

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS:

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES EN LA CARRETERA
CAJAMARCA - URUBAMBA ALTA ENTRE LAS PROGRESIVAS
KM 1+000 – KM 9+000**

AUTOR:

Bach. Milian Salazar Erick Daniel

ASESOR:

M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca -Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** MILIAN SALAZAR ERICK DANIEL

DNI: 46648075

Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

2. **Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES EN LA CARRETERA CAJAMARCA -
URUBAMBA ALTA ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 1+000 – KM 9+000

Fecha de evaluación: 25/04/2025

6. **Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

7. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 12%

8. **Código Documento:** Oide:3117: 452622484

9. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25/04/2025



FIRMA DEL ASESOR
Roberto Severino Gonzales Yana



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 25/04/2025 18:30:44-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TÍTULO : CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES EN LA CARRETERA CAJAMARCA - URUBAMBA ALTA ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 1+000 - KM 9+000.

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0453-2025-PRIV-SA-FI-UNC, de fecha 05 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **ocho días del mes de agosto de 2025**, siendo las once horas (11.00 a.m.) en el Auditorium de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210) de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES EN LA CARRETERA CAJAMARCA - URUBAMBA ALTA ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 1+000 - KM 9+000**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica **ERICK DANIEL MILIAN SALAZAR**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 03 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 14 PTS ATORCE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de ATORCE acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 12.00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela de Ingeniería Geológica. De manera especial, agradezco a mi asesor, el MCs Roberto Gonzales Yana, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación durante todo el proceso de investigación. Su conocimiento y experiencia han sido una guía esencial para alcanzar este logro.

Asimismo, deseo agradecer profundamente a Dios por darme la fuerza y la perseverancia necesarias para completar esta etapa. A mi familia, quienes con su amor, comprensión y apoyo incondicional han sido un pilar a lo largo de todo este camino.

DEDICATORIA

A mi madre, cuyo amor y apoyo incondicional me han inspirado a alcanzar mis metas. Su sacrificio y dedicación han sido la base sobre la cual he construido este logro.

Mi esposa Vicky e hijos Leonardo y Camila , su presencia en mi vida ha sido el pilar fundamental en mi desarrollo personal y académico.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
TABLA DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE FOTOS.....	xvi
ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1. Nacionales.....	3
2.1.2. Locales	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. Clasificaciones geomecánicas.....	4
2.2.2. Criterios de Rotura	13
2.2.3. Talud.....	17
2.2.4. Rotura en rocas	18
2.2.5. Análisis de estabilidad	22
2.2.6. Factor de seguridad (Fs)	25
2.2.7. Sismicidad	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	27

	Pág.
CAPÍTULO III	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1.1. Geográfica	28
3.1.2. Política.....	28
3.2. ACCESIBILIDAD	28
3.3. CLIMA Y PRECIPITACIÓN	30
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.4.1. Tipo y método de investigación	31
3.4.2. Población de estudio	31
3.4.3. Muestra.....	32
3.4.4. Unidad de análisis	32
3.4.5. Identificación de variables	32
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	32
3.5.1. Técnicas	32
3.5.2. Instrumentos y materiales.....	33
3.5.3. Softwares.....	33
3.6. PROCEDIMIENTO	33
3.6.1. Etapa preliminar	34
3.6.2. Etapa de campo	34
3.6.3. Etapa de gabinete	34
3.6.4. Etapa final.....	34
3.7. GEOLOGÍA LOCAL	36
3.7.1. Grupo Crisnejas.....	36
3.7.2. Grupo Puyllucana	38
3.7.3. Formación Huambos (PN-vh).....	39

	Pág.
3.7.4. Depósitos cuaternarios.....	40
3.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	40
3.8.1. Diaclasas	40
3.8.2. Falla inversa	41
3.8.3. Falla normal.....	42
3.8.4. Plegamientos.....	43
3.8.5. Micro – plegamientos	43
3.9. GEOMORFOLOGÍA	44
3.9.1. Planicie: (0° – 8°).....	44
3.9.2. Lomada: (8° – 20°)	45
3.9.3. Ladera: (20° – 50°)	46
3.10. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICAS	47
3.10.1. Estación Geotécnica 01 (EG – 01)	50
3.10.2. Estación Geotécnica 02 (EG – 02)	61
3.10.3. Estación Geotécnica 03 (EG – 03)	73
3.10.4. Estación Geotécnica 04 (EG – 04)	82
3.10.5. Estación Geotécnica 05 (EG – 05)	94
3.10.6. Estación Geotécnica 06 (EG – 06)	105
3.10.7. Estación Geotécnica 07 (EG – 07)	116
3.10.8. Estación Geotécnica 08 (EG – 08)	125
CAPÍTULO IV	134
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	134
4.1. ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO- CINEMÁTICO.	135
4.2. FACTOR DE SEGURIDAD – SOFTWARE SLIDE V.6.0	135
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	140
	Pág.
CAPÍTULO V	141

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
5.1. CONCLUSIONES.....	141
5.2. RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
ANEXOS	145

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Índice de Calidad de la Roca en función al RQD.....	5
Tabla 2.2: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia.....	6
Tabla 2.3: Clasificación de Deere del espaciado de las discontinuidades.....	7
Tabla 2.4: Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica	9
Tabla 2.5: Calidad del Macizo Rocoso en función al RMR ₈₉	10
Tabla 2.6: Factores influyentes en la estabilidad de taludes.....	18
Tabla 2.7: Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	24
Tabla 2.8: Factor de Zona definida en la Norma Técnica E.30.....	27
Tabla 3.1: Coordenadas del punto inicial y final del tramo de estudio.	28
Tabla 3.2: Cuadro de accesibilidad.....	29
Tabla 3.3: Clasificación y tipo de investigación.....	31
Tabla 3.4: Parámetros de entrada para el cálculo de los coeficientes sismicos	49
Tabla 3.5: Datos de ubicación y geometría del talud	51
Tabla 3.6: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática.....	51
Tabla 3.7: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación 01.	52
Tabla 3.8: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 1.	53
Tabla 3.9: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 01.	53
Tabla 3.10: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	56
Tabla 3.11: Datos de ubicación y geometría del talud	61
Tabla 3.12: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática.....	62
Tabla 3.13: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación 02	63
Tabla 3.14: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 02.	64
Tabla 3.15: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 2.	64
Tabla 3.16: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	68
Tabla 3.17: Datos de ubicación y geometría del talud.	73
Tabla 3.18: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 03.	75
Tabla 3.19: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	77
Tabla 3.20: Datos de ubicación y geometría del talud.	82
Tabla 3.21: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática.....	83
Tabla 3.22: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación 04.	84

	Pag.
Tabla 3.23: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 04.	85
Tabla 3.24: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 04.	85
Tabla 3.25: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	89
Tabla 3.26: Datos de ubicación y geometría del talud.	94
Tabla 3.27: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática.	95
Tabla 3.28: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación 05.	96
Tabla 3.29: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 05.	97
Tabla 3.30: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 05.	97
Tabla 3.31: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	100
Tabla 3.32: Datos de ubicación y geometría del talud.	105
Tabla 3.33: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática.	106
Tabla 3.34: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación 06.	107
Tabla 3.35: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 06.	108
Tabla 3.36: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 06.	108
Tabla 3.37: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	111
Tabla 3.38: Datos de ubicación y geometría del talud.	116
Tabla 3.39: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 07.	118
Tabla 3.40: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	120
Tabla 3.41: Datos de ubicación y geometría del talud.	125
Tabla 3.42: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 08.	127
Tabla 3.43: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos,	129
Tabla 4.1: Análisis Estereográfico – Cinemático de los taludes críticos.	135
Tabla 4.2: Rangos de Factores de Seguridad,	136
Tabla 4.3: Datos obtenidos mediante el software.	137
Tabla 4.4: Datos obtenidos mediante el software.	137
Tabla 4.5: Datos obtenidos mediante el software.	137
Tabla 4.6: Datos obtenidos mediante el software.	138
Tabla 4.7: Datos obtenidos mediante el software.	138
Tabla 4.8: Datos obtenidos mediante el software.	138
Tabla 4.9: Datos obtenidos mediante el software.	139
Tabla 4.10: Datos obtenidos mediante el software.	139
Tabla 4.11: Factor de Seguridad de los Taludes en condiciones normales.	139

Tabla 4.12: Factor de Seguridad de los Taludes en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.	140
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: Representación esquemática para el conteo de discontinuidades en una línea de muestreo (cinta métrica)	5
Figura 2.2: Variación de la resistencia del macizo rocoso en función del espaciado de las discontinuidades y de la resistencia a compresión simple de la roca	8
Figura 2.3: Estimación del Índice Geológico de resistencia, GSI,	11
Figura 2.4: Cuantificación del GSI mediante las Condiciones de las Discontinuidades y el RQD.....	13
Figura 2.5: Representación gráfica de la ecuación de Coulomb.	14
Figura 2.6: Guías para estimar el factor de alteración D.	16
Figura 2.7: Tipos de Taludes: a. Talud artificial y b. Ladera natural	17
Figura 2.8: Representación de rotura planar en taludes	19
Figura 2.9: Tipos de rotura planar	19
Figura 2.10: Condiciones para la rotura en cuña.....	20
Figura 2.11: Proyección estereográfica de deslizamiento por cuña	21
Figura 2.12: Mecanismos de vuelco.....	22
Figura 2.13: Métodos de análisis de estabilidad de taludes.	23
Figura 2.14: Zonificación sísmica en el territorio peruano.	26
Figura 3.1: Accesibilidad desde el KM 1+000 al KM 9+000	29
Figura 3.2: Clima del distrito Urubamba Alta teniendo en cuenta.....	30
Figura 3.3: Localización del área de investigación en la Zona Sísmica 3.	48
Figura 3.4: Cálculo de los coeficientes sísmicos horizontal (k_h) y vertical (k_v) mediante el software Loadcap, (2018).....	50
Figura 3.5: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	54
Figura 3.6: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips	55
Figura 3.7: Estación Geotécnica 01	56
Figura 3.8: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Bishop simplificado.....	57

	Pág.
Figura 3.9: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Janbu simplificado.....	57
Figura 3.10: Factor de seguridad EG – 01 por el método de GLE/ Morgenstern-Price, en condiciones normales.	58
Figura 3.11: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Spencer	58
Figura 3.12: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Bishop simplificado.....	59
Figura 3.13: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Janbu simplificado.....	59
Figura 3.14: Factor de seguridad EG – 01 por el método de GLE / Morgenstern – Price	60
Figura 3.15: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Spencer	60
Figura 3.16: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	65
Figura 3.17: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo planar, mediante el software Dips	66
Figura 3.18: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips	67
Figura 3.19: Estación Geotécnica 02	68
Figura 3.20: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Bishop simplificado.....	69
Figura 3.21: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Janbu simplificado.....	69
Figura 3.22: Factor de seguridad EG – 02 por el método de GLE/ Morgenstern - Price,	70
Figura 3.23: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Spencer,	70
Figura 3.24: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Bishop simplificado.....	71
Figura 3.25: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Janbu simplificado.....	71
Figura 3.26: Factor de seguridad EG – 02 por el método de GLE/ Morgenstern - Price,	72
Figura 3.27: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Spencer	72

	Pág.
Figura 3.28: GSI = 22 de la estación EG – 03, según la condición del macizo rocoso se encuentra desintegrado.	74
Figura 3.29: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	76
Figura 3.30: Estación Geotécnica 03	77
Figura 3.31: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Bishop simplificado.....	78
Figura 3.32: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Janbu simplificado.....	78
Figura 3.33: Factor de seguridad EG – 03 por método de GLE/ Morgenstern-Price	79
Figura 3.34: Factor de seguridad GE – 03 por el método de Spencer	79
Figura 3.35: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Bishop simplificado.....	80
Figura 3.36: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Janbu simplificado.....	80
Figura 3.37: Factor de seguridad EG – 03 por método de GLE/ Morgenstern-Price	81
Figura 3.38: Factor de seguridad EG – 03 por método de Spencer	81
Figura 3.39: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	86
Figura 3.40: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo planar, mediante el software Dips	87
Figura 3.41: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips	88
Figura 3.42: Estación Geotécnica 04	89
Figura 3.43: Factor de seguridad EG – 04 por método de Bishop simplificado.....	90
Figura 3.44: Factor de seguridad EG – 04 por método de Janbu simplificado.....	90
Figura 3.45: Factor de seguridad EG – 04 por método de GLE/ Morgenstern-Price	91
Figura 3.46: Factor de seguridad EG – 04 por método de Spencer	91

	Pag.
Figura 3.47: Factor de seguridad EG – 04 por método de Bishop simplificado.....	92
Figura 3.48: Factor de seguridad EG – 04 por método de Janbu simplificado.....	92
Figura 3.49: Factor de seguridad EG – 04 por método de GLE/ Morgenstern-Price	93
Figura 3.50: Factor de seguridad EG – 04 por método de Spencer	93
Figura 3.51: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	98
Figura 3.52: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips	99
Figura 3.53: Estación Geotécnica 05	100
Figura 3.54: Factor de seguridad EG – 05 por método de Bishop simplificado.....	101
Figura 3.55: Factor de seguridad EG – 05 por método de Janbu simplificado	101
Figura 3.56: Factor de seguridad EG – 05 por método de GLE/ Morgenstern-Price	102
Figura 3.57: Factor de seguridad EG – 05 por método de Spencer	102
Figura 3.58: Factor de seguridad EG – 05 por método de Bishop simplificado.....	103
Figura 3.59: Factor de seguridad EG – 05 por método de Janbu simplificado.....	103
Figura 3.60: Factor de seguridad EG – 05 por método de GLE/ Morgenstern-Price	104
Figura 3.61: Factor de seguridad EG – 05 por método de Spencer,	104
Figura 3.62: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	109
Figura 3.63: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips	110
Figura 3.64: Estación Geotécnica 06.	111
Figura 3.65: Factor de seguridad EG – 06 por método de Bishop simplificado.....	112

	Pag.
Figura 3.66: Factor de seguridad EG – 06 por método de Janbu simplificado.....	112
Figura 3.67: Factor de seguridad EG – 06 por método de GLE/ Morgenstern-Price	113
Figura 3.68: Factor de seguridad EG – 06 por método de Spencer	113
Figura 3.69: Factor de seguridad EG – 06 por método de Bishop simplificado.....	114
Figura 3.70: Factor de seguridad EG – 06 por método de Janbu simplificado.....	114
Figura 3.71: Factor de seguridad EG – 06 por método de GLE/ Morgenstern-Price	115
Figura 3.72: Factor de seguridad EG – 06 por método de Spencer	115
Figura 3.73: GSI = 25 de la estación EG – 07, según la condición del macizo rocoso se encuentra desintegrado.	117
Figura 3.74: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	119
Figura 3.75: Estación Geotécnica 07.	120
Figura 3.76: Factor de seguridad EG – 07 por método de Bishop simplificado.....	121
Figura 3.77: Factor de seguridad EG – 07 por método de Janbu simplificado.....	121
Figura 3.78: Factor de seguridad EG – 07 por método de GLE/ Morgenstern-Price	122
Figura 3.79: Factor de seguridad EG – 07 por método de Spencer	122
Figura 3.80: Factor de seguridad EG – 07 por método de Bishop simplificado.....	123
Figura 3.81: Factor de seguridad EG – 07 por método de Janbu simplificado.....	123
Figura 3.82: Factor de seguridad EG – 07 por método de GLE/ Morgenstern-Price	124
Figura 3.83: Factor de seguridad EG – 07 por método de Spencer	124
Figura 3.84: GSI = 28 de la estación EG – 08, según la condición del macizo rocoso se encuentra desintegrado.	126

Figura 3.85: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData	128
Figura 3.86: Estación Geotécnica 08.	129
Figura 3.87: Factor de seguridad EG – 08 por método de Bishop simplificado.....	130
Figura 3.88: Factor de seguridad EG – 08 por método de Janbu simplificado.....	130
Figura 3.89: Factor de seguridad EG – 08 por método de GLE/ Morgenstern-Price	131
Figura 3.90: Factor de seguridad EG – 08 por método de Spencer	131
Figura 3.91: Factor de seguridad EG – 08 por método de Bishop simplificado.....	132
Figura 3.92: Factor de seguridad EG – 08 por método de Janbu simplificado.....	132
Figura 3.93: Factor de seguridad EG – 08 por método de GLE/ Morgenstern-Price	133
Figura 3.94: Factor de seguridad EG – 08 por método de Spencer	133

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 3.1: Contacto entre la Formación Chulec y Formación Pariatambo	36
Foto 3.2: Contacto entre la Formación Pariatambo y Formación Yumagual.	37
Foto 3.3: Estratos de la Formación Yumagual intensamente fracturados.	38
Foto 3.4: Contacto entre estratos de la Formación Chulec y Volcánico Huambos.....	39
Foto 3.5: Contacto entre estratos de la Formación Chulec y Volcánico Huambos.....	40
Foto 3.6: Familia de diaclasas en calizas de la Formación Pariatambo: Estratificación; Az=N 93°, Dip 68° y DD 183°; Familia 1; Az=N 355°, Dip 54° y DD 84°	41
Foto 3.7: Falla inversa en estratos de la Formación Pariatambo	42
Foto 3.8: Falla normal en estratos de la Formación Yumagual:	42
Foto 3.9: Anticlinal asimétrico en estratos de arcillolitas grises oscuras	43
Foto 3.10: Micro anticlinal asimétrico y micro sinclinal en estratos de arcillolitas grises oscuras perteneciente a la Formación Chulec.	44
Foto 3.11: Planicie en depósitos coluvio- aluvial, al noreste de la trocha a Urubamba Alta entre en kilómetro 3 al 4 del tramo de investigación.....	45
Foto 3.12: Lomadas en rocas de calizas, arcillolitas grises y margas,	46
Foto 3.13: Estas geoformas son observadas en el Volcánico Huambos.....	46
Foto 3.14: Perfil del talud en la progresiva Km 1 + 200.....	51
Foto 3.15: Perfil del talud en la progresiva Km 5 + 400.....	62
Foto 3.16: Perfil del talud en la progresiva Km 5 + 800.....	73
Foto 3.17: Perfil del talud en la progresiva Km 6 + 300.....	82
Foto 3.18: Perfil del talud en la progresiva Km 6 + 350.....	94
Foto 3.19: Perfil del talud en la progresiva Km 6 + 500.....	105
Foto 3.20: Perfil del talud en la progresiva Km 7 + 300.....	116
Foto 3.21: Perfil del talud en la progresiva Km 8 + 600.....	125

ABREVIATURAS

c	: Cohesión.
CN	: Condiciones Normales
DIP	: Buzamiento
DD	: Dirección del buzamiento
EG	: Estación Geotécnica
FS	: Factor de seguridad.
Fm	: Formaciones.
GSI	: Geological Strength Index (Índice de Resistencia Geológica).
Kh	: Aceleración máxima horizontal.
Kv	: Aceleración máxima vertical.
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
JCond ₈₉	: Condiciones de superficie de las discontinuidades
MPa	: Megapascuales.
Msnm	: Metros sobre el nivel del mar.
RMR ₈₉	: Rock Mass Rating 1989 (Valoración del Macizo Rocosó 1989).
RQD	: Rock Quality Designation (Índice de calidad de la roca).
TE +S	: Tensiones Efectivas +Sismicidad
UTM	: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator.
WGS – 84	: Sistema de Coordenadas Geográficas Mundial 1984.
Km	: Kilómetros

RESUMEN

La investigación consiste en la evaluación geotécnica de los taludes críticos en la carretera Cajamarca – Urubamba Alto, específicamente en el tramo KM 1 + 000 – KM 9+ 000. En la cual se observó un alto índice de deslizamiento en los taludes debido a las condiciones litológicas presentes; litológicamente se encuentran conformadas por calizas bituminosas y arcillosas de la Formación Pariatambo y calizas de la Formación Yumagual; además por las variables de contorno como la precipitación, sismicidad. Se analizaron el comportamiento geotécnico de 08 taludes. Obteniendo una caracterización geotécnica utilizando el RMR de Bieniawski, GSI, teniendo como resultados, macizos rocosos con condiciones regulares a buenas, bajo condiciones normales. Posteriormente mediante el procesamiento de datos se obtuvieron sus características geotécnicas fundamentales de cada talud como el ángulo de fricción y cohesión. Posteriormente usando estas características, se obtuvo el Factor de Seguridad de cada uno de ellos, determinando valores entre 1.095 – 3.990, valores que indican estabilidad de los taludes bajo condiciones normales, sin embargo, se ubicaron taludes que bajo condiciones tensionales generan inestabilidad, determinando posibles planos de deslizamiento. Finalmente se realizó el cartografiado de riesgos geológicos usando los factores de seguridad obtenidos, lo cual servirá de base para trabajos de mayor envergadura que ayuden a mitigar los posibles deslizamientos, que lleguen a originar daños a las poblaciones circundantes.

Palabras claves: Macizo rocoso, Estabilidad de taludes, Factor de seguridad, Método de Equilibrio Limite.

ABSTRACT

The research consists of the geotechnical evaluation of the critical slopes on the Cajamarca - Urubamba Alto highway, specifically in the section Km 1 + 000 - Km 9+ 000. In which a high sliding index was observed in the slopes due to the lithological conditions present, lithologically they are conformed by bituminous and clayey limestones of the Pariatambo Fm. and limestones of the Yumagual Fm.; in addition by the contour variables such as precipitation, seismicity. The geotechnical behavior of 08 slopes was analyzed. Obtaining a geotechnical characterization using the RMR of Bieniawski, GSI, having as results, rock massifs with regular to good conditions, under normal conditions. Subsequently, through data processing, the fundamental geotechnical characteristics of each slope were obtained, such as the angle of friction and cohesion. Subsequently, using these characteristics, the Factor of Safety of each one of them was obtained, determining values between 1.095 - 3.990, values that indicate stability of the slopes under normal conditions, however, slopes that under tensional conditions generate instability were located, determining possible sliding planes. Finally, geological risk mapping was carried out using the safety factors obtained, which will serve as a basis for larger-scale work to help mitigate possible landslides that could cause damage to the surrounding population.

Keywords: Rock mass, Slope stability, Safety factor, Limit Equilibrium Method.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Para la investigación se planteado el siguiente problema. Durante muchos años, se ha visto grandes deslizamientos de suelo y rocas que han afectado las estructuras antropogénicas como carreteras, viviendas, representando un gran riesgo para las vidas humanas adyacentes a las zonas afectadas por la presencia de taludes inestables en la carretera Cajamarca - Urubamba. El buen conocimiento del comportamiento de un talud frente a sus posibles roturas, repercute enormemente en los costos y en la seguridad. Por ello, las investigaciones de campo (in situ) y de laboratorio, deben ser suficientes para caracterizar geotécnicamente el terreno, así como los posibles mecanismos de rotura.

El presente estudio busca evaluar los taludes presentes en la carretera Urubamba alta, específicamente en los sectores comprendidos entre las progresivas KM 1+000 – KM 9+000, mediante el software Slide v6.0, y así determinar las zonas susceptibles a peligros geológicos como deslizamientos, caída de rocas, flujos, movimientos complejos y otros; asociados a las abundantes precipitaciones en época de lluvia. Para la presente investigación obtenemos como formulación del problema. ¿Qué nivel de peligrosidad representan los taludes presentes en la carretera Cajamarca – Urubamba entre las progresivas KM1+000 – KM9+000? Considerada dentro de la investigación la siguiente hipótesis, los taludes en la carretera Cajamarca – Urubamba; presentan una alta inestabilidad, por las variables geológicas presentes tales como la pendiente, litología, hidrología; generando zonas inestables, el cual pone en peligro las infraestructuras antropogénicas y vidas humanas.

La justificación para esta investigación radica en la problemática de derrumbes y deslizamientos ocurridos en los últimos años en la carretera Cajamarca – Urubamba entre las progresivas KM1+000 – KM9+000. Estos taludes a lo largo de ocho kilómetros, presentan diferentes problemas de estabilidad debido a procesos de erosión, alteración de drenajes naturales y otros fenómenos que se intensifican durante la época de lluvias. La magnitud de los deslizamientos en ocasiones reduce el ancho de la calzada, provocando la obstrucción total de la misma, dificultando o

poniendo en riesgo la circulación vehicular. Los procesos mencionados, también determinan cierto grado de riesgo para las edificaciones situadas en la parte baja de las laderas. Por lo que la caracterización geotécnica de los taludes y laderas constituye un aspecto importante para su análisis de estabilidad. Esta estabilidad se determina cuantitativamente mediante un factor de seguridad, lo cual nos permitirá tomar las medidas de prevención adecuadas para evitar pérdidas.

La presente investigación busca evaluar los riesgos geológicos en los taludes presentes en la carretera Cajamarca – Urubamba alta, entre las progresivas KM 1+000 – KM 9+000, en el año 2024, mediante su caracterización geomecánica y un cartografiado de riesgos.

Delimitación espacial: carretera Cajamarca – Urubamba alta entre las progresivas KM 1+000 – KM 9+000.

Delimitación temporal: la investigación se realizará entre los meses de diciembre de 2023 y julio de 2024. Teniendo como objetivo general. Analizar la estabilidad de taludes en las zonas de Ronquillo y Urubamba. Y objetivos específicos. Caracterizar geotécnicamente mediante los parámetros de Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski y Geological Strength Index (GSI) de Hoek y Brown, realizar el análisis de estabilidad de taludes y laderas mediante el software Slide v 6.0, Rocklab y Dips 6.0 y determinar el factor de seguridad y delimitar las zonas más inestables.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cinco capítulos, que se describen a continuación. En el segundo capítulo, presentamos el marco teórico de nuestra investigación, revisando antecedentes teóricos tanto nacionales como locales, y describimos bases teóricas tales como el Rock Mass Rating (RMR), la clasificación de Barton 1974, el Geological Strength Index (GSI), los criterios de análisis para la estabilidad de taludes, definiciones de rotura planar y rotura en cuñas, y definiremos términos básicos. En el tercer capítulo abordaremos, la ubicación geográfica y política de la investigación, así como la accesibilidad a la zona a estudiar, la metodología que se va a usar a lo largo de la investigación y el contexto geológico en el cual está inmerso el presente trabajo de investigación. En el cuarto capítulo, nos encargaremos del análisis de resultados y la contrastación de la hipótesis. Finalmente, en el capítulo de conclusiones y recomendaciones, presentaremos los hallazgos y sugerencias de acuerdo a los objetivos inicialmente propuestos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

La zona de investigación fue estudiada de manera continua durante los últimos años

2.1.1. Nacionales

Neyra (2011), evaluación de riesgos en zonas urbanas, estudio complementario de las condiciones de riesgos de desastres en la ciudad de Cajamarca. Mediante este estudio se logró identificar sectores con un nivel de vulnerabilidad Alto, los cuales son de extensión aproximada del 20% y estos sectores se encuentran ubicados en la parte Alta de la ciudad muy cerca de las quebradas ronquillo y las demás que se activan cuando se producen precipitaciones fuertes.

Zavala y Rosado (2011), riesgo Geológico en la Región Cajamarca. En el contexto local se determinaron el potencial de algunos peligros identificados, como es el caso del deslizamiento del cerro Ronquillo, así como derrumbes antiguos de magnitud importante, la reactivación de algunos de ellos se manifiesta en la actualidad en forma muy localizada, con algunos agrietamientos o escarpas pequeñas.

Villanueva (2018), En su tesis “Evaluación geotécnica para analizar la inestabilidad de los taludes en la carretera de los Km. 128 a Km 140 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, Distrito de San Juan, provincia y departamento de Cajamarca”, analizó los taludes de la carretera San Juan Choropampa comprendida entre el Km 128 al Km 140. Identificó 10 taludes, que fueron analizados con el Software Slide v 6.0 (Método de Equilibrio Límite), utilizando los factores geológicos de cada talud, para la determinación de los parámetros geomecánicos de las unidades geológicas, mediante el análisis en el Software RocData v 4.0. El Criterio de Mohr-Coulomb fue utilizado para los taludes de suelos y el Criterio Generalizado de Hoek-Brown para los taludes de roca.

2.1.2. Locales

Bazán (2009), gestión de riesgos en la Ciudad de Cajamarca frente a la amenaza de deslizamiento zonas Urubamba, Corisorgona y Ronquillo. En el presente estudio se ha realizado una cartografía geodinámica a escala 1:25000, donde se determinaron el potencial de algunos peligros identificados, como es el caso del deslizamiento del cerro Ronquillo. Dentro del contexto local se identificaron factores geológicos de magnitud importante; la reactivación de algunos de ellos se manifiesta en la actualidad en forma muy localizada, con zonas de agrietamientos o escarpas pequeñas y con reptación de suelos en otros casos. Factores geológicos como estos originaron eventos mayores como el deslizamiento del sector Urubamba que afectó algunas viviendas de este barrio.

Lagos (2015), en su trabajo de tesis doctoral, Modelamiento de la Relación entre los procesos tectónicos y la inestabilidad de los terrenos de las zonas; Urubamba y Tres Ríos, Cajamarca – Perú; aborda el estudio de los movimientos en masa que se producen en esta área, analizado desde el método estadístico, para llegar a aplicar el método de análisis de factores condicionantes de la inestabilidad, dando como resultado resultados de factores litológicos, tectónico y el hidrogeológico, que son condicionantes principales de la inestabilidad de los terrenos; así como el tectonismo que ha generado fallamientos, fracturamiento y plegamientos en las rocas presentes, disminuyendo su resistencia por la erosión y generando inestabilidad en los terrenos que presentan estos macizos rocosos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Clasificaciones geomecánicas

Para definir las condiciones de un macizo rocoso de una manera sistemática, en la actualidad existen métodos de clasificación geomecánica muy utilizados como:

2.2.1.1. Rock Quality Designation – Deere 1967 (RQD)

Desarrollada por Deere (1967), quien propuso un índice cuantitativo porcentual de la calidad de la roca, basado en la recuperación de testigos de perforación diamantina. Sin embargo, el RQD puede ser estimado a partir de una línea de muestreo, se obtiene el promedio de la cantidad de discontinuidades que intercepta una determinada longitud. (número de discontinuidades dividida entre la longitud del muestreo) (Gavilanes y Andrade 2004).

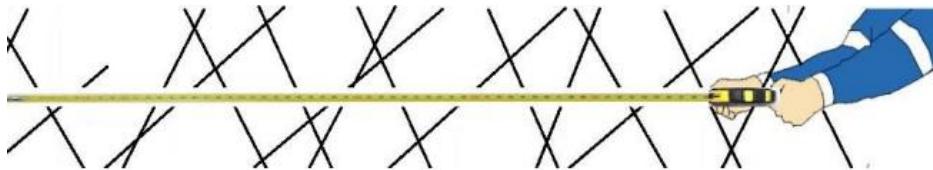


Figura 2.1: Representación esquemática para el conteo de discontinuidades en una línea de muestreo (cinta métrica)
Fuente: Diaz, (2022).

Se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$RQD = 100e^{-0.1*\lambda} * (0.1 * \lambda + 1)$$

Donde: $\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ discontinuidades}}{\text{longitud del muestreo}}$

Teniendo en cuenta los valores del RQD, los macizos rocosos pueden ser categorizados de la siguiente manera:

Tabla 2.1: Índice de Calidad de la Roca en función al RQD.

RQD (%)	Calidad de la roca
100 – 90	Muy buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Mediana
50 – 25	Mala
25 - 0	Muy mala

Fuente: González de Vallejo et al, (2004).

2.2.1.2. Rock Mass Rating (RMR)

Según González de Vallejo et al. (2004), el RMR es una clasificación geomecánica de los macizos rocosos desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

a. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

Se obtiene mediante ensayos de carga puntual, compresión simple o compresión triaxial. También se calcula contando el número de golpes propinados con picota de geólogo y compararlo a la tabla siguiente:

Tabla 2.2: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión uniaxial de rocas a partir de índices de campo.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Estimación de la roca según su resistencia	Resistencia a la compresión uniaxial (mpa)
R6	Roca extremadamente fuerte	La roca solo puede ser astillada con varios golpes con el martillo geológico.	> 250
R5	Roca muy fuerte	La roca requiere de muchos golpes con el martillo geológico para ser fracturada.	100 – 250
R4	Roca fuerte	La roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para ser fracturada.	50 – 100
R3	Roca medianamente fuerte	La roca se fractura con un solo golpe del martillo geológico.	25 – 50
R2	Roca débil	La roca se deforma o disgrega con un fuerte golpe con la punta del martillo geológico.	5 – 25
R1	Roca muy débil	La roca se disgrega con un golpe fuerte con la punta del martillo geológico.	1 – 5
R0	Roca extremadamente débil	La roca es rayada por la uña.	0.25 – 1

Fuente: Modificado de Hoek y Brown, (1997).

b. Grado de fracturación en términos del RQD.

