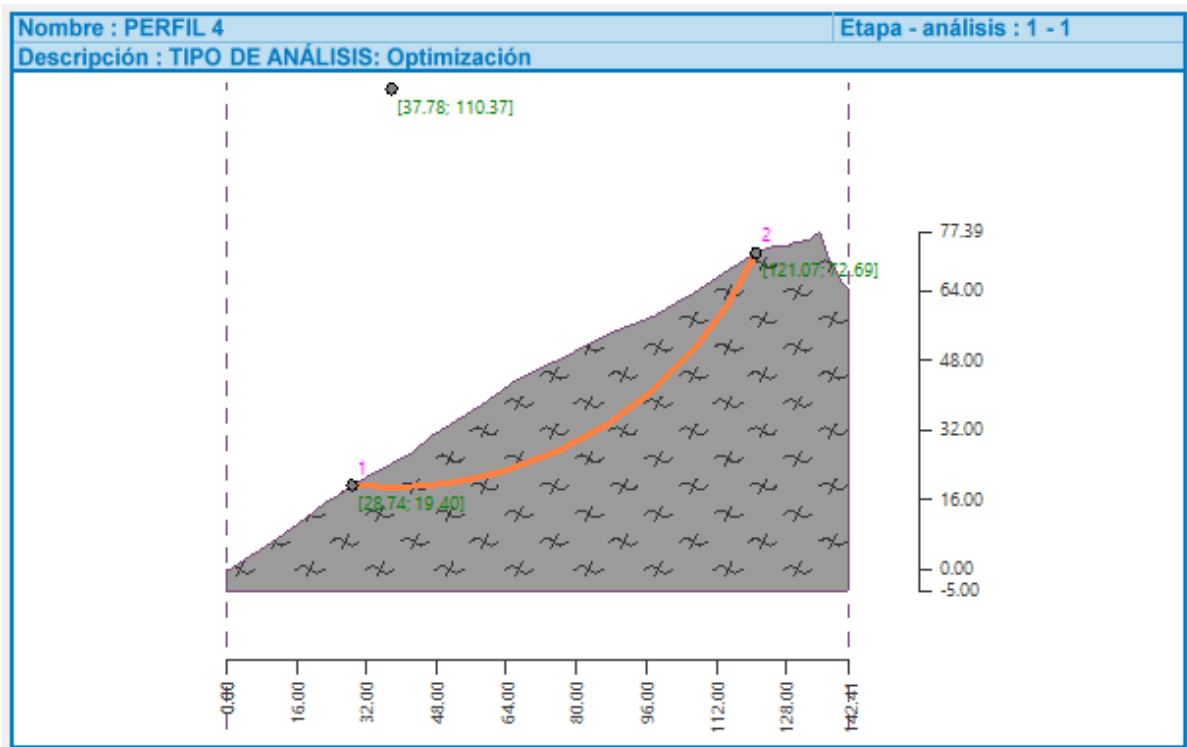


Figura 4.10: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".

Fuente: Autor.

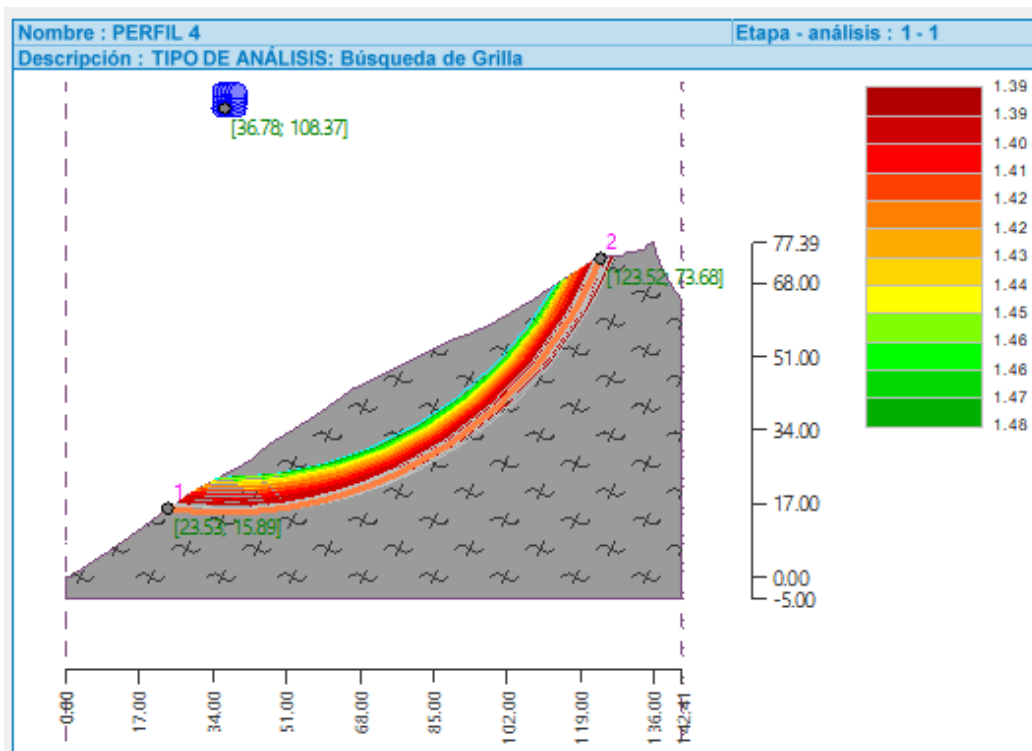


Figura 4.11: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA"

Fuente: Autor.

Tabla 4.12: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) perfil 4.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 12226.99 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 17291.54 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 1117759.06 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1580746.16 [kNm/m]

Factor de seguridad= 1.41 < 1.5

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 37.78 [m] y Z= 110.37 [m] y radio R= 91.42 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.5. PERFIL 5

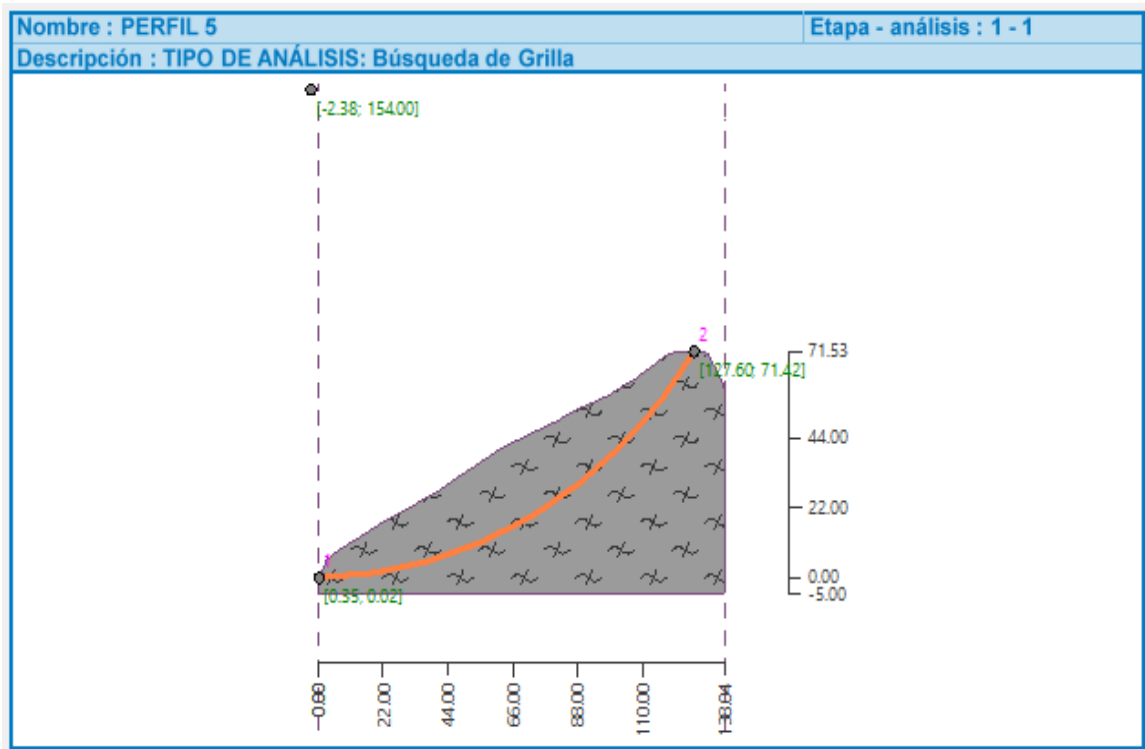


Figura 4.12: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".

Fuente: Autor.

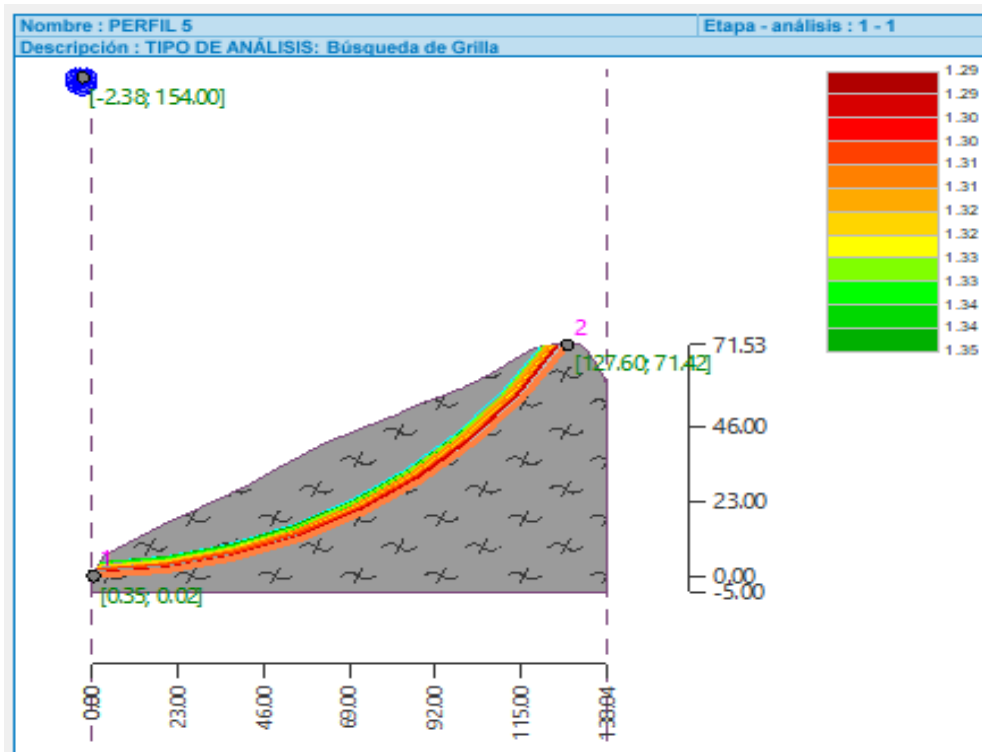


Figura 4.13: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.
Fuente: Autor.

Tabla 4.13: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 5.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 22326.28 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 28720.83 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 3396595.46 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 4365566.22 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.29 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 37.78 [m] y Z= 110.37 [m] y radio R= 91.42 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.6. PERFIL 6

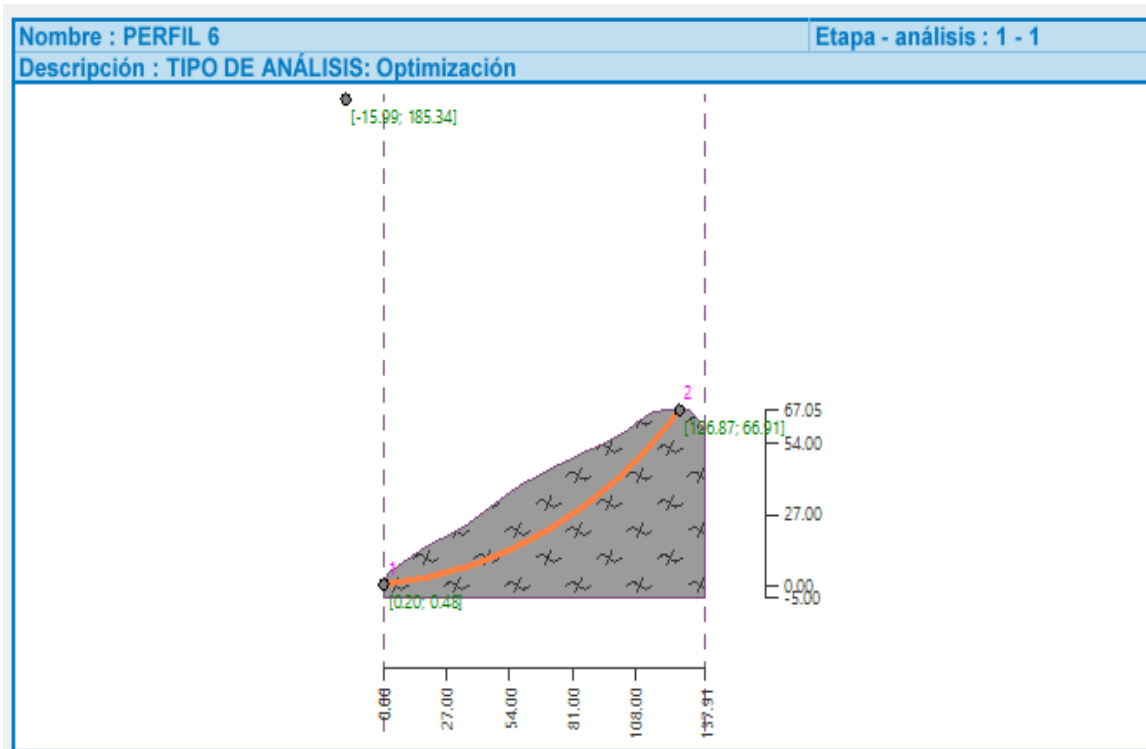


Figura 4.14: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

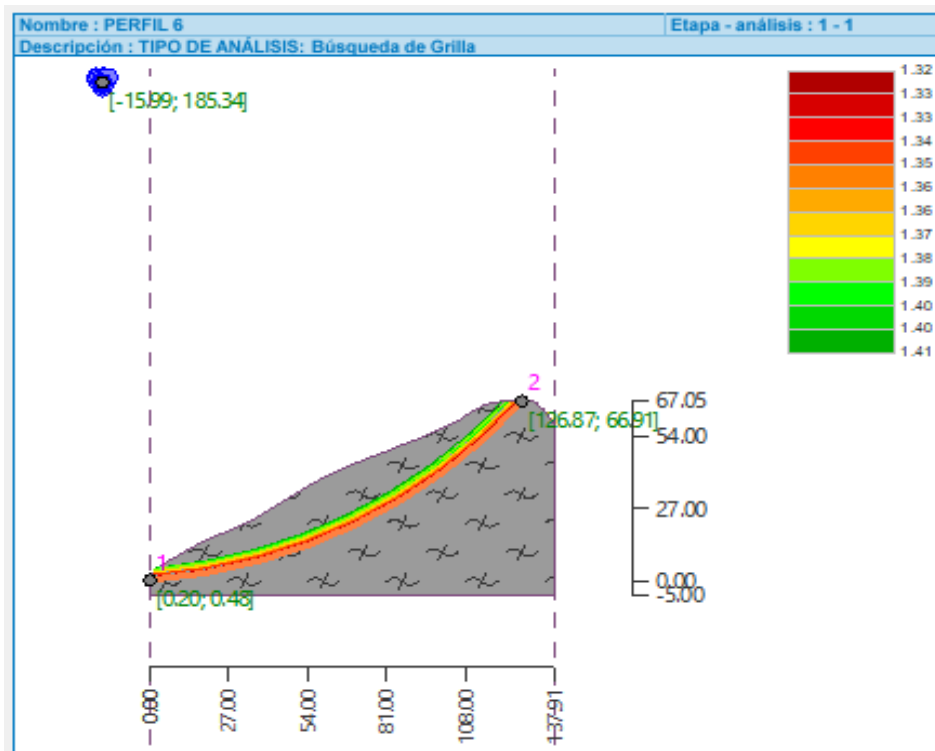


Figura 4.15: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.14: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 6
Fuente: Autor

Suma de fuerzas activas	Fa= 19169.17 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 25293.19 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 3557223.7 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 4693657.91 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.32 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 37.78 [m] y Z= 110.37 [m] y radio R= 91.42 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.7. PERFIL 7

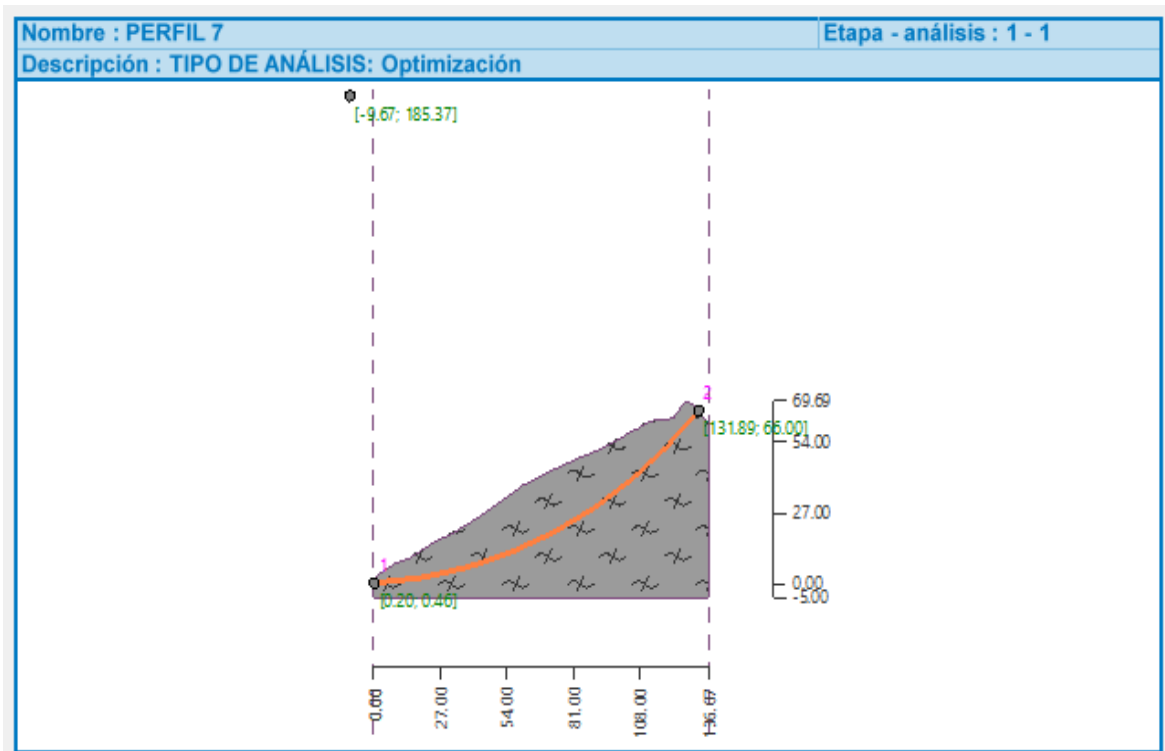


Figura 4.16: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

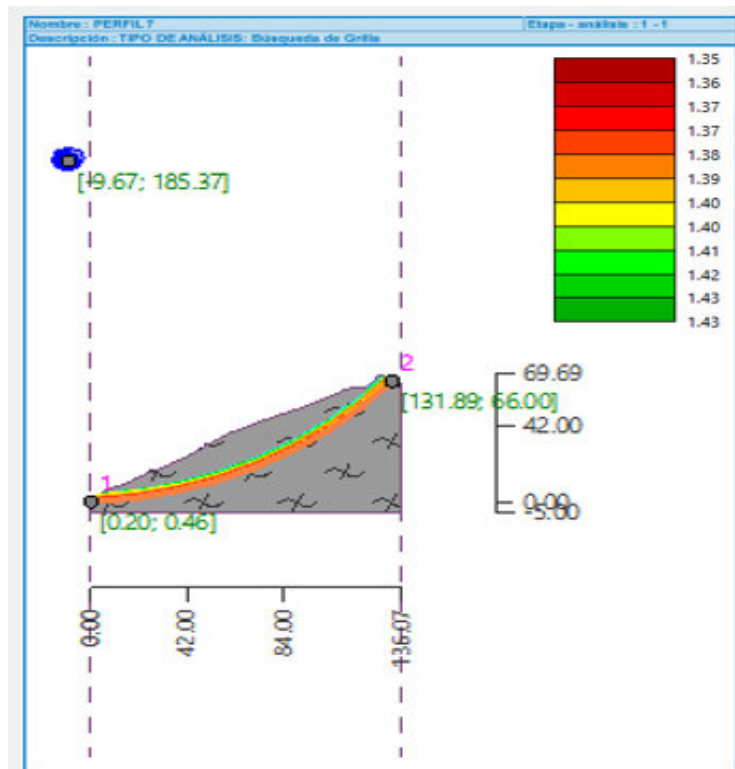


Figura 4.17: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.
Fuente: Autor.

Tabla 4.15: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 7.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 19940.48 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 26878.79 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 3692379.3 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 4977145.77 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.35 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= -9.67 [m] y Z= 185.37 [m] y radio R= 185.17 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.8. PERFIL 8

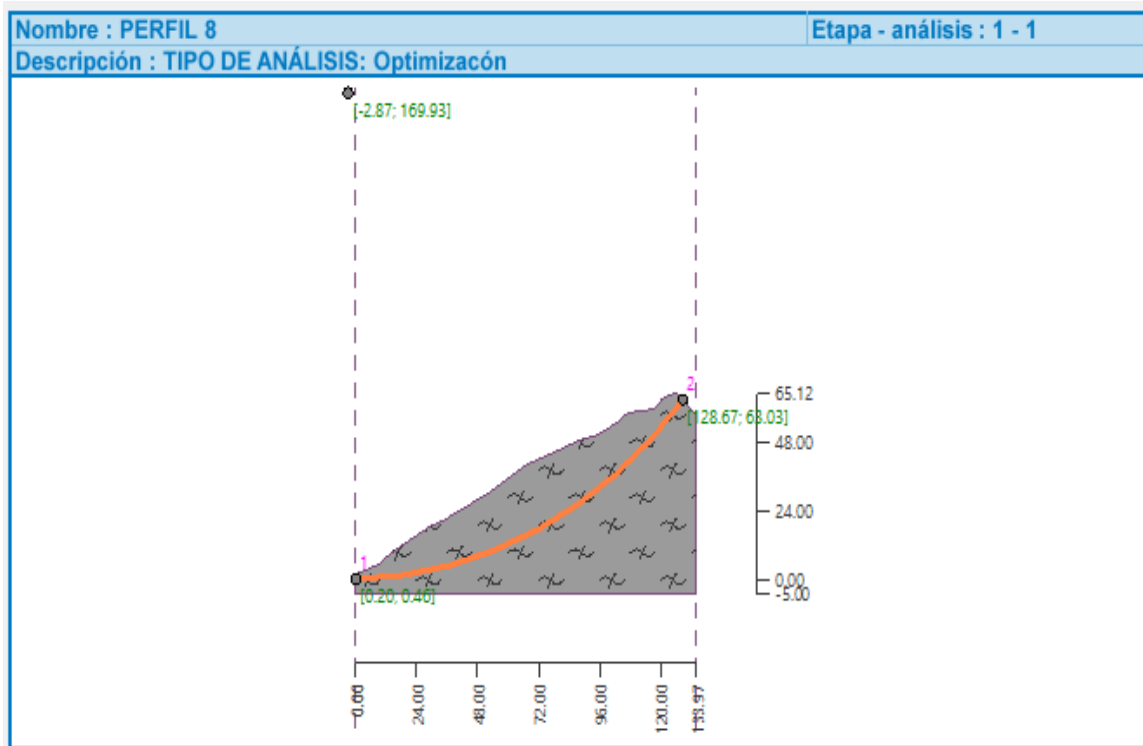


Figura 4.18: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".

Fuente: Autor.

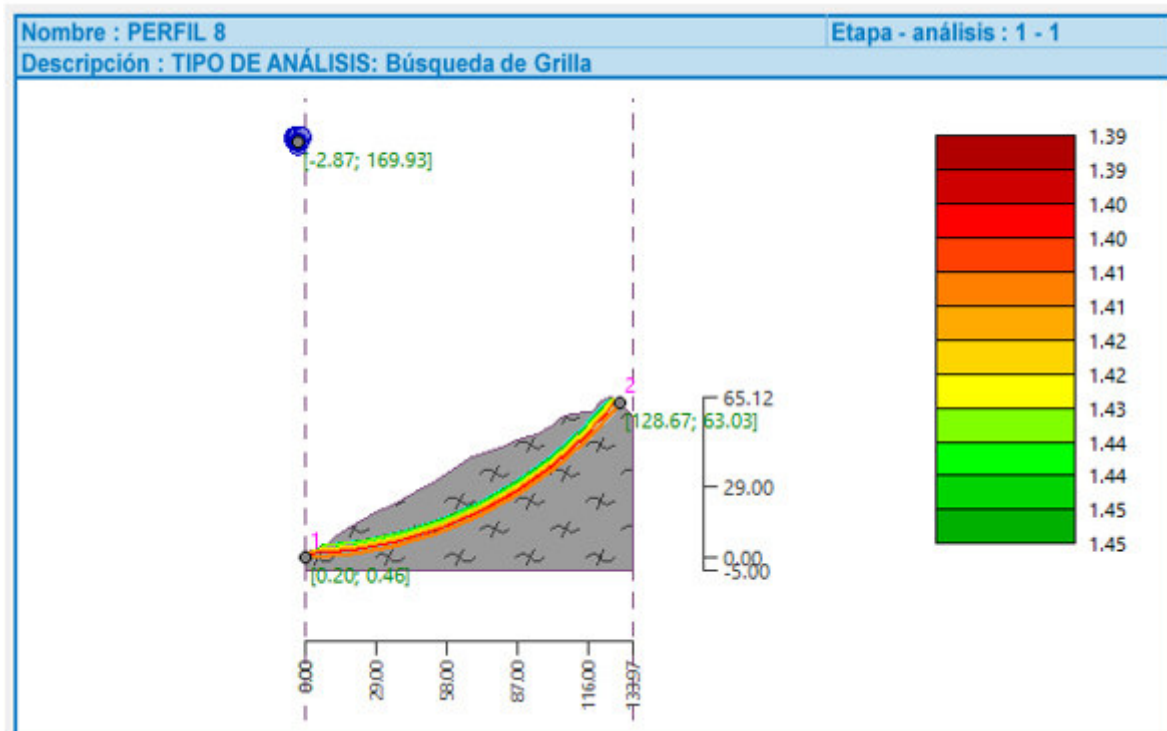


Figura 4.19: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".

Fuente: Autor.

Tabla 4.16: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 8.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 18950.25 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 26315.83 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 3212066.55 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 4460532.39 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.39 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= -2.87 [m] y Z= 169.93 [m] y radio R= 169.5 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**.

4.4.9. PERFIL 9

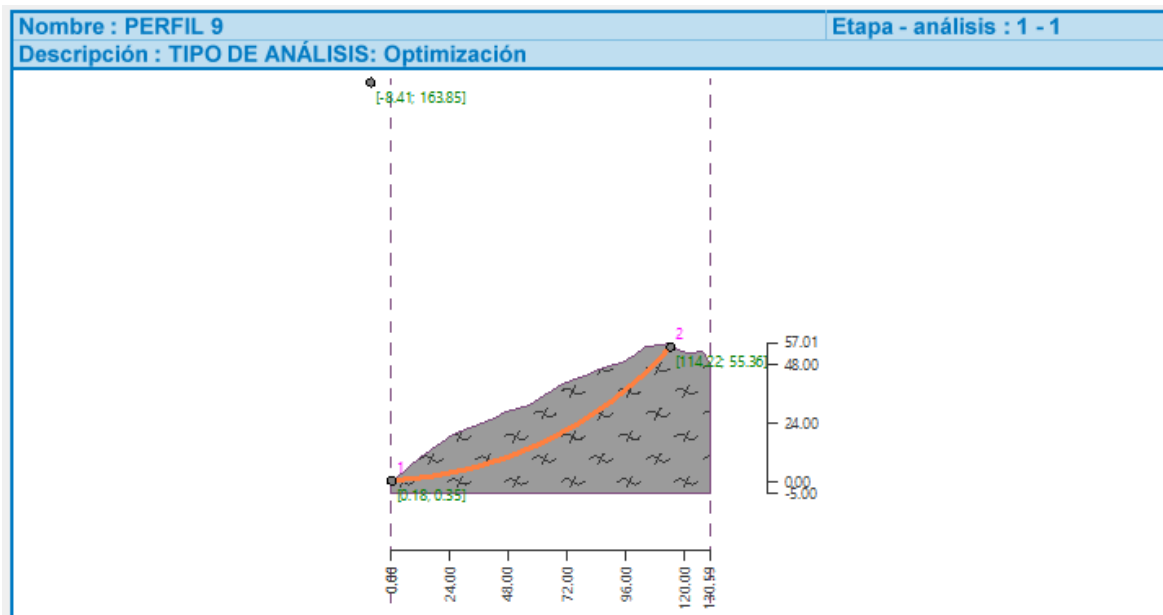


Figura 4.20: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".

Fuente: Autor.

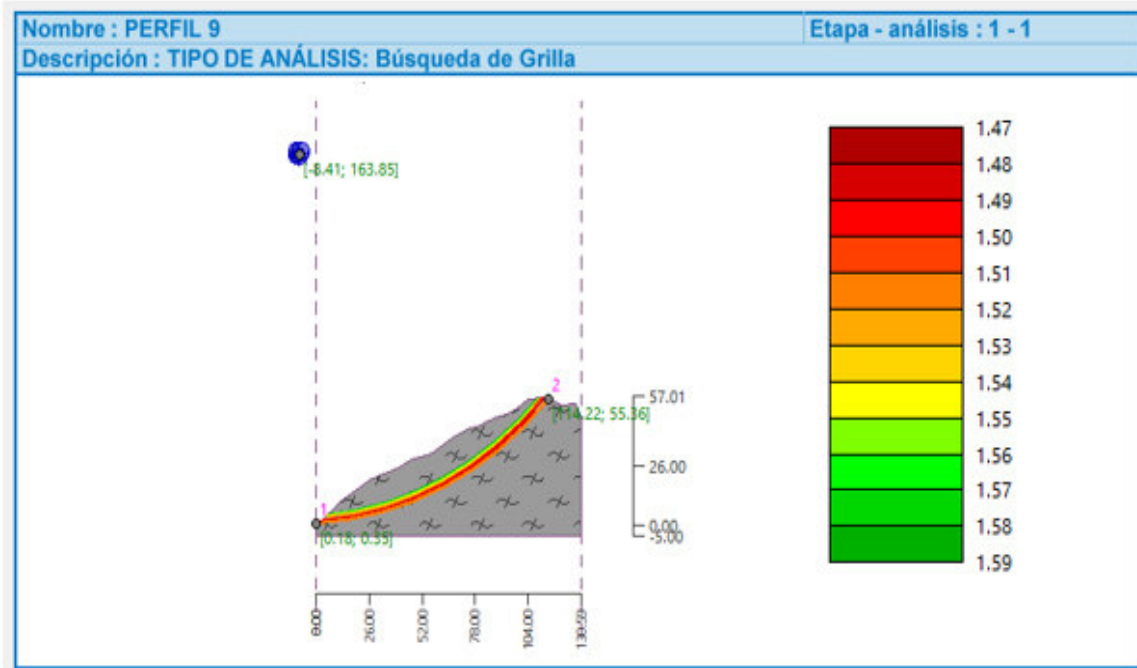


Figura 4.21 SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.17: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 9.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 14451.48 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 21177.11 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 2366140.01 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 3467327.85 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.47 < 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= -8.41 [m] y Z= 163.85 [m] y radio R= 163.73 [m]

Estabilidad del talud **NO ACEPTABLE**

4.4.10. PERFIL 10

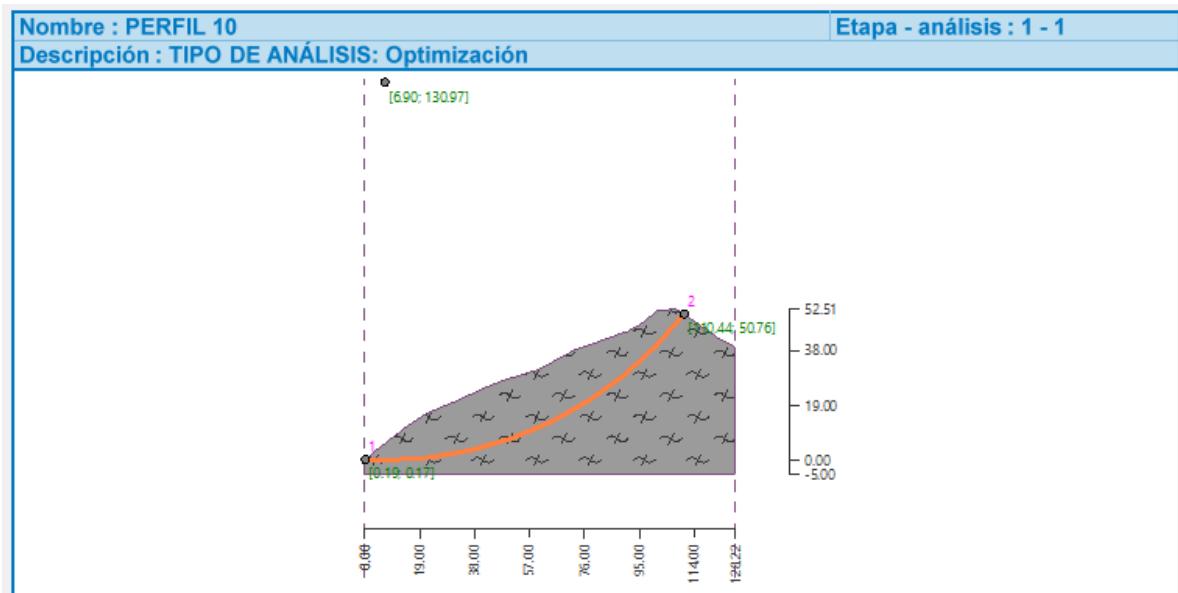


Figura 4.22: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

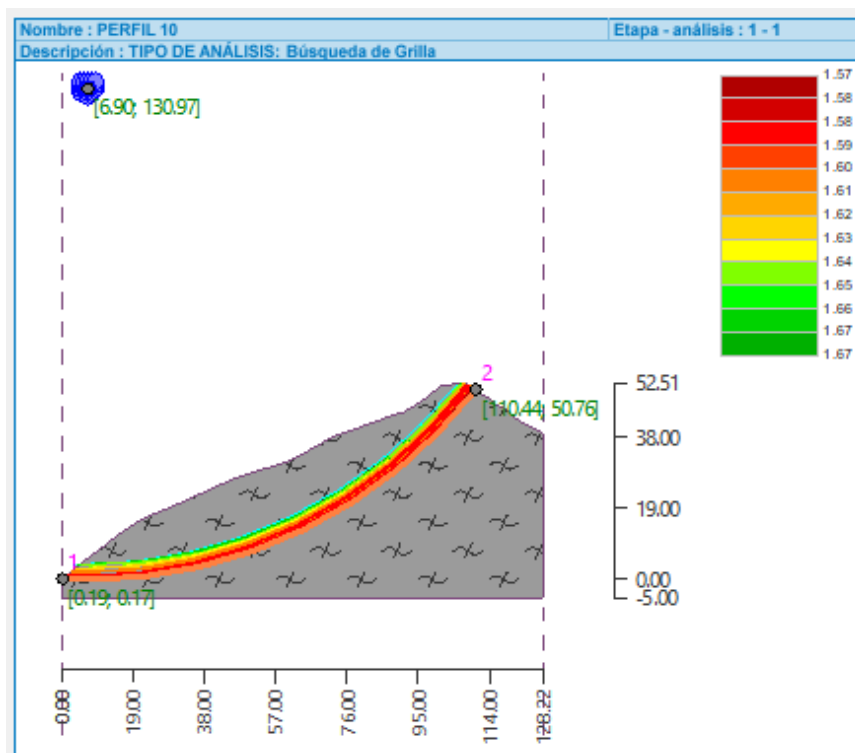


Figura 4.23: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.18: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 10.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 14159.56 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 22241.66 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 1854477.97 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 2912990.55 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.57 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 6.9 [m] y Z= 130.97 [m] y radio R= 130.97 [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**.