Para este apartado, se empleará la clasificación geomecánica de Rock Quality Designation – Deere 1967 (RQD), la cual consiste en contar el número de discontinuidades en una determinada longitud.

c. Espaciado de las discontinuidades.

El espaciado de las discontinuidades es la distancia entre dos planos de discontinuidad de cada familia, es decir, de cada conjunto con las mismas características geomecánicas.

La resistencia del macizo rocoso se va reduciendo al aumentar el número de juntas, o sea, cuando disminuyen los espaciados de cada familia. En la Figura 1 se muestra gráficamente la variación de resistencia del macizo, en función del espaciado de las juntas y de la resistencia a compresión simple del material rocoso. Existen muchas clasificaciones del espaciado de las juntas. La utilizada por Bieniawski es la propuesta por Deere en su clasificación de 1967 que se presenta en la Tabla 2.3. (Ramírez, 2004)

Tabla 2.3: Clasificación de Deere del espaciado de las discontinuidades

Descripción	Espaciado de las discontinuidades	Tipo de macizo rocoso
Muy ancho	> 3 m	Sólido
Ancho	1 – 3 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0,3 – 1 m	En bloques
Cerrado	50 – 300 mm	Fracturado
Muy cerrado	<50 mm	Machacado

Fuente: Deere, (1967)

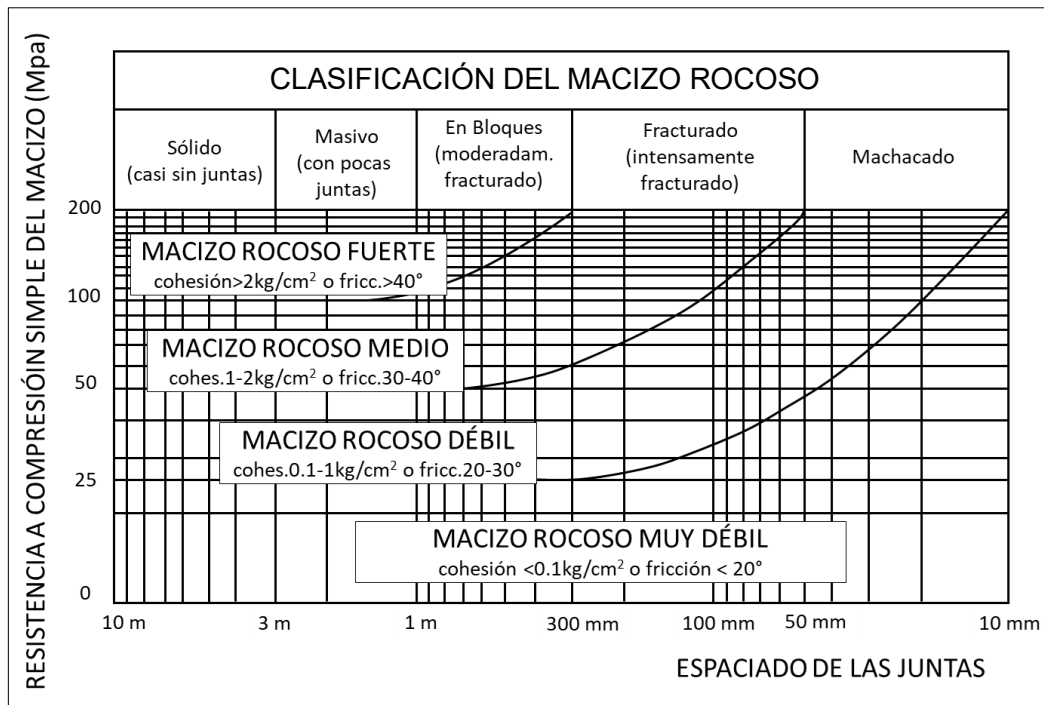


Figura 2.2: Variación de la resistencia del macizo rocoso en función del espaciado de las discontinuidades y de la resistencia a compresión simple de la roca
Fuente: Bieniawski, (2003).

d. Condiciones de las discontinuidades

Está conformado por los siguientes parámetros:

Persistencia (longitud de la discontinuidad)

Abertura

Rugosidad

Relleno

Alteración

e. Condiciones hidrogeológicas.

Las condiciones hidrológicas del macizo rocoso se evalúan y puntúan para determinar su impacto en la estabilidad y calidad del macizo rocoso. Según sus características, estas condiciones pueden ser: completamente seco, seco, húmedo, agua a presión moderada, y agua a presión fuerte.

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como la suma de todos ellos.

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Tabla 2.4: Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR89

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa		
		Compresión simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa < 1 MPa
		PUNTUACIÓN	15	12	7	4	2	1 0
	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%	
2	PUNTUACIÓN		20	17	13	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm	
	PUNTUACIÓN		20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m	
		VALOR	6	4	2	1	0	
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm	
		VALOR	6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		VALOR	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm	
		VALOR	6	4	2	2	0	
		Alteración	Inalterada	Lig. alterada	Mod. alterada	Muy alterada	Descompuesta	
		VALOR	6	5	3	1	0	
	PUNTUACIÓN		30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / σ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5	
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo	
	PUNTUACIÓN		15	10	7	4	0	

Fuente: Ramírez, (2004)

Luego de hallar el promedio ponderado de la puntuación de los cinco parámetros de clasificación para Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski 1989), tenemos la siguiente tabla en la que se indica la calidad del macizo rocoso.

Tabla 2.5: Calidad del Macizo Rocosó en función al RMR_{89} .

CLASE	DESCRIPCIÓN	CALIDAD DE LA ROCA
I	Muy buena	81 – 100
II	Buena	61 – 80
III	Media	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy mala	< 20

Fuente: Bieniawski, (1989).

2.2.1.3. *Geological Strength Index (GSI)*

El GSI se desarrolló específicamente como un método para tener en cuenta las propiedades de un macizo rocoso diaclasado que influyen en su resistencia y deformabilidad. La resistencia de un macizo rocoso diaclasado depende de las propiedades de los fragmentos de roca intacta y de la libertad de esos fragmentos para deslizarse y girar bajo una serie de condiciones de esfuerzos impuestas. Esta libertad está controlada por las formas de los fragmentos de roca intacta, así como por el estado de las superficies que las separan. Por lo tanto, se basa en una observación cuidadosa del macizo rocoso.

González de Vallejo, L. 2004. Indica que el GSI se basa en estimaciones cualitativas, y en modelos simples, que rara vez coinciden con las condiciones reales y que las observaciones debían ser realizadas por geólogos o ingenieros geólogos cuantificadores.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la siguiente tabla la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI (Hoek – Brown 1994).

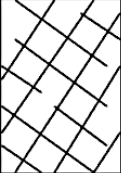
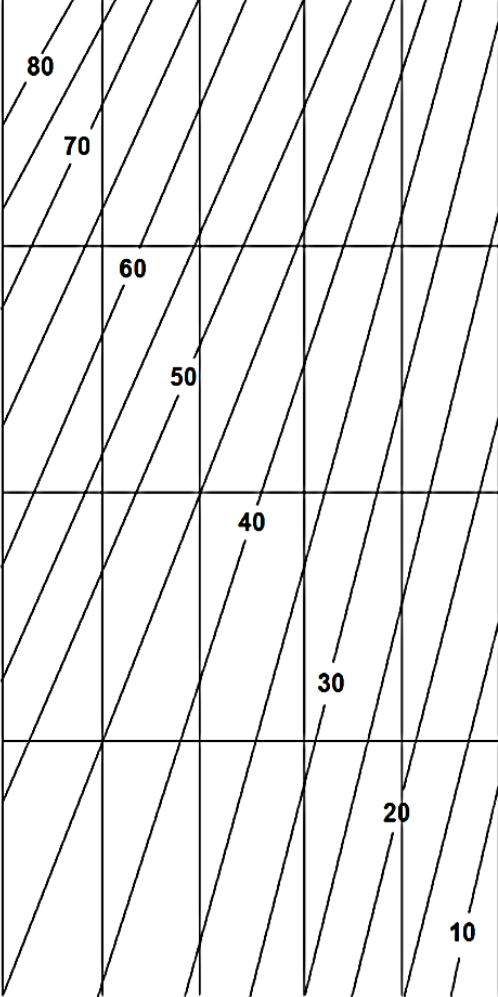
ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI , de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI , por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración) BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con películas de óxido de hierro REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas MALA Superficies lisas y cizaladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes MUY MALA Superficies lisas y cizaladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES ➤	
	FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.	DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA 	
	FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.		
	FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.		
	DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS		

Figura 2.3: Estimación del Índice Geológico de resistencia, GSI, en base a una descripción geológica del macizo rocoso
Fuente: Hoek y Brown (1980)

- **Estimación del GSI en términos del RQD y las condiciones de las discontinuidades**

Los primeros candidatos para estas escalas son las valoraciones de las Condiciones de Discontinuidades (JCond89) definidas por Bieniawski (1989) y la Designación de la Calidad de la Roca RQD (Rock Quality Designation) definido por Deere (1963).

La figura 2.1, muestra la tabla en la cual el eje “X” está definida por $1.5JCond_{89}$ y el eje “Y” por $RQD/2$.

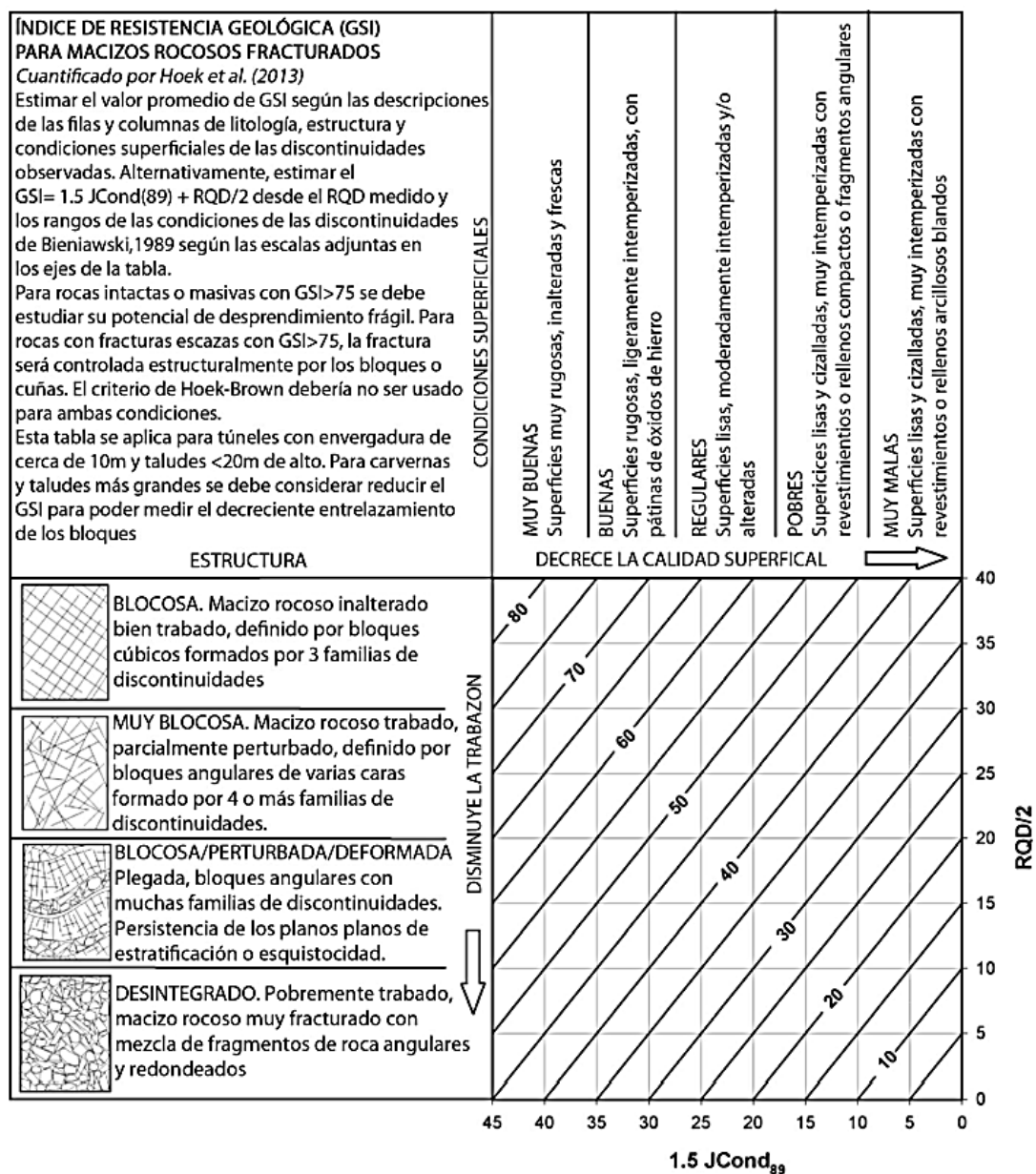


Figura 2.4: Cuantificación del GSI mediante las Condiciones de las Discontinuidades y el RQD.

Fuente: Hoek *et al*, 2013.

El valor del GSI está dado por la suma de estas escalas que resultan en la siguiente relación:

$$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$$

2.2.2. Criterios de Rotura

2.2.2.1. Criterio de Mohr – Coulomb

Introducido por primera vez en el año 1973, inicialmente realizado para estudios de suelos. A partir de una serie de pruebas de compresión, llevadas a cabo sobre muestras idénticas de suelo, con presiones de confinamiento diferentes, representadas por un conjunto de círculos de Mohr que, al unir con una recta tangente a estos círculos, se representaría la envolvente de falla.

Según Gonzales de Vallejo *et al*. (2004). Este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática:

$$\tau = c + \sigma_n * \tan \phi$$

Donde:

c = Cohesión efectiva.

ϕ = Ángulo de rozamiento interno efectivo.

τ = Tensión tangencial.

σ_n = Tensión normal que actúa en el plano de rotura.

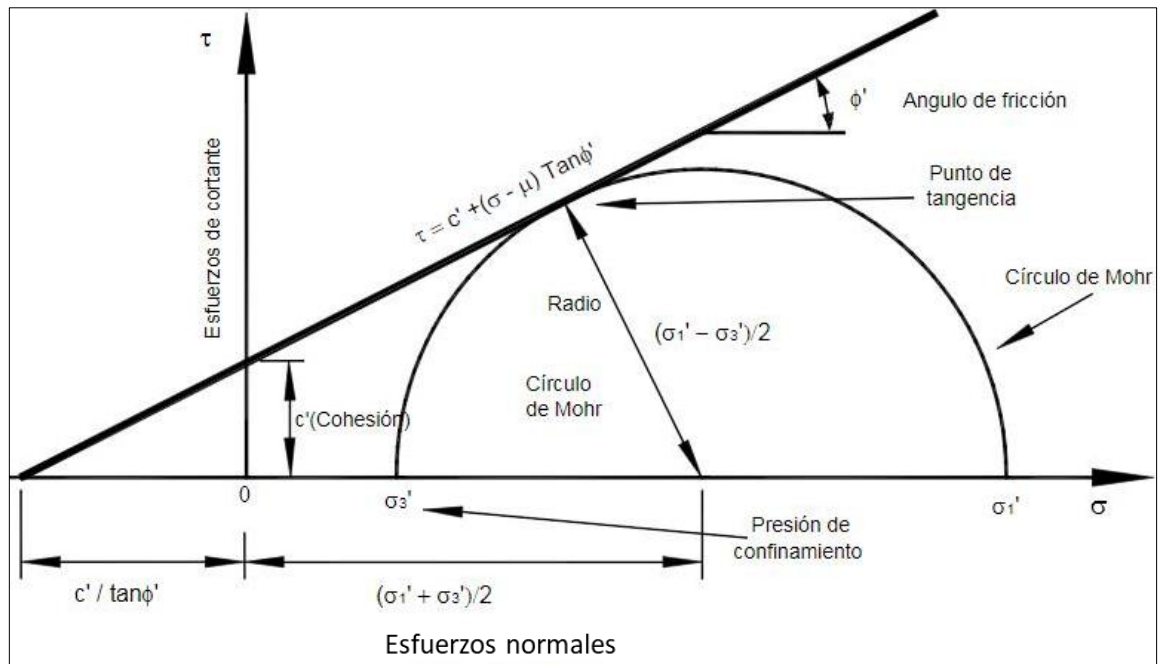


Figura 2.5: Representación gráfica de la ecuación de Coulomb.
Fuente: Suarez, 2019.

2.2.2.2. Criterio de Hoek - Brown generalizado

El criterio de rotura original de Hoek – Brown (1980) ha sido desarrollado para estimar la resistencia de los macizos rocosos competentes, pero a falta de otras herramientas se aplicaba a diferentes tipos de rocas incluyendo las rocas blandas de muy baja calidad. Por esa razón se ha desarrollado el criterio modificado de Hoek – Brown (1992).

El criterio generalizado de Hoek – Brown (1997) cubre todos los tipos de estado del macizo rocoso y viene apoyado con la aplicación a los casos prácticos y en su última versión (Hoek *et al.* 2002) introduce un nuevo parámetro, el factor de alteración (D).

Al aplicar el Criterio de Hoek y Brown Generalizado, los valores del macizo rocoso se obtienen la la siguiente expresión:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

m_b es un valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}}\right)$$

D es un factor que depende del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

La resistencia a la compresión uniaxial se obtiene haciendo $\sigma'_3 = 0$ en el criterio de Hoek - Brown generalizado. Dada por la expresión.

$$\sigma_c = \sigma_{ci} S^a$$

La resistencia a la tracción se obtiene haciendo $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma_t$ en el criterio generalizado de Hoek-Brown. Esto representa un estado de tensión biaxial. Dada por la expresión:

$$\sigma_t = -\left(\frac{s\sigma_{ci}}{m_b}\right)$$

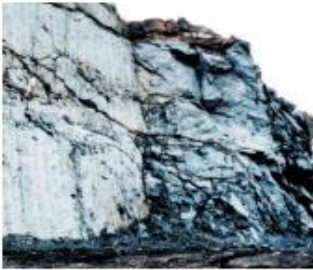
Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	$D = 0$
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	$D = 0.8$
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo, la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Figura 2.6: Guías para estimar el factor de alteración D .
Fuente: Hoek *et al*, (2002).

2.2.3. Talud

Se puede considerar como talud al terreno que posee un grado de pendiente significativo. Cuando el origen de la pendiente se formó de menara artificial, es decir con la intervención de la mano del hombre se denomina “talud” y cuando su conformación de la pendiente tuvo como origen un proceso natural adopta el nombre de ladera.

Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un Deslizamiento (Hernández y Tamayo 2019).

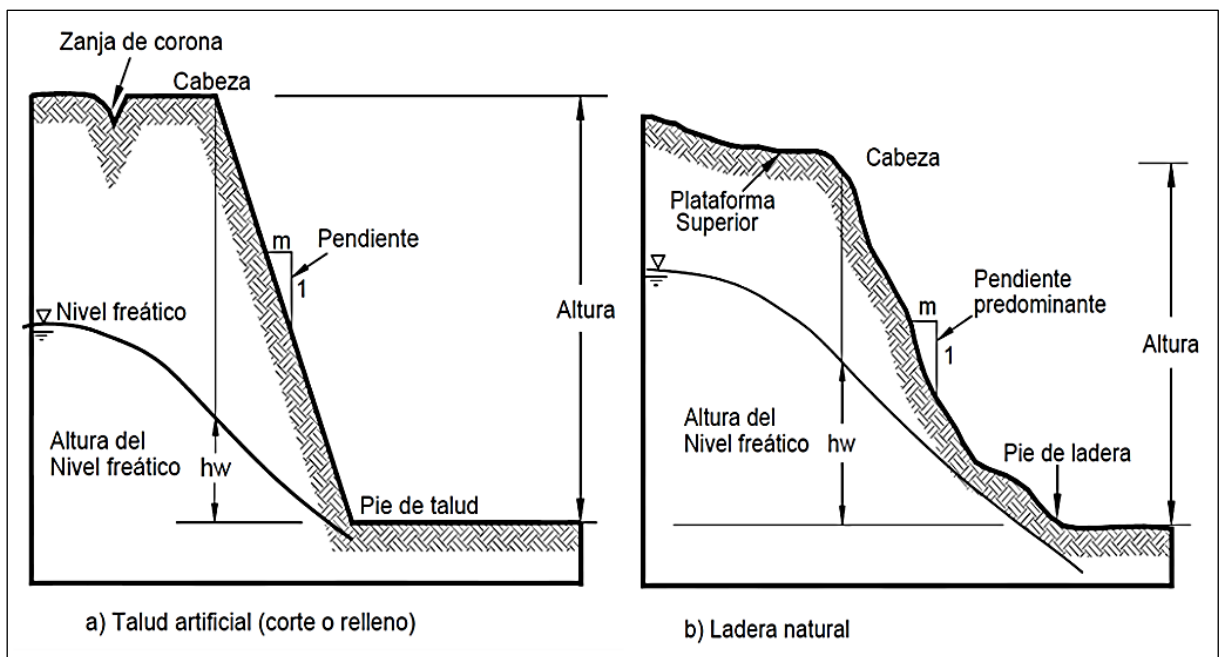


Figura 2.7: Tipos de Taludes: a. Talud artificial y b. Ladera natural
Fuente: Suárez, (2009).

2.2.3.1. Factores influyentes en la estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno

(resistencia y deformabilidad). El conocimiento de cada uno de estos factores permitirá un correcto análisis del talud, la evaluación del estado del mismo y diseñar medidas de prevención y corrección. (González de Vallejo *et al*, 2004).

Tabla 2.6: Factores influyentes en la estabilidad de taludes.

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
• Estratigrafía y litología. • Estructuras geológicas. • Condiciones hidrológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales. • Propiedades físicas, resistentes y deformacionales. • Tensiones naturales y estado tenso – deformacional.	• Sobrecargas estáticas. • Cargas dinámicas. • Cambios en las condiciones hidrogeológicas. • Factores climáticos. • Variaciones en la geometría. • Reducción de parámetros resistentes.

Fuente: González de Vallejo *et al*, (2004).

2.2.4. Rotura en rocas

2.2.4.1. Rotura planar

Se llama rotura planar o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud.

También puede producirse en terrenos granulares en los que, entre dos terrenos de buenas características resistentes, se intercala un estrato de poco espesor de material con menos resistencia.

Este tipo de rotura no es muy frecuente, ya que deben darse las dos condiciones siguientes:

Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20°.

Los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable (González de Vallejo, 2002)

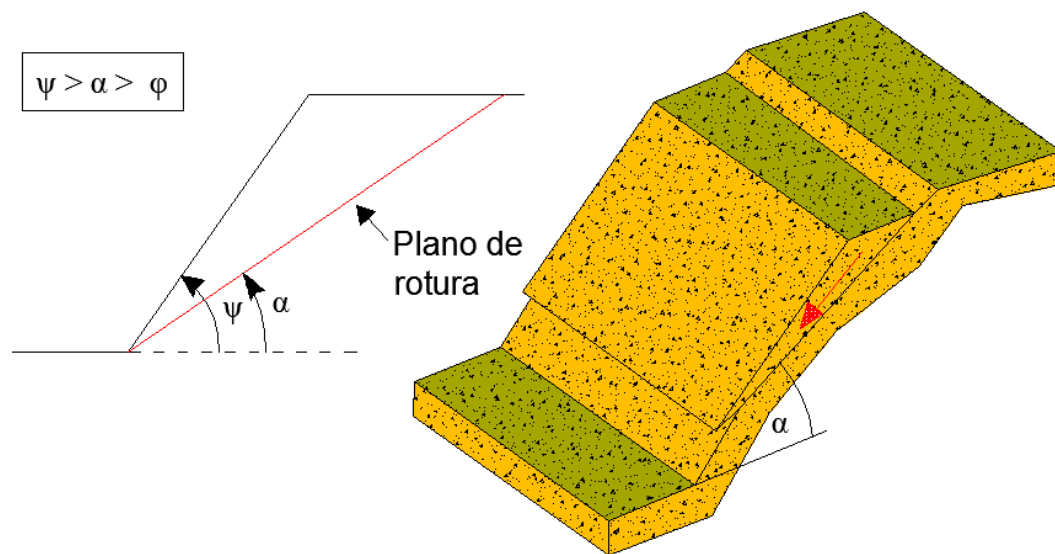


Figura 2.8: Representación de rotura planar en taludes
Fuente: Gonzales de Vallejo et al, 2004.

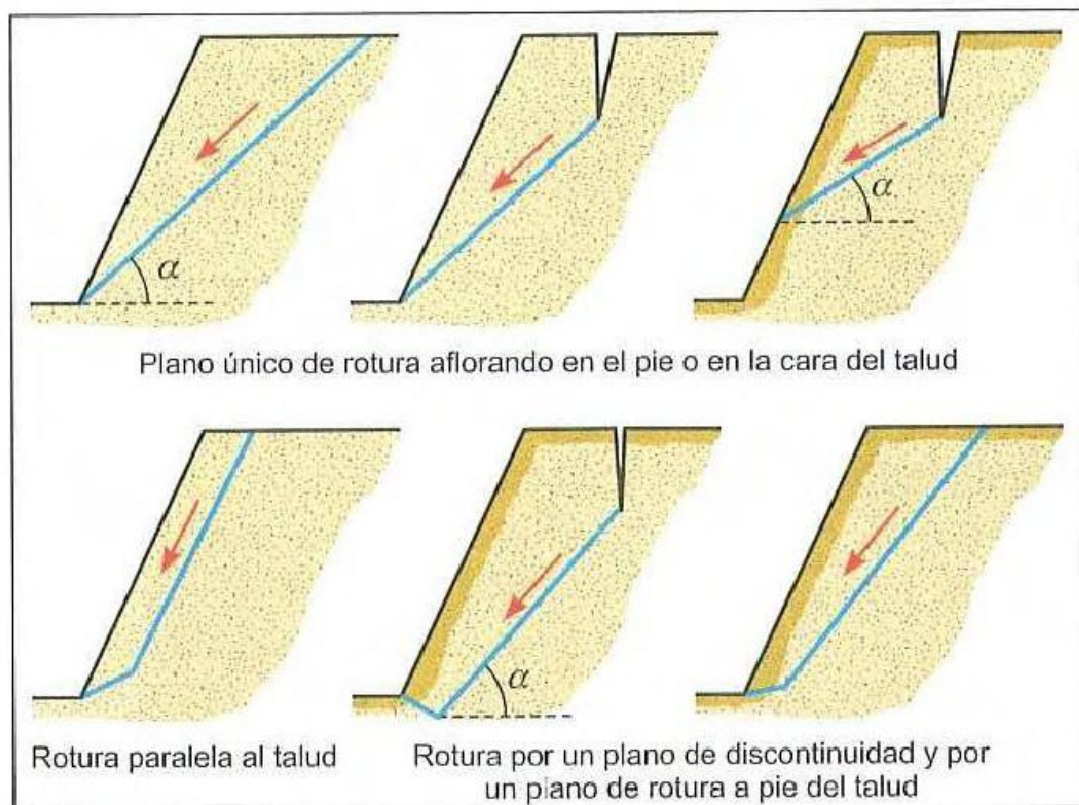


Figura 2.9: Tipos de rotura planar
Fuente: González de Vallejo et al, (2004).

- **Análisis de estabilidad en rotura planar.**

En caso de rotura planar el factor de seguridad FS se obtiene de forma directa como cociente entre las fuerzas que tienden a producir el movimiento y las fuerzas resistentes del terreno que se oponen al mismo, proyectadas todas según la dirección del plano de rotura. Al calcular el FS de esta manera, se supone implícitamente constante a lo largo de toda la superficie de rotura, lo cual se acepta a pesar de no ser estrictamente cierto.

En el caso más general, se considera que el plano de deslizamiento se encuentra en su parte superior por una grieta de tracción, que se puede suponer plana, total o parcialmente llena de agua. En el plano de rotura aparecen unas presiones intersticiales que dependen de la situación de la línea de saturación y de las características del terreno (Díaz, 1998)

2.2.4.2. Rotura por cuñas

Se denomina rotura por cuña, aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable. Ese tipo de rotura se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas (Gonzales de Vallejo, 2002).

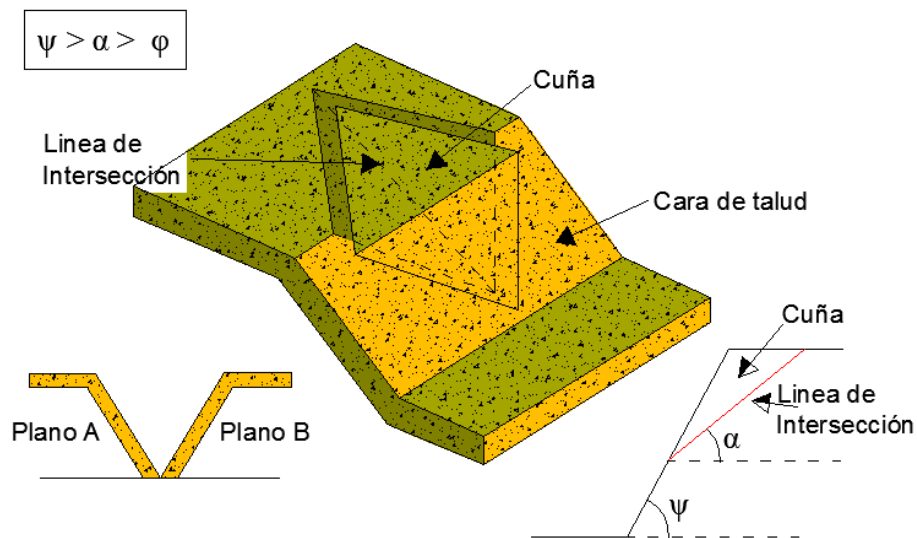


Figura 2.10: Condiciones para la rotura en cuña.
Fuente: González de Vallejo et al, (2004).

- **Geometría de la rotura por cuñas.**

Si proyectamos el plano del talud y las discontinuidades en una proyección semiesférica equiareal de Schmidt, la disposición típica de los casos en que es posible este tipo de rotura, es como el que aparece en la figura adjunta. En ella se aprecian dos familias de discontinuidades de rumbos oblicuos respecto al del talud, quedando el rumbo de éste comprendido entre los de las familias de discontinuidades.

La dirección de deslizamiento es la de la intersección de las dos familias de discontinuidades y ha de tener menos inclinación que el talud (Huerta, 2001)

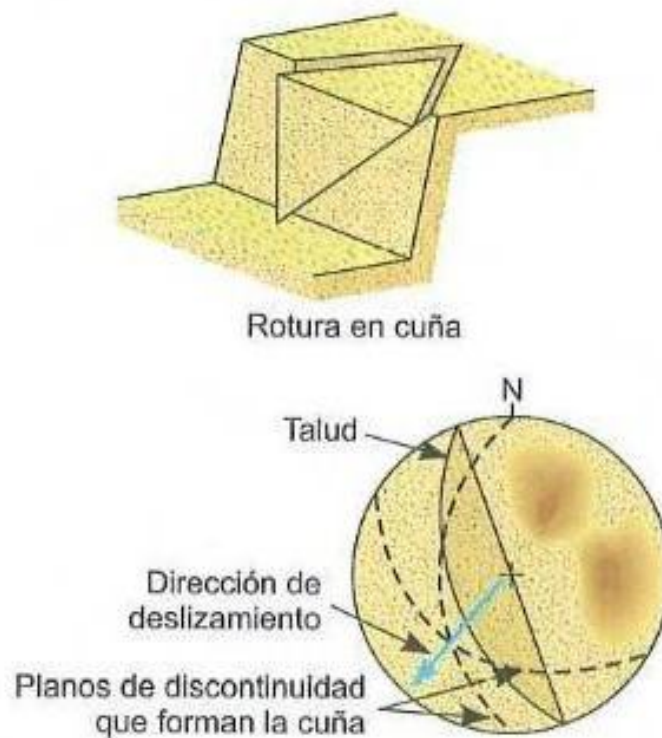


Figura 2.11: Proyección estereográfica de deslizamiento por cuña
Fuente: González de Vallejo et al, (2004).