4.4.11. PERFIL 11

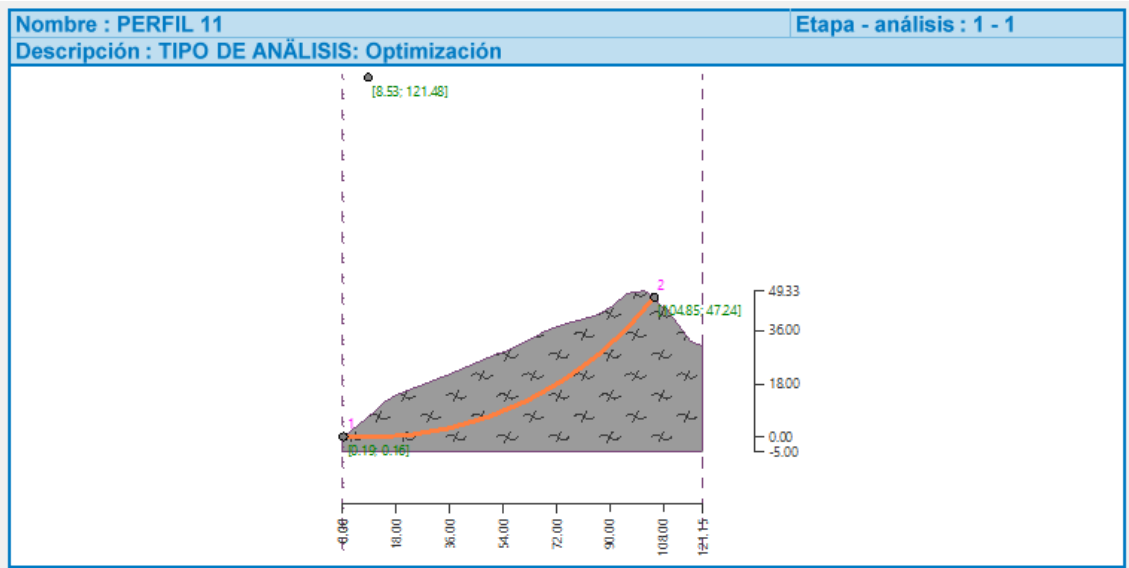


Figura 4.24: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

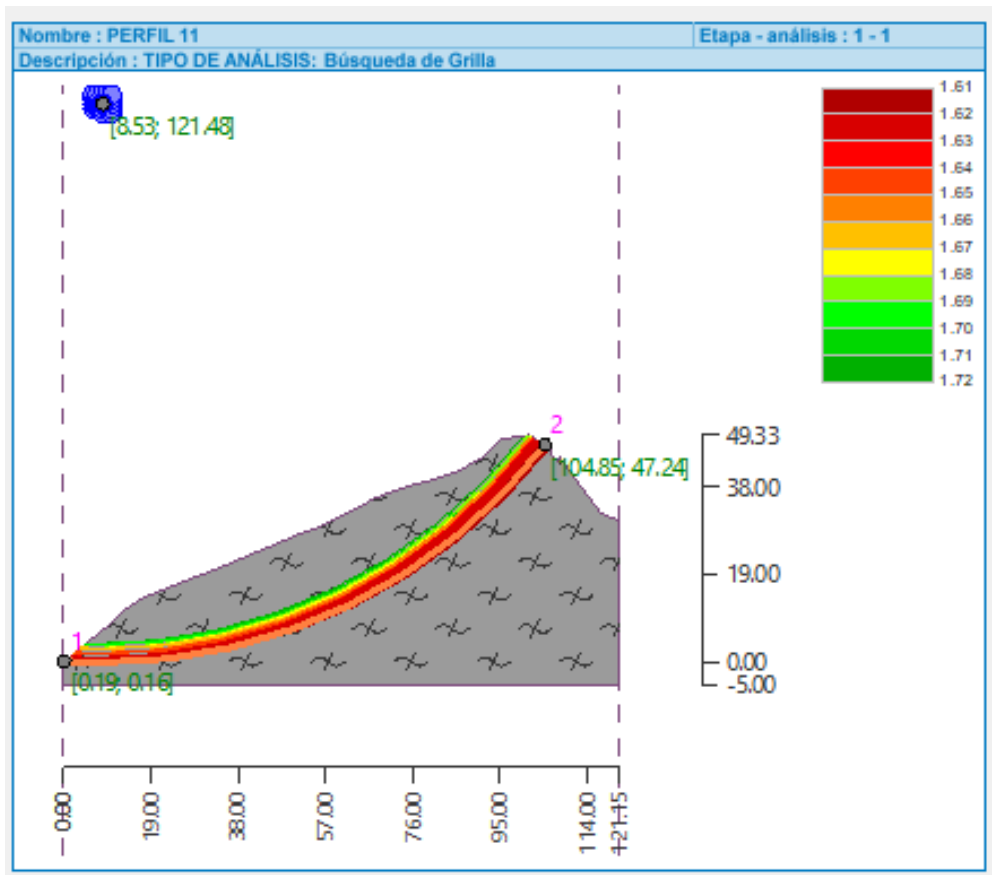


Figura 4.25: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.

Fuente: Autor

Tabla 4.19: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 11.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 12802.21 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 20628.03 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 1556876.7 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 2508574.25 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.61 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 8.53 [m] y Z= 121.48 [m] y radio R= 121.61 [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**.

4.4.12. PERFIL 12

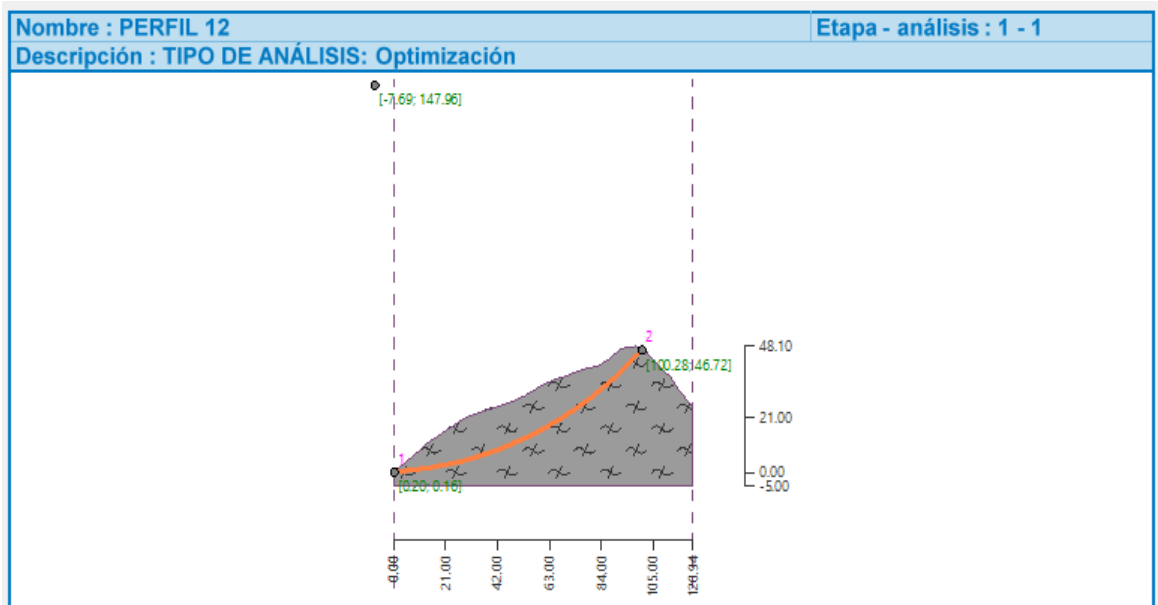


Figura 3.26: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

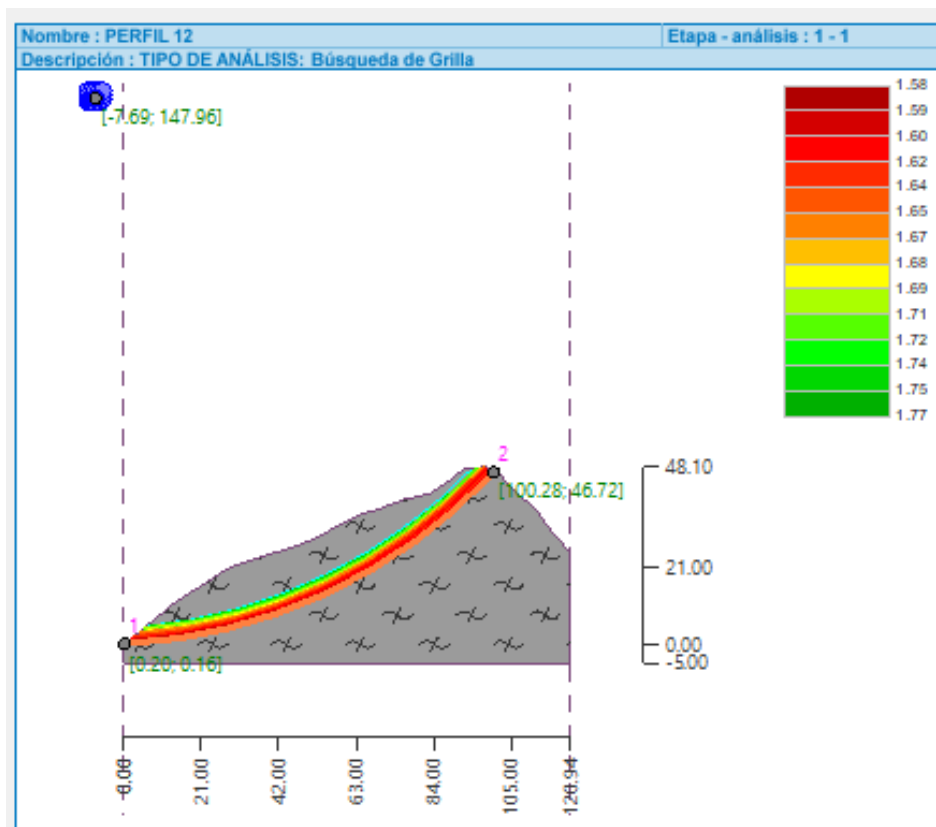


Figura 3.27: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.20: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 12.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 10678.1 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 16850.85 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 1580465.197 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 2494093.75 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.58 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= -7.69 [m] y Z= 147.96 [m] y radio R= 148.01 [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.4.13. PERFIL 13

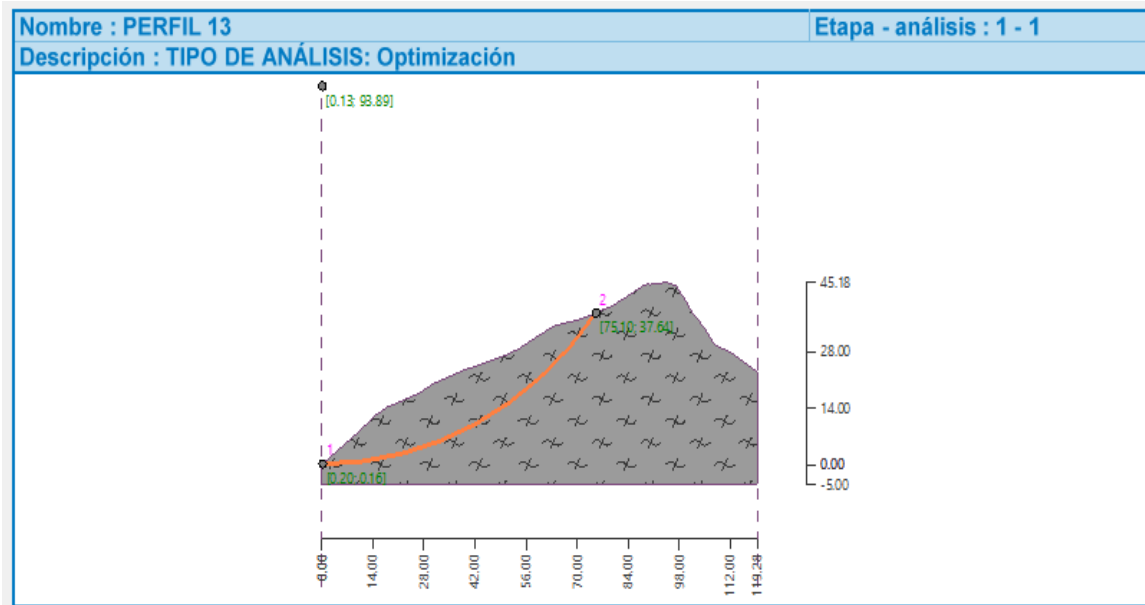


Figura 3.28: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

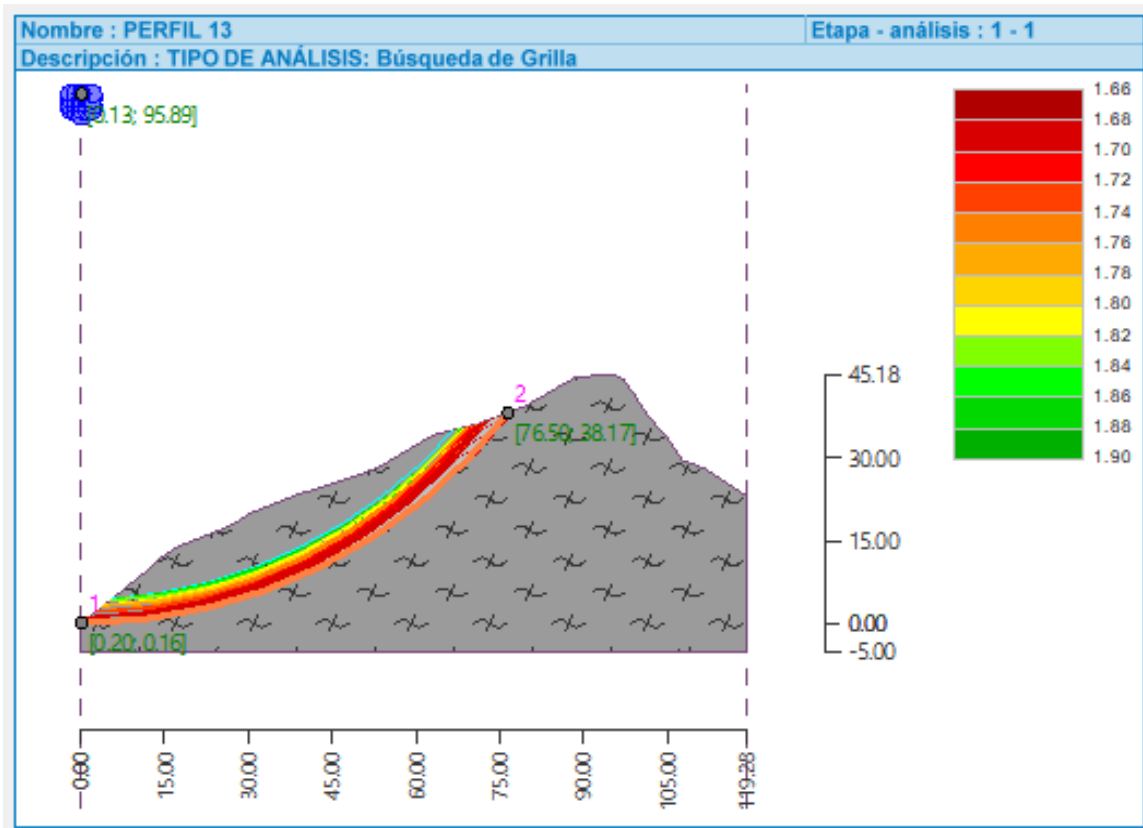


Figura 3.29: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.
Fuente: Autor.