2.2.4.3. Rotura por vuelco

Para que se produzca una rotura o falla por volcamiento es necesario que exista un set de discontinuidades paralelas o subparalelas y otro set perpendicular o subperpendicular. Estas estructuras forman bloques los cuales pierden la adhesión a la matriz y pueden rotar por sobre la base por efectos de la gravedad o presión de agua en las discontinuidades (Melentijevic, 2005).

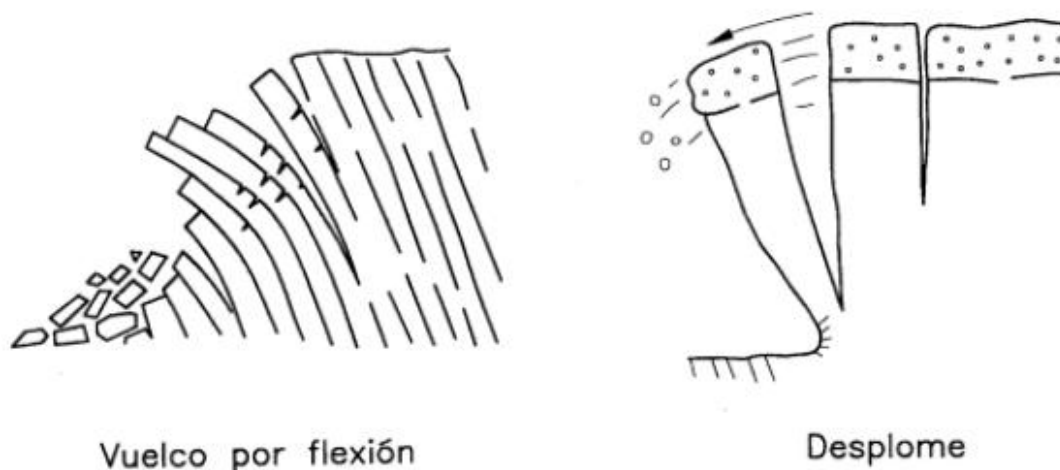


Figura 2.12: Mecanismos de vuelco.
Fuente: Corominas y García Yagüe, 1997.

2.2.5. Análisis de estabilidad

En cuanto a los métodos de análisis para problemas de estabilidad éstos se dividen en dos grandes grupos: los Métodos de Equilibrio Límite y los Métodos Numéricos. Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación (“Toppling”) y las fallas en cuña (Suarez 2009).

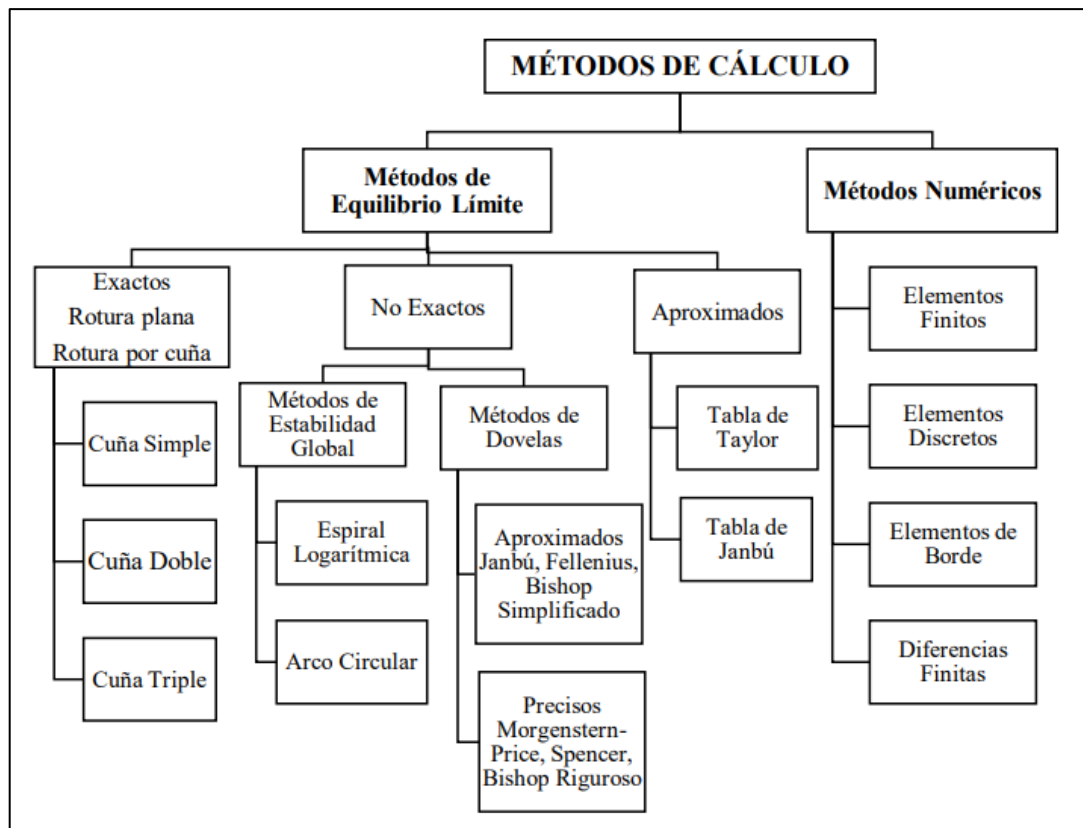


Figura 2.13: Métodos de análisis de estabilidad de taludes.
Fuente: Suarez, (2009).

2.2.5.1. Métodos de equilibrio límite

Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación. El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0 (Suarez 2009). Se basan en:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- La definición de coeficiente de seguridad.

Asimismo, se asumen las siguientes condiciones:

- Geometría que permita que ocurra el deslizamiento (cinemáticamente posible).
- La distribución de las fuerzas que actúan en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua).
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Teniendo en cuenta estas condiciones, se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que provocan el deslizamiento y las resistentes a éstas. El valor del coeficiente de seguridad de la superficie del talud en estudio, viene a ser el equilibrio límite entre las fuerzas que actúan. (González de Vallejo *et al.* 2004).

Tabla 2.7: Métodos de análisis de estabilidad de taludes utilizadas en la investigación.

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.

Fuente: Suarez, (2009).

Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos de todo el mundo, son el simplificado de Bishop y los métodos precisos de Morgenstern y Price y Spencer. Cada método da valores diferentes en el factor de seguridad. De los cuales para esta investigación se utilizará el método de Bishop simplificado, Janbú simplificado, Spencer y GLE/Morgenstern y Price.

Aunque una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados por el método de Bishop difieren aproximadamente un 5% con respecto a soluciones más precisas.

2.2.6. Factor de seguridad (Fs)

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

F.S. = Resistencia al cortante disponible / esfuerzo al cortante actuante.

En la actualidad el factor de seguridad se define como la relación entre la fuerza total disponible para resistir el deslizamiento (estabilizadoras) y la fuerza total que tiende a inducir el deslizamiento (desestabilizadoras); es decir:

$$FS = \frac{\text{fuerzas estabilizadoras}}{\text{fuerzas desestabilizadoras}} \text{ o } \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas actuantes}}$$

Cabe recalcar que el talud es estable cuando las fuerzas resistentes son mayores a las fuerzas actuantes y cuando un talud es inestable ocurriría el caso contrario.

2.2.7. Sismicidad

Para definir las condiciones sísmicas se tomó como referencia la Modificación de la Norma Técnica E.30 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), con su modificatoria con Decreto Supremo N° 003-2016-

Vivienda, publicada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016); donde señala que: “El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas sísmicas (ver Figura 2.14). La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como, en la información neotectónica”

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla 2.8. Este factor se interpreta como la aceleración sísmica máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

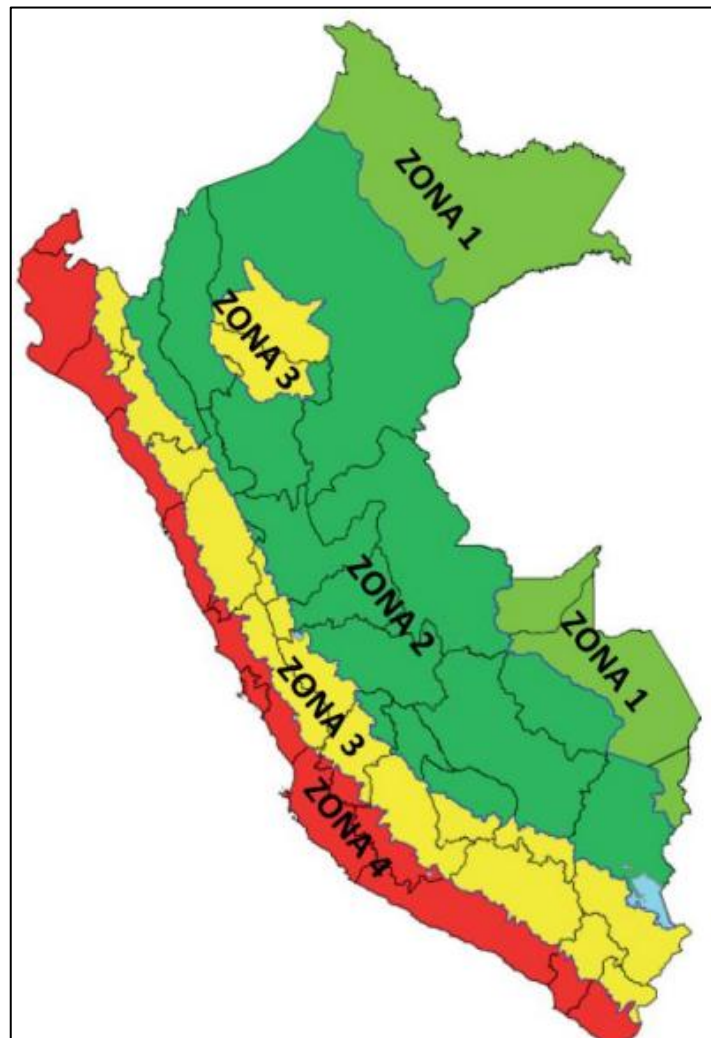


Figura 2.14: Zonificación sísmica en el territorio peruano.
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, (2023).

Tabla 2.8: Factor de Zona definida en la Norma Técnica E.30.

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Litología. Ciencia que estudia las rocas, emplea el conocimiento obtenido de las exposiciones en el campo o de las muestras de mano (Huang, 2009).

Macizo rocoso. Masa rocosa afectada por discontinuidades o superficies de debilidad (González de Vallejo *et al.* 2004).

Geodinámica. Parte de la geología física o geomorfología que estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa) (Dávila 2011).

Discontinuidades. Son superficies de estratificación, laminación, juntas, fallas, que rompen la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de dichos planos (González de Vallejo *et al.* 2004).

Deslizamiento. Deslizamiento de masas rocosas o de suelo por la pérdida de estabilidad, que puede ser por saturación de agua, presencia de materiales arcillosos que actúan como lubricantes, fuertes inclinaciones de las vertientes u otras causas (Dávila 2011).

Inestabilidad. Alteración del estado tensional de un macizo rocoso causado por presencia de discontinuidades, factores geométricos, geodinámica externa y factores geotécnicos (Dávila 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

La presente investigación se ubica geográficamente en la carretera Cajamarca-Urubamba Alta, iniciando en la progresiva Km 1+000 hasta la progresiva Km 9+000 de la misma carretera. Las coordenadas del punto inicial y final se especifican en la tabla 3.1, obtenidas mediante GPS navegador, en el sistema UTM, Datum WGS 84 y Zona 17S.

Tabla 3.1: Coordenadas del punto inicial y final del tramo de estudio.

Vértices	Norte	Este	Cota
Punto inicial (km 1+000)	9207507	772383	2951
Punto final (km 9+000)	9207106	770984	3265

3.1.2. Política

Políticamente el área de estudio, se ubica en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca en el caserío Urubamba alta (Plano 01 ubicación).

3.2. ACCESIBILIDAD

Para poder acceder al área de investigación se utiliza la carretera asfaltada Cajamarca – Barrio Urubamba, teniendo como referencia de inicio la plaza de armas de la ciudad de Cajamarca, hasta la cuadra 01 de la Av. Perú, continuando por la Av. Ronquillo hasta el punto de inicio en la progresiva km1+000, teniendo que recorrer aproximadamente 3 km, con un tiempo aproximado de 45 min.

Tabla 3.2: Cuadro de accesibilidad

Tramo	Tipo de carretera	Total (km)	Tiempo (minutos)
Cajamarca – Barrio Urubamba	Pavimentada	2.0	30
Barrio Urubamba – zona de estudio	Afirmada	1.0	15

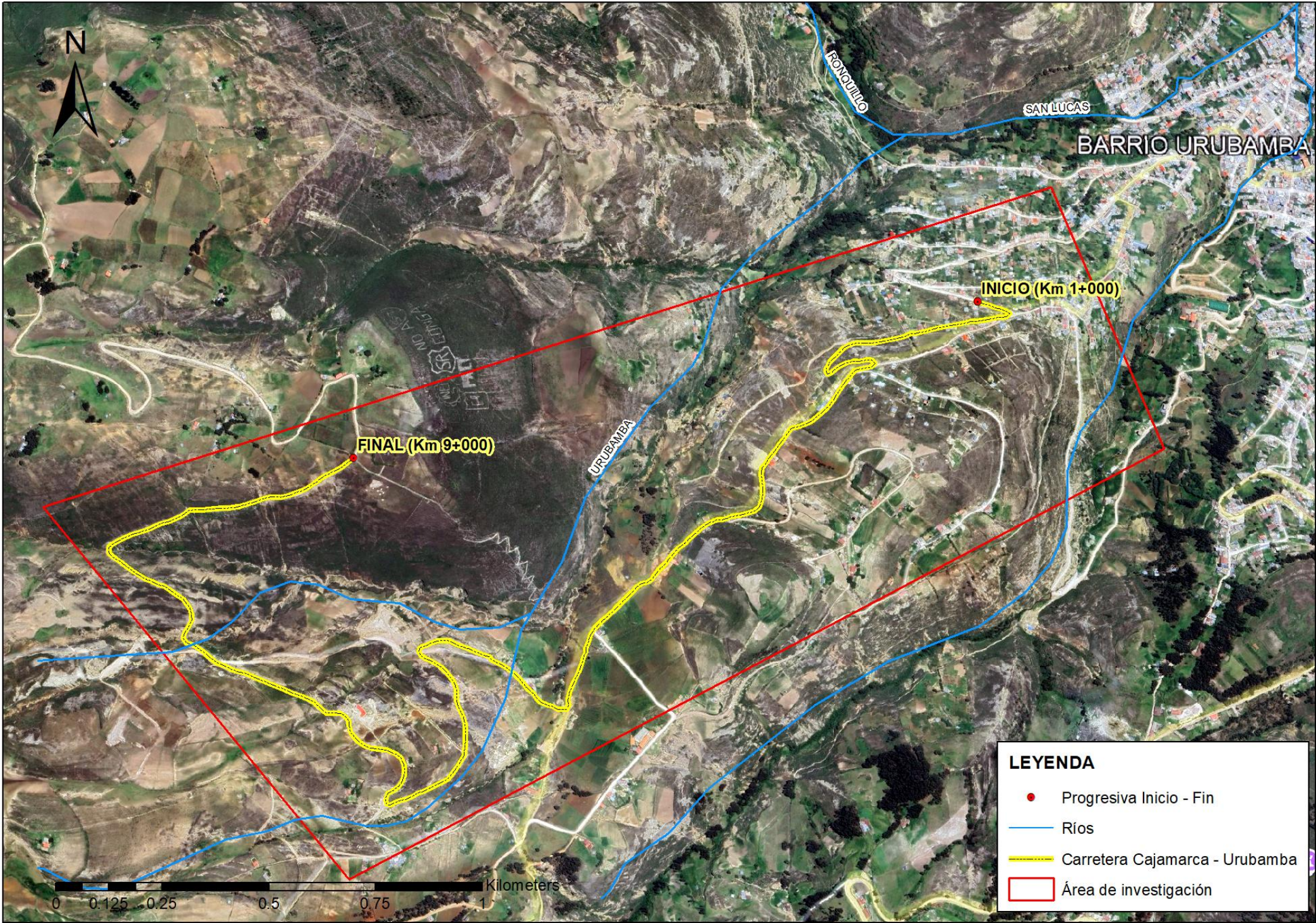


Figura 3.1: Accesibilidad desde el KM 1+000 al KM 9+000
Fuente: Google Earth Pro 2024.

3.3. CLIMA Y PRECIPITACIÓN

Para describir las condiciones climáticas recurrimos a la Estación Meteorológica de Aylambo. El área de estudio presenta dos estaciones del año bien definidas: la Estación de Lluvias, que va de septiembre a mayo, siendo febrero el mes con mayor precipitación. Durante esta temporada, los pobladores aprovechan para sembrar cultivos de alimentos y pastos. Por otro lado, el periodo de Estiaje abarca de junio a agosto.

Durante los meses de mayo hasta septiembre, se registran las temperaturas máximas y mínimas, alcanzando valores mínimos de 4.9°C. Esto resulta en heladas durante las madrugadas y temperaturas altas al mediodía, que pueden llegar hasta los 21.5°C. Estos cambios tienen efectos significativos en los cultivos agrícolas, especialmente en los pastos.

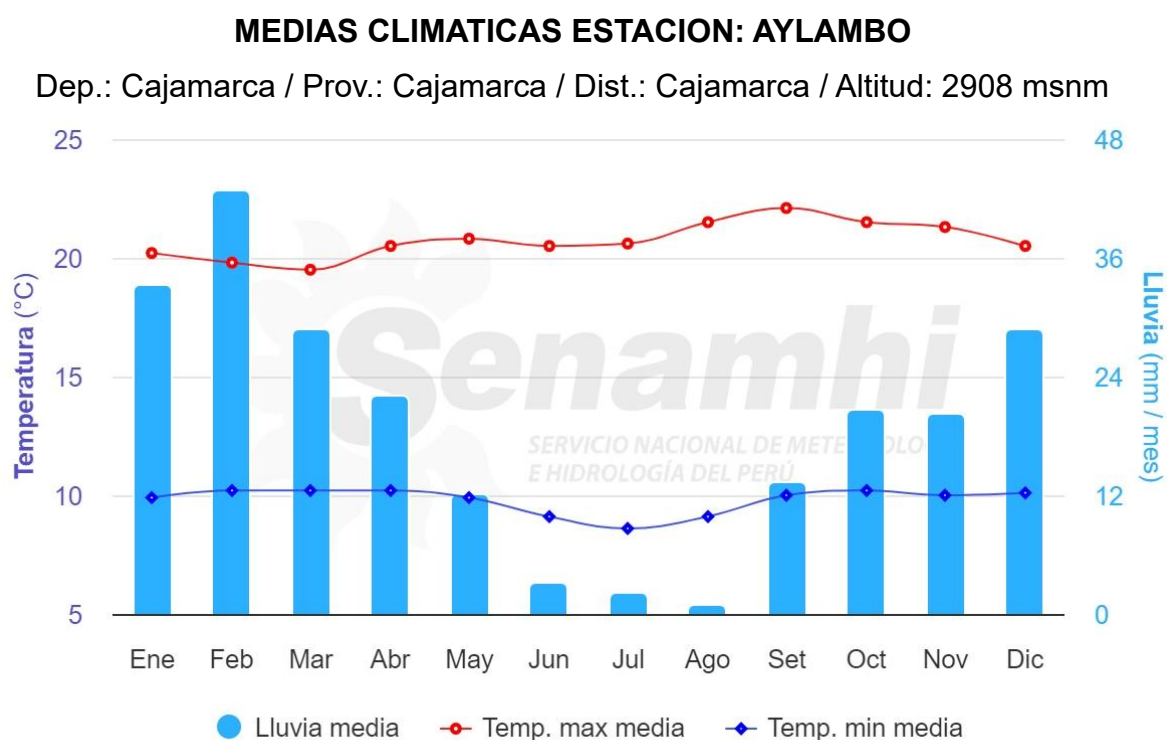


Figura 3.2: Clima del distrito Urubamba Alta teniendo en cuenta la Estación meteorológica de Aylambo.
Fuente: SENAMHI, (2024).

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Tipo y método de investigación

Tabla 3.3: Clasificación y tipo de investigación

Clasificación	Tipo de investigación
Por su nivel	Descriptiva, analítica. Ya que se utilizarán descripciones, medidas y comparaciones para lograr los objetivos de la investigación y analítica porque se relacionarán las causas y efectos de las condiciones que actúen sobre los taludes.
Por su diseño	No experimental, de campo. Será no experimental, de campo; porque se observarán las condiciones en las cuales están los taludes en su contexto natural, directamente en el campo.
Por su naturaleza	Cuantitativa Será de carácter cuantitativo, ya que se tomarán datos numéricos en campo para su posterior interpretación y la predicción de fenómenos que se podrían suscitarse.
Por su finalidad	Aplicativa De finalidad aplicativa porque los resultados obtenidos servirán posteriormente para la aplicación de métodos que servirán para mitigar los posibles peligros dentro de la zona.

3.4.2. Población de estudio

La presente investigación tiene como población de estudio a los taludes presentes en la carretera Urubamba alta entre las progresivas Km 1+000 – Km 9+000; 8 km de longitud.

3.4.3. Muestra

La muestra tomada dentro de la investigación está definida por las variables independientes; agua, macizo rocoso, pendiente, meteorización, estructuras, geomorfología, características geomecánicas.

3.4.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis son los parámetros geomecánicos de los taludes, tales como RQD, RMR, GSI, presentes en la carretera Urubamba alta entre las progresivas Km 1+000 – Km 9+000.

3.4.5. Identificación de variables

Para la investigación se han determinado las siguientes variables:

Variable Dependiente: Inestabilidad de taludes.

Variables independientes: agua, macizo rocoso, pendiente, meteorización, estructuras, geomorfología, características geomecánicas.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas

Las técnicas empleadas que se desarrollarán, serán a través de la identificación y caracterización de las rocas presentes en los taludes, así mismo se realizará el análisis documental de los mismos. Es necesario señalar que la realización de la investigación se hará en cuatro etapas: una primera preliminar, donde se realizará la recopilación bibliográfica del tema de investigación; una segunda de campo, en donde se tomarán todos los datos insitu mediante la utilización de formatos geomecánicos que caractericen los taludes presentes; una tercera de gabinete, donde se realizará el procesamiento de los datos obtenidos en campo y por último una cuarta etapa final, donde se realizará la discusión de los resultados obtenidos y la posterior redacción del informe final de la investigación.

3.5.2. Instrumentos y materiales

Los instrumentos y herramientas para la recolección de datos son:

- Brújula Brunton, servirá para la recolección de datos en los taludes.
- GPS, instrumento para georreferenciación.
- Picota de geólogo, herramienta que servirá para la obtención de muestras.
- Flexómetro de 5 metros, como herramienta de medición.
- Lápiz rayador, nos servirá para determinar la dureza de la roca en campo.
- Protactor, instrumento que nos servirá para plasmar el mapeo en campo.
- Tablero, herramienta que ayudará en el transporte y resguardo de planos.
- Cámara digital, instrumento para recolectar evidencia fotográfica en campo.

Los materiales para la recolección de datos son:

- Libreta de campo.
- Tablas geomecánicas ya establecidas por Víctor Tolentino 2008, rediseñado y adaptado por Rodríguez, R-v1-2016.

3.5.3. Softwares

- ArcMap 10.5
- Dips v.7.0
- RocData v.4.0
- Slide v.6.0
- Microsoft Office 2019

3.6. PROCEDIMIENTO

La investigación se llevará a cabo en tres etapas, diferenciadas como etapa preliminar, etapa de campo y etapa de gabinete.

3.6.1. Etapa preliminar

Esta etapa está caracterizada por la planificación de tareas a realizar, la recopilación de información de fuentes primarias y secundarias; mapas geológicos, bases teóricas preexistentes y trabajos previos realizados en nuestra área de investigación; así como el análisis de imágenes satelitales del área de investigación para un mejor entendimiento de las estructuras y geoformas presentes.

3.6.2. Etapa de campo

Las salidas a campo serán claves para el desarrollo del presente trabajo de investigación, con ellas se logrará identificar y la caracterización geomecánica de los taludes presentes en la carretera Cajamarca – Urubamba, entre las progresivas km1+00 – km9+00, mediante las mediciones insitu de discontinuidades, tamaño de fracturas, medición de la pendiente del talud o ladera. Se identificarán también las alteraciones tanto en el macizo rocoso como en el relleno de las diaclasas.

3.6.3. Etapa de gabinete

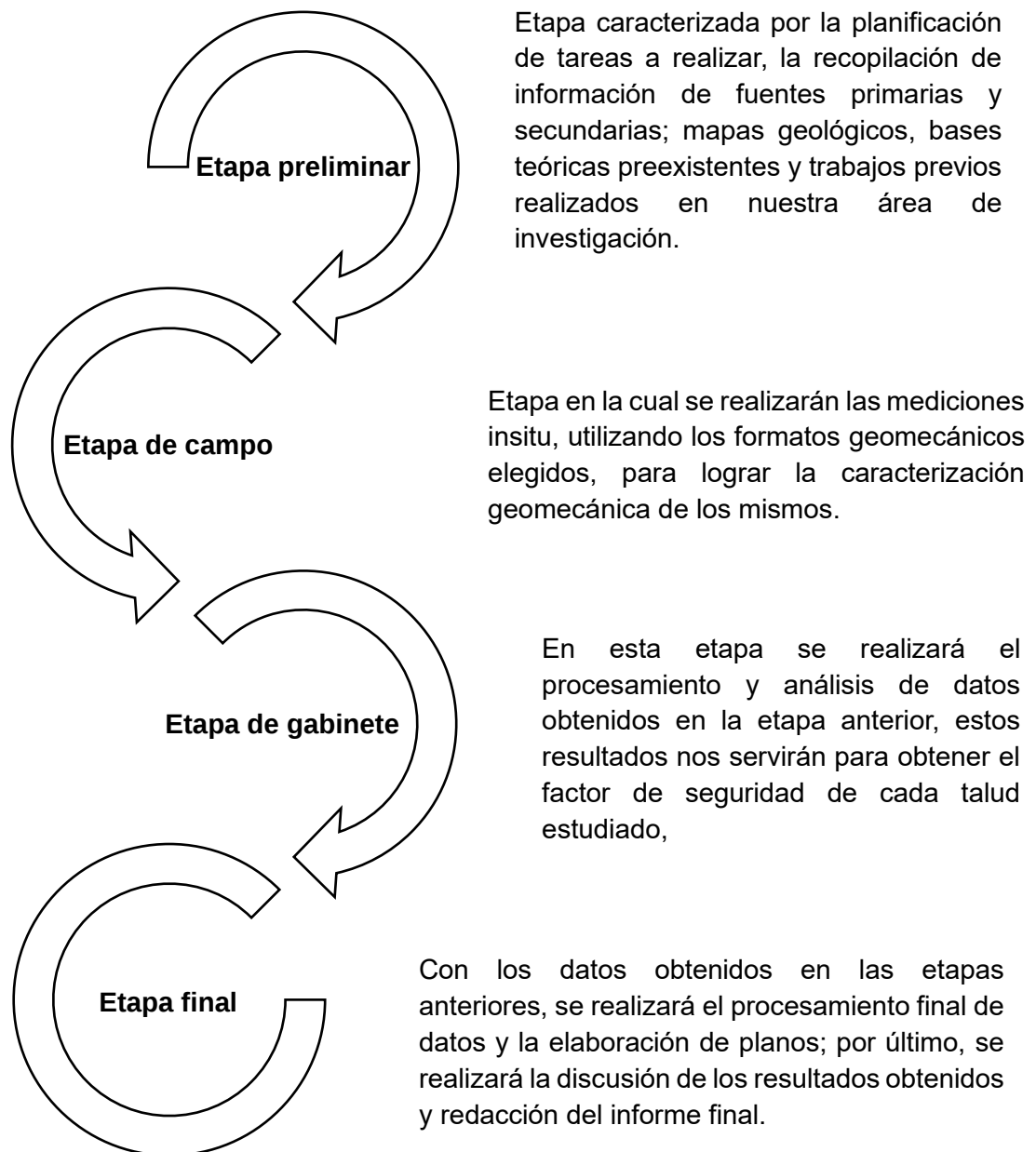
Durante la etapa de gabinete se realizará el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en campo, estos se someterán a tablas ya establecidas teniendo en cuenta los parámetros del Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski, 1962 y Geological Strength Index (GSI) de Hoek y Brown, 1980; la finalidad de estos cálculos será determinar el factor de seguridad. El cual debe tomar un valor numérico igual o mayor a tres que indica la estabilidad de un talud. Además, utilizando los resultados de las tablas anteriores los datos se procesarán utilizando los softwares Roclab v1.0 para obtener parámetros importantes como ángulo de fricción y cohesión con los cuales podremos obtener el factor de seguridad utilizando el software Slide v6.0.

3.6.4. Etapa final

Con los datos obtenidos en las etapas anteriores, se realizará el procesamiento final de datos y la elaboración de planos mediante el uso del software ArcGis 10.2;

por último, se realizará la discusión de los resultados obtenidos y redacción del informe final.

Diseño del trabajo de investigación



3.7. GEOLOGÍA LOCAL

3.7.1. Grupo Crisnejas

3.7.1.1. Formación Chulec (Ki – chu)

Esta Formación se distingue claramente por su constitución litológica de calizas, calizas arenosas, que ocurren en estratos gruesos de 20 cm a 1 m de espesor y margas beiges, usualmente están intercaladas con capas de lutitas pardas y lutitas grises oscuras.

Es claramente diferenciable por su coloración crema en superficie y por su menor resistencia a la erosión. Podemos encontrar a la Formación Chulec en la parte baja del área de investigación conformada por intercalación de calizas con lutitas pardo amarillentas y en ocasiones con lutitas oscuras fisibles.

Hacia las zonas intermedias esta conformada por bancos de calizas grises nodulares, margas beiges intercaladas con lutitas.



Foto 3.1: Contacto entre la Formación Chulec y Formación Pariatambo
Coordenadas: E 770583 m; N 9206711 m y Cota 3169 msnm.

3.7.1.2. Formación Pariatambo (Ki – pa)

Esta Formación yace de manera concordante a la Formación Chulec e infrayace a la Formación Yumagual. Se caracteriza por una alternancia de arcillolitas grises, con lechos delgados de calizas bituminosas, con abundante materia orgánica en su depositación. Esta materia orgánica se pudo depositar debido a la ausencia de oxígeno, dando lugar a las calizas Mudstone – Wackestone bituminosas que emanan un olor fétido al fracturarlas y su reacción es mayor al ácido clorhídrico. En el área de estudio, también se encuentra calizas nodulares con venillas de calcita intercaladas con limolitas calcáreas de coloración gris de pequeños espesores entre 10 y 30 cm y con un buzamiento de 58° en dirección SE.

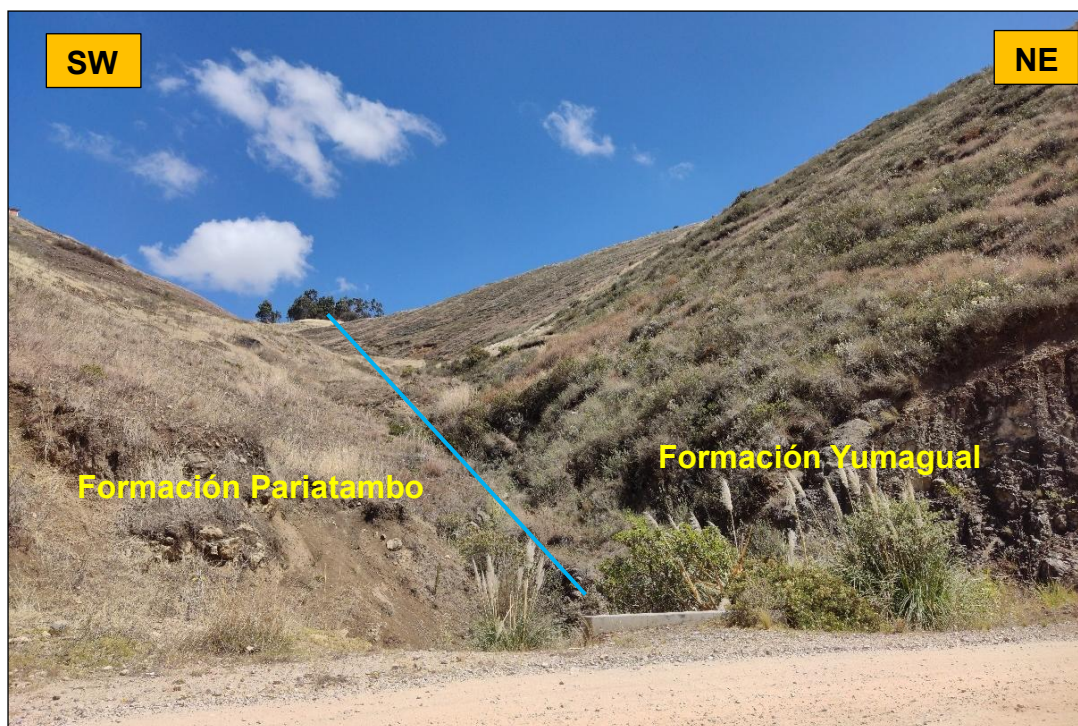


Foto 3.2: Contacto entre la Formación Pariatambo y Formación Yumagual.
Coordenadas: E 770692 m; N 9206999 m y Cota 3273 msnm.

3.7.2. Grupo Puyllucana

3.7.2.1. Formación Yumagual (Ks – yu)

La Formación Yumagual en el área de estudio consiste en estratos potentes de calizas mudstone gris amarillentas, margas y estratos de caliza nodulares grisáceas, las calizas macrofósiles que en su mayoría pertenecen a la clase bivalvia.

Suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo con un ángulo entre 8° - 12° , identificado en el margen oeste del Río Urubamba. Está conformada por una secuencia de tres facies diferenciables litológicamente y una facie fosilífera delgada. Debido a las características litológicas identificadas; conformada básicamente por calizas y algunas facies fosilíferas, permite relacionar su ambiente de sedimentación que corresponde a una plataforma marina.



Foto 3.3: Estratos de la Formación Yumagual intensamente fracturados.
Coordenadas: E 770686 m; N 9206996 y Cota 3271 msnm.

3.7.3. Formación Huambos (PN-vh)

En el área de estudio el Volcánico Huambos consiste principalmente de depósitos sub-horizontales de tobas dacíticas y traquiandesíticas de color blanco - amarillentas, presentan una textura porfiritica, constituido por minerales esenciales como plagioclasa y feldespatos potásicos, observándose también la presencia de hornblenda y biotita. En el área de estudio se encuentra subyaciendo en forma discordante a la Formación Chulec.

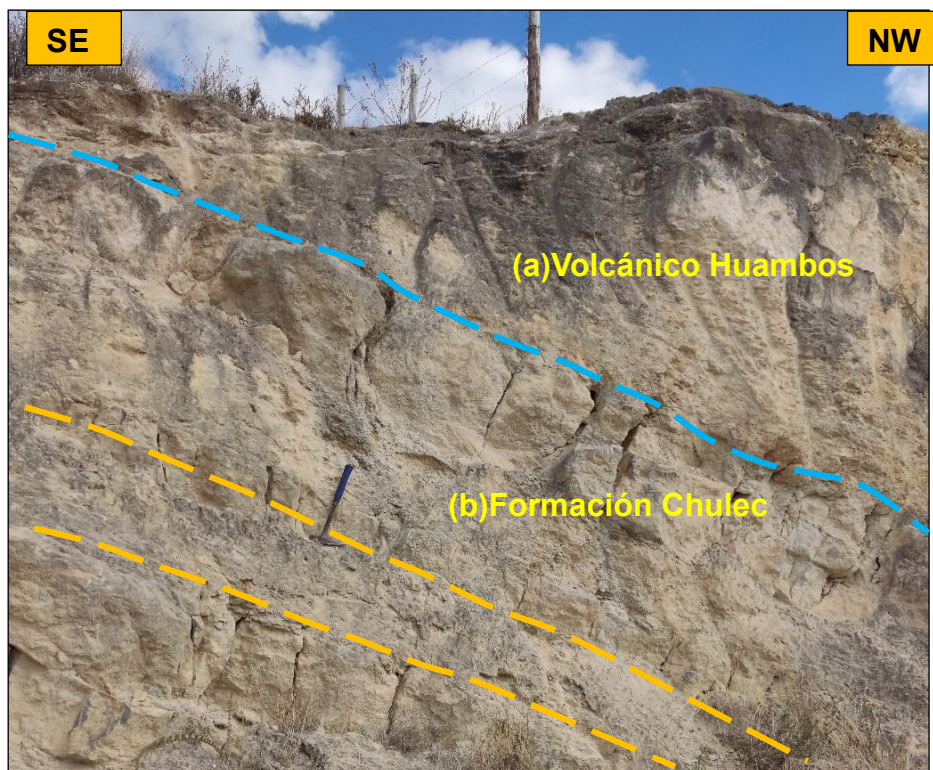


Foto 3.4: Contacto entre estratos de la Formación Chulec (b) y Volcánico Huambos (a).
Coordenadas: E 772501 m; N 9207462 m y cota 2976 msnm.

3.7.4. Depósitos cuaternarios

3.7.4.1. Depósito Coluvio – aluvial

Están conformado por sedimentos no consolidados de diversos materiales geológicos, influenciados principalmente por la meteorización química, física y biológica, así como también por la influencia de la gravedad y que se distribuyen de forma irregular en algunas partes del área de estudio, suprayaciendo en discordancia angular a las Formaciones Chulec, Pariatambo y depósitos volcánicos de la Volcánico Huambos.



Foto 3.5: Contacto entre los depósitos coluvio aluviales (a) y Volcánico Huambos (b).
Coordenadas: E 771665 m; N 9206876 m y cota 3078 msnm.

3.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.8.1. Diaclasas

Son planos de discontinuidades que no presentan desplazamiento en los macizos rocosos y se encuentran en los taludes de la carretera Cajamarca – Urubamba Alta, entre las progresivas Km 1+000 y Km 9+000, En esta zona, se han recolectado datos estructurales de tres familias de diaclasas, las cuales generan roturas de tipo

planar y cuña principalmente. Esas discontinuidades se encuentran rellanadas con arcilla, calcita, con roca tritura y las que no tienen relleno presentan una hendidura.

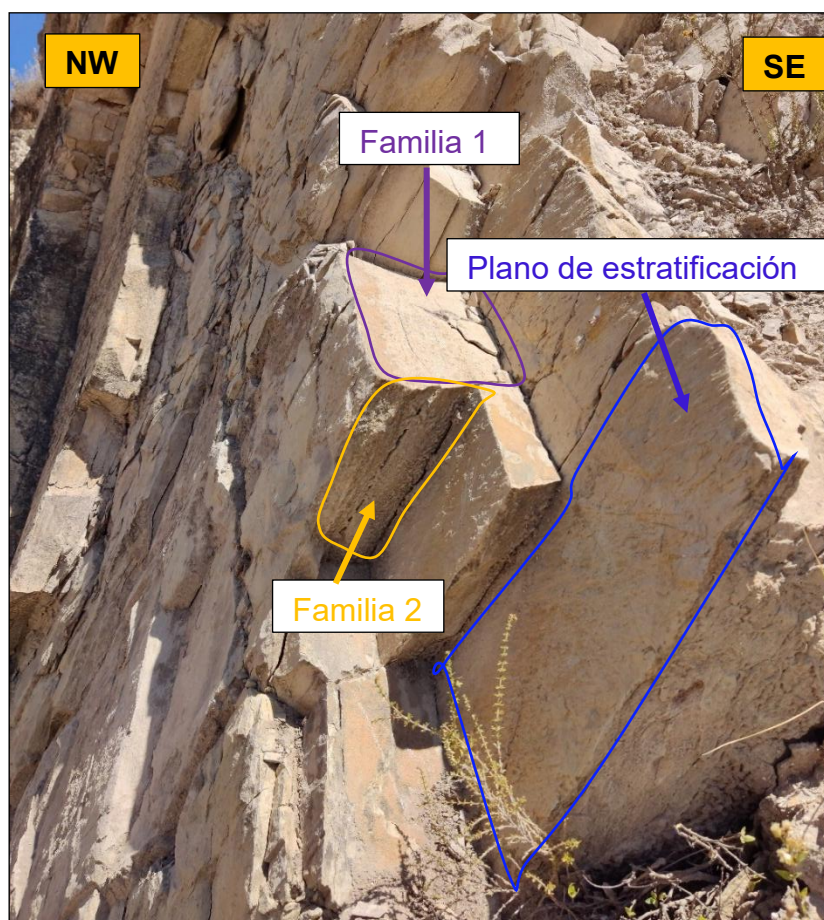


Foto 3.6: Familia de diaclasas en calizas de la Formación Pariatambo: Estratificación (□); Az=N 93°, Dip 68° y DD 183°; Familia 1 (□); Az=N 355°, Dip 54° y DD 84° y Familia 1 (□); Az=N 203°, Dip 70° y DD 293° .
Coordenadas: E 770591 m; N 9206721 m y cota 3252 msnm.

3.8.2. Falla inversa

Este tipo de discontinuidad tienen desplazamiento apreciable o levantamiento de los estratos como se observa en el lugar de la investigación. La falla inversa se evidencia en rocas calizas bituminosas de la Formación Pariatambo y se deduce el plano de falla teniendo en cuenta la orientación y buzamiento de los estratos que se observa a ambos lados de la falla. La orientación del plano de falla es de N 240° y buzamiento de 88°.

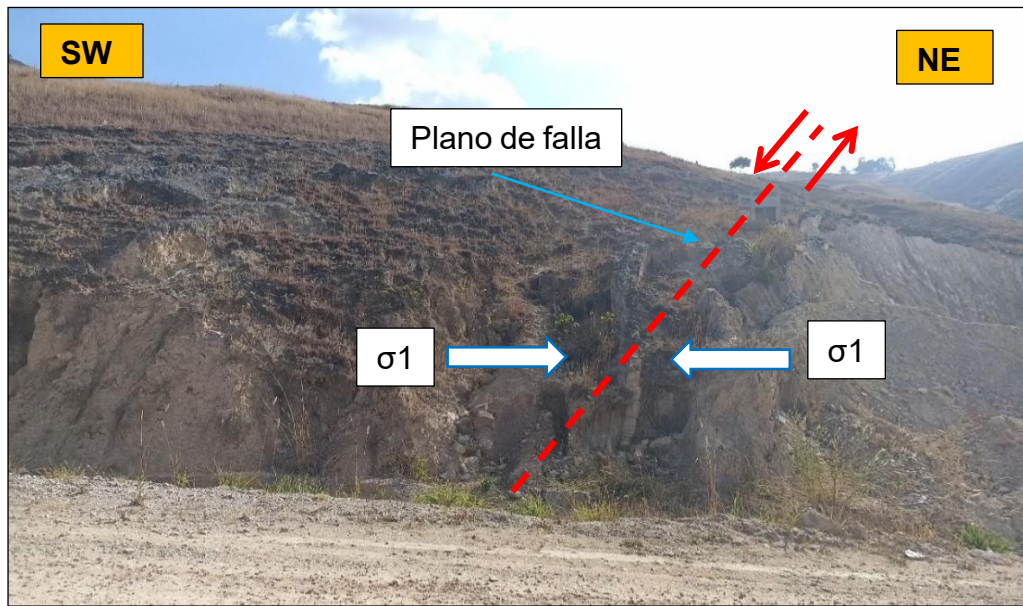


Foto 3.7: Falla inversa en estratos de la Formación Pariatambo
con AZ = 240°; Dip = 84° y DD = 330°
Coordenadas: E 771178 m; N 9206598 m y cota 3164 msnm.

3.8.3. Falla normal

Se evidencia en estratos de rocas calizas de la Formación Yumagual. Observándose un desplazamiento apreciable de los estratos. La orientación del plano de falla es de N 348° y buzamiento de 68°.



Foto 3.8: Falla normal en estratos de la Formación Yumagual:
con AZ = 348°; Dip = 68° y DD = 78°
Coordenadas: E 770611 m; N 9206992 m y cota 3256 msnm.

3.8.4. Plegamientos

Se evidencia anticlinales cuyas superficies axiales se encuentran inclinadas. En este caso los flancos no tienen el mismo buzamiento. Estas estructuras se encuentran en estratos delgados de calizas de la Formación Chulec. En la Foto 3.9, el flanco izquierdo del anticlinal posee buzamiento de 38° NE y flanco derecho buzamiento de 84° SW.

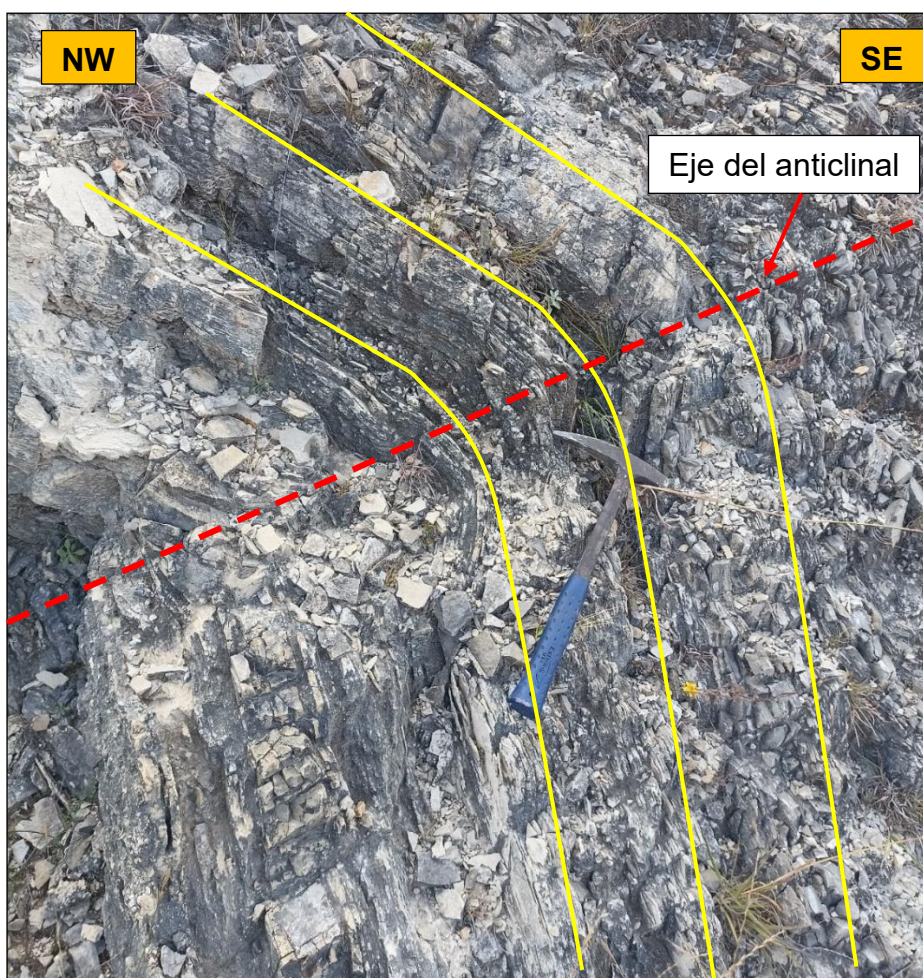


Foto 3.9: Anticlinal simétrico en estratos de arcillolitas grises oscuras perteneciente a la Formación Chulec.
Coordenadas: E 771050 m; N 9206373 m y cota 3207 msnm.

3.8.5. Micro – plegamientos

Se evidencia micro anticlinal y micro sinclinal cuyas superficies axiales se encuentran inclinadas. En este caso los flancos no tienen el mismo buzamiento.

Estas estructuras se encuentran en estratos delgados de calizas mudstone intercalado con arcillolitas greses calcáreas pertenecientes a la Formación Chulec.

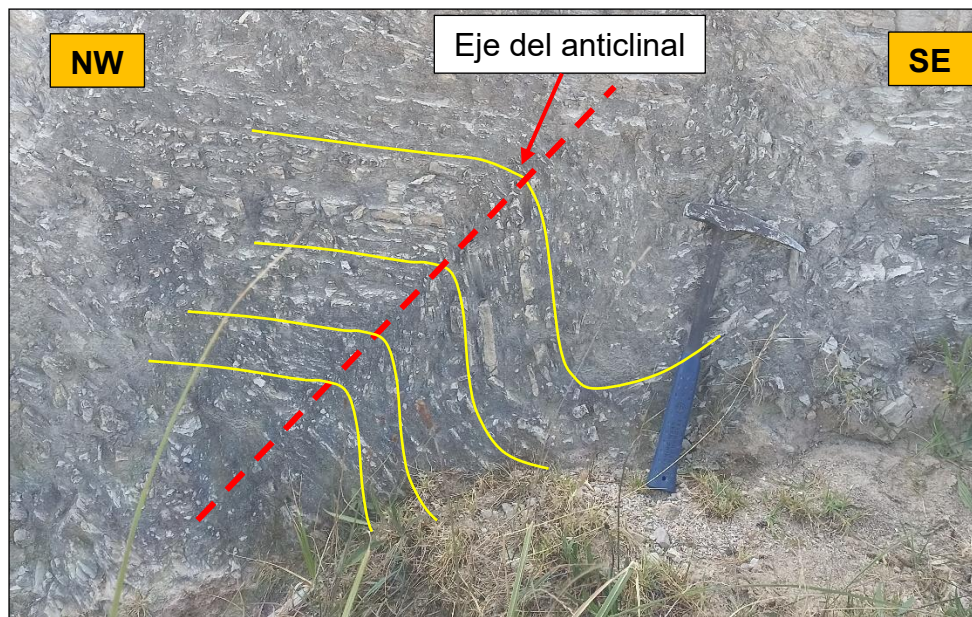


Foto 3.10: Anticlinal simétrico y sinclinal en estratos de arcillolitas grises oscuras perteneciente a la Formación Chulec.
Coordenadas: E 771048 m; N 9206372 m y cota 3207 msnm.

3.9. GEOMORFOLOGÍA

Morfogenéticamente, está conformada por planicies, lomadas, laderas y escarpas, para la clasificación de estas unidades se tiene en cuenta la altura y pendiente considerado en la clasificación de Rodríguez, (2016).

3.9.1. Planicie: (0° – 8°)

Esta geoforma se caracteriza por presentar rangos de pendientes de 0° a 8° en la cual su forma es muy homogénea producto de la erosión y transporte fuerte que ha sufrido el terreno a lo largo del tiempo, en el área de estudio se observa al NE del tramo de la carretera. Los cuales son generalmente aprovechados para la agricultura.

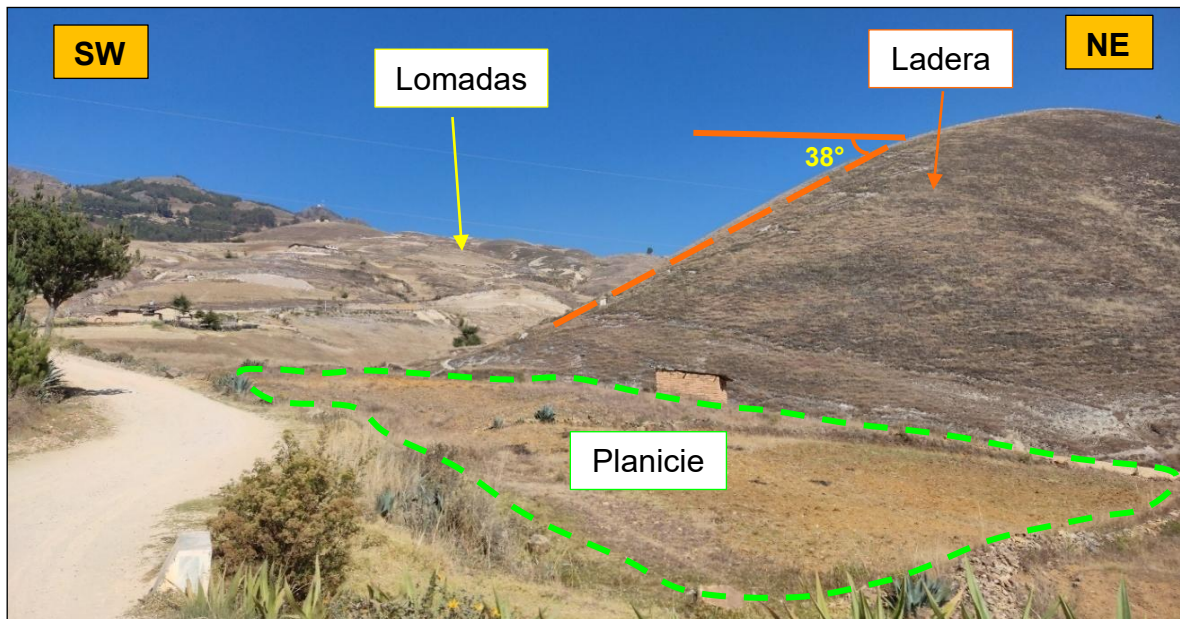


Foto 3.11: Planicie en depósitos coluvio- aluvial, al noreste de la trocha a Urubamba Alta entre en kilómetro 3 al 4 del tramo de investigación.
Coordenadas: E 771624 m; N 9206844 m y cota 3057 msnm.

3.9.2. Lomada: (8° – 20°)

Son Superficies con elevaciones y pendientes suaves que oscilan entre 8° y 20°, caracterizadas por presentar una morfología heterogénea, Las lomadas con menos pendiente son aprovechadas por los pobladores para el cultivo de alimentos, mientras que las lomadas con mayor pendiente están cubiertas por pastos nativos y son aprovechados como alimento para sus animales. La mayor parte del área de investigación se encuentra distribuida por esta geoforma.



Foto 3.12: Lomadas en rocas de calizas, arcillolitas grises y margas, perteneciente a la Formación Chulec.
Coordenadas: E 770595 m; N 9206724 m y cota 3253 msnm.

3.9.3. Ladera: (20° – 50°)

Superficies con inclinaciones moderadas, caracterizadas por presentar rangos de pendientes que oscilan entre 20° a 50° , ocupan gran parte del área de investigación, estas geoformas se presentan producto de la erosión y meteorización fuerte de la roca que posteriormente se ha denudado el material fracturado generando así estos relieves.



Foto 3.13: Estas geoformas son observadas en el Volcánico Huambos.
Coordenadas: E 771072 m; N 9206427 m y cota 3217 msnm.

3.10. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICAS

La caracterización geotécnica de la carretera Cajamarca – Urubamba Alta entre las progresivas Km. 1 + 000 hasta el Km 9+000, se ha sectorizado por estaciones. Para ello se realizó una inspección general de los taludes con el fin de identificar los taludes inestables o tiendan a la inestabilidad. Seguidamente se definió el comportamiento geológico – geomecánico, mediante la Valoración del Macizo Rocoso (RMR) Bieniawski 1989; Índice de Calidad de la Roca (RQD) e Índice de Resistencia Geológica (GSI) según Hoek, 2013.

Seguidamente se obtiene el ángulo de fricción y la cohesión mediante el software RocData v.4.0. cuyos valores sirven para analizar el análisis cinemático, y el factor de seguridad mediante el Software Slide v.6.0.

Dentro de la metodología analítica se realizó proyecciones estereográficas mediante el software (Dips.v7.0), con las familias de discontinuidades propensas a producir las fallas del tipo planar, cuña y de vuelco, cuyo grado de ocurrencia es determinada porcentualmente mediante el análisis cinemático.

Para realizar el cálculo de coeficiente de aceleración máxima horizontal y vertical (K_h) (K_v) respectivamente, se realizará con el Software LoadCap 2018 de la empresa Geostru y los parámetros de entrada se presentan en la tabla 3.4.

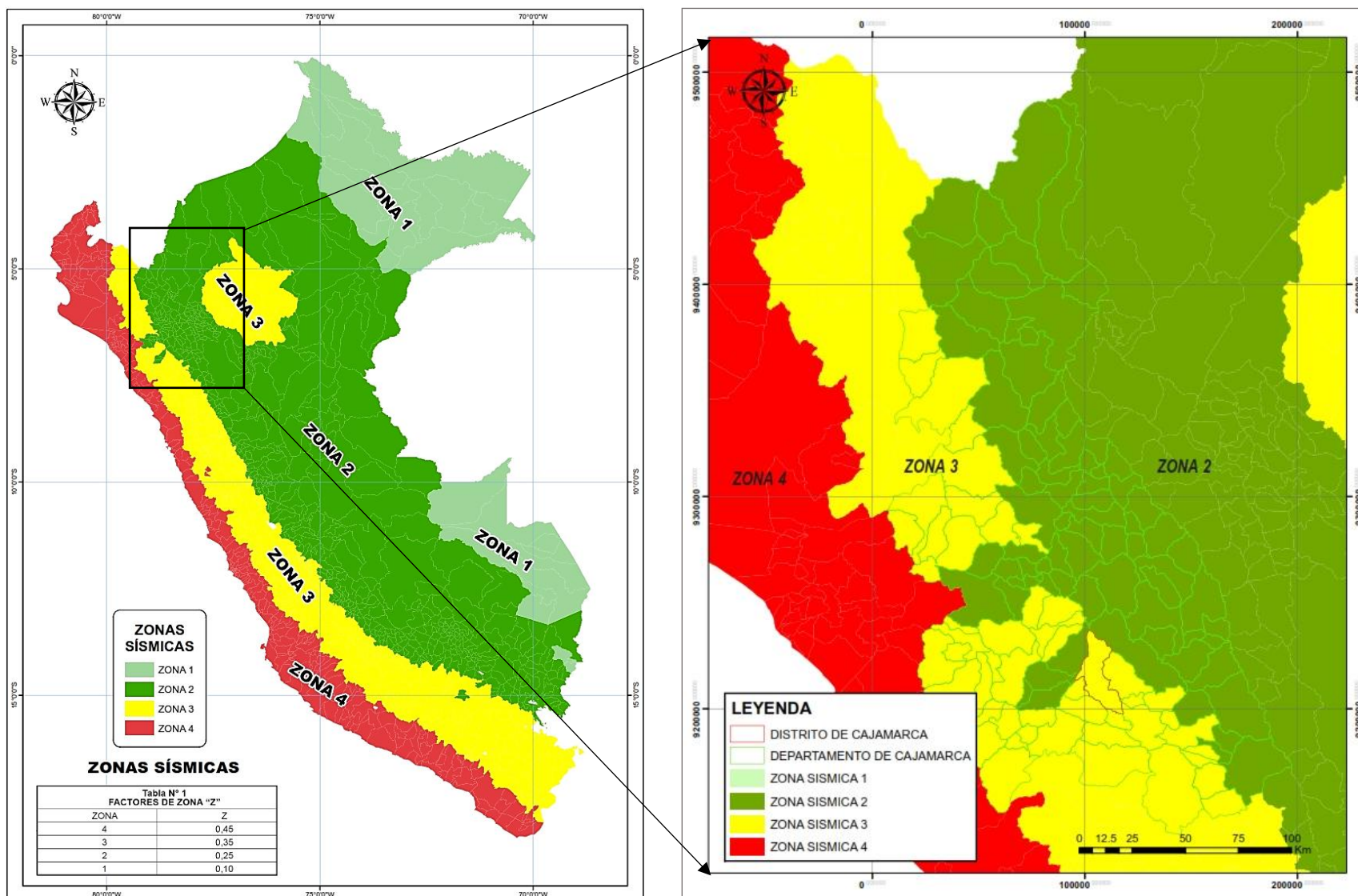


Figura 3.3: Localización del área de investigación en la Zona Sísmica 3.

Tabla 3.4: Parámetros de entrada para el cálculo de los coeficientes sísmicos

Zonas sísmicas del Perú	Coeficiente de amplificación topográfica (S_t)	Categoría del perfil estratigráfico (S)
1 = 0.10	$S_t = 1$ Pendientes topográficas regulares, crestas inferiores al ancho de la base y altura menor a los 30 m.	Tipo A: $S = 1$. Roca u otra formación geológica similar a una roca.
2 = 0.25	$S_t \geq 1.2$ Sitios de proximidad al borde superior de taludes y laderas aislados, ángulo de pendiente $> 15^\circ$.	Tipo B: $S = 1.25$ depósitos de arenas o gravas muy densas o arcillas muy consistentes.
3 = 0.35	$S_t \geq 1.2$ Sitios de proximidad al borde superior de taludes y laderas aislados, ángulo de pendiente $< 30^\circ$.	Tipo C: $S = 1.25$. Depósitos de arenas o gravas densas, o arcillas consistentes.
4 = 0.45	$S_t \geq 1.4$ Sitios cercanos a la cúspide de la ladera, con crestas significativamente menores al ancho de la base y pendiente $> 30^\circ$.	Tipo D: $S = 1.35$. Depósito de terrenos granulares sueltos a poco densos de cohesión media a no cohesivos. Tipo E: $S = 1.25$. Perfil de suelo formado por una capa aluvial superficial.

El área de investigación se encuentra en la Zona N° 03 como se observa en la figura 3.4, por lo tanto, la aceleración sísmica máxima considerado es 0.35. Se le ha asignado el coeficiente de amplificación topográfica de $S_T = 1$ al considerar que los taludes tienen alturas menores a 30 m y no presentan topografías irregulares con crestas largas. Finalmente teniendo en cuenta el perfil estratigráfico, los taludes analizados son de tipo A, por lo que el Factor de suelo considerado es de $S=1$.

Normativa: O.P.C.M.3274

Zona Sismica: 1

Accelerazione massima / g: 0.35

Coefficiente amplificazione topografica: 1

Categoria profilo stratigrafico: A

Coefficiente di intensità sismico orizz.: $K_h = 0.175$

Coefficiente di intensità sismico vert.: $K_v = 0.0875$

Calcola Ok Annulla ?

Normativa: O.P.C.M.3274

Zona:

Lat./Long. [WGS84]: 0 0

Coeficientes sísmicos

Coeficiente intensidad sísmica terreno: $K_{hk} = 0.175$

Coeficiente intensidad sísmica estructura: $K_{hi} = 0.0875$

Efecto sísmico según: Ningún efecto sísmico

OK Anular ?

Figura 3.4: Cálculo de los coeficientes sísmicos horizontal (k_h) y vertical (k_v) mediante el software Loadcap, (2018).

El cálculo realizado por el Software Loadcap muestra los valores de coeficiente sísmico horizontal $K_h = 0.175$ y coeficiente sísmico vertical $K_v = 0.088$ valores utilizados en el análisis sísmico mediante el Software Slide v.6.0 para el cálculo del Factor de seguridad.

3.10.1. Estación Geotécnica 01 (EG – 01)

3.10.1.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por calizas wackestone de color gris parduzca y presencia de arcillolitas calcáreas grises entre los planos de estratificación pertenecientes a la Formación Chulec (Ki – chu). Estos macizos rocosos presentan tres familias de discontinuidades las cuales se observan aberturas sin relleno, otras con relleno de arcillas y calcita. Además, presentan meteorización física y química, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose pequeños desprendimientos de rocas.

Tabla 3.5: Datos de ubicación y geometría del talud

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	6 m
COORDENADAS	Norte	9207455 m	Pie	8 m
	Este	772500 m	D	82°
COTA	2960 msnm.		DD	37°



Foto 3.14: Perfil del talud en la progresiva Km 1 + 200

3.10.1.2. Cálculo del RQD

Tabla 3.6: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	15	1.5	10	73.58

3.10.1.3. Valoración del RMR₈₉

Tabla 3.7: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación Geotécnica 01.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							PTJE	
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa			7	
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa		< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1		0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %		< 25%	12	
		Puntuación	20	17	12	8		3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm		< 6 cm	10	
		Puntuación	20	15	10	8		5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m		> 20 m		15
		Valoración	6	4	2	1		0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm		> 5 mm		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada		Suave		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm		Relleno Blando > 5 mm		
		Valoración	6	4	2	2		0		
		Alteración	Inalterada	Lig. alterada	Mod. alterada	Muy alterada		Descompuesta		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Puntuación	30	23	13	6		0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando		Agua fluyendo	7	
		Puntuación	15	10	7	4		0		
VALORACION TOTAL RMR ₈₉									51	

3.10.1.4. Determinación del GSI

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la condición de las juntas.

Tabla 3.8: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 1.