Tabla 4.21: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 13.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	$F_a = 6753.91$ [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	$F_p = 11190.26$ [kNm/m]
Momento de deslizamiento	$M_a = 633043.63$ [kNm/m]
Momento estabilizador	$M_p = 1048863.22$ [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.66 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en $X = 0.13$ [m] $Z = 93.89$ [m] y radio $R = 93.73$ [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.4.14. PERFIL 14

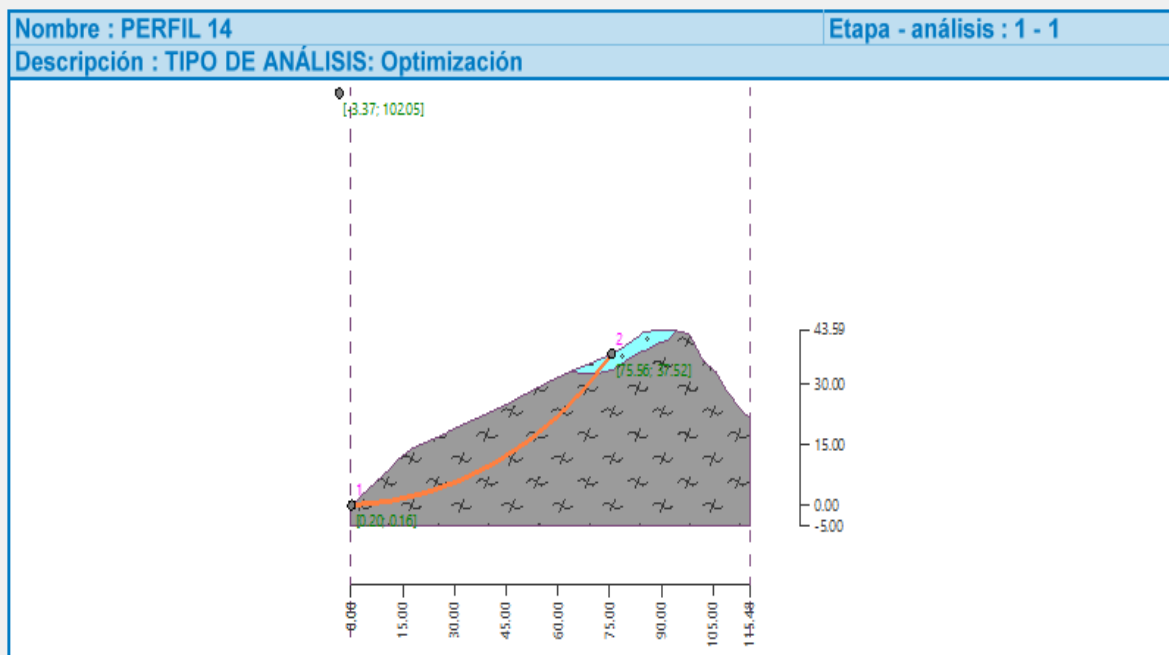


Figura 3.30: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

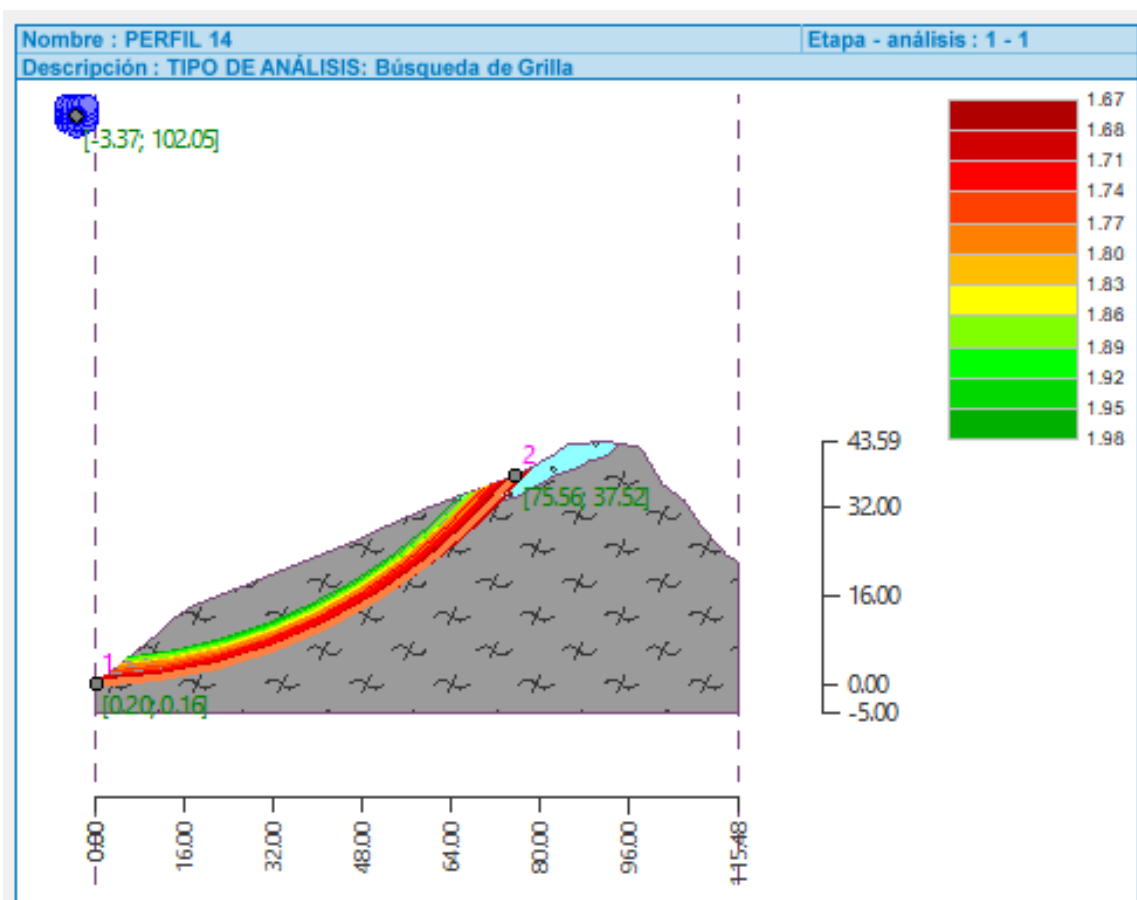


Figura 3.31: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".

Fuente: Autor.

Tabla 4.22: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 14.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 6284.13 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 10492.08 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 640666.97 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 106966.73 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.67 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= -3.37 [m] y Z= 102.05 [m] y radio R= 101.95 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.4.15. PERFIL 15

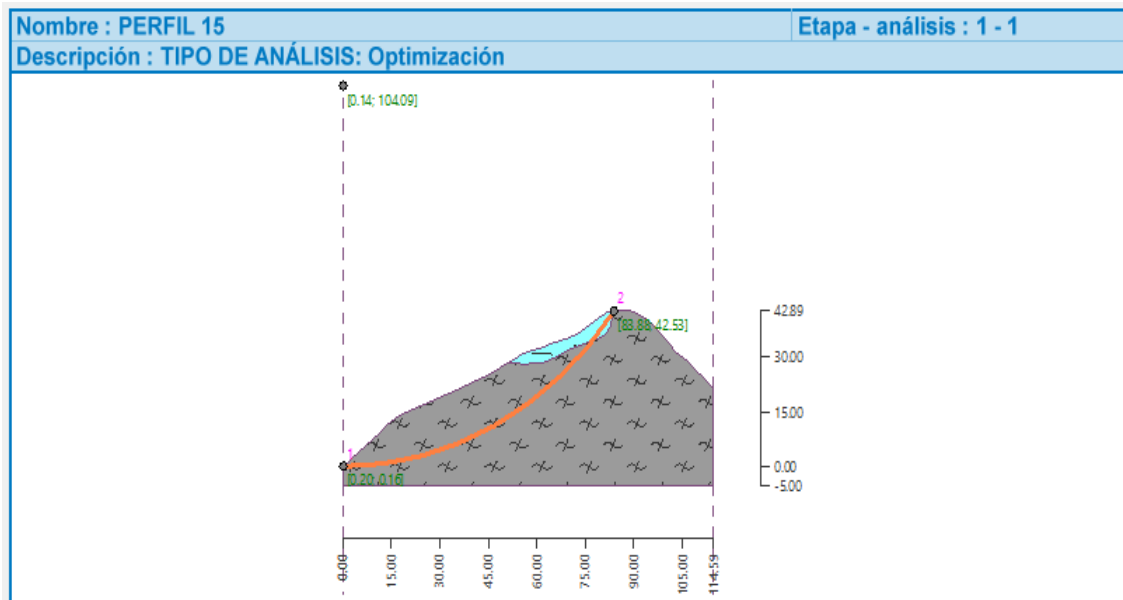


Figura 4.32: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".

Fuente: Autor.

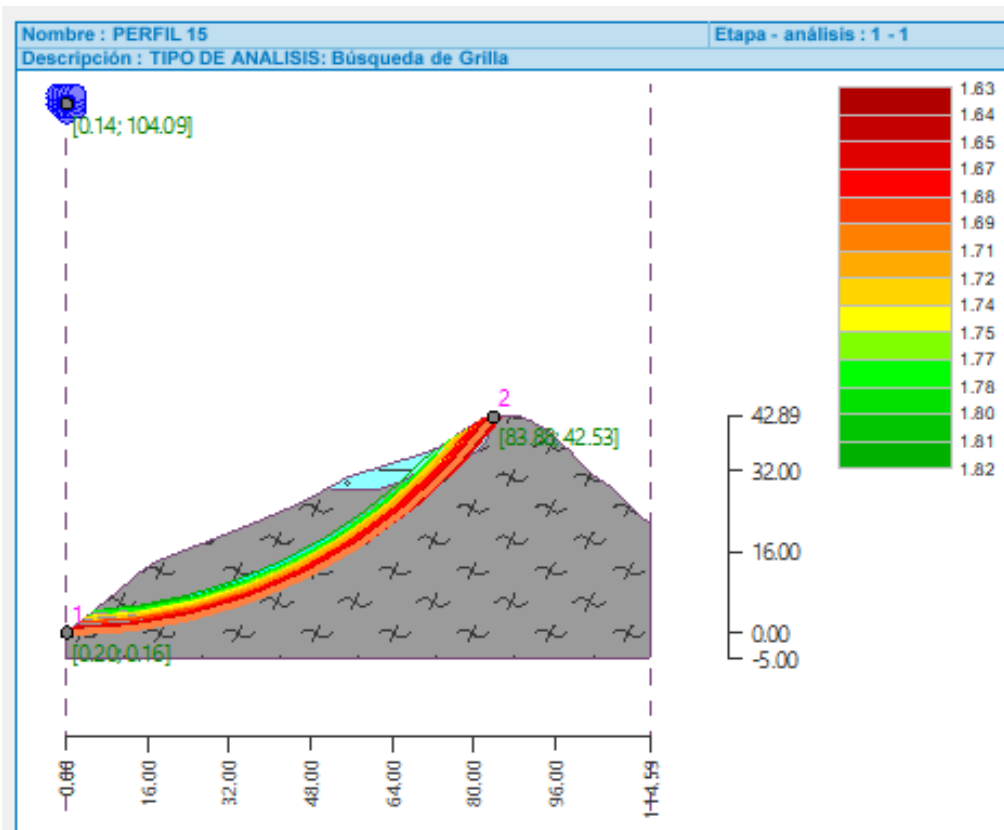


Figura 4.33: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.23: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 15.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 7601.42m [kN/]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 12380.44 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 790015.73 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 128669935 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.63 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 0.14 [m] y Z=104.09 [m] y radio R= 103.93 [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.4.16. PERFIL 16

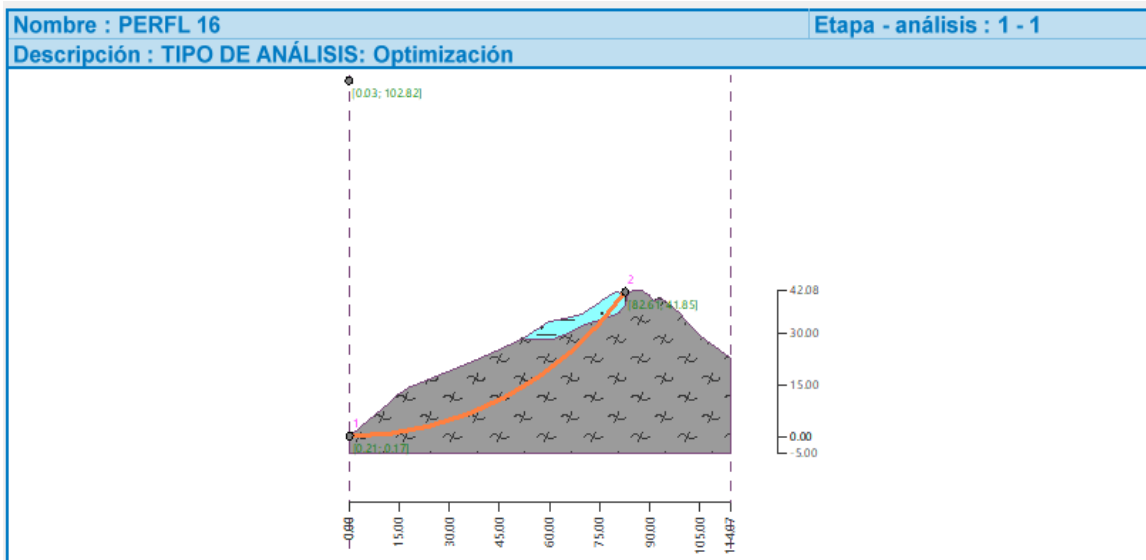


Figura 4.34: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

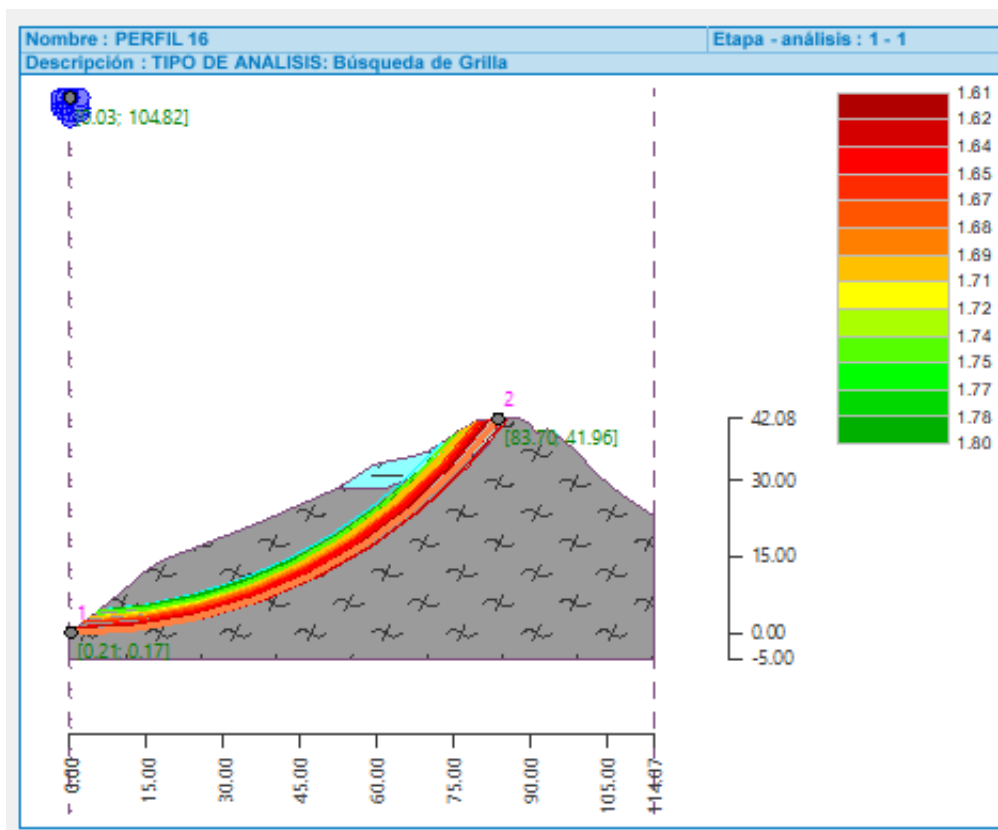


Figura 4.35: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA".
Fuente: Autor.