ESTIMACIÓN DEL GSI						
RQD	Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
	Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración
73,58						(JCOND ₈₉)
	2	1	5	2	5	15
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$					GSI = 59.29	

3.10.1.5. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 01 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.5 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 01.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 1				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	75 MPa	Criterio de Hoek - Brown	Mb	0.946
			s	0.003
			a	0.503
GSI	59	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.522 MPa
			Phi	57.676º
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.208 MPa
			Sigc	3.775 MPa
			Sigcm	9.968 MPa
			Erm	12761.840 MPa
D	0.7	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	67500 MPa		Sig3max	0.163 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m³
			Slope height	6 m

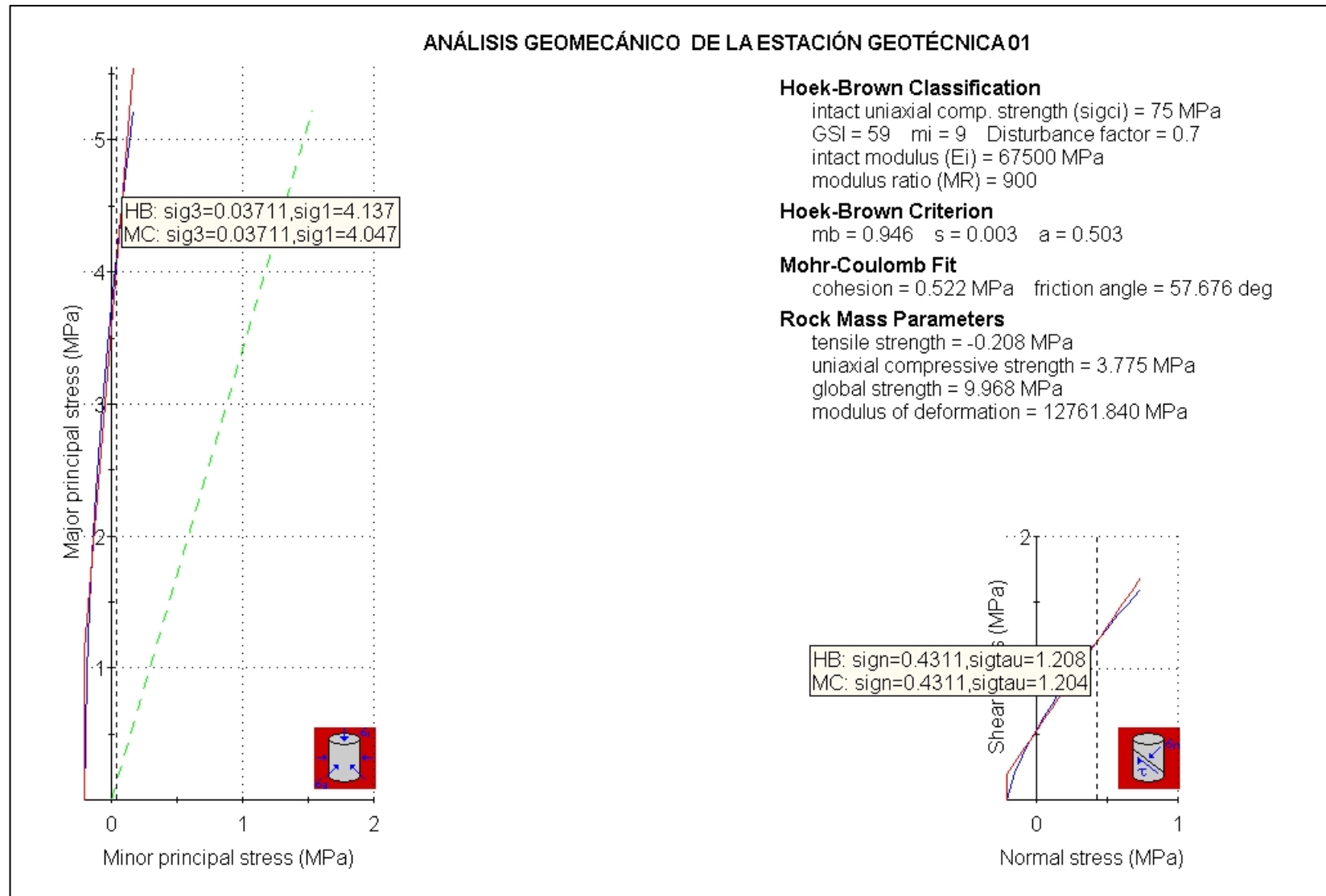


Figura 3.5: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en calizas de la Formación Chulec.

3.10.1.6. Análisis de discontinuidades Dips v.7.0.

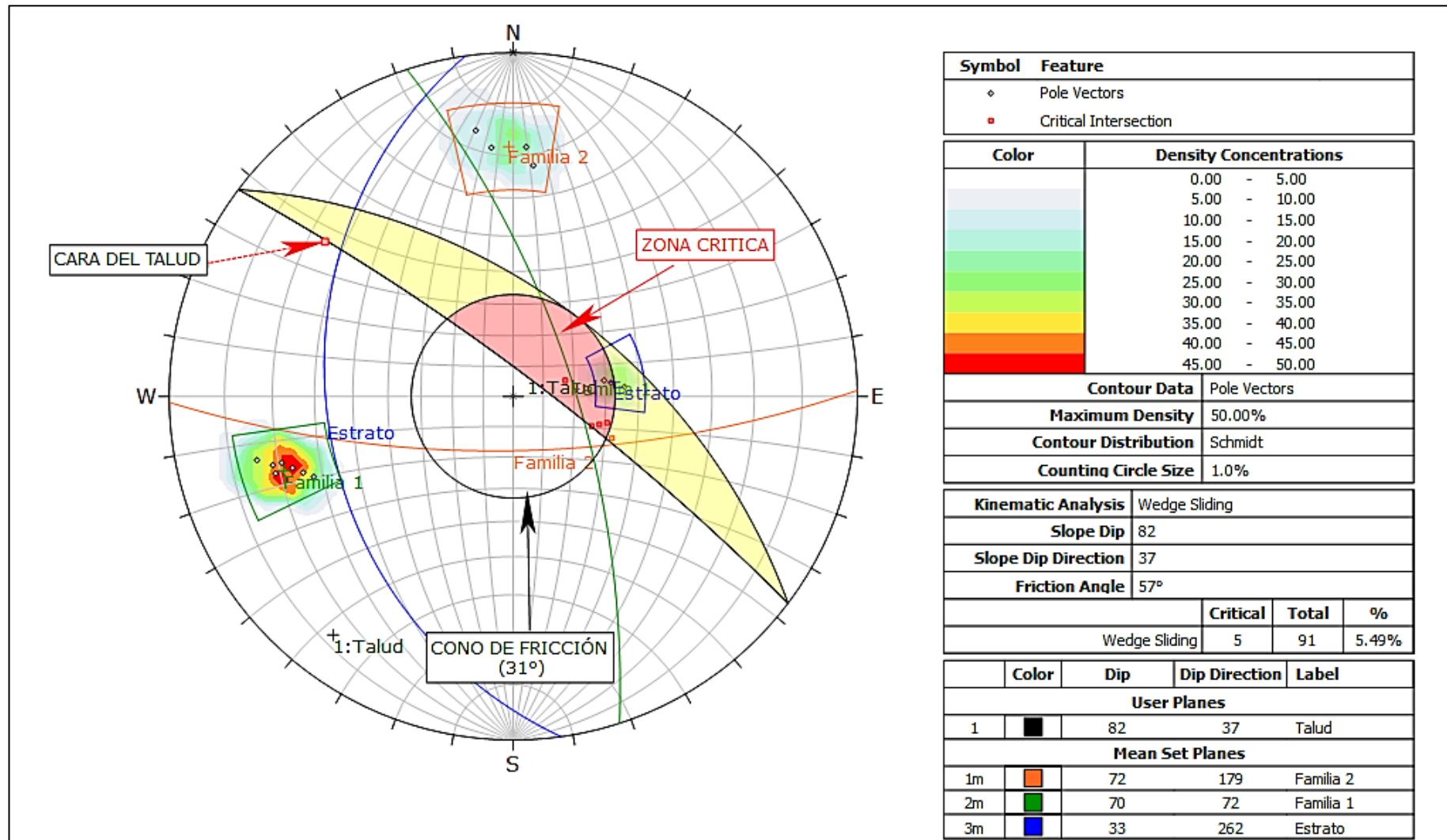


Figura 3.6: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips de las discontinuidades del macizo rocoso en el talud de la estación geotécnica 01, indicando una probabilidad de falla de 5.49 %.

3.10.1.7. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue “Grid Search”.

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

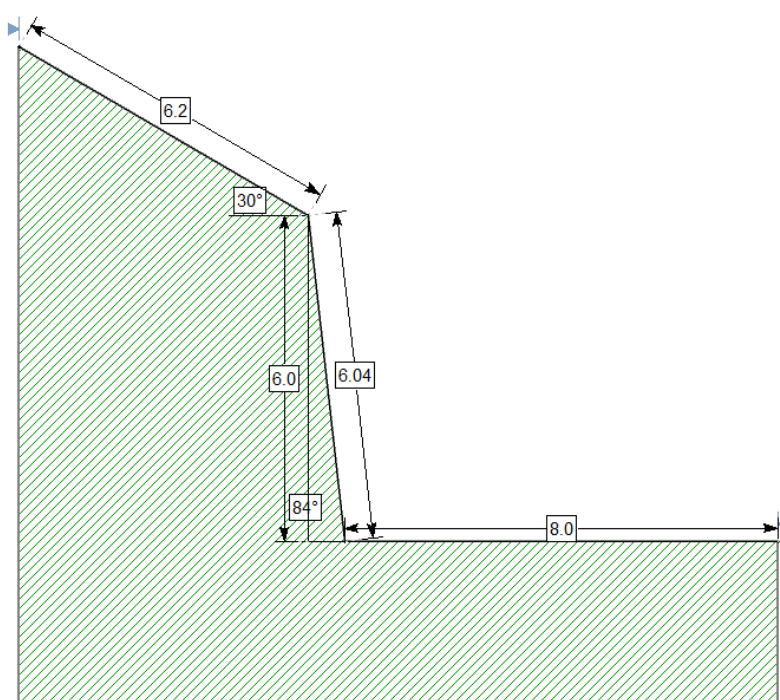


Figura 3.7: Estación Geotécnica 01, dimensiones del Talud

Tabla 3.10: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 01.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	2.287	Estable a largo plazo
Janbu Simplificado		2.595	Estable a largo plazo
Gle/Morgenstern-Price		3.263	Estable a largo plazo
Spencer		3.990	Estable a largo plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	1.477	Estable a corto plazo
Janbu Simplificado		1.539	Estable a largo plazo
Gle/Morgenstern-Price		1.497	Estable a corto plazo
Spencer		1.499	Estable a corto plazo

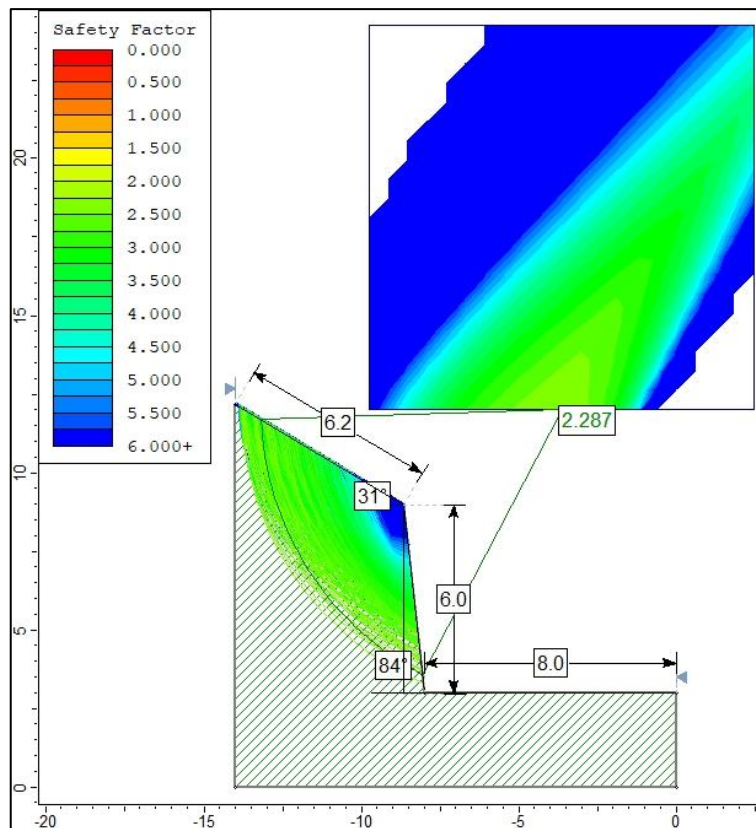


Figura 3.8: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Bishop simplificado, en condiciones normales

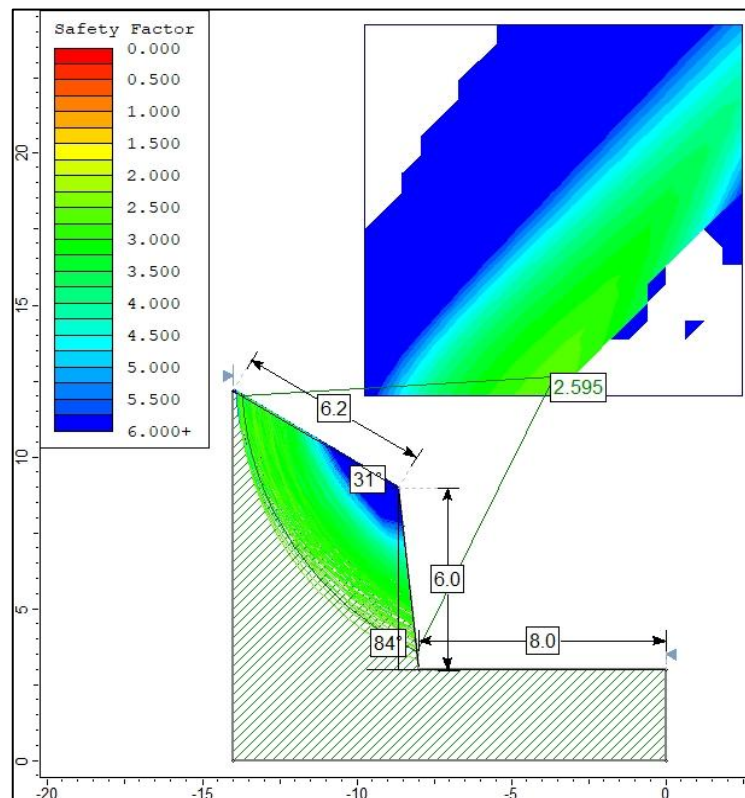


Figura 3.9: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Janbu simplificado, en condiciones normales.

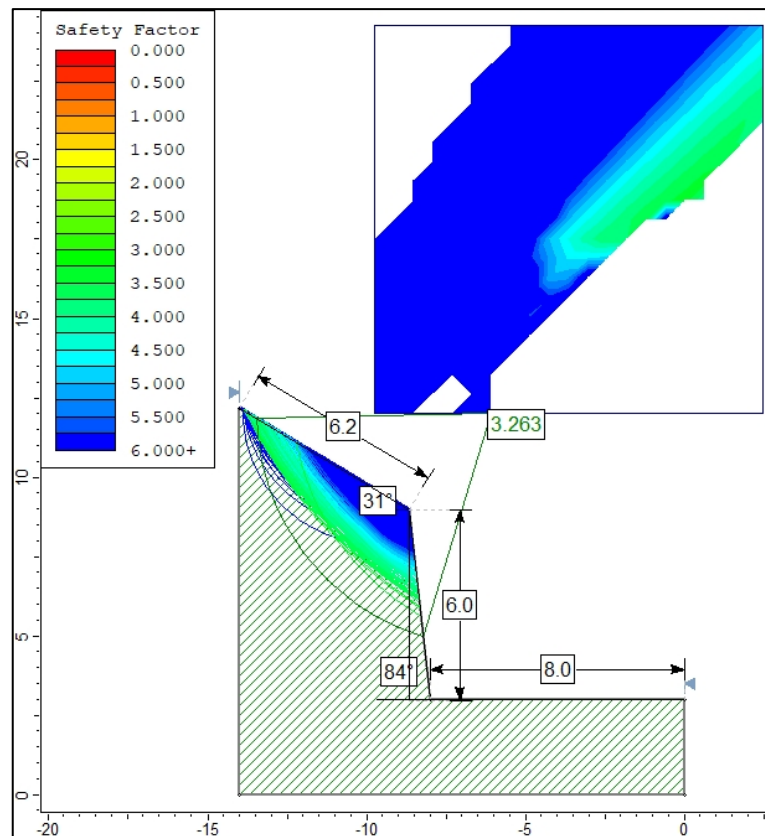


Figura 3.10: Factor de seguridad EG – 01 por el método de GLE/Morgenstern-Price, en condiciones normales.

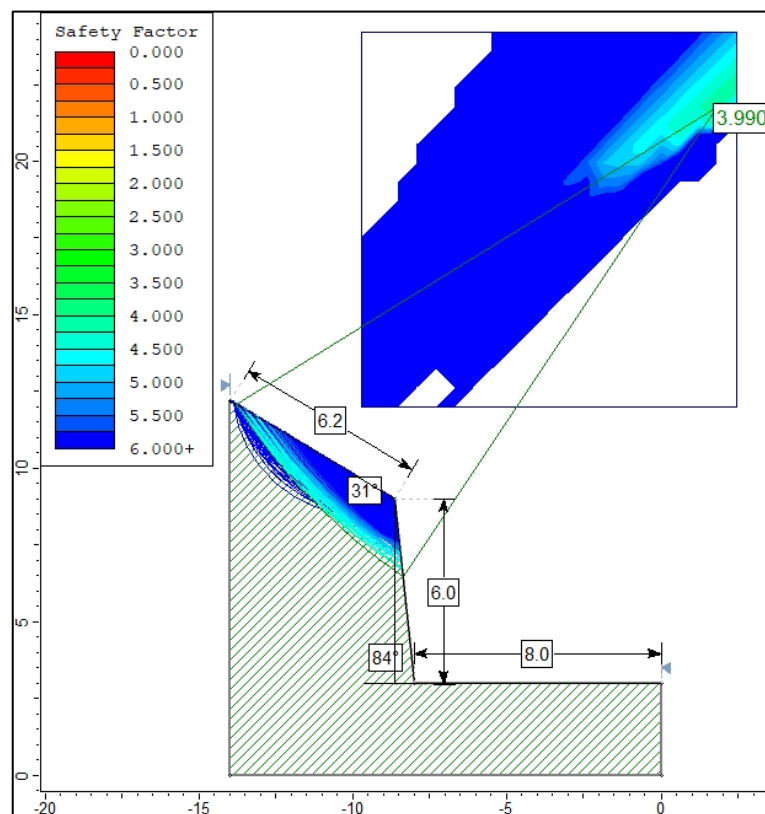
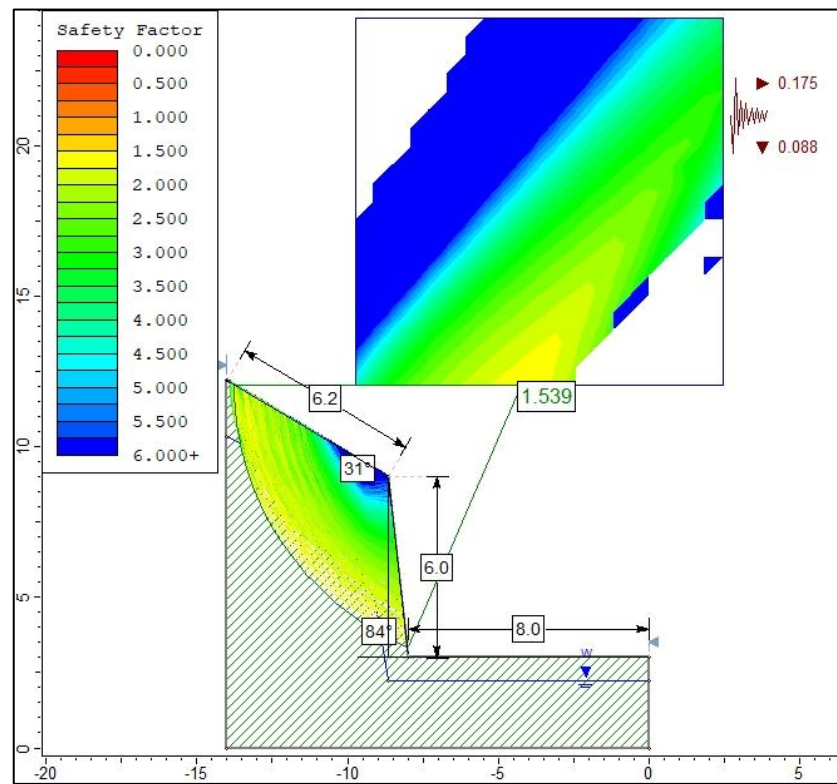
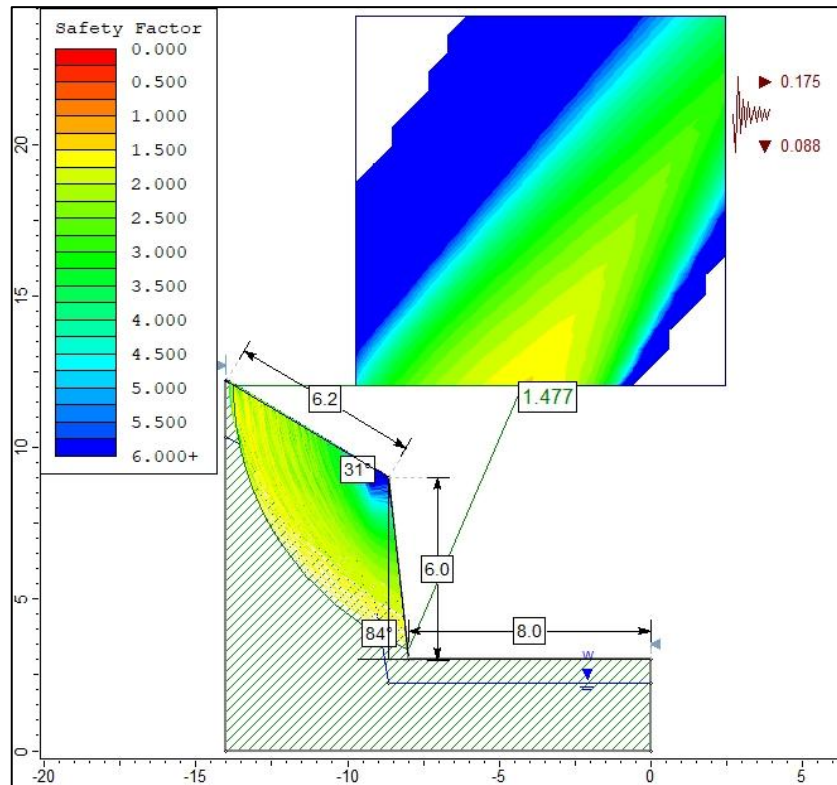


Figura 3.11: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Spencer, en condiciones normales.



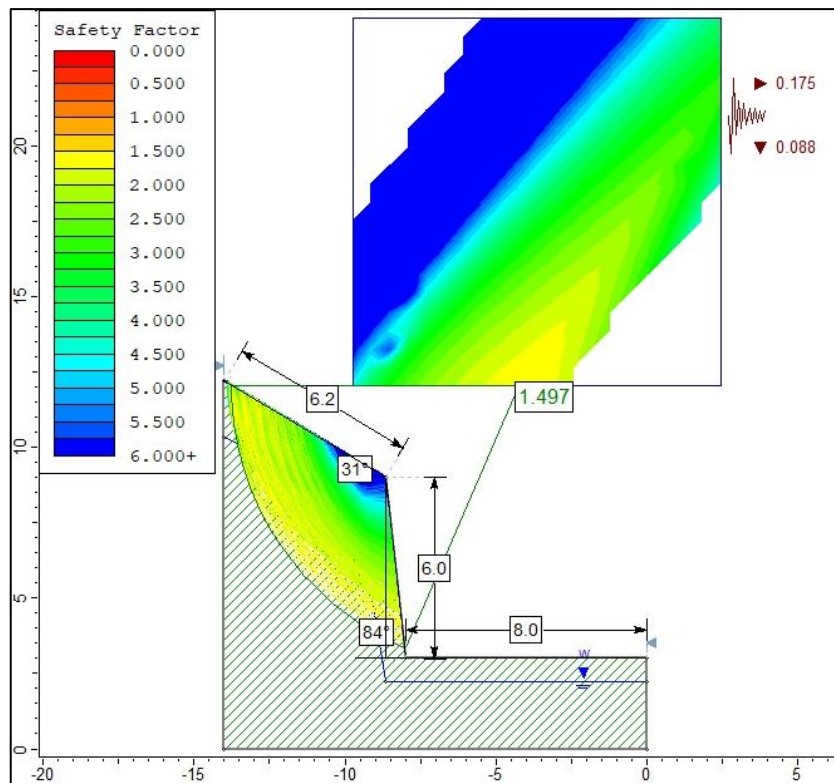


Figura 3.14: Factor de seguridad EG – 01 por el método de GLE / Morgenstern – Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.

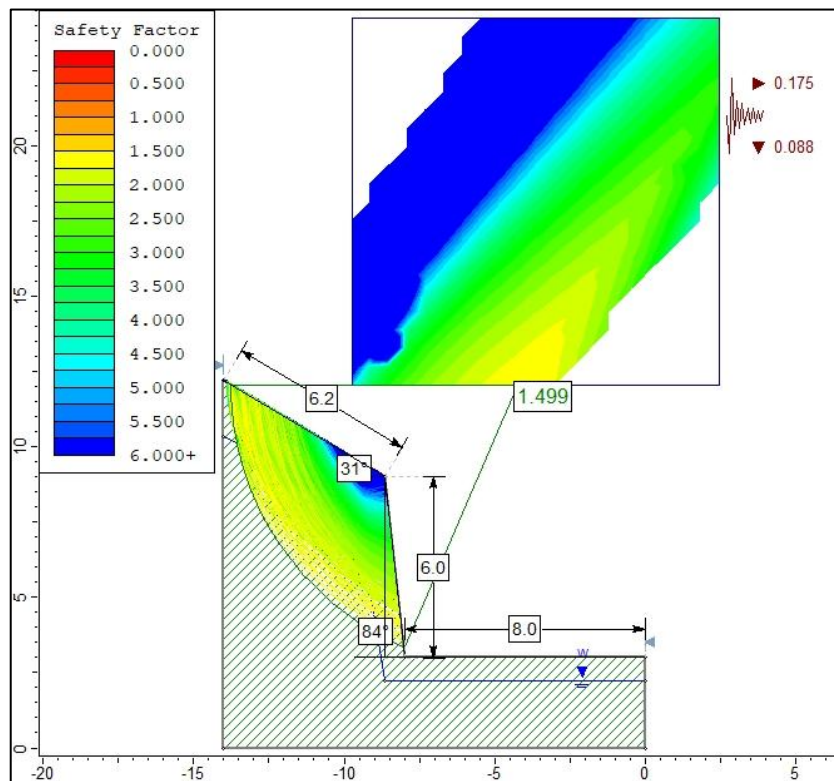


Figura 3.15: Factor de seguridad EG – 01 por el método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.

3.10.2. Estación Geotécnica 02 (EG – 02)

3.10.2.1. Descripción y ubicación del talud

El talud se ubica al SW de la carretera en la progresiva 4+300. Litológicamente está constituido por calizas wackestone de color gris parduzcas con espesores que oscilan entre 15 y 25 cm de espesor y presencia de arcillolitas calcáreas grises entre los planos de estratificación pertenecientes a la Formación Pariatambo (Ki – pa). Estos macizos rocosos presentan tres familias de discontinuidades las cuales se observan aberturas sin relleno, otras con relleno de arcillas y calcita. La estratificación buza hacia la cara del talud que de acuerdo al análisis cinemático, forma roturas del tipo planar, también forma roturas de tipo cuña en menor proporción. Además, presentan meteorización física y química, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose pequeños desprendimientos de rocas.

Tabla 3.11: Datos de ubicación y geometría del talud

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	7.5 m
COORDENADAS	Norte	9206605 m	Pie	6 m
	Este	771159 m	D	66°
COTA	3150 msnm.		DD	32°



Foto 3.15: Perfil del talud en la progresiva Km 5 + 400

3.10.2.2. Cálculo del RQD

Tabla 0.12: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	20	1.5	13.33	61.44

3.10.2.3. Valoración del RMR₈₉

Tabla 3.13: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación Geotécnica 02

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							PTJE	
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa				7
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa	
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%			12
		Puntuación	20	17	12	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm			10
		Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m			11
		Valoración	6	4	2	1	0			
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
		Valoración	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave			
		Valoración	6	5	3	1	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm			
		Valoración	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Lig. alterada	Mod. alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Valoración	6	5	3	1	0			
		Puntuación	30	23	13	6	0			
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo			10
		Puntuación	15	10	7	4	0			
VALORACION TOTAL RMR ₈₉										50

3.10.2.4. Determinación del GSI

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la condición de las juntas.

Tabla 3.14: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 02.

ESTIMACIÓN DEL GSI						
RQD	Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
	Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración
61,44						(JCOND ₈₉)
	2	1	3	2	3	11
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$					GSI = 47.22	

3.10.2.5. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 02 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.17 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 2.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 02				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	75 MPa	Criterio de Hoek - Brown	Mb	0.489
			s	0.000461
			a	0.507
GSI	47	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.223 MPa
			Phi	46.091°
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.071MPa
			Sigc	1.526 MPa
			Sigcm	6.835 MPa
			Erm	5983.743 MPa
D	0.7	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	67500 MPa		Sig3max	0.191 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m ³
			Slope height	7.4 m

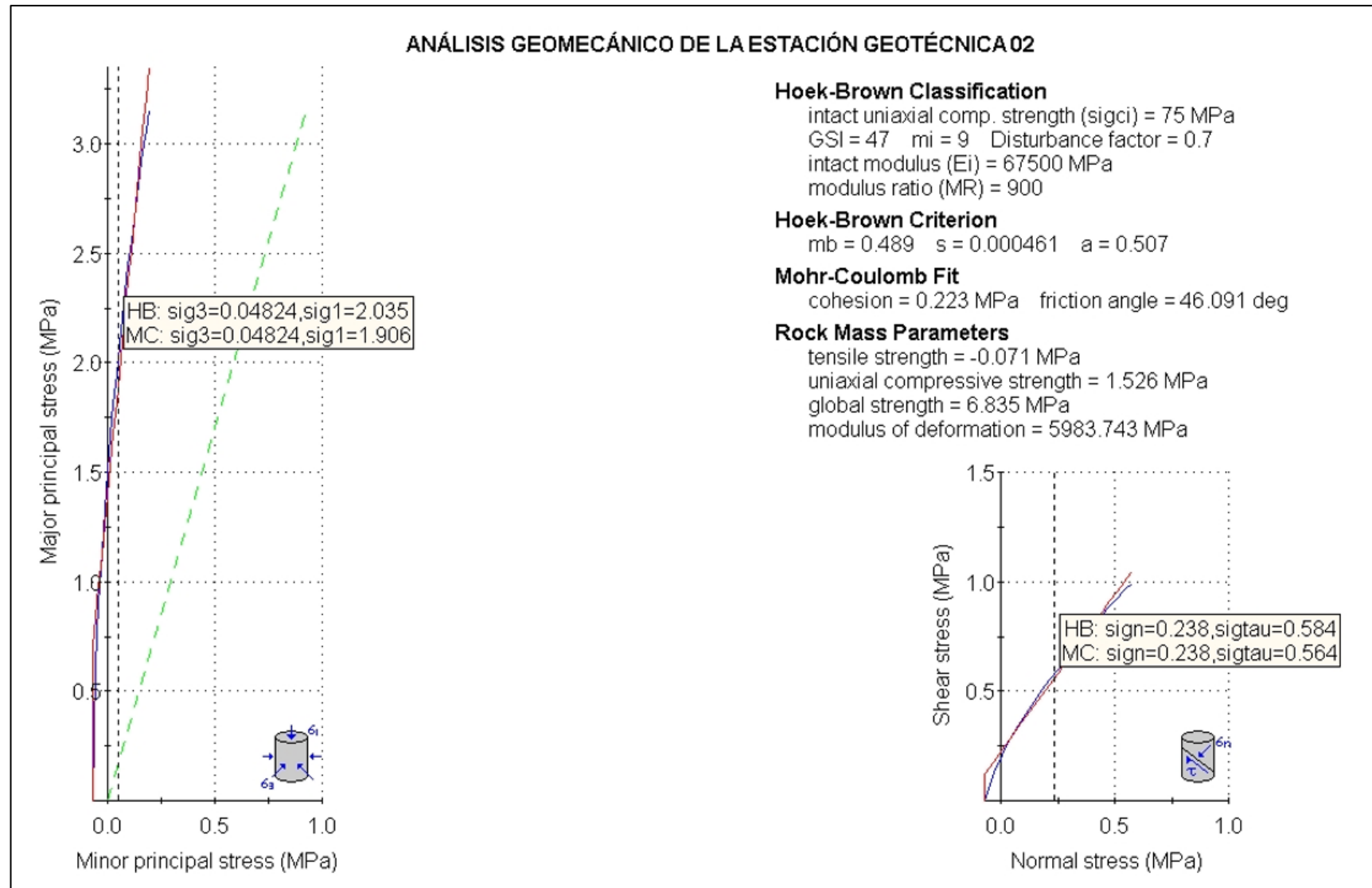


Figura 3.16: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en calizas de la Formación Pariatambo.

3.10.2.6. Análisis de discontinuidades Dips v.7.0.

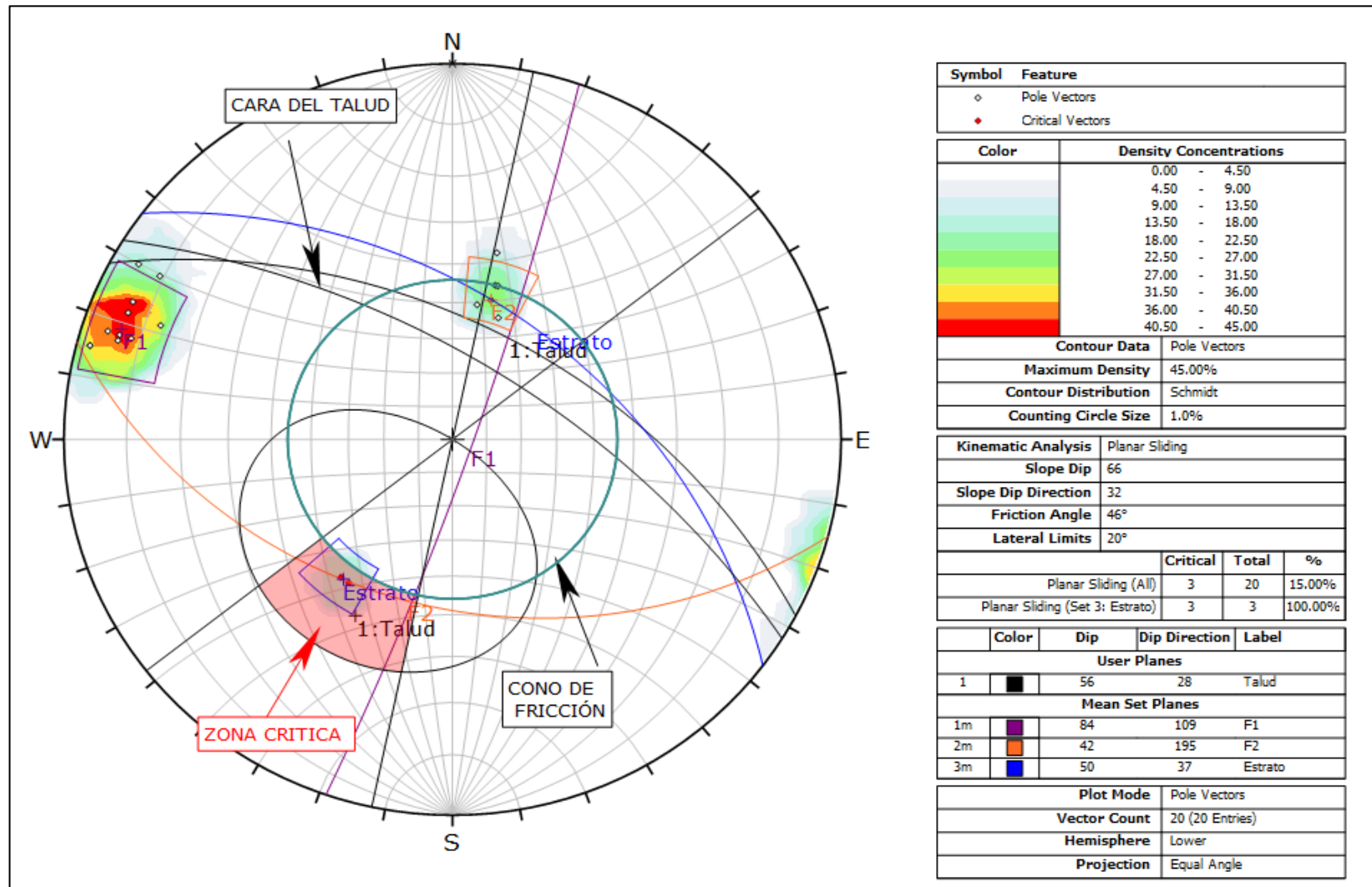


Figura 3.17: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo planar, mediante el software Dips de las discontinuidades del macizo rocoso en el talud de la estación geotécnica 02, indicando una probabilidad de falla del 15 % del total de las discontinuidades.

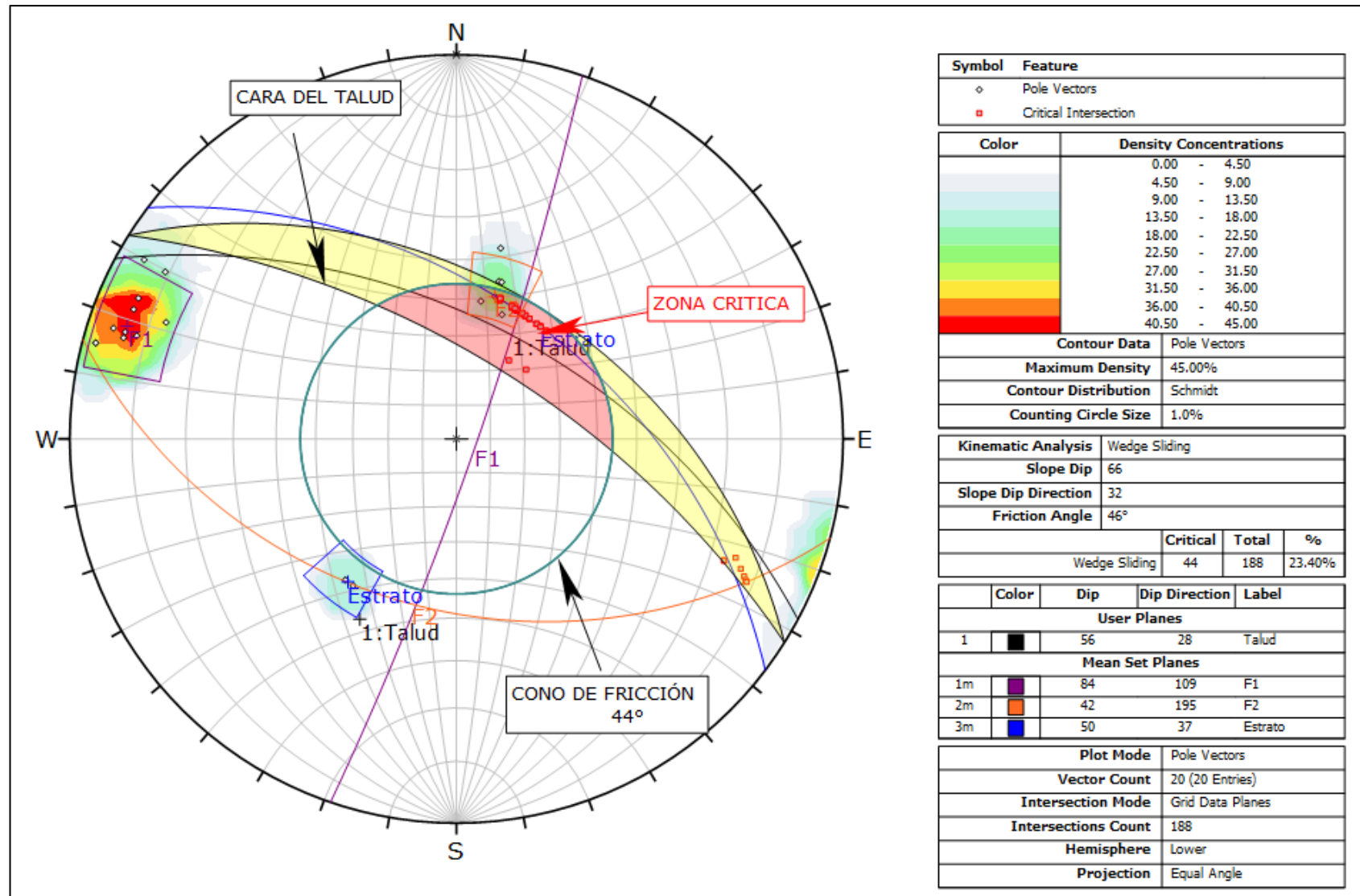


Figura 3.18: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips de las discontinuidades del macizo rocoso en el talud de la estación geotécnica 02, indicando una probabilidad de falla de 23,40 %.

3.10.2.7. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de “Grid Search”.

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

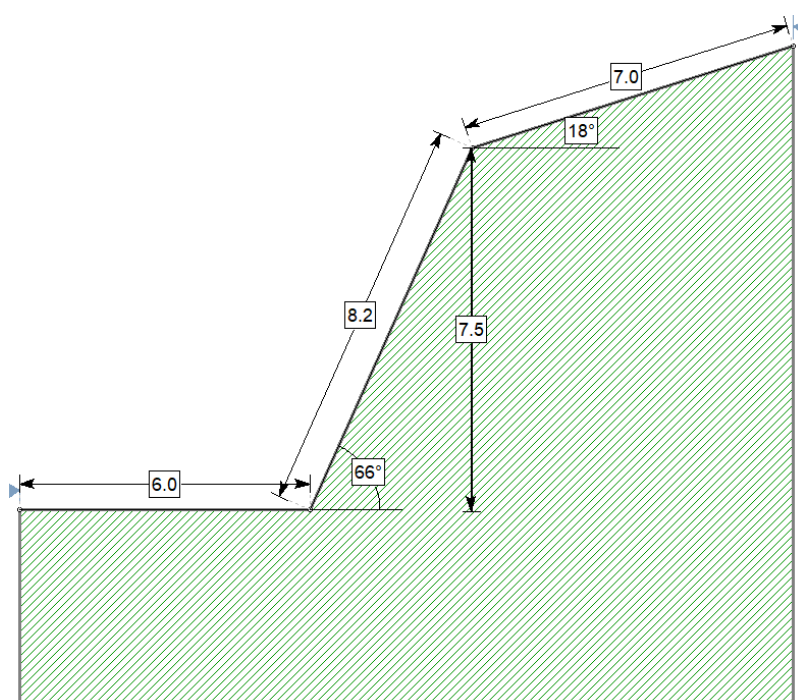


Figura 3.19: Estación Geotécnica 02, dimensiones del Talud

Tabla 3.16: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 02.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	1.657	Estable a largo plazo
Janbu Simplificado		1.718	Estable a largo plazo
GLE/Morgenstern-Price		1.764	Estable a largo plazo
Spencer		1.740	Estable a largo plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	1.104	Estable relativo
Janbu Simplificado		1.058	Estable relativo
GLE/Morgenstern-Price		1.116	Estable relativo
Spencer		1.188	Estable relativo

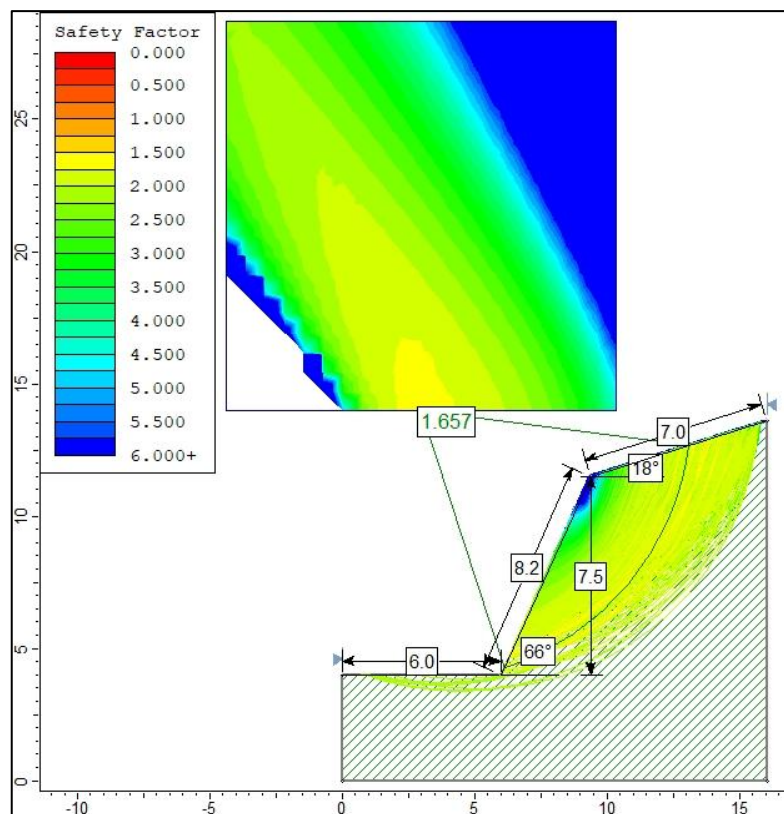


Figura 3.20: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Bishop simplificado, en condiciones normales

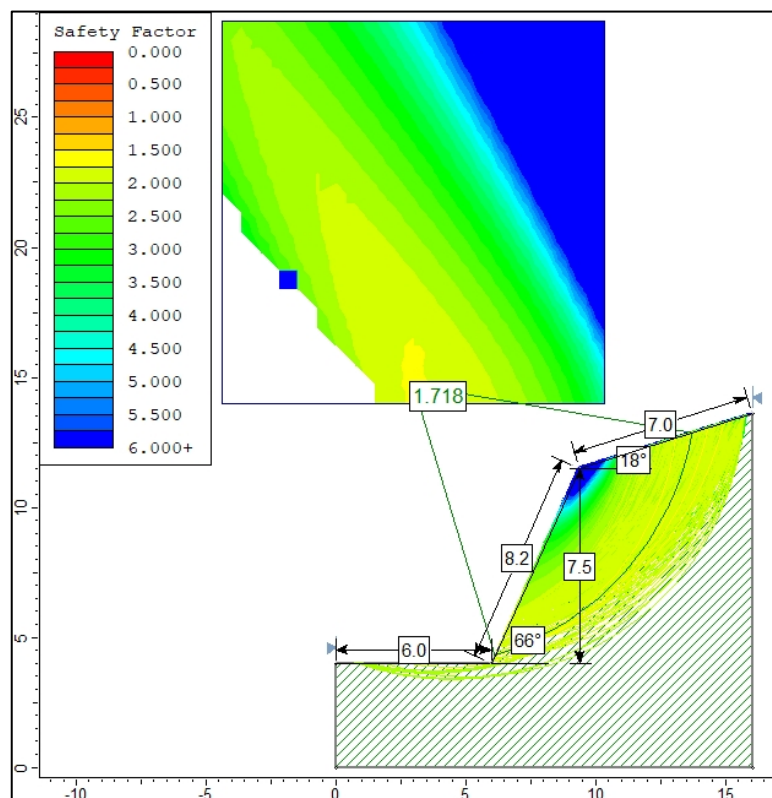


Figura 3.21: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Janbu simplificado, en condiciones normales.

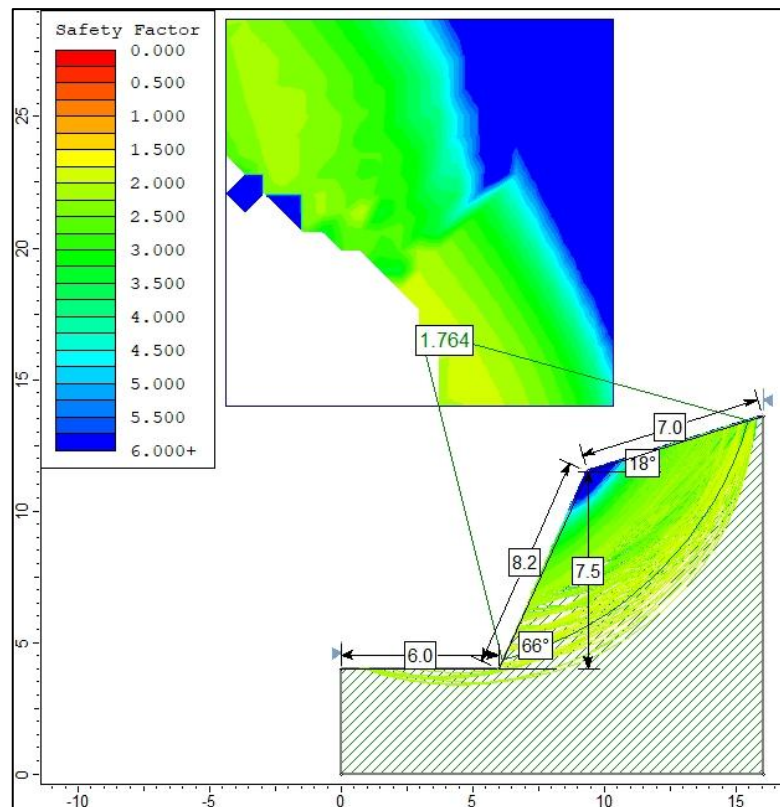


Figura 3.22: Factor de seguridad EG – 02 por el método de GLE/Morgenstern-Price, en condiciones normales

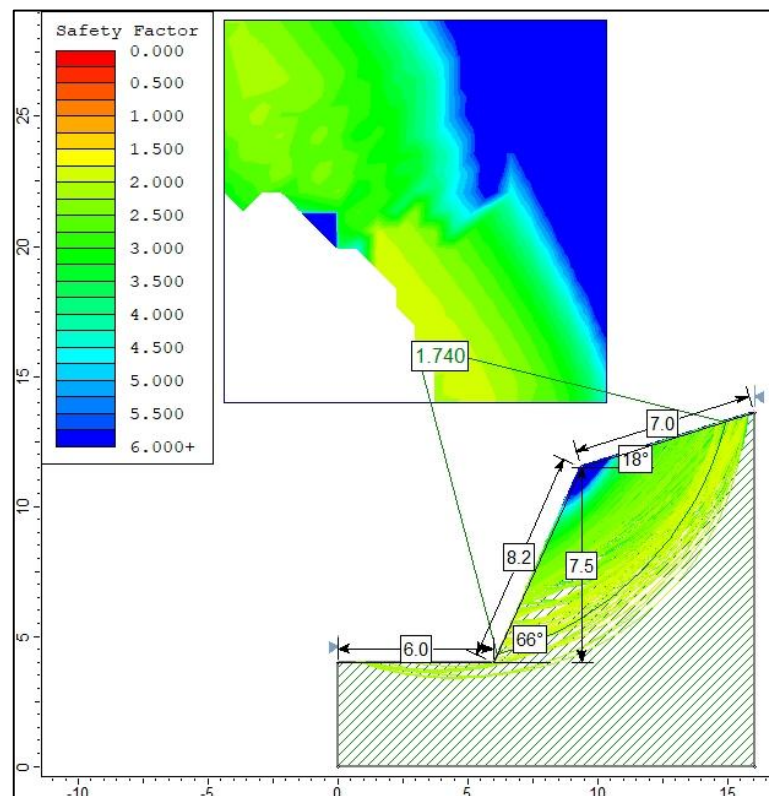


Figura 3.23: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Spencer, en condiciones normales.

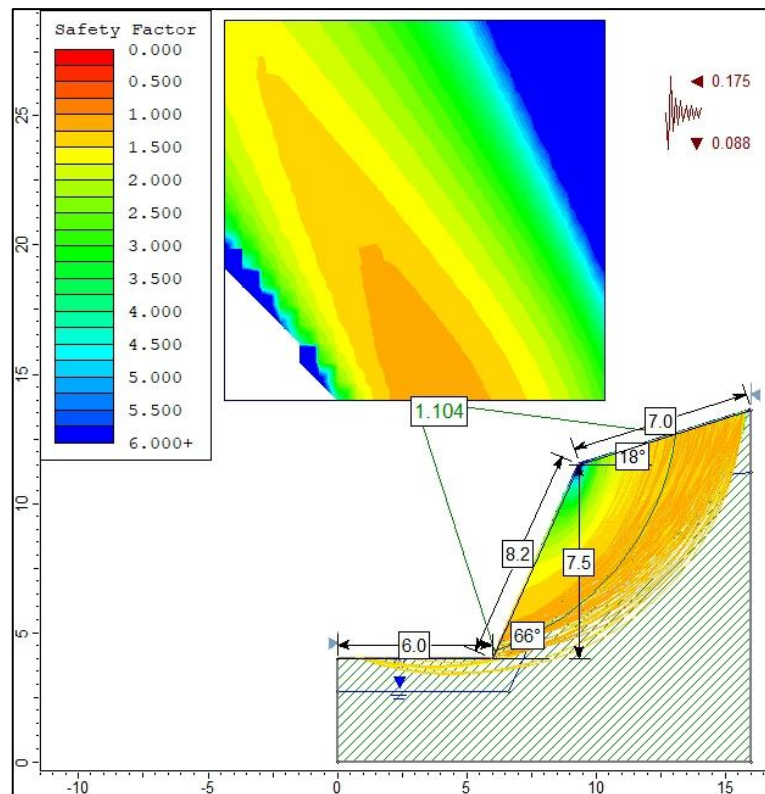


Figura 3.24: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Bishop simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

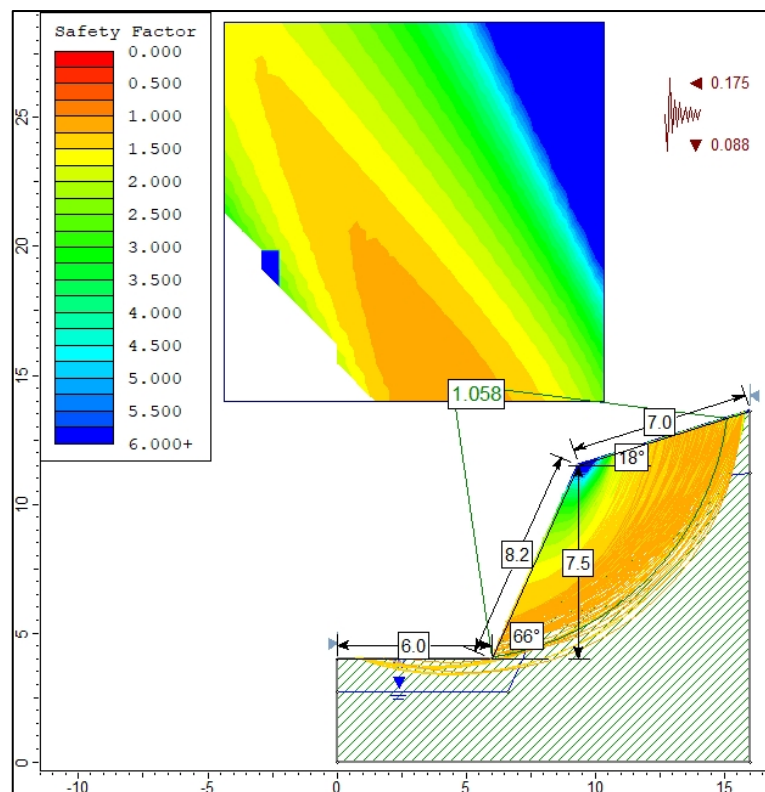


Figura 3.25: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Janbu simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

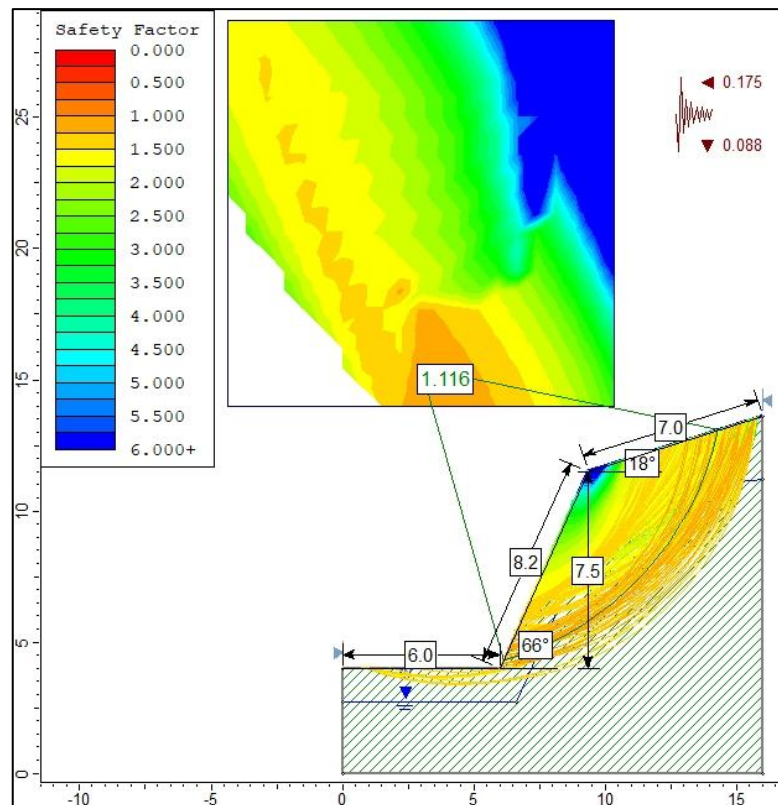


Figura 3.26: Factor de seguridad EG – 02 por el método de GLE/Morgenstern – Price, en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

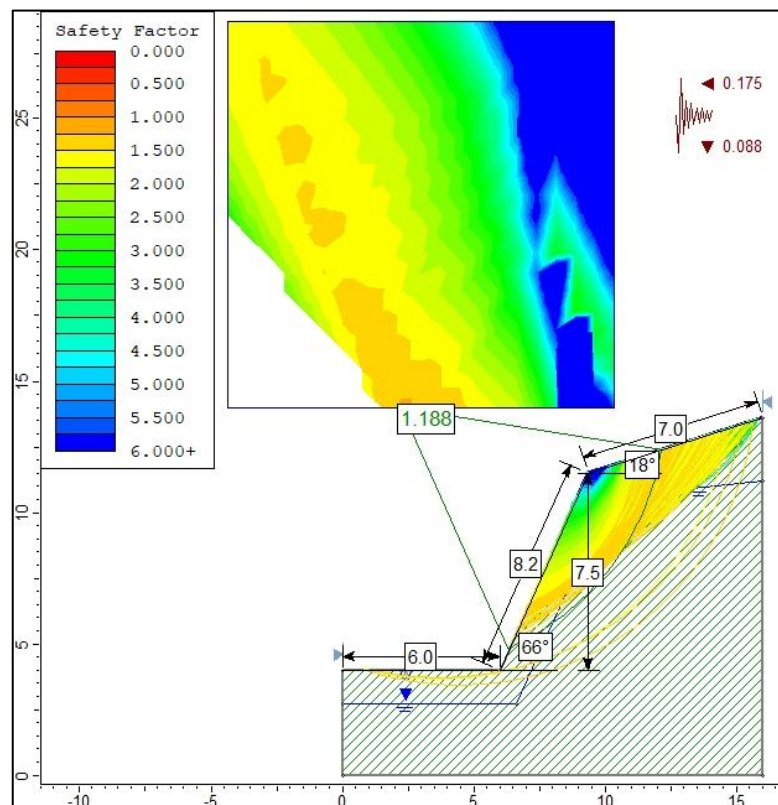


Figura 3.27: Factor de seguridad EG – 02 por el método de Spencer, en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

3.10.3. Estación Geotécnica 03 (EG – 03)

3.10.3.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por estratos de calizas mudstone intercaladas con arcillolitas calcáreas y margas pertenecientes a la Formación Chulec (Ki – chu). Estos macizos rocosos se encuentran altamente fracturado por lo que no se puede distinguir ni tomar datos de las discontinuidades. Por lo tanto, se determinará mediante GSI. Además, presentan meteorización física, química y biológica, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose desprendimientos de rocas.

Tabla 3.17: Datos de ubicación y geometría del talud.

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	5.8 m
COORDENADAS	Norte	9206355 m	Pie	6 m
	Este	771021 m	D	65°
COTA	3245 msnm.		DD	95°

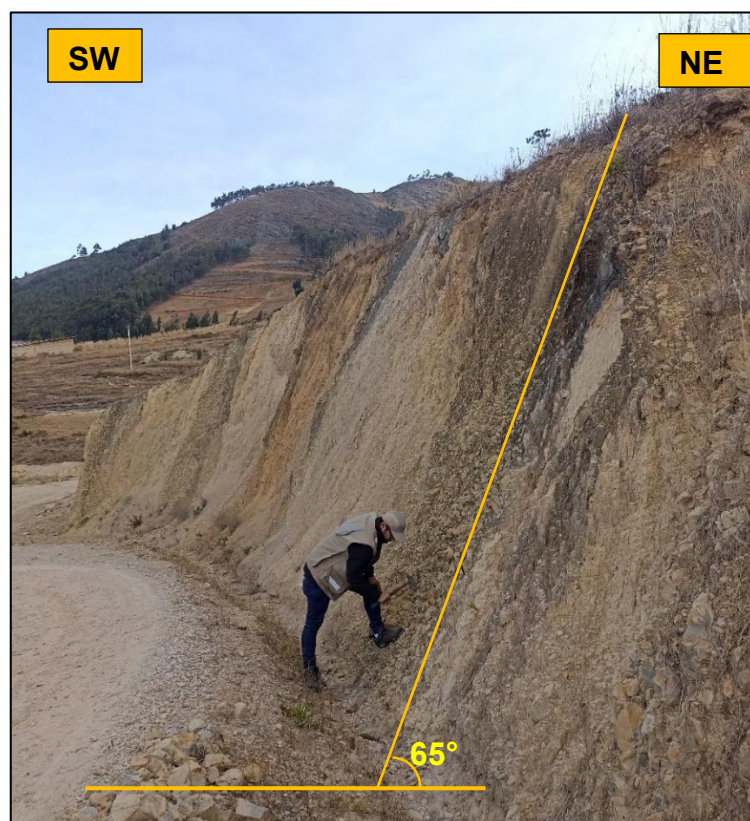


Foto 3.16: Perfil del talud en la progresiva Km 5 + 800.

3.10.3.2. Determinación del GSI

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la condición de las juntas.



Figura 3.28: GSI = 22 de la estación EG – 03, según la condición del macizo rocoso se encuentra desintegrado.