Tabla 4.24: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 16
Fuente: Autor

Suma de fuerzas activas	Fa= 7579.35 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 12201.5 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 778020.72 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1252483.66 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.61 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 0.03 [m] y Z=102.82 [m] y radio R= 102.65 [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.4.17. PERFIL 17

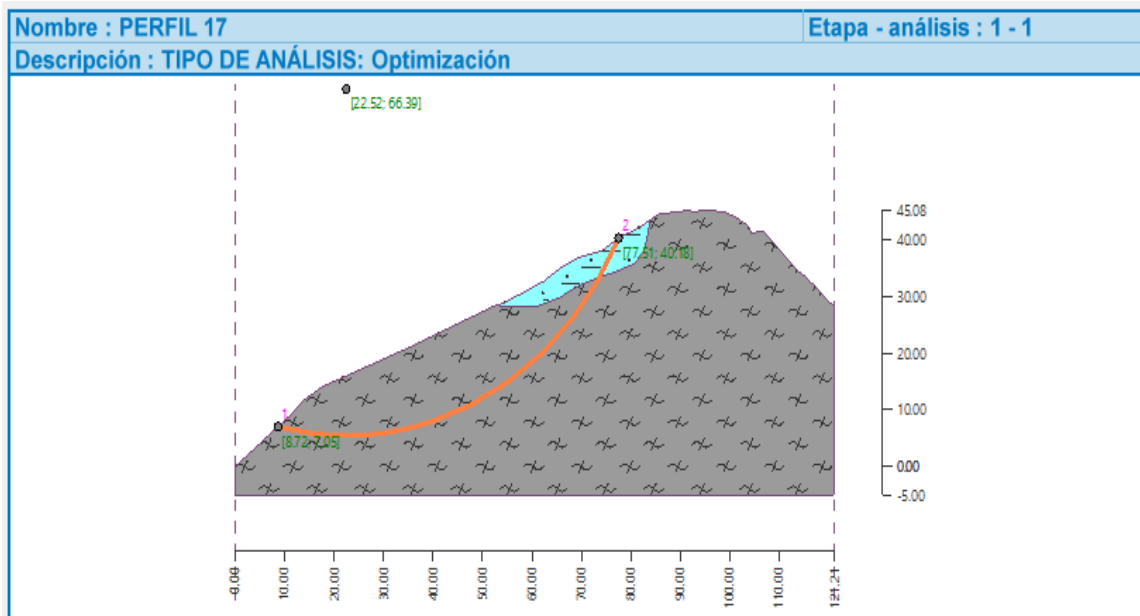


Figura 4.36: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN".
Fuente: Autor.

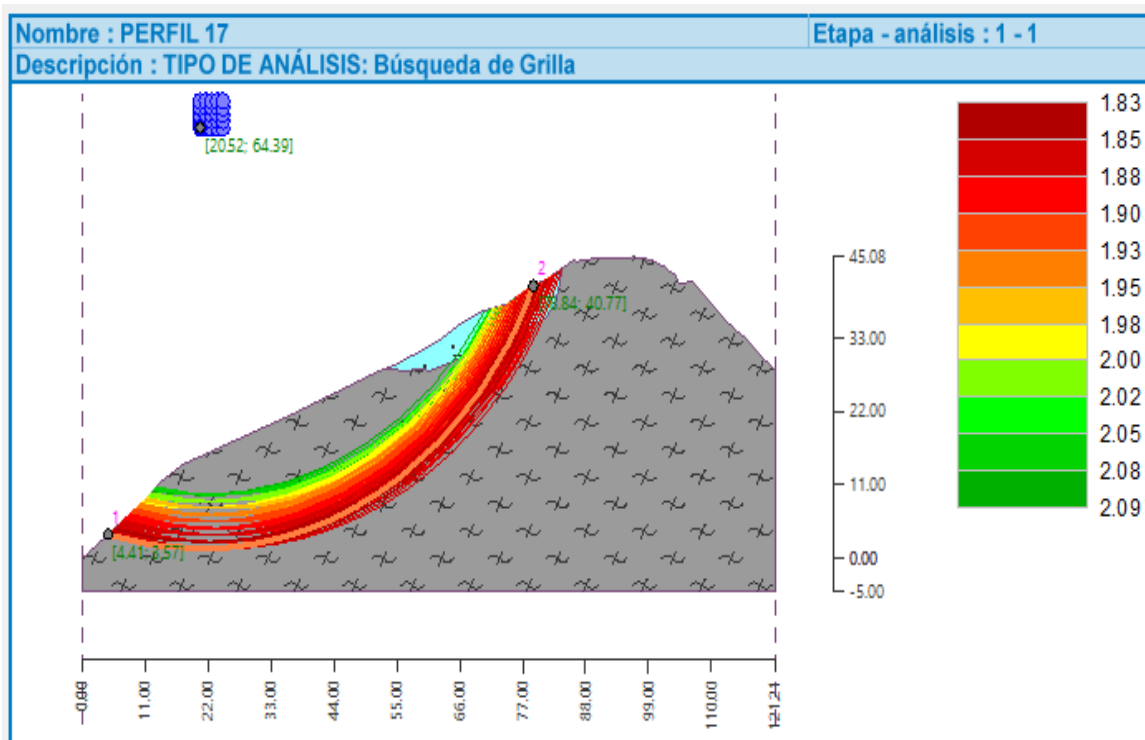


Figura 4.37: SFC-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”.
Fuente: Autor.

Tabla 4.25: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 17.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 5676.82 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 10913.79 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 345848.8 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 664900.15 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.92 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 22.52 [m] y Z= 66.39 [m] y radio R= 60.92 [m]

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**.

4.4.18. FACTORES DE SEGURIDAD CALCULADOS.

A continuación, se detalla los factores de seguridad calculados y estabilidad de cada uno de los perfiles:

Tabla 4.26: Factores de seguridad del método de BISHOP.

Fuente: Autor.

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD	ESTABILIDAD
1	0.83	NO OK
2	0.65	NO OK
3	0.85	NO OK
4	1.41	NO OK
5	1.29	NO OK
6	1.32	NO OK
7	1.35	NO OK
8	1.39	NO OK
9	1.47	NO OK
10	1.57	OK
11	1.61	OK
12	1.58	OK
13	1.66	OK
14	1.67	OK
15	1.63	OK
16	1.61	OK
17	1.92	OK

4.5. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

En los perfiles cuyo FS es menor a 1.5, es necesario realizar la modificación del talud por medio de terrazas calculadas en función de las pendientes típicas para taludes en corte.

4.5.1. TERRAZAS

Las terrazas, denominadas también como bermas intermedias, cuando son construidas en la zona alta de un talud permiten controlar el movimiento y reducir el momento actuante, el proceso inverso ocurre si se construyen bermas al pie del talud. Cuando se disminuye la carga en un talud se reducen las fuerzas actuantes en la zona más crítica, lo que permite que el plano de falla (círculo crítico) se profundice y alargue, producto de esto el FS aumenta.

Para el diseño de bermas o terrazas, es necesario el uso de las pendientes típicas de corte (*tabla 4.27*), con el fin de diseñar bermas lo suficientemente estables, para que el FS del talud terracedo aumente considerablemente y se lo catalogue como estable (Suárez, 1998).

Tabla 4.27: Pendientes típicas para taludes en cortes.

Fuente: Adaptado de Japan Road Association, 1984.

MATERIAL	PROPIEDADES	ALTURA DEL CORTE (m)	PENDIENTE SUGERIDA
Roca dura			0.3H:1V a 0.8H:1V
Roca blanda			0.5H:1V a 1.2H:1V
Arena	Poco densa		1.5H:1V a 2H:1V
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5	0.8H:1V a 1H:1V
		5 a 10	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco denso	Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V
Mezcla de arena con grava o masas de roca	Densa	Menos de 10	0.8H:1V a 1H:1V
		10 a 15	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos		0 a 10	0.8H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masas de roca o bloques		Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V

4.5.2. PERFIL 1 ESTABILIZADO

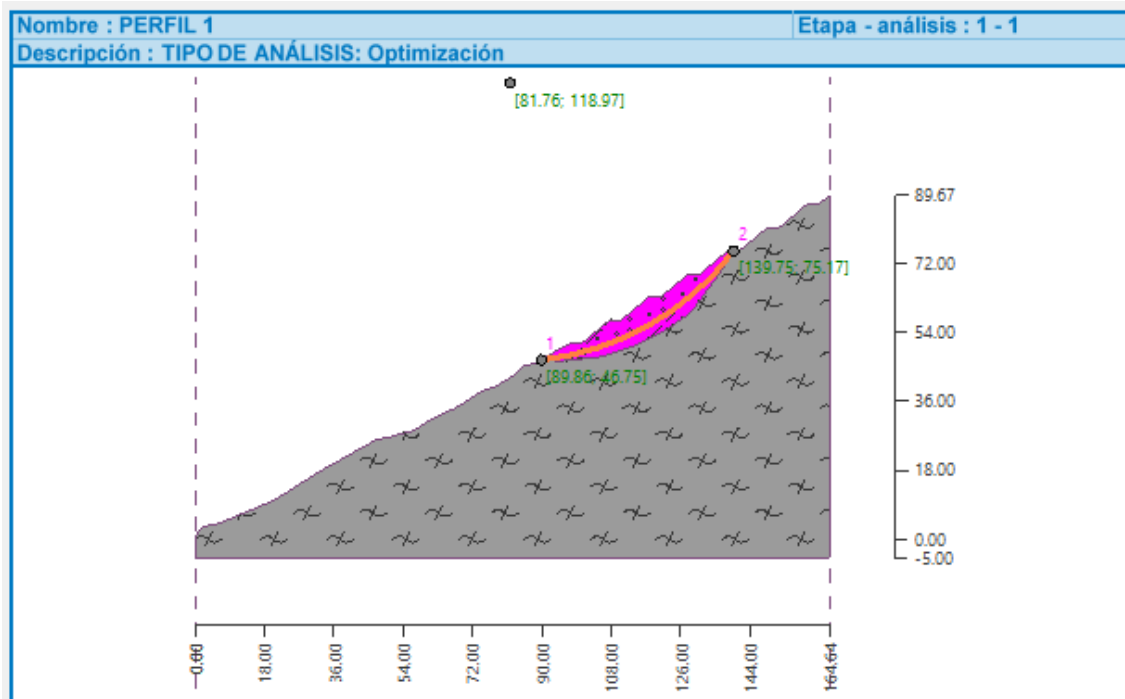


Figura 4.38: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

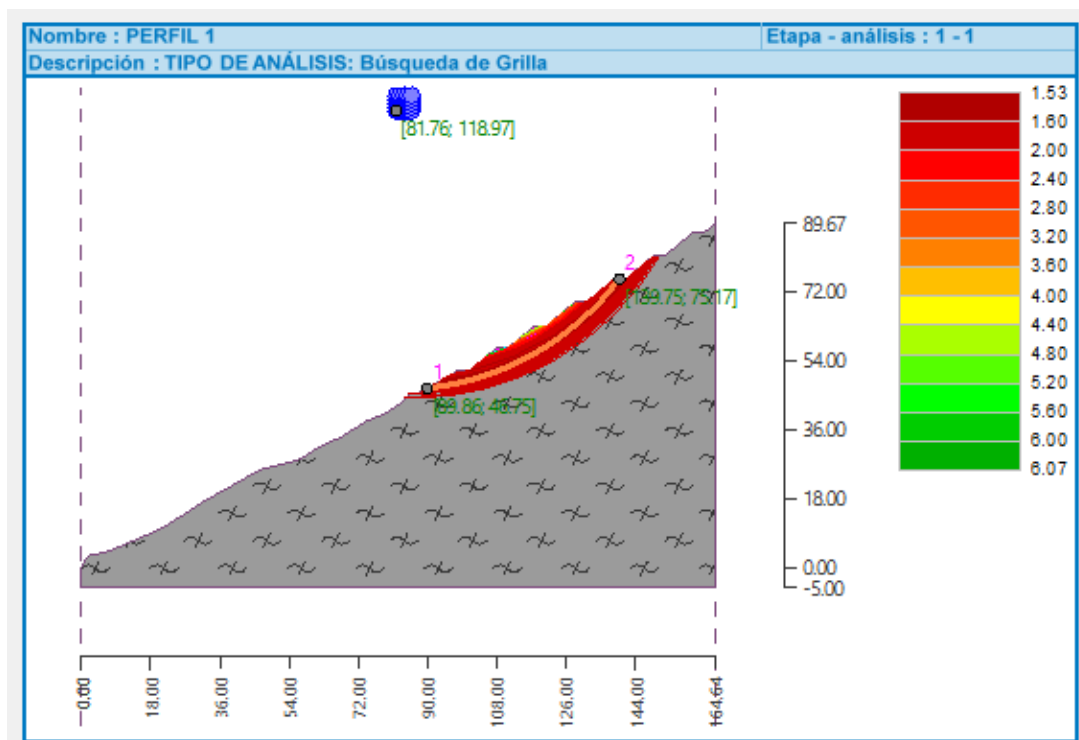


Figura 4.39: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.28: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 1 ESTABILIZADO.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 1978.91 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 3034.01 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 143807.4 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 220481.5 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.53 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 81.76 [m] y Z= 118.97 [m] y radio R= 72.67 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.3. PERFIL 2 ESTABILIZADO

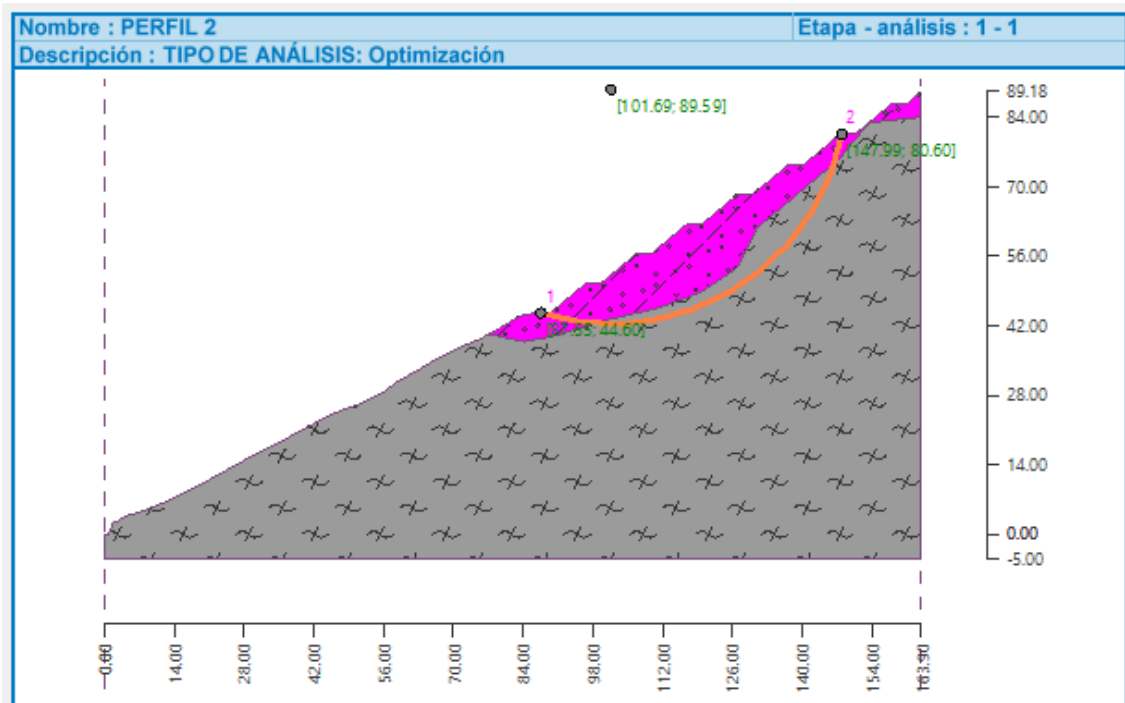


Figura 4.40: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA"
(Inclinación de la terraza 1.2H:1V).
Fuente: Autor.

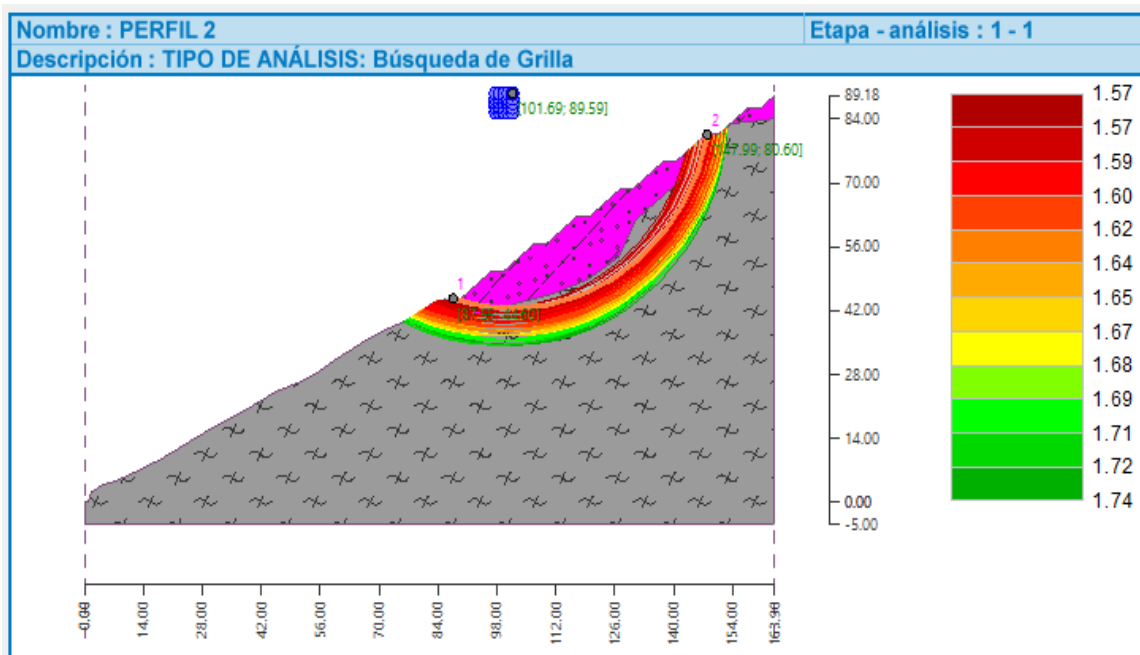


Figura 4.41: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA” (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.29: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 2 ESTABILIZADO.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 6158.45 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 9651.19 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 290432.38 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 455150.21 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.57 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 101.69 [m] y Z= 89.59 [m] y radio R= 47.16 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.4. PERFIL 3 ESTABILIZADO

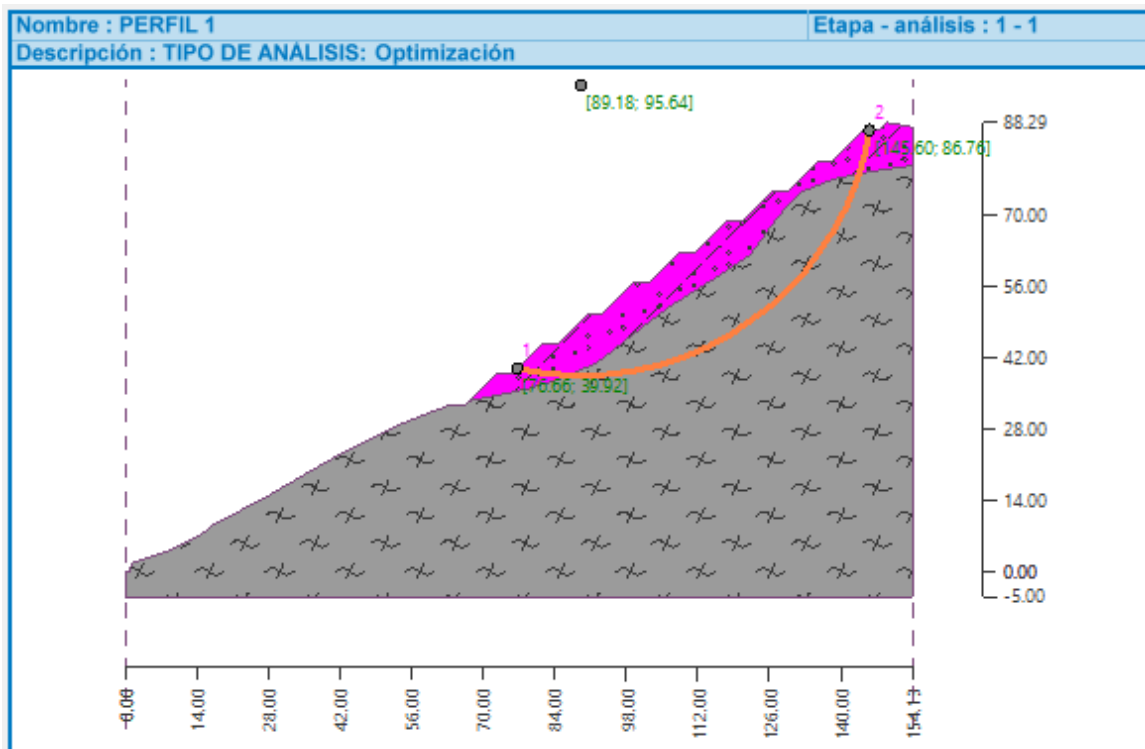


Figura 4.42: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

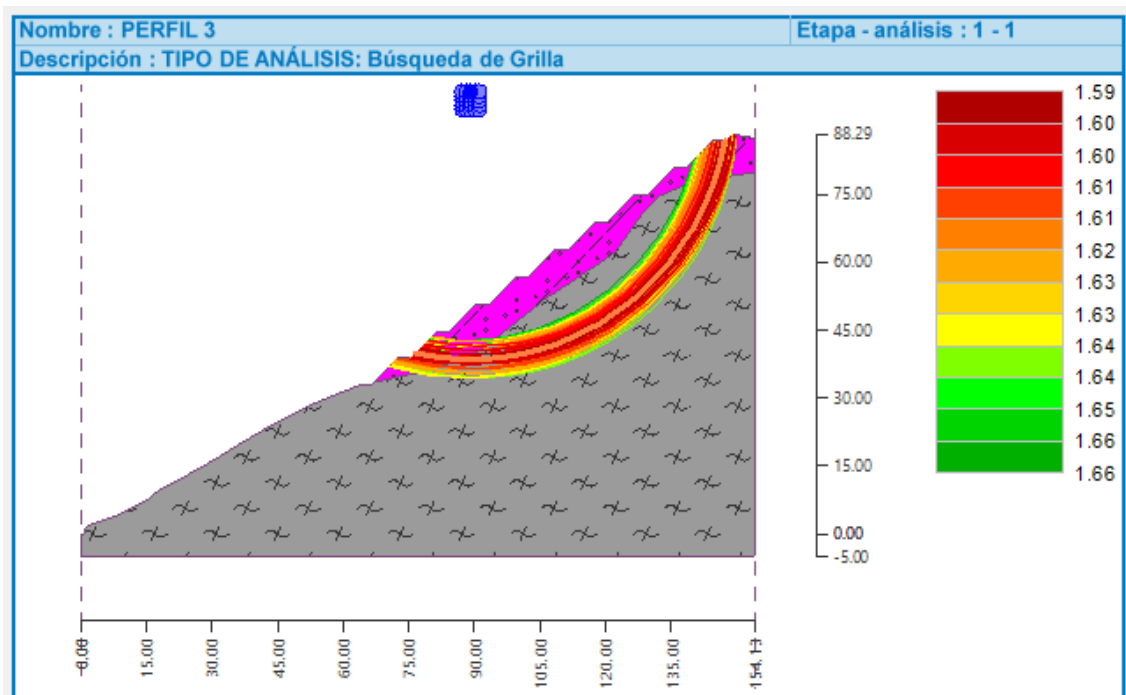


Figura 4.43: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.30: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 3 ESTABILIZADO.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 9920.41 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 15958.98 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 566554.61 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 911417.61 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.61 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 89.18 [m] y Z= 95.64 [m] y radio R= 157.11 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.5. PERFIL 4 ESTABILIZADO

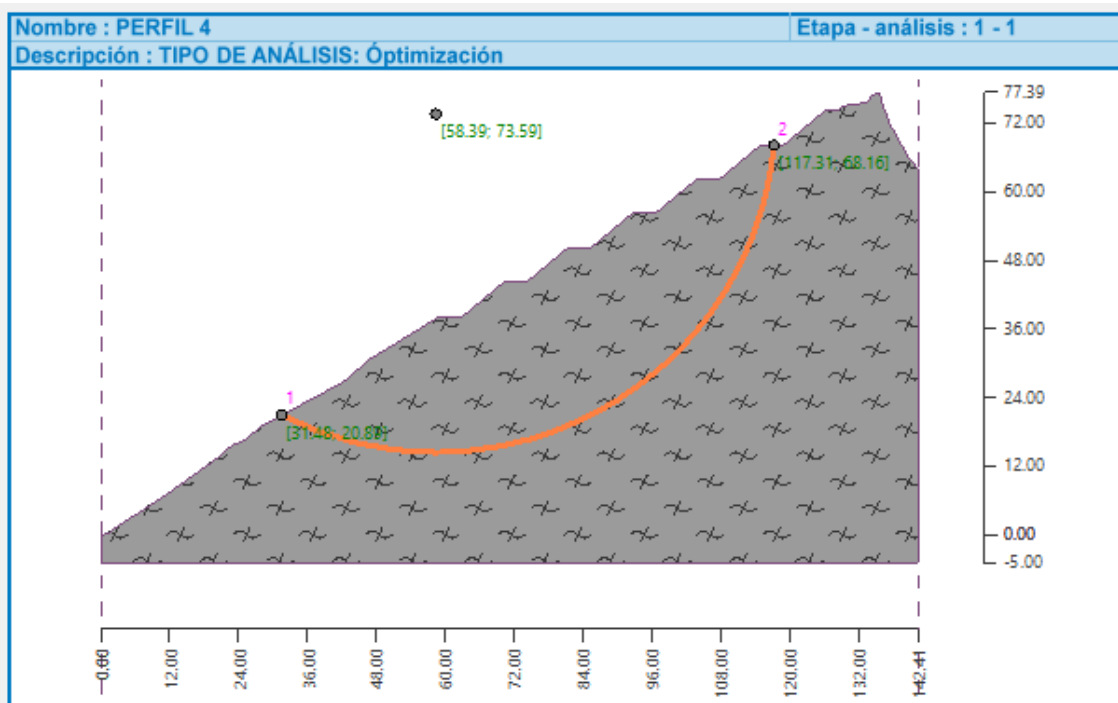


Figura 4.44: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

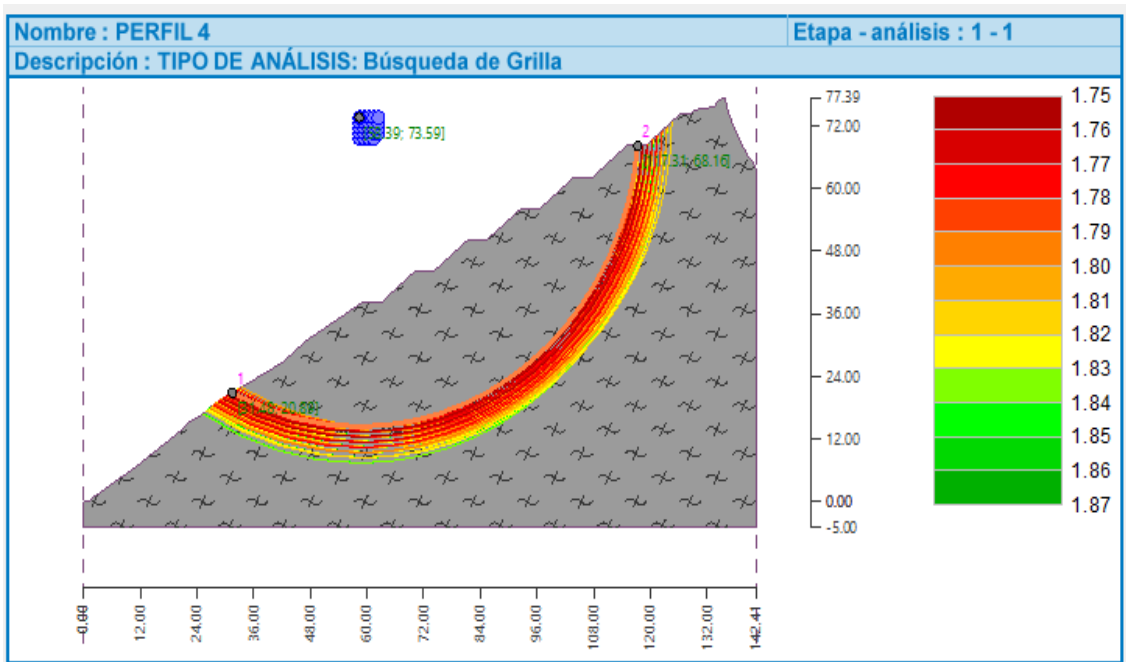


Figura 4.45: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA” (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).
Fuente: Autor.

Tabla 4.31: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 4 ESTABILIZADO.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 14127.69 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 24670.54 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 835935.57 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1459756.01 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.75 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 58.39 [m] y Z= 73.59 [m] y radio R= 59.17 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.6. PERFIL 5 ESTABILIZADO

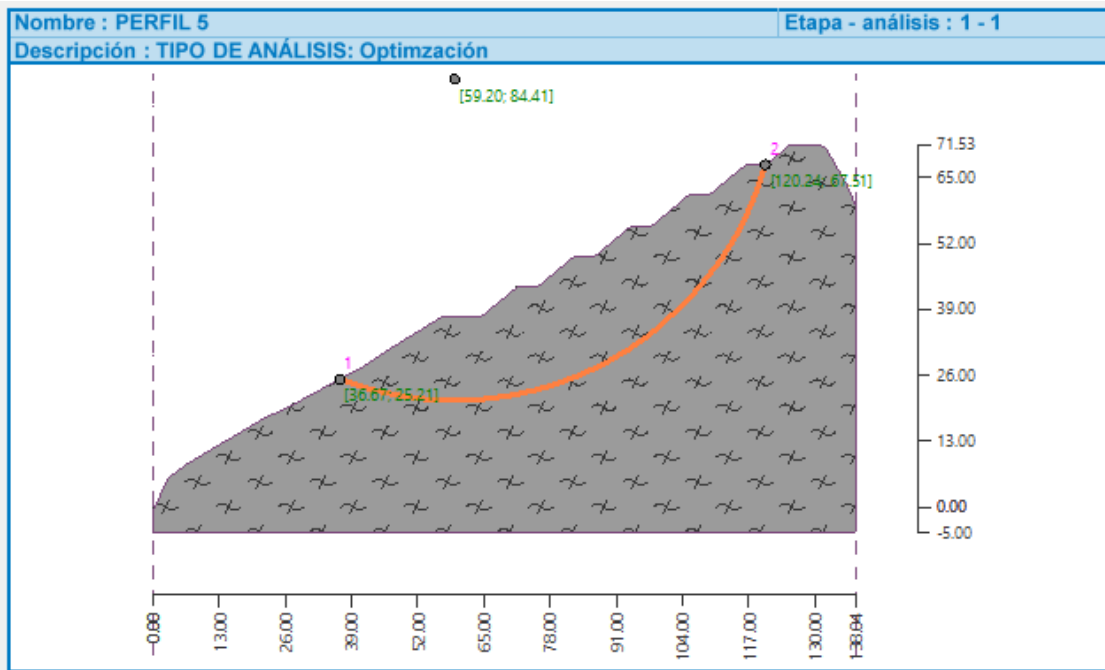


Figura 4.46: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

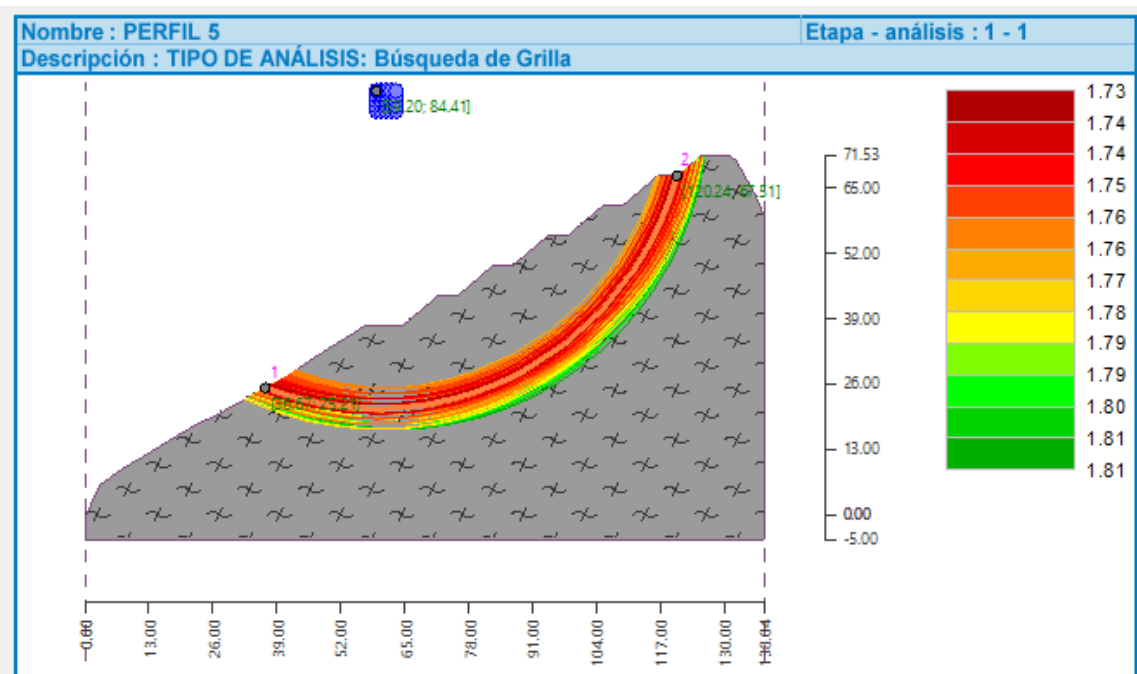


Figura 4.47: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.32: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 5 ESTABILIZADO.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 10859.33 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 18809.78 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 687829.74 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1191411.74 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.73 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 59.20 [m] y Z= 84.41 [m] y radio R= 63.34 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**.