3.10.3.3. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 03 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.30 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.18: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 03.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 03				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	30 MPa	Criterio de Hoek - Brown	mb	0.034
			s	0.0000022
			a	0.538
GSI	22	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.019 MPa
			Phi	27.323°
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.002 MPa
			Sigc	0.027 MPa
			Sigcm	0.548 MPa
			Erm	648.225 MPa
D	1	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	27000 MPa		Sig3max	0.122 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m ³
			Slope height	5.8 m

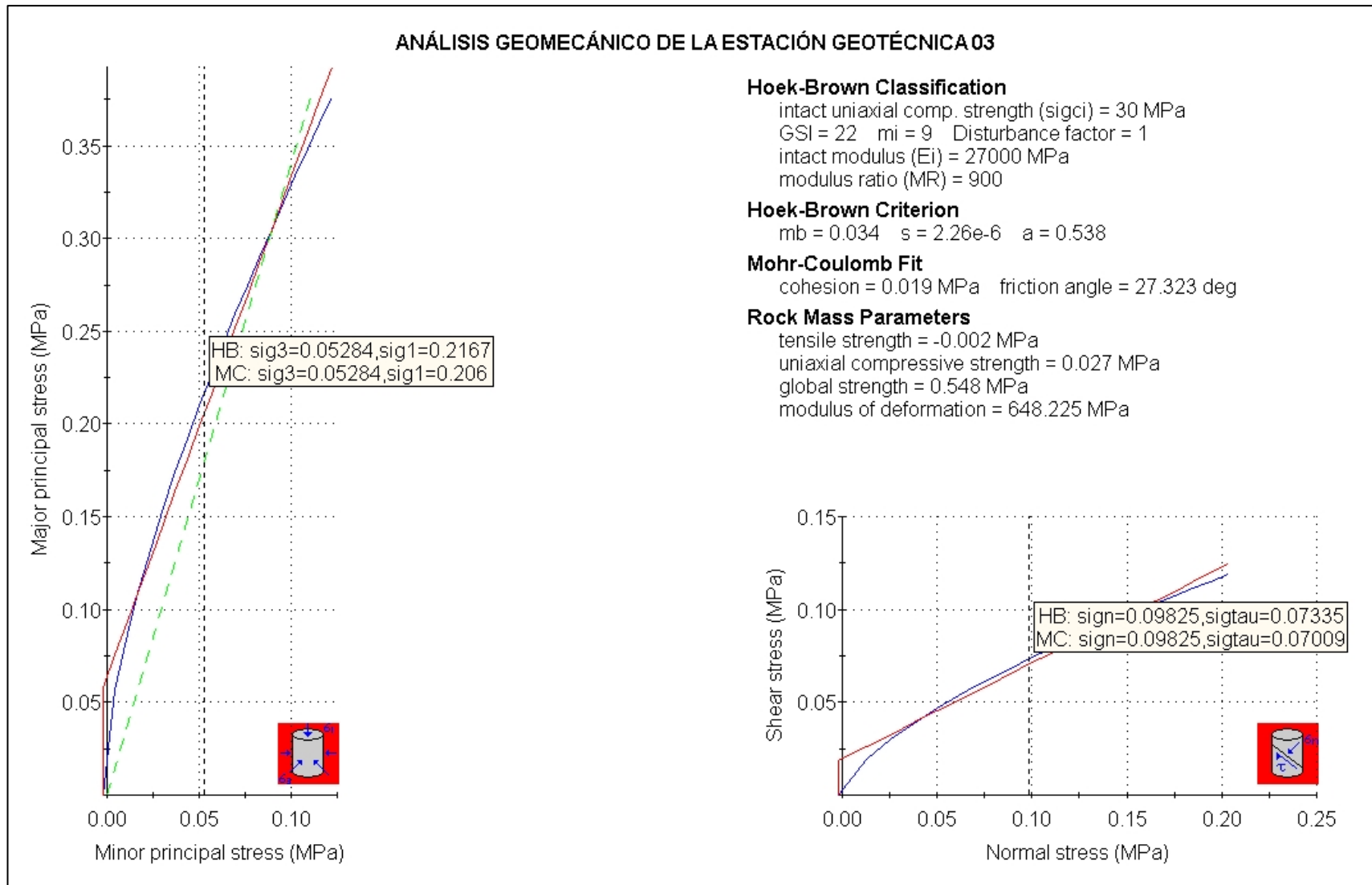


Figura 3.29: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en rocas de la Formación Chulec.

3.10.3.4. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de "Grid Search".

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

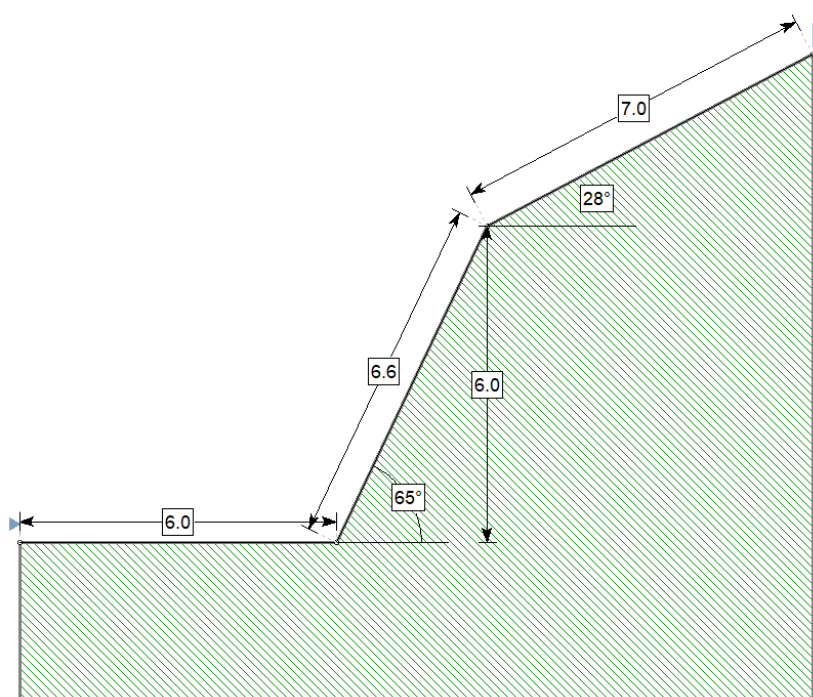


Figura 3.30: Estación Geotécnica 03, dimensiones del Talud.

Tabla 3.19: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 03.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	1.190	Estable relativo
Janbu Simplificado		1.210	Estable relativo
GLE/Morgenstern-Price		1.222	Estable relativo
Spencer		1.212	Estable relativo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	0.768	Inestable
Janbu Simplificado		0.726	Inestable
GLE/Morgenstern-Price		0.768	Inestable
Spencer		0.818	Inestable

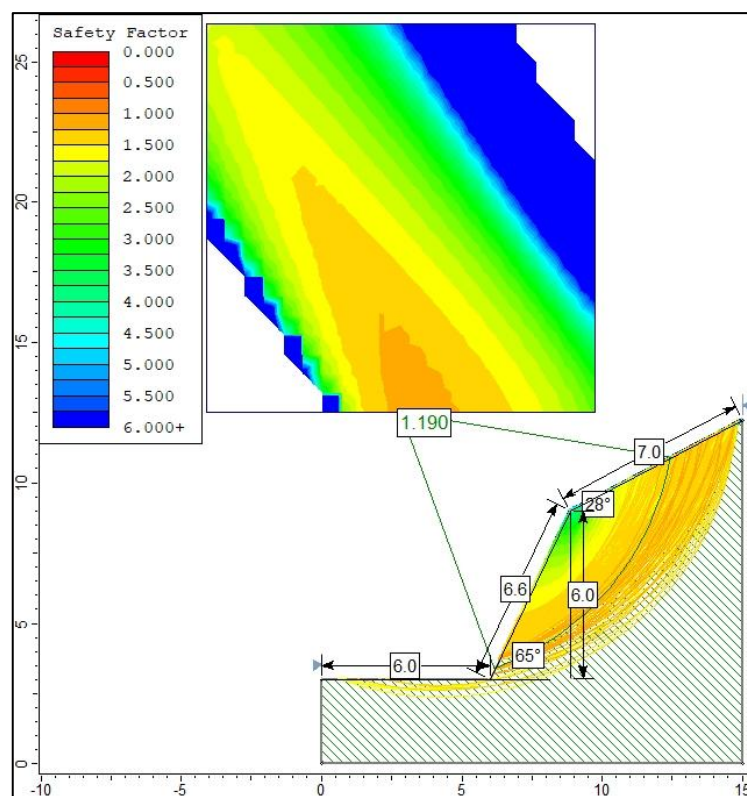


Figura 3.31: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Bishop simplificado en condiciones normales.

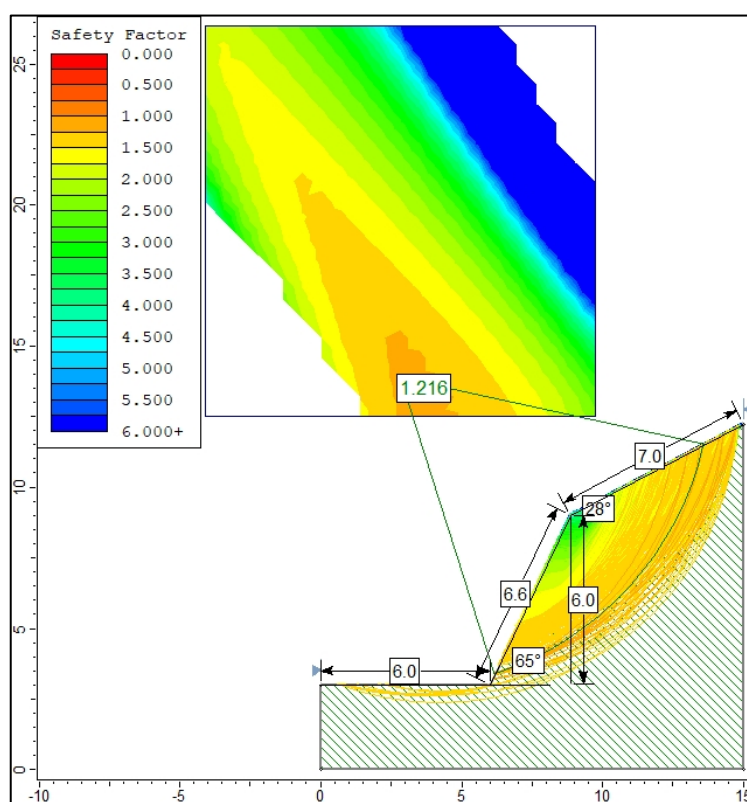


Figura 3.32: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Janbu simplificado en condiciones normales.

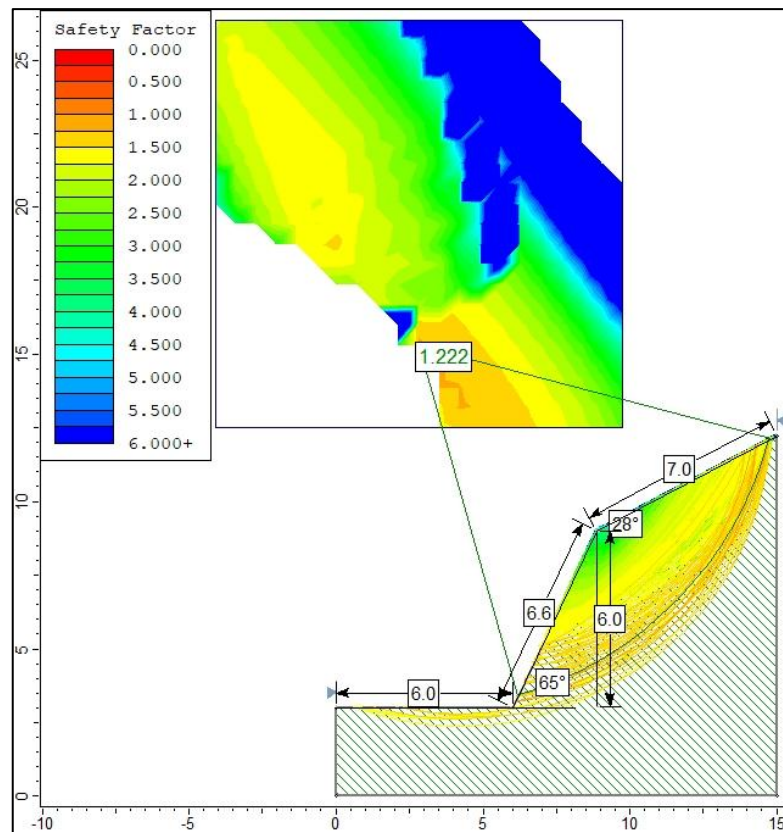


Figura 3.33: Factor de seguridad EG – 03 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones normales.

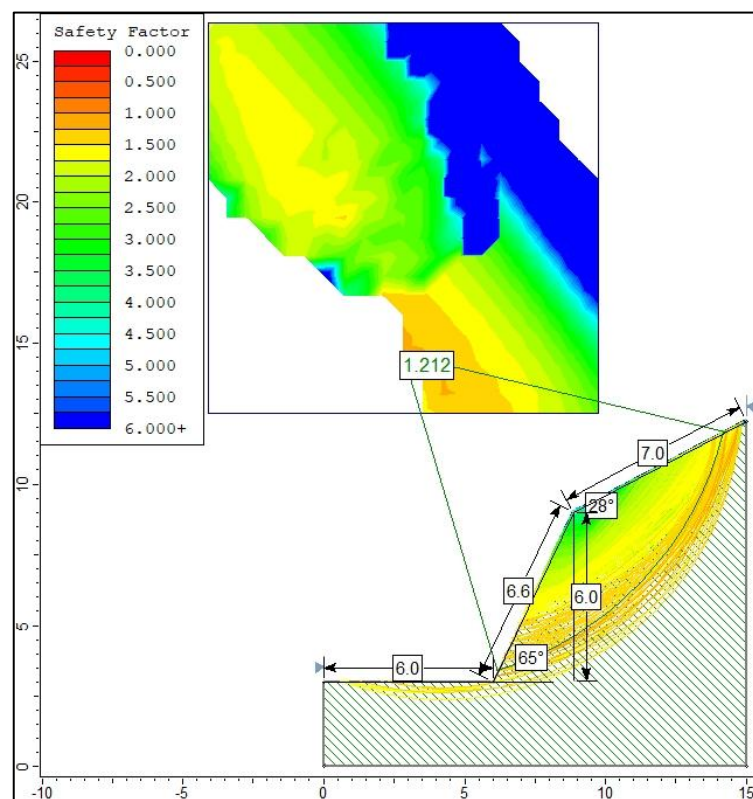


Figura 3.34: Factor de seguridad GE – 03 por el método de Spencer en condiciones normales.

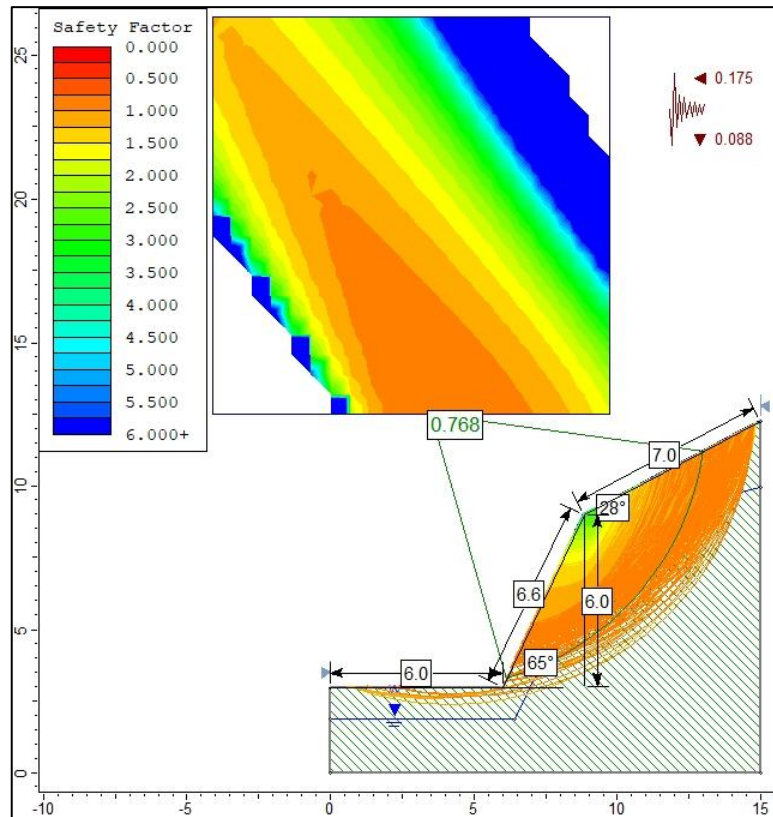


Figura 3.35: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

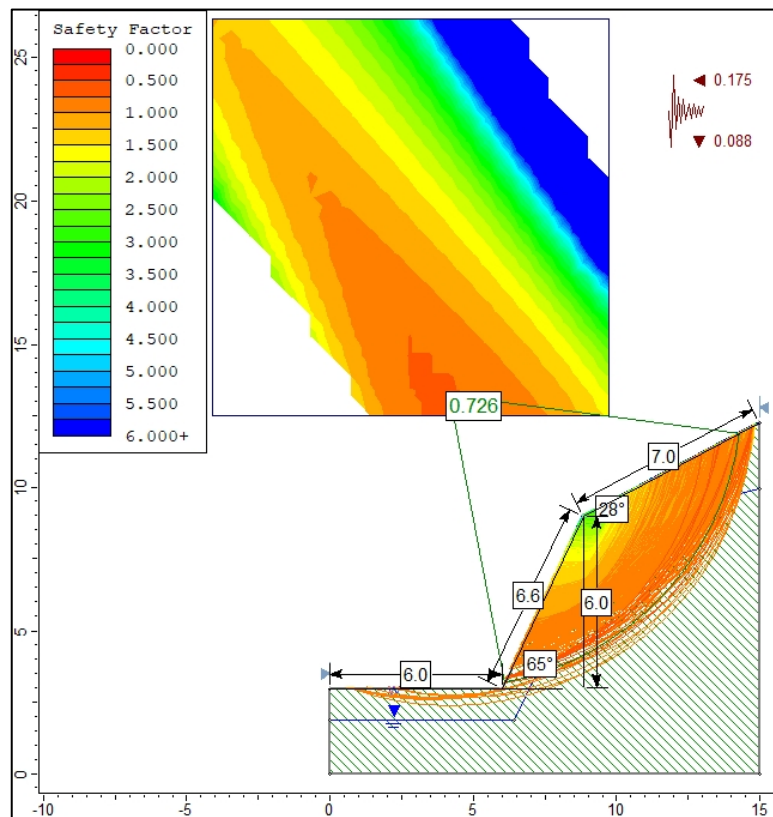


Figura 3.36: Factor de seguridad EG – 03 por el método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

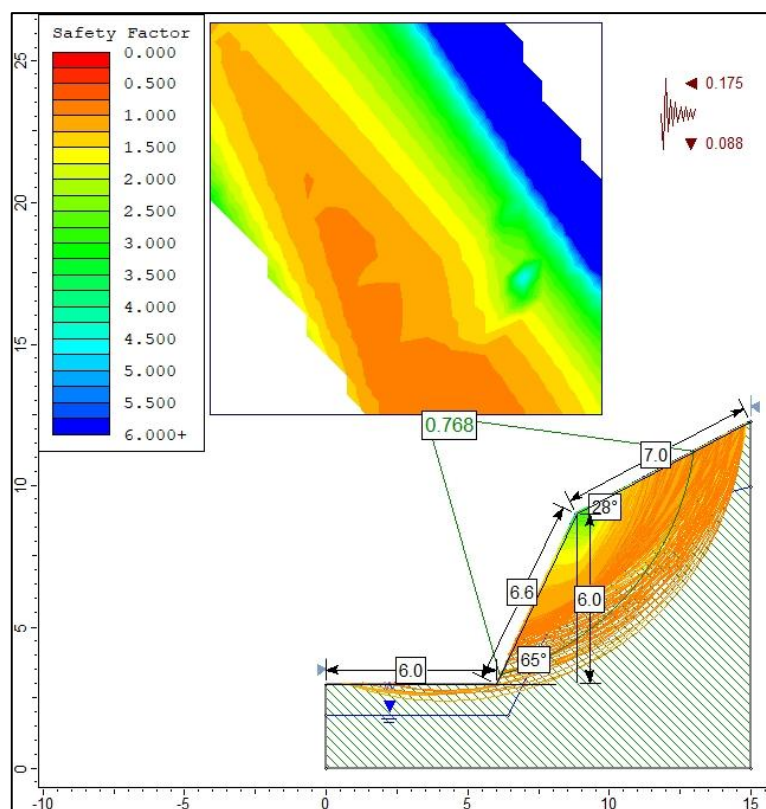


Figura 3.37: Factor de seguridad EG – 03 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

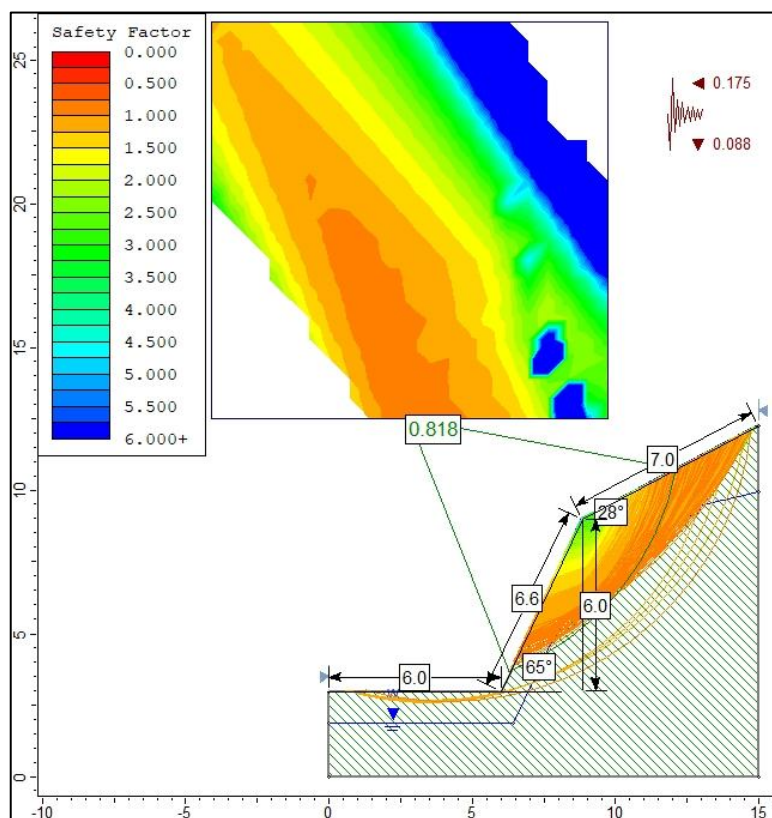


Figura 3.38: Factor de seguridad EG – 03 por método Spencer

3.10.4. Estación Geotécnica 04 (EG – 04)

3.10.4.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por estratos de calizas mudstone pertenecientes a la Formación Pariatambo (Ki – pa). Estos macizos rocosos varían entre 12 y 20 cm de espesor, presenta tres familias de discontinuidades las cuales se observan aberturas sin relleno, otras con relleno de arcillas y roca triturada. Además, presentan meteorización física, química y biológica, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose desprendimientos de rocas.

Tabla 3.20: Datos de ubicación y geometría del talud.

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	9.5 m
COORDENADAS	Norte	9206725 m	Pie	6 m
	Este	778507 m	D	72°
COTA	3245 msnm.		DD	182°

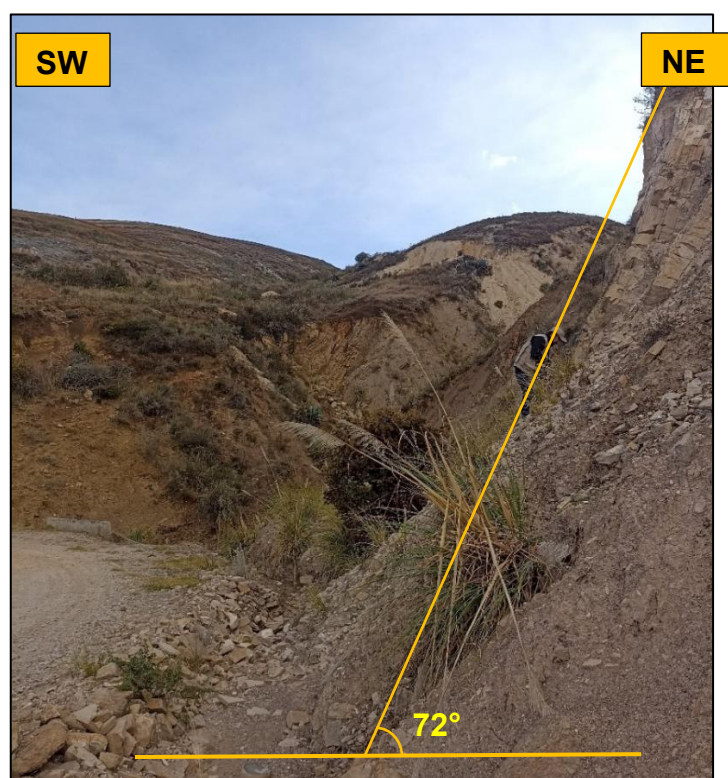


Foto 3.17: Perfil del talud en la progresiva Km 6 + 300.

3.10.4.2. Cálculo del RQD

Tabla 3.21: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	25	1,60	15,625	53,71

3.10.4.3. Valoración del RMR₈₉

Tabla 3.22: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación Geotécnica 04.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							PTJE	
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa				7
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa	
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%			12
		Puntuación	20	17	12	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm			8
		Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m			11
		Valoración	6	4	2	1	0			
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
		Valoración	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave			
		Valoración	6	5	3	1	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm			
		Valoración	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Lig. alterada	Mod. alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Valoración	6	5	3	1	0			
		Puntuación	30	23	13	6	0			
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo			7
		Puntuación	15	10	7	4	0			
VALORACION TOTAL RMR ₈₉										45

3.10.4.4. Determinación del GSI

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la condición de las juntas.

Tabla 3.23: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 04.

ESTIMACIÓN DEL GSI						
RQD	Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
	Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración
53,71						(JCOND ₈₉)
	2	1	3	2	3	11
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$					GSI = 43.35	

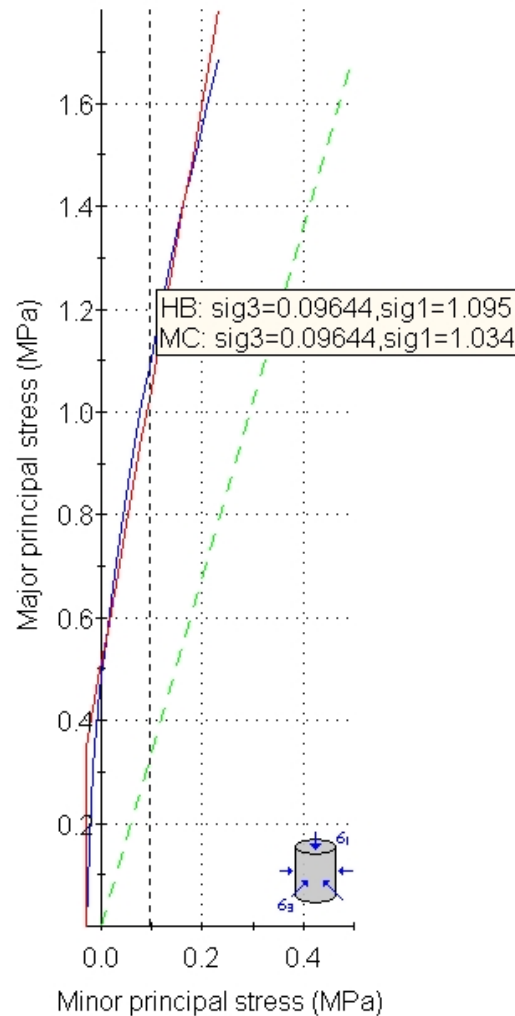
3.10.4.5. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 04 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.40 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.24.

Tabla 3.24: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 04.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 04				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	60 MPa	Criterio de Hoek - Brown	Mb	0.153
			S	0.00007
			A	0.509
GSI	43	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	C	0.108 MPa
			Phi	43.688°
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.064 MPa
			Sigc	0.475 MPa
			Sigcm	2.976 MPa
			Erm	2476.062 MPa
D	1	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	54000 MPa		Sig3max	0.233 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m ³
			Slope height	9.5 m

ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE LA ESTACIÓN GEOTÉCNICA 04



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 60 MPa
GSI = 43 m_i = 9 Disturbance factor = 1
intact modulus (E_i) = 54000 MPa
modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.153 s = $7.49e-5$ a = 0.509

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.108 MPa friction angle = 43.688 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.029 MPa
uniaxial compressive strength = 0.475 MPa
global strength = 2.976 MPa
modulus of deformation = 2476.062 MPa

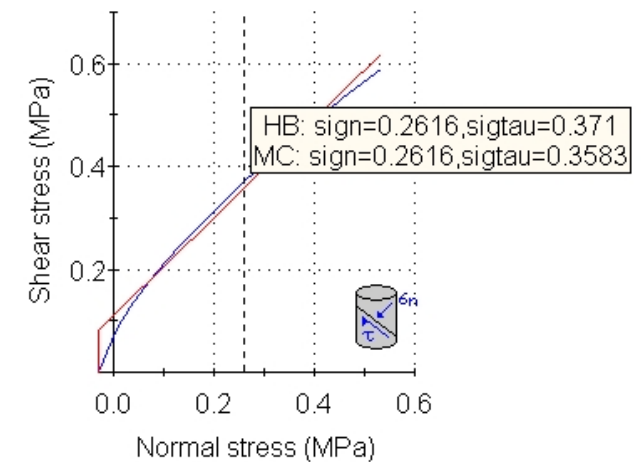


Figura 3.39: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en rocas de la Formación Chulec.

3.10.4.6. Análisis de discontinuidades Dips v.7.0.

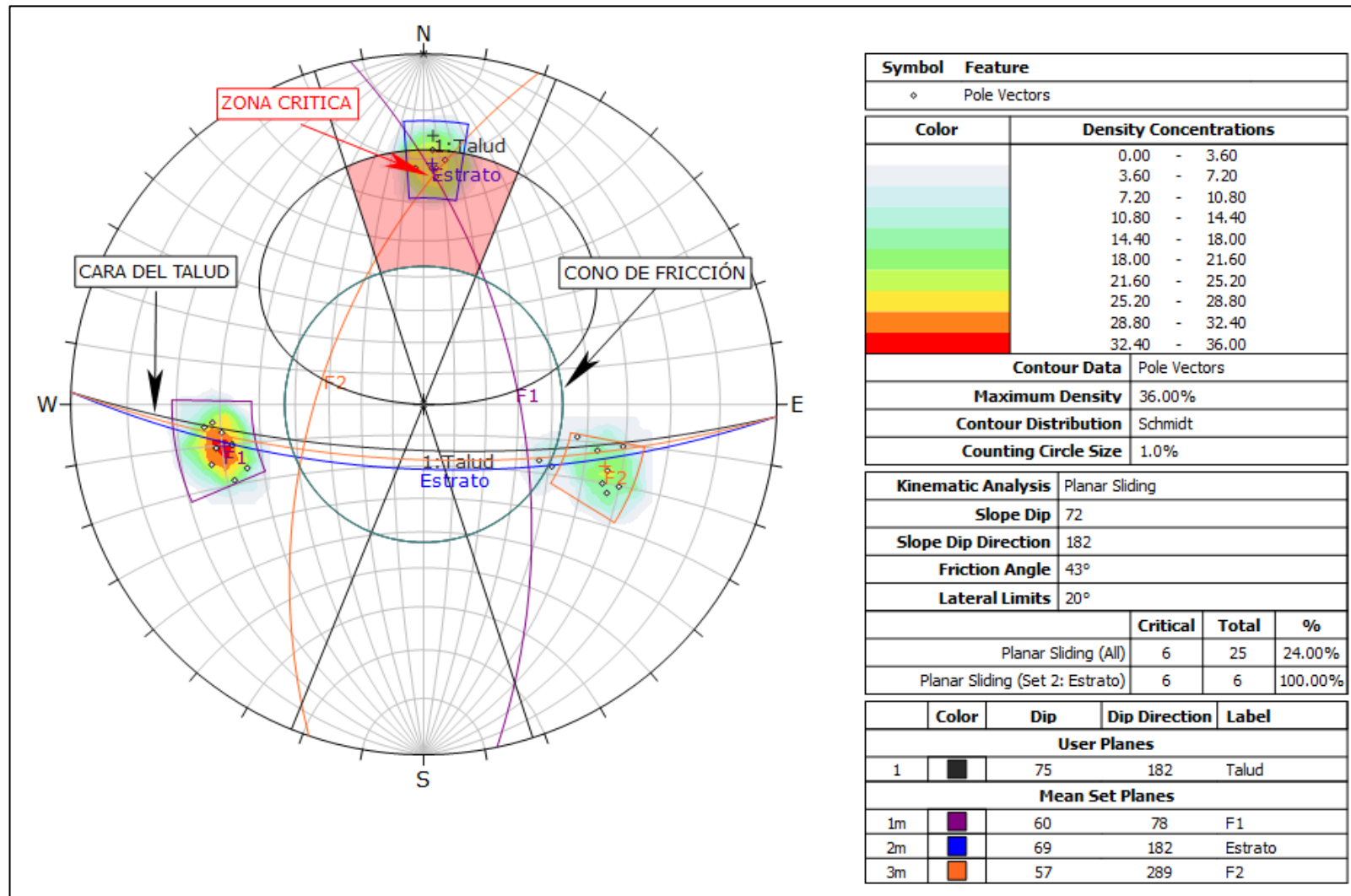


Figura 3.40: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo planar, mediante el software Dips de las discontinuidades del macizo rocoso en el talud de la estación geotécnica 04, indicando una probabilidad de falla del 24 % del total de las discontinuidades.