4.5.7. PERFIL 6 ESTABILIZADO

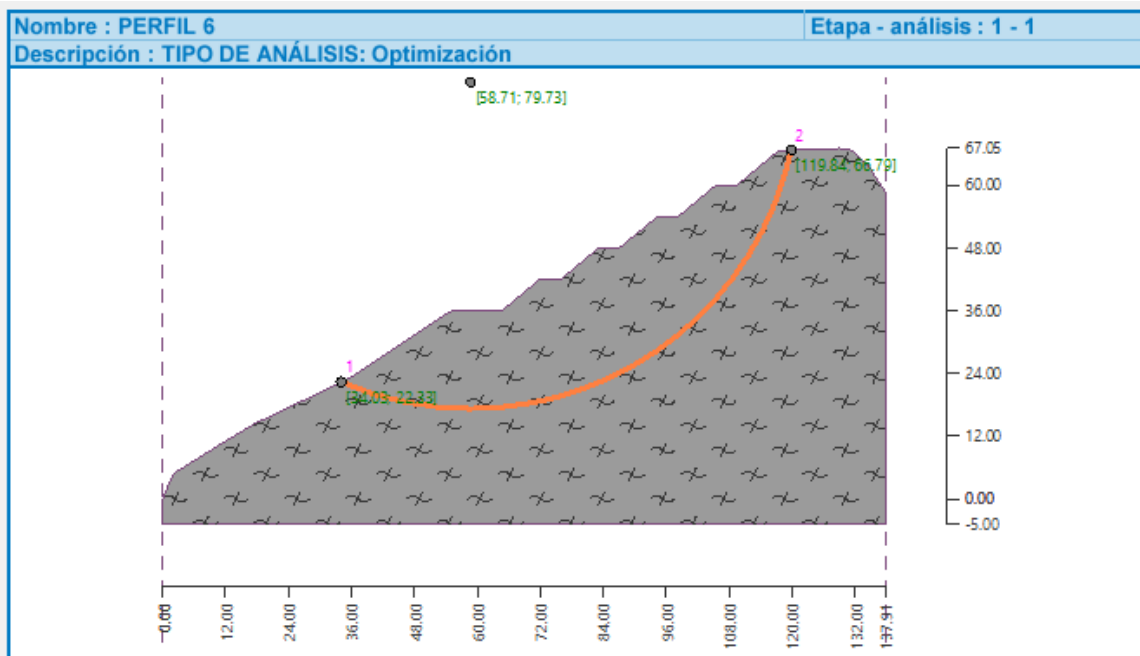


Figura 4.48: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”
(Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

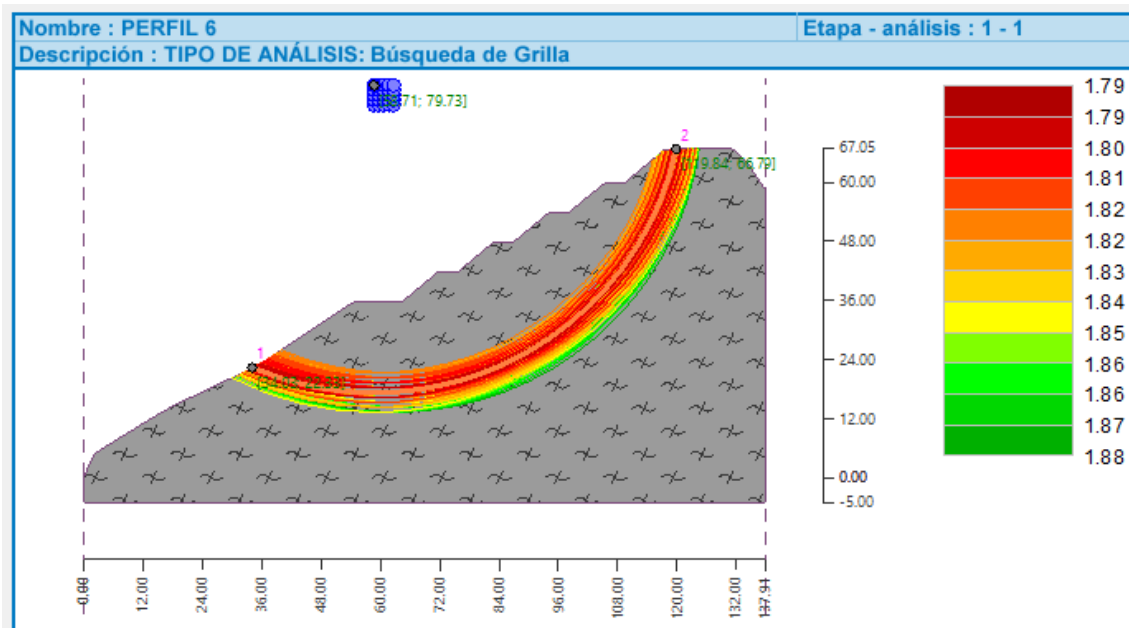


Figura 4.49: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA” (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.33: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 6 ESTABILIZADO.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 11660.36 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 20866.8 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 728539.16 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1303757.89 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.79 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 58.71 [m] y Z= 79.73 [m] y radio R= 62.48 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.8. PERFIL 7 ESTABILIZADO

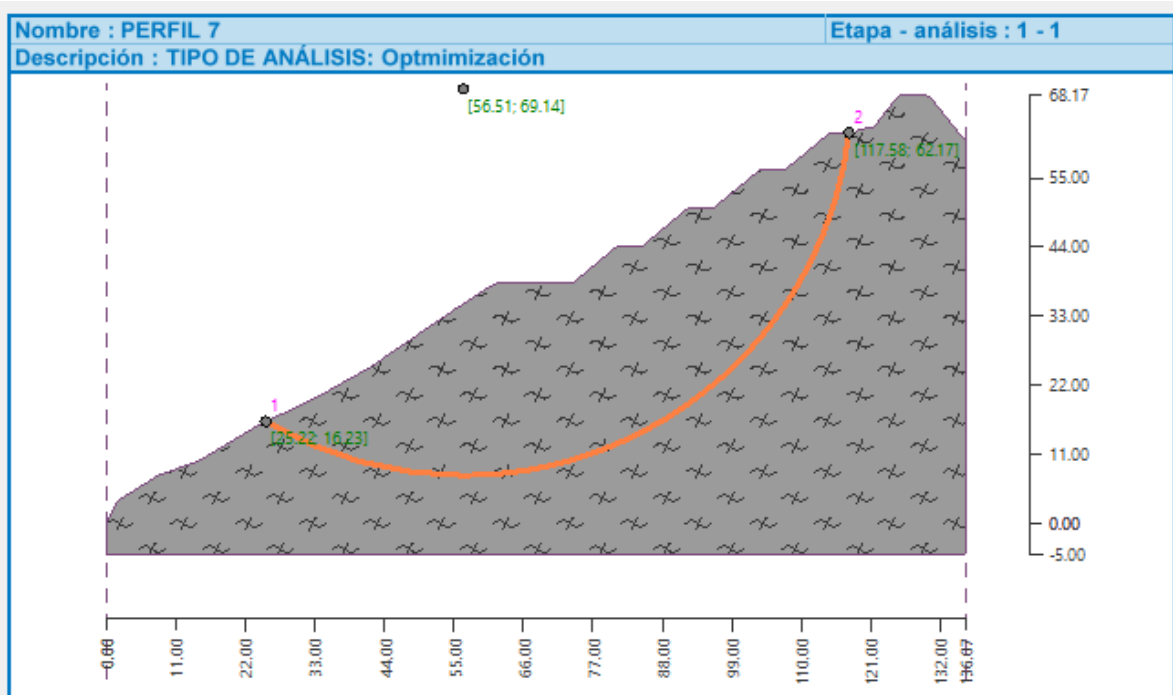


Figura 4.50: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA"
(Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

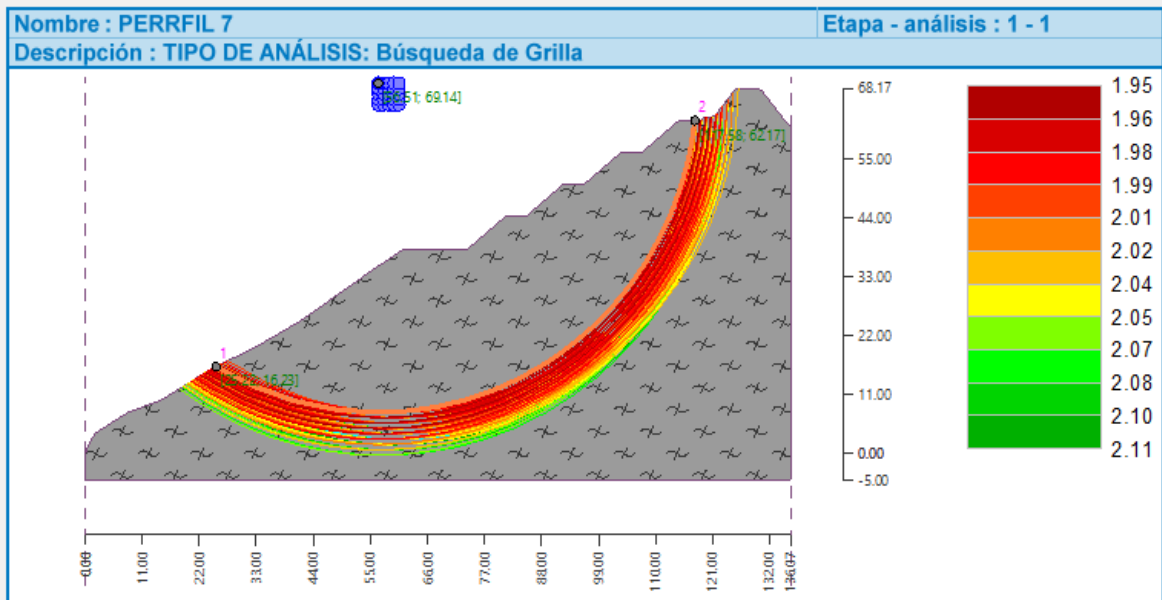


Figura 4.51: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA"
(Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.34: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 7 ESTABILIZADO.
Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 14298.91 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 27914.52 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 878953.8 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1715905.68 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.95 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 56.51 [m] y Z= 69.14 [m] y radio R= 61.47 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.9. PERFIL 8 ESTABILIZADO

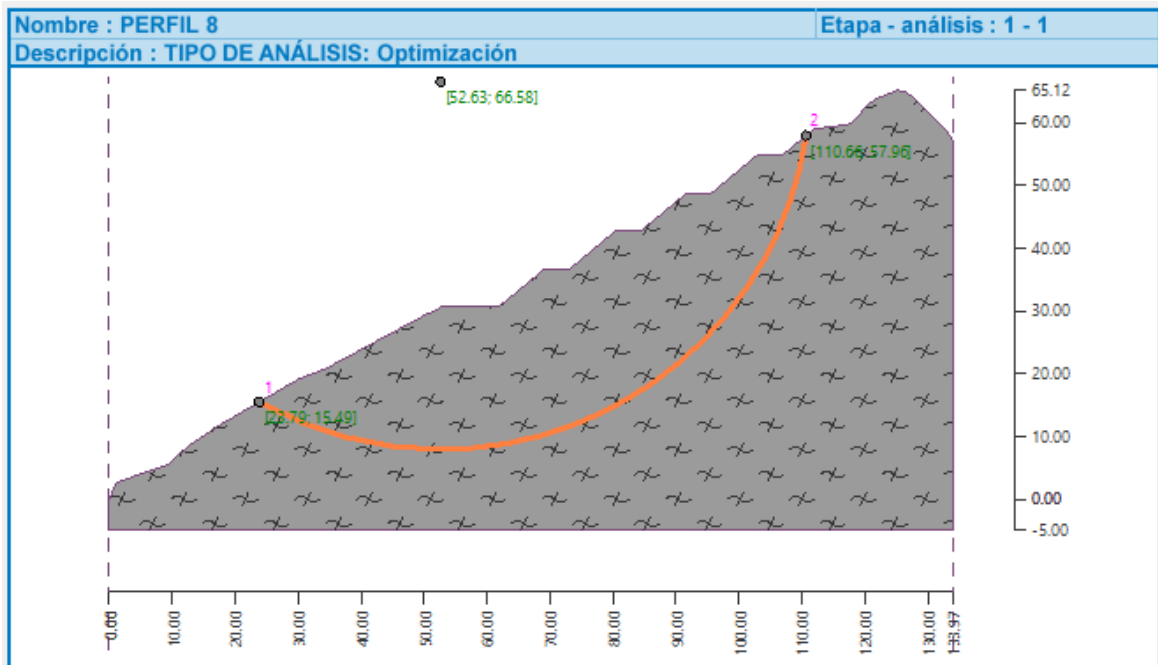


Figura 4.52: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "OPTIMIZACIÓN" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).
Fuente: Autor.

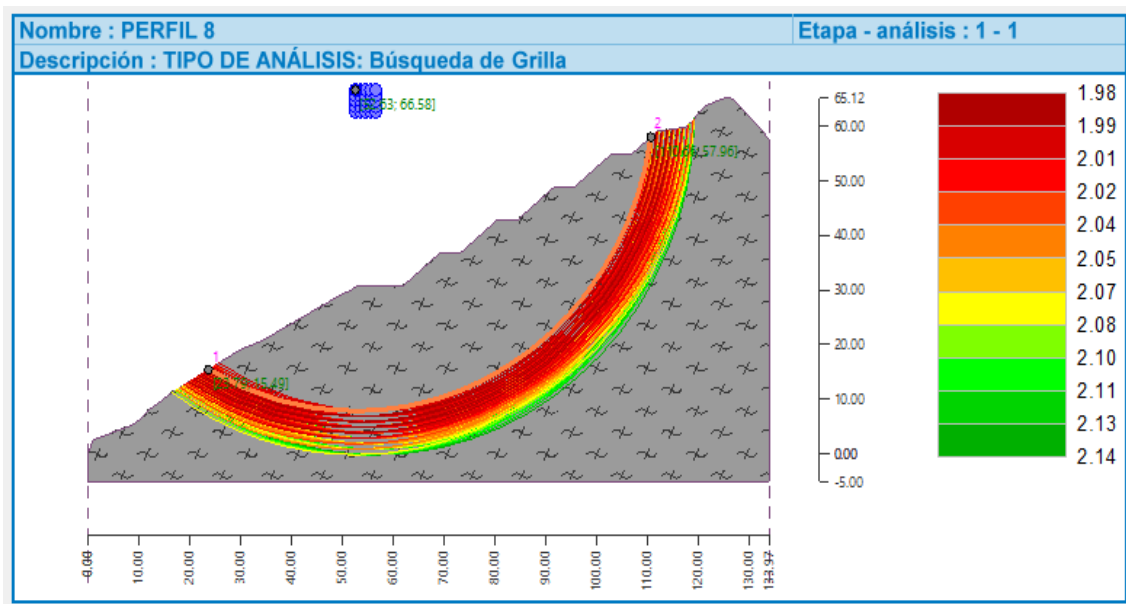


Figura 4.53: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis “BÚSQUEDA DE GRILLA”
(Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.35: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 8 ESTABILIZADO.

Fuente: Autor.

Suma de fuerzas activas	Fa= 11552.21 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 22920.46 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 677768.17 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1344743.55 [kNm/m]
Factor de seguridad= 1.98 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 52.63 [m] y Z= 66.58 [m] y radio R= 58.67 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.5.10. PERFIL 9 ESTABILIZADO

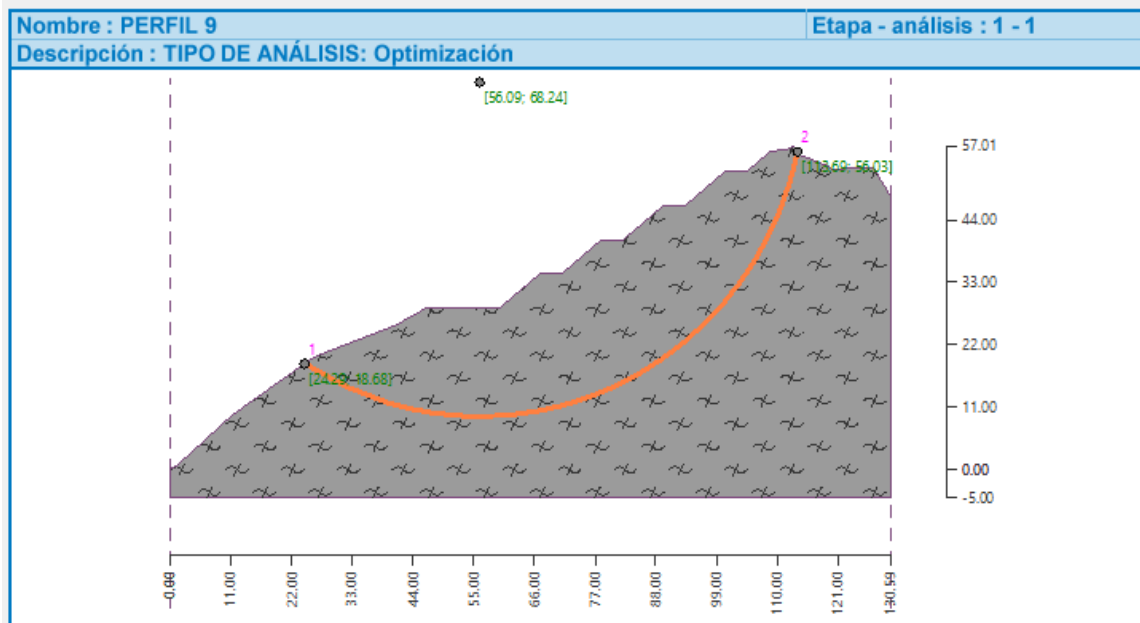


Figura 4.54: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

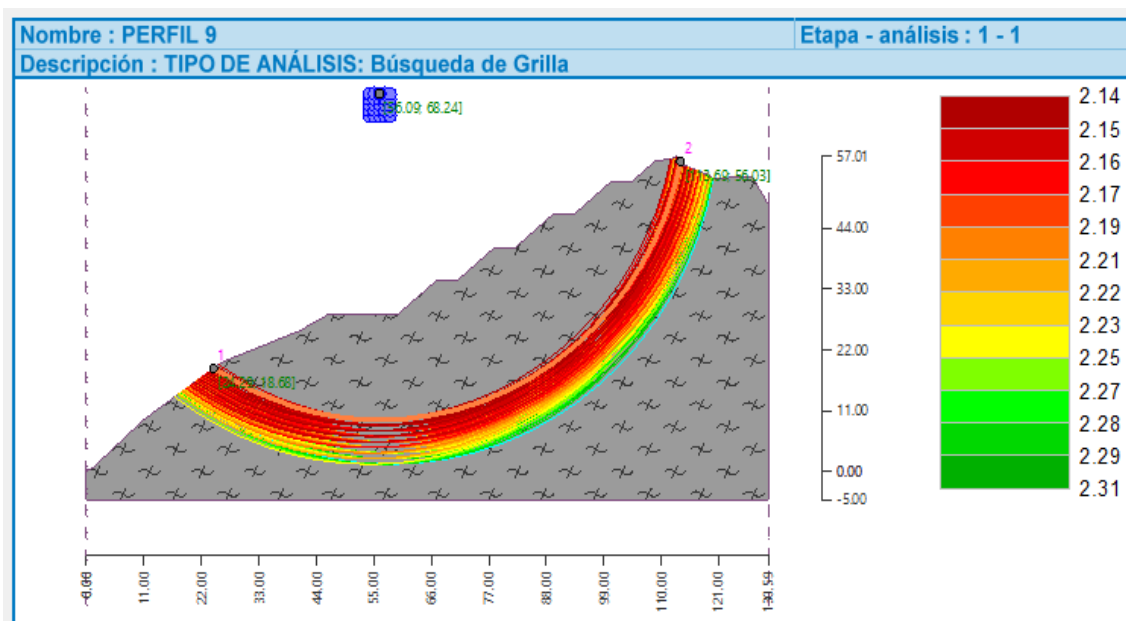


Figura 4.55: SFC ESTABILIZADA-Método de Bishop-Tipo de análisis "BÚSQUEDA DE GRILLA" (Inclinación de la terraza 1.2H:1V).

Fuente: Autor.

Tabla 4.36: Verificación de estabilidad de taludes (BISHOP) Perfil 9 ESTABILIZADO
Fuente: Autor

Suma de fuerzas activas	Fa= 10785.66 [kN/m]
Suma de fuerzas pasivas	Fp= 23083.84 [kNm/m]
Momento de deslizamiento	Ma= 635059.71 [kNm/m]
Momento estabilizador	Mp= 1359176.69 [kNm/m]
Factor de seguridad= 2.14 > 1.5	

La superficie de falla circular de este talud de centro ubicado en X= 56.09 [m] y Z= 68.24 [m] y radio R= 58.88 [m].

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

4.6. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 4.37: Valores de factor de seguridad
Fuente: Autor

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD	ESTABILIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTABILIZDO	ESTABILIDAD
1	0.83	NO OK	1.53	OK
2	0.65	NO OK	1.57	OK
3	0.85	NO OK	1.61	OK
4	1.41	NO OK	1.75	OK
5	1.29	NO OK	1.73	OK
6	1.32	NO OK	1.79	OK
7	1.35	NO OK	1.95	OK
8	1.39	NO OK	1.98	OK
9	1.47	NO OK	2.14	OK
10	1.57	OK	-	OK
11	1.61	OK	-	OK
12	1.58	OK	-	OK

13	1.66	OK	-	OK
14	1.67	OK	-	OK
15	1.63	OK	-	OK
16	1.61	OK	-	OK
17	1.92	OK	-	OK

En el presente estudio se define que todos aquellos perfiles que tienen un FS menor o igual a 1,5 deben ser estabilizados mediante el uso de bermas intermedias.

En la tabla 4.37 se resume los valores obtenidos de estabilidad en función del método aplicado, en la columna estabilidad se encuentran los valores del primer análisis realizados en el que se observa que los perfiles del 1 al 9 no cumplen con el valor mínimo de 1,5 que considera este estudio para ser estable, por lo que es necesario la estabilización del perfil. En la columna factor de seguridad estabilizado se observa que el valor de factor de seguridad de aquellos taludes cuya estabilidad no era aceptable una vez han sido terraceados se logra tener valores mayores a 1.5, por lo que se consideran perfiles estables.

Los perfiles 1, 2, 3 tienen un valor de FS a 1, debido a esto se encuentran en un estado inminente de falla, de acuerdo con lo definido en este estudio dichos perfiles se estabilizaron obteniendo nuevos valores de FS que son mayores a 1.5. El material pétreo dominante en el talud de estudio se encuentra en la parte central del talud que se ubica en los perfiles 4 hasta el 14, todos estos perfiles tienen FS mayor a 1, sin embargo, los perfiles 4 hasta el 9 tienen un valor menor a 1.5, por lo que de acuerdo con lo señalado en este estudio deben ser estabilizados por el método definido.

5. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Con las observaciones de campo y los ensayos de clasificación SUCS, en el presente estudio se determinó 3 tipos de litologías principales:
Arena limosa con grava (SM).
Arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad (CL).
Esquisto micáceo.
- Los suelos de tipo (CL) caracterizados por arcilla limo arenosa de baja plasticidad presentan valores medios-bajos de parámetros de resistencia al corte ($\phi= 20.46^\circ$; $c=0.00784$ MPa).
- Los suelos de tipo (SM) caracterizados por arena limosa con grava, de igual manera presentan valores medios-bajos de parámetros de resistencia al corte ($\phi= 27.7^\circ$; $c=0.00882$ MPa)
- Los sondeos SPT junto con la topografía del terreno en el que se encuentra el talud de estudio, permitieron generar un modelo digital a través del software geotécnico GEO 5 para entender el comportamiento interno y superficial del talud.
- Con los materiales obtenidos de las perforaciones, se evidencia que en el talud de estudio existe la prevalencia de esquisto micáceo, el cual corresponde a la Unidad Cuyuja descrita en la sección 1.5.3.2.
- En la parte norte del talud en los perfiles 1, 2, 3 existe la presencia de arena limosa con poca cantidad grava (SM), en la parte central del talud existe solamente la presencia del esquisto micáceo, en la parte sur en los perfiles 14, 15, 16, 17 existe la presencia de un nuevo estrato que corresponde a una arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad (CL).
- Los sondeos SPT y las calicatas se ubicaron a lo largo de todo el talud de estudio, de tal manera que fue posible recolectar la mayor cantidad de muestras para su análisis en el laboratorio y con esto garantizar un cálculo

correcto del factor de seguridad de cada uno de los perfiles en los que se subdivide el talud,

- El grado de permeabilidad de la muestra (arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad) ensayada es muy bajo, ya que los exponentes del valor de permeabilidad están en el rango 10^{-7} , en la arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad se tiene un valor de 1.0105E-07.
- El factor de seguridad en donde existe la presencia de arena limosa (SM) tiene en promedio valores menores a 1, corresponde a valores muy bajos en relación con los factores de seguridad del esquisto micáceo y de la arcilla limo arenosa inorgánica de baja plasticidad que en promedio tiene valores mayores a 1.5 (CL).
- La alternativa de estabilización de taludes mediante el uso de bermas (terrazas), arrojan resultados favorables en este proyecto, en perfiles donde el FS era bajo (menor a 1.5), después del proceso de terraceo en el software GEO 5 se logró un factor de seguridad mayor a 1,5.
- El círculo crítico determinado por el software GEO5, se define como la superficie de rotura del talud, de acuerdo con la profundidad o superficialidad del círculo crítico se puede estimar la estabilidad de un talud; mientras más profundo y extenso sea el círculo crítico, su factor de seguridad es mayor.
- Las bermas intermedias que se generaron digitalmente deben tener una secuencia a lo largo del talud en las zonas en las que el FS es menor a 1.5, se tomó en consideración la relación de pendiente sugerida de 1.2H:1V, de esta manera se obtuvieron los resultados favorables en cuanto a la estabilización.
- En carreteras que constituyen vías de alto tráfico vehicular es importante realizar un análisis de estabilidad de taludes para cualquier mejora que se desee realizar, con esto es posible garantizar un buen funcionamiento de cualquier obra de ingeniería que se realice en el talud.

5.2. RECOMENDACIONES.

- En base a los análisis geotécnicos realizados en este proyecto, se puede buscar otras alternativas de estabilización como son; mallas de alambre galvanizado, concreto lazado o pernos de anclaje, tomando en cuenta un estudio previo de costos.
- Se recomienda la instalación de zonas de control hidro-meteorológicas, para tener datos de los parámetros meteorológicos de la zona y como estos podrían afectar a los parámetros de resistencia al corte de los materiales.
- Monitorear constantemente los taludes del sector de que se encuentran en las zonas aledañas a la vía Papallacta Baeza para que se pueda actuar de manera rápida y efectiva en el análisis de estabilidad de estos taludes.

6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

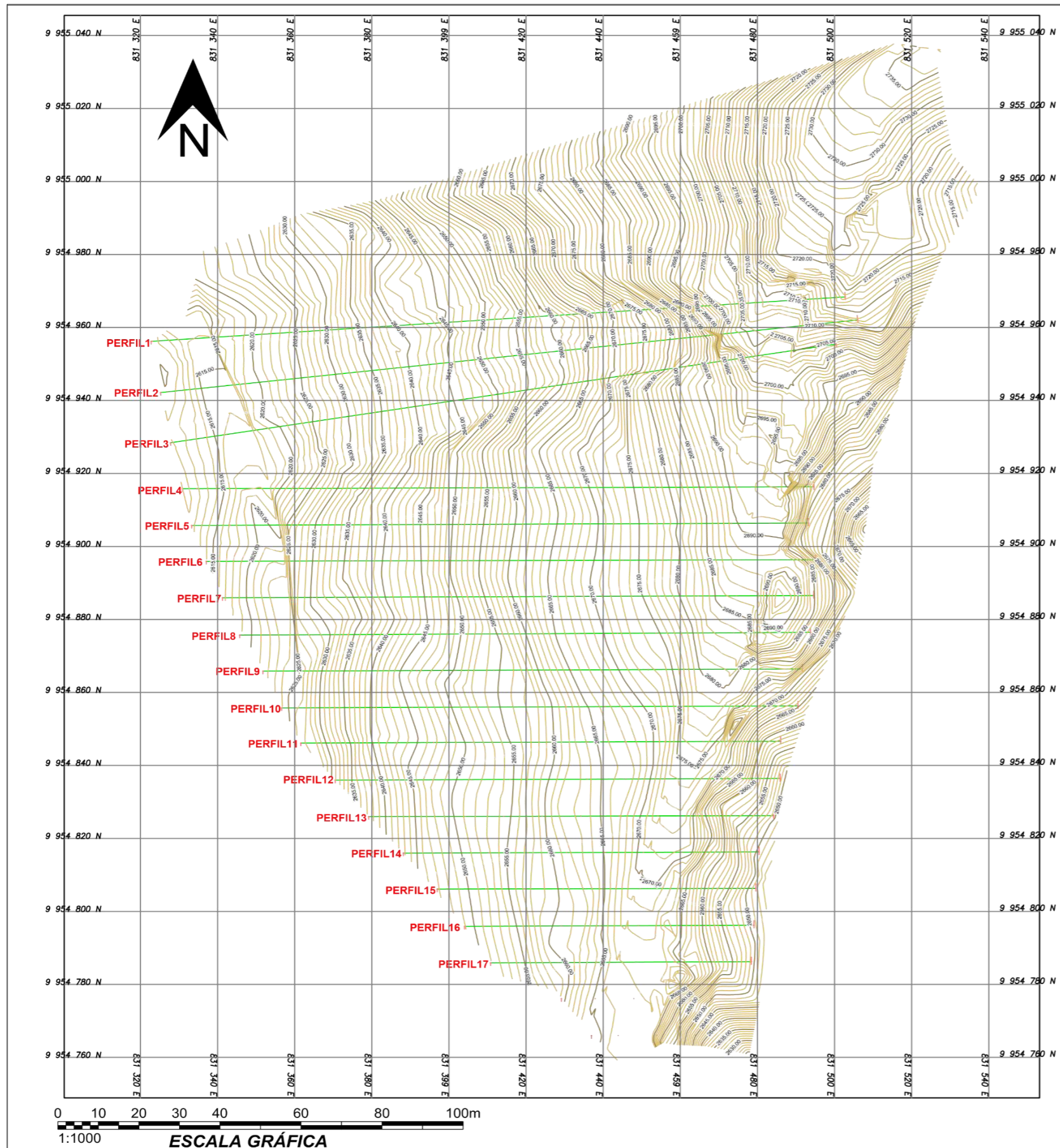
- Abramson, L., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2002). *Slope stability and stabilization methods, segunda edición*. New York: John Wiley & Sons Inc., Nueva York.
- Aspen, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 187-204.
- Ayala, C., & Andreu, P. (2006). *Manual de Ingeniería en Taludes*. España: Ríos Rosas.
- Badillo, E., & Rico, A. (2004). *Mecánica de suelos, Tomo 2*. México: Limusa.
- Barragán, R., Baby, P., & Duncan, R. (2005). Cretaceous alkaline intra-plat magmatism in the Ecuadorian Oriente Basin: Geochemical, geochronological and tectonic evidence. *ELSIEVER, Earth and Planetary Science Letters (Vol 236)*, 670-690.
- Bèc de Berc, S., Soula, J. C., Baby, P., Souris, M., Christophoul, F., & Rosero, J. (2005). Geomorphic evidence of active deformation and uplift in modern continental wedge-top-foredeep transition: Example of eastern Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 351-380.
- Caballero, M. G. (2001). *El Terreno*. Barcelona.
- Cantero Calero, B., Guijarro Milán, R., Muñoz Rodríguez, M., & Cantero Calero, F. (2004). *Ayudantes técnicos de medio ambiente de la junta de Andalucía*. Sevilla : MAD, SL.
- Crespo, C. (2005). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México DF: Cuarta Edición. Cengage Learning.
- Fernández, C. L., Pando, L. A., & Prieto, D. A. (2011). *Casos prácticos sencillos de geología aplicada a la ingeniería (manual adaptado al EEES)*. Madrid: Complutense, S.A .
- Ferrati, L., & Tibaldi, A. (1992). Recent and Active Tectonics of the North-Eastern Ecuadorian Andes. *Geodynamics (Vol 15)*, 39-58.

- GEMM. (2007). *Movimientos en masa de la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Proyecto Multinacional Andino; Geociencias para las comunidades Andinas. Servicio Nacional de Geología y Minería. Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.*
- Gonzalez de Vallejo, L. L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid-España: Primera Edición. Pearson Education.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. Y. (199). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 255-270.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook - A guide to understanding landslides (Vol. Circular 1325)*. Reston, Virginia: US: Geological Survey of Canadá.
- Jaillard, E., Benitez, S., Ordoñez, M., & Montenegro, G. (1995). Basin Development in an Accretionary, Oceanic-Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador. *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir*, 615-631.
- Josep Suriol, Antoni Joret, Alejandro Sosa. (2007). *Reconocimiento Geotécnico del Terreo*. Barcelona: Los Autores, 2007.
- Litherland, M., Aspen, J. A., & Jemielita, R. A. (1994). *The metamorphic Belts of Ecuador (Vol. 11)*. British Geological Survey: Overseas Memoir.
- Litherland, M., Aspend, J., Bermúdez, R., Viteri, F., & Pozo, M. (1986-1990). LA GEOLOGÍA Y EL POTENCIAL MINERAL DE LA CORDILLERA REAL, ECUADOR. *Ministerio de Energía y Minas República del Ecuador*, 23-45.
- Matteis, A. d. (2003). *Estabilidad de Taludes*. Rosario.
- MEM-TEC-Cuyuja. (2012). ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA CUYUJA, CANTÓN QUIJOS. Quito.
- Monroe, J., Wicander, R., & Pozo Manuel. (2008). *Geología, Dinámica y Evolución de la Tierra*. España: Paraninfo.
- NEC, N. E. (2014). Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente, .

- PDOT-Cuyuja. (2019-2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cuyuja 2015-2019*. GAD Parroquial Rural de Cuyuja-Cantón Quijos.
- Pillajo. (2016). *Análisis, Evolución Y Gestión De Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa en El Barrio San Jacinto de Atucucho, Noroccidente de Quito*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Puerta, C. A. (2015). *Tecnología DRONE en levantamientos topográficos*. Bogotá: Tesis pregrado, Universidad Nacional de Colombia.
- Spiking, R. A., Winkler, W., Seward, D., & Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian ANdes to the colliision with heterogeneous oceanic crust. *Esrth and Planetary Science Letter*, 57-73.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga-Colombia: Publicaciones UIS.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Tomo 1*. Bucaramanga - Colombia: Publicaciones UIS.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Estados Unidos: Jhon Wiley & Son, Inc.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1980). *Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica: Segunda Edición*. España: "EL ATENEO" S.A.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Reverte.
- Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Jeffrey, F. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 157-171.
- Valverde, L., & Wielemaker, W. (1995). *Estudio detallado de suelos de la finca experimental Los Diamantes*. Costa Rica.
- Wentworth, C. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *he Journal of Geology*, vol. 30, No. 5, 377-392.

Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, S., & Egeuz, A. (2002). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South America Earth Science*, 5-19.

ANEXOS



TALUD DE ESTUDIO

PROVINCIA: NAPO

CANTÓN: QUIJOS

PARROQUIA: CUYUJA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

PROYECTO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE UNA EXTENSIÓN DE 260 METROS EN LA VÍA PAPALLACTA BAEZA, SECTOR CUYUJA

CONTIENE: PLANO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	FECHA: AGOSTO/ 2021	UNIDADES METROS
REALIZADO POR: CÉSAR POZO	REVISADO POR: MSc MERCEDES VILLACÍS	ESCALA: INDICADA
		Nº DE PLANO 1/1

ANEXO 1. Plano topográfico del talud de estudio