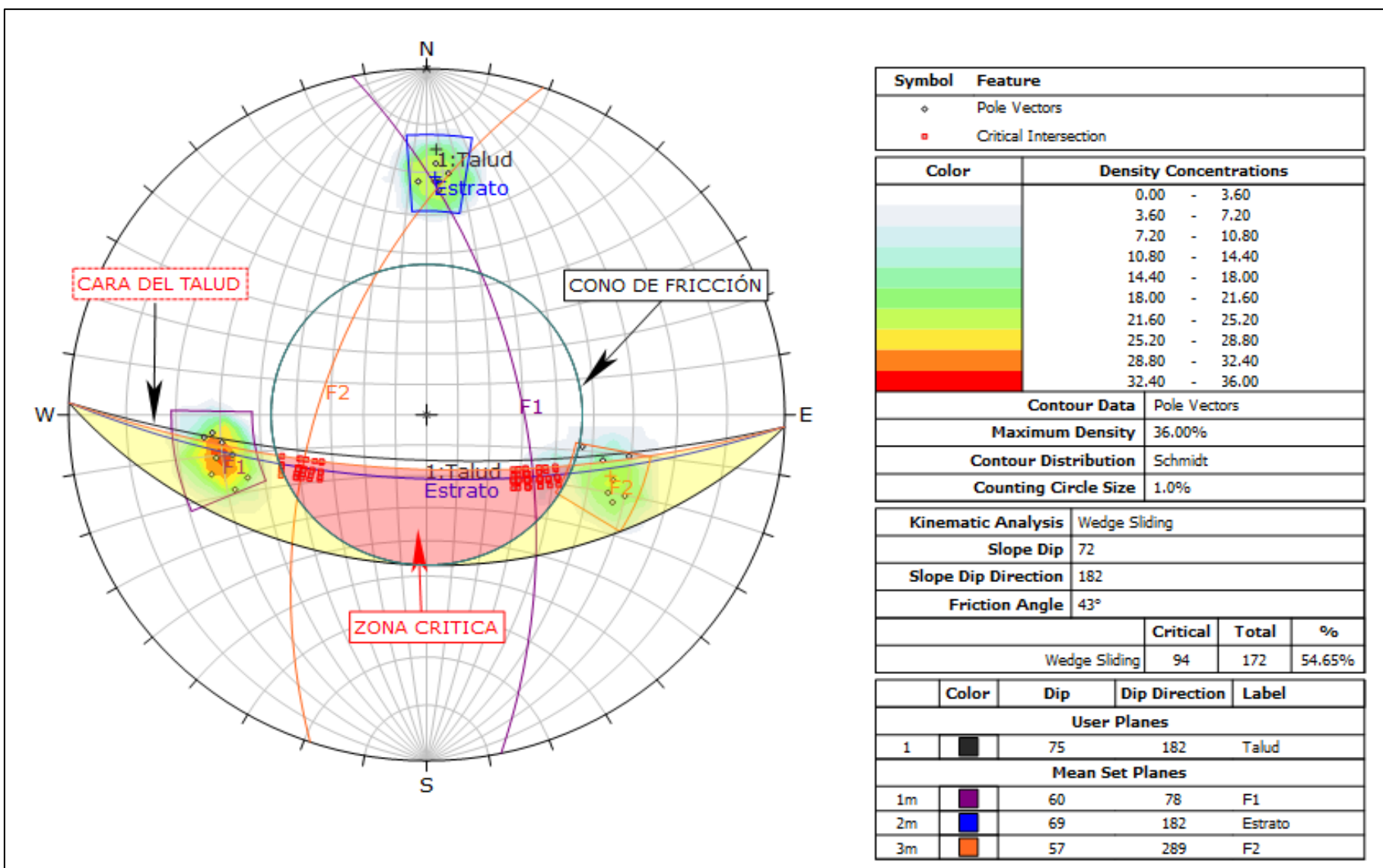


Figura 3.41: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips de las discontinuidades del macizo rocoso en el talud de la estación geotécnica 04, indicando una probabilidad de falla de 54,65 %.

3.10.4.7. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de "Grid Search".

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

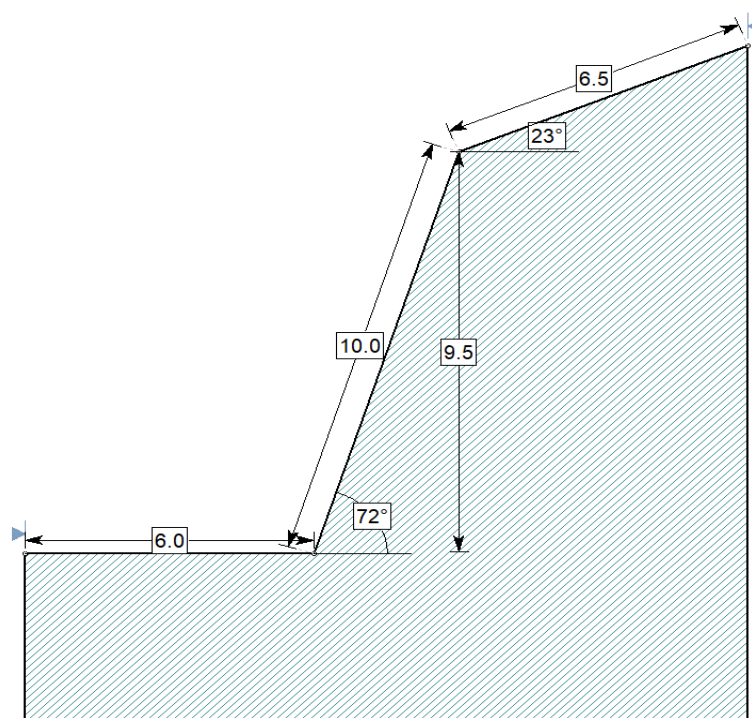


Figura 3.42: Estación Geotécnica 04, dimensiones del Talud.

Tabla 3.25: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 04.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	1.284	Estable relativo
Janbu Simplificado		1.405	Estable a corto plazo
GLE/Morgenstern-Price		1.624	Estable a largo plazo
Spencer		1.723	Estable a largo plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	0.796	Inestable
Janbu Simplificado		0.793	Inestable
GLE/Morgenstern-Price		0.805	Inestable
Spencer		0.798	Inestable

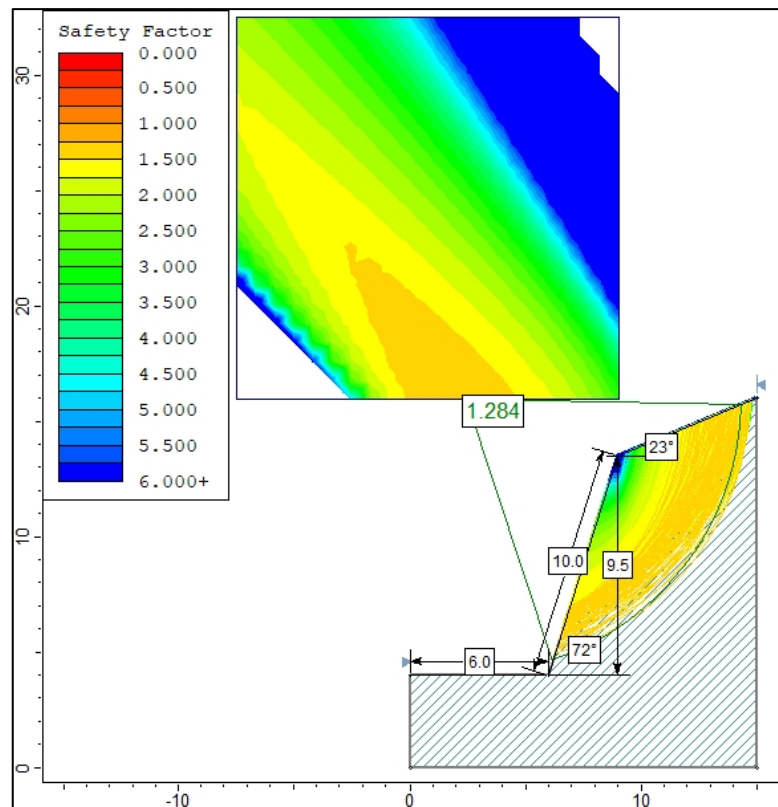


Figura 3.43: Factor de seguridad EG – 04 por método de Bishop simplificado en condiciones normales.

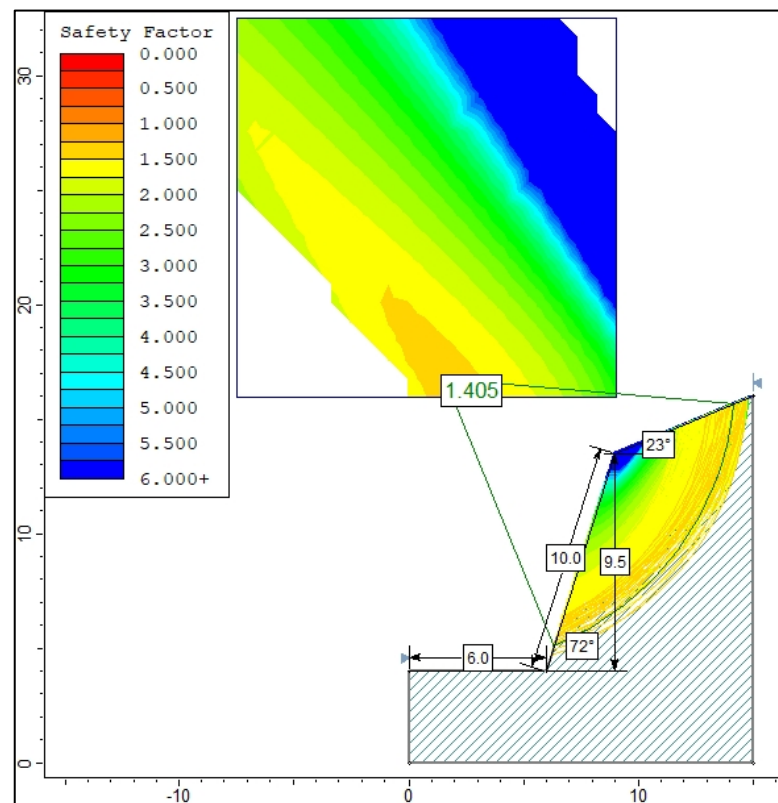


Figura 3.44: Factor de seguridad EG – 04 por método de Janbu simplificado en condiciones normales.

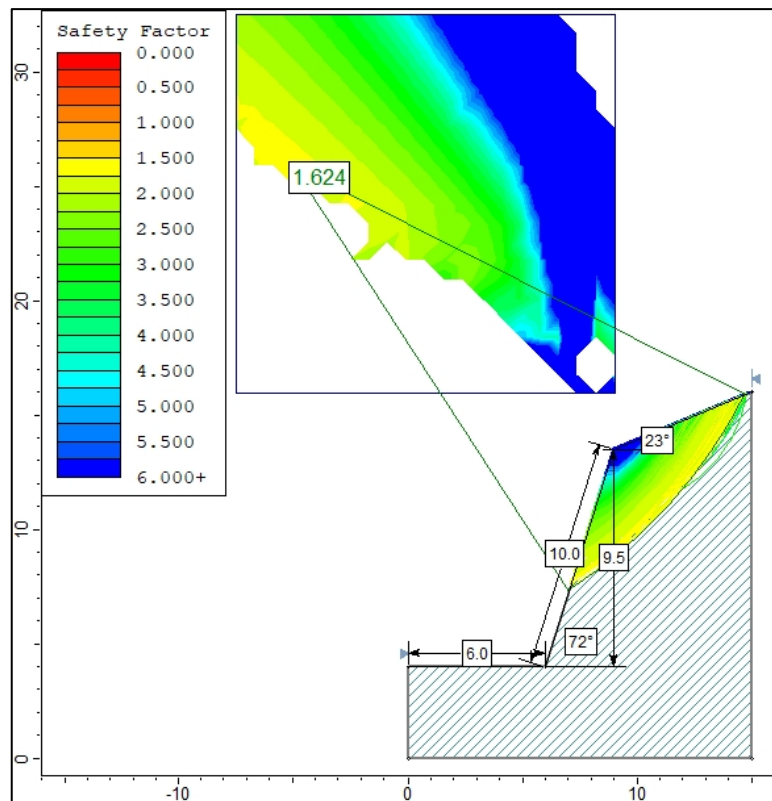


Figura 3.45: Factor de seguridad EG – 04 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones normales.

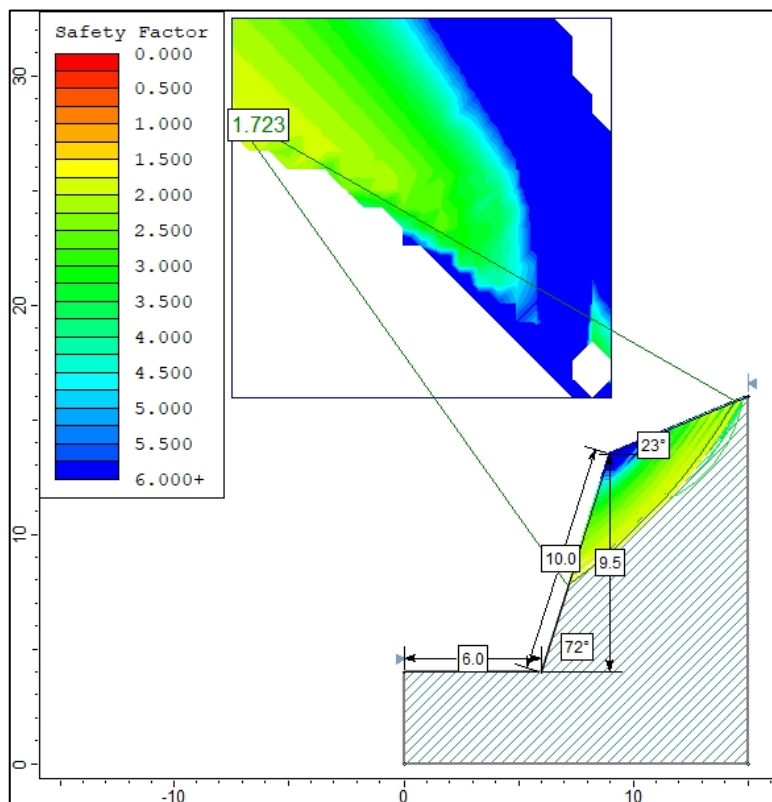


Figura 3.46: Factor de seguridad EG – 04 por método de Spencer en condiciones normales.

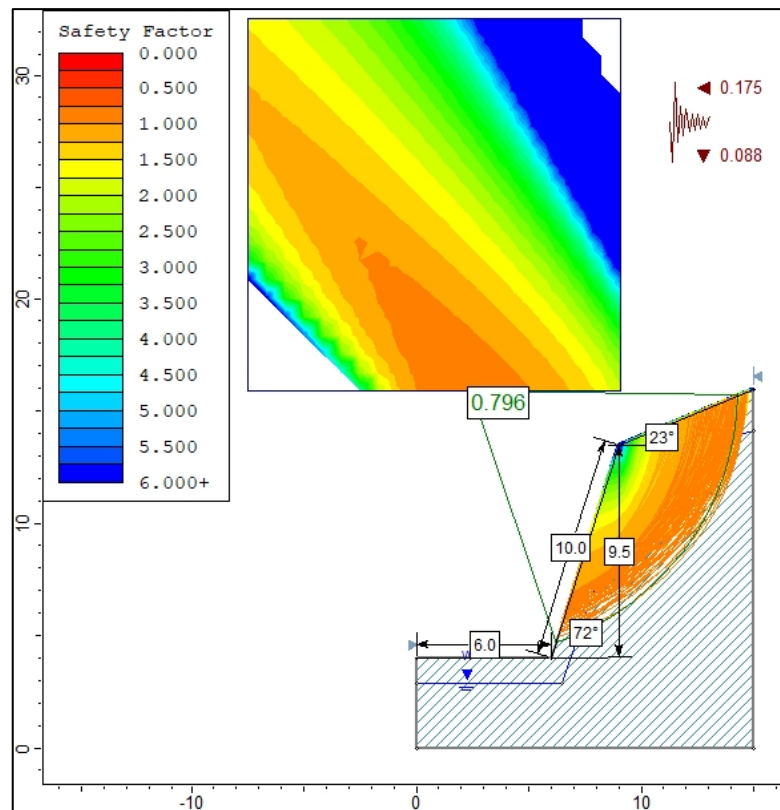


Figura 3.47: Factor de seguridad EG – 04 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

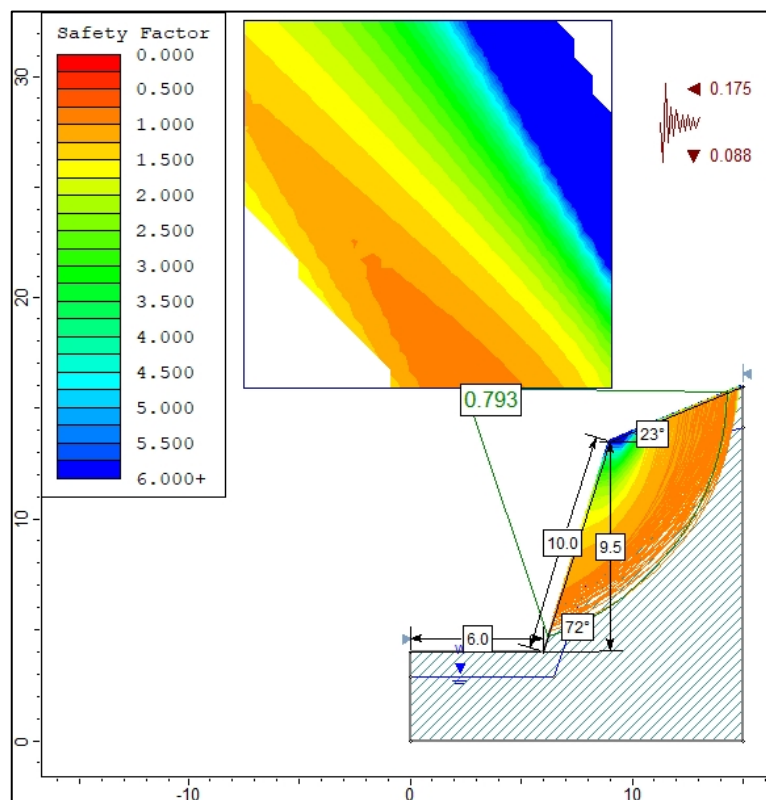


Figura 3.48: Factor de seguridad EG – 04 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

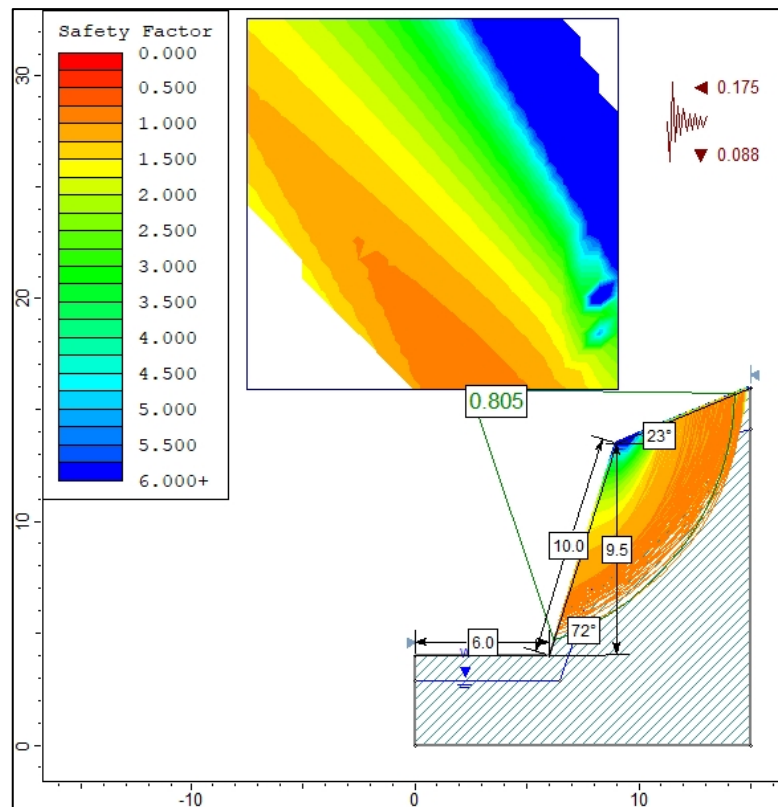


Figura 3.49: Factor de seguridad EG – 04 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

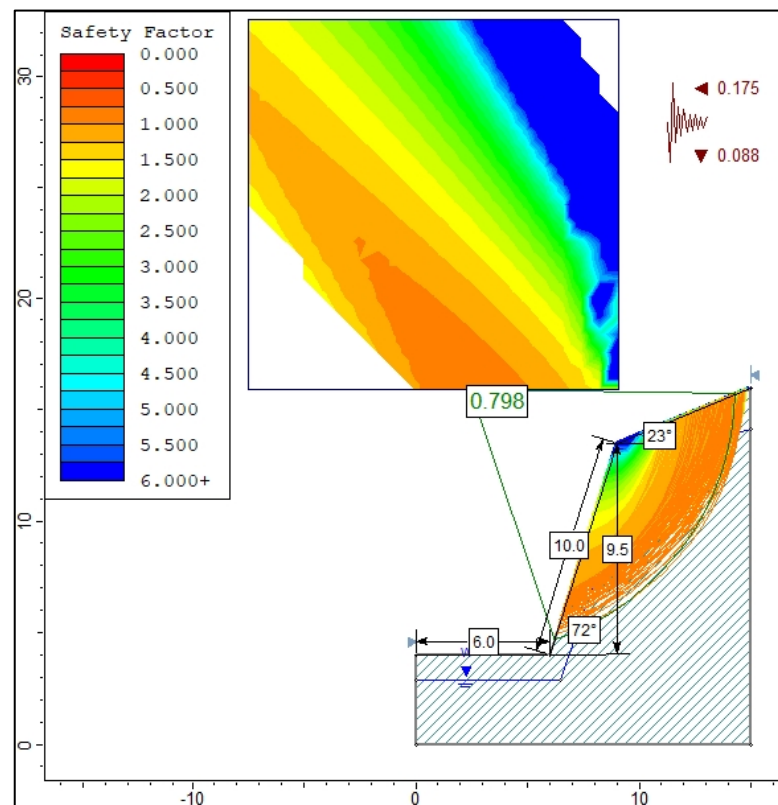


Figura 3.50: Factor de seguridad EG – 04 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

3.10.5. Estación Geotécnica 05 (EG – 05)

3.10.5.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por estratos de calizas mudstone bituminosas intercaladas con arcillolitas calcáreas de color gris parduzca pertenecientes a la Formación Pariatambo (Ki – pa). Estos macizos rocosos varían entre 14 y 20 cm de espesor, presenta tres familias de discontinuidades las cuales se observan aberturas sin relleno, otras con relleno de arcillas y calcita. Además, presentan meteorización física, química y biológica, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose desprendimientos de rocas.

Tabla 3.26: Datos de ubicación y geometría del talud

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	4 m
COORDENADAS	Norte	9206776 m	Pie	6 m
	Este	770608 m	D	62°
COTA	3244 msnm.		DD	145°



Foto 3.18: Perfil del talud en la progresiva Km 6 + 350.

3.10.5.2. Cálculo del RQD

Tabla 3.27: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática.

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	34	2	17	49.32

3.10.5.3. Valoración del RMR₈₉

Tabla 3.28: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación Geotécnica 05.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							PTJE	
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa			7	
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa		< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1		0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %		< 25%	12	
		Puntuación	20	17	12	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm		< 6 cm	8	
		Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m		> 20 m		13
		Valoración	6	4	2	1		0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm		> 5 mm		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada		Suave		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm		Relleno Blando > 5 mm		
		Valoración	6	4	2	2		0		
		Alteración	Inalterada	Lig. alterada	Mod. alterada	Muy alterada		Descompuesta		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Puntuación	30	23	13	6		0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando		Agua fluyendo	7	
		Puntuación	15	10	7	4	0			
VALORACION TOTAL RMR ₈₉									47	

3.10.5.4. Determinación del GSI

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la condición de las juntas.

Tabla 3.29: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 05.

ESTIMACIÓN DEL GSI						
RQD	Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
	Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración
49,32						(JCOND ₈₉)
	2	1	3	2	3	13
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$					GSI = 44.16	

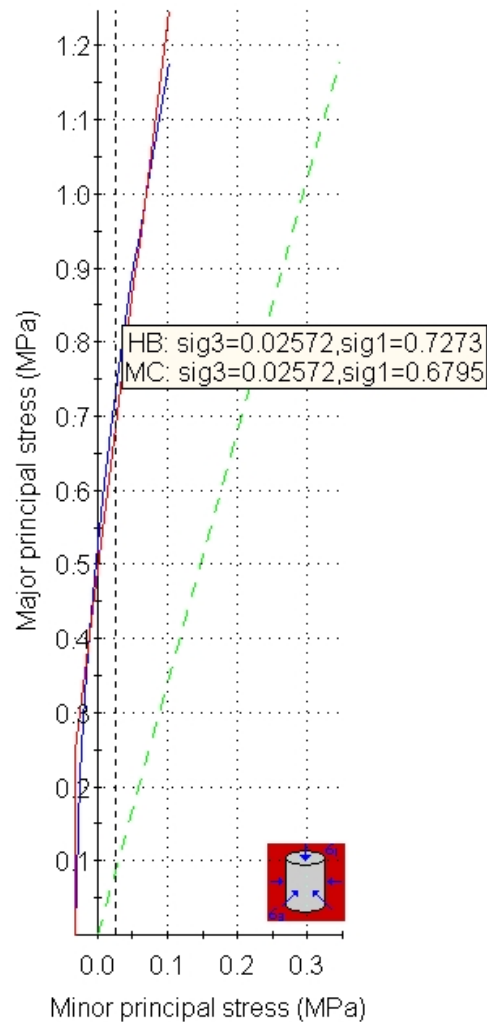
3.10.5.5. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 05 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.52 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.30.

Tabla 3.30: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 05.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 05				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	60 MPa	Criterio de Hoek - Brown	Mb	0.165
			s	0.000008
			a	0.507
GSI	44	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.089 MPa
			Phi	49.816°
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.032 MPa
			Sigc	0.520 MPa
			Sigcm	3.100 MPa
			Erm	2601.437 MPa
D	1	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	54000 MPa		Sig3max	0.102 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m ³
			Slope height	4 m

ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE LA ESTACIÓN GEOTÉCNICA 05



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 60 MPa
GSI = 44 m_i = 9 Disturbance factor = 1
intact modulus (E_i) = 54000 MPa
modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.165 s = $8.84e-5$ a = 0.509

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.089 MPa friction angle = 49.816 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.032 MPa
uniaxial compressive strength = 0.520 MPa
global strength = 3.100 MPa
modulus of deformation = 2601.437 MPa

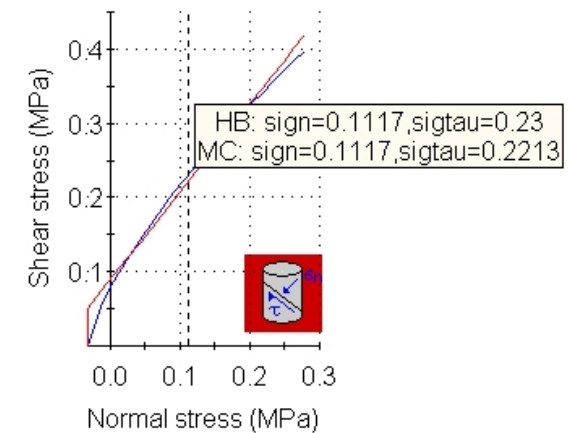


Figura 3.51: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en rocas de la Formación Pariatambo.

The figure consists of two main parts: a stereonet plot on the left and a summary table on the right.

Stereonet Plot:

- A circular Wulff projection plot with North (N), South (S), East (E), and West (W) orientations.
- Poles are plotted as small squares: red for F1, orange for F2, and blue for Estraro.
- Density contours are shown in shades of green, yellow, and red.
- A red box labeled "ZONA CRITICA" highlights a specific area.
- An arrow points to a curved boundary labeled "CARA DEL TALUD".
- Other labels include "CONO DE FRICCIÓN", "Estraro", "F2", "F1", and "1: Talud".

Summary Table:

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 4.00
	4.00 - 8.00
	8.00 - 12.00
	12.00 - 16.00
	16.00 - 20.00
	20.00 - 24.00
	24.00 - 28.00
	28.00 - 32.00
	32.00 - 36.00
	36.00 - 40.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	40.00%
Contour Distribution	Schmidt
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	62
Slope Dip Direction	145
Friction Angle	49°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	33	435	7.59%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	62	145	Talud
Mean Set Planes				
1m	■	84	91	F1
2m	■	38	2	F2
3m	■	62	184	Estraro

99

3.10.5.7. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de “Grid Search”.

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

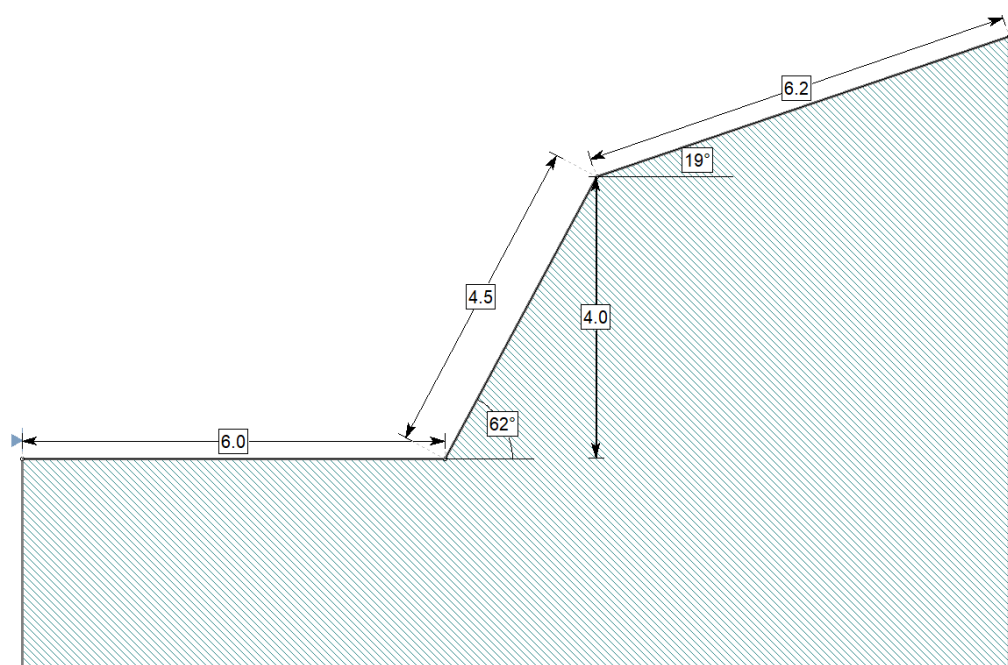


Figura 3.53: Estación Geotécnica 05, dimensiones del Talud.

Tabla 3.31: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 05.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	2.788	Estable a largo plazo
Janbu Simplificado		2.857	Estable a largo plazo
GLE/Morgenstern-Price		2.879	Estable a largo plazo
Spencer		2.853	Estable a largo plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	1.872	Estable a largo plazo
Janbu Simplificado		1.814	Estable a largo plazo
GLE/Morgenstern-Price		1.886	Estable a largo plazo
Spencer		1.961	Estable a largo plazo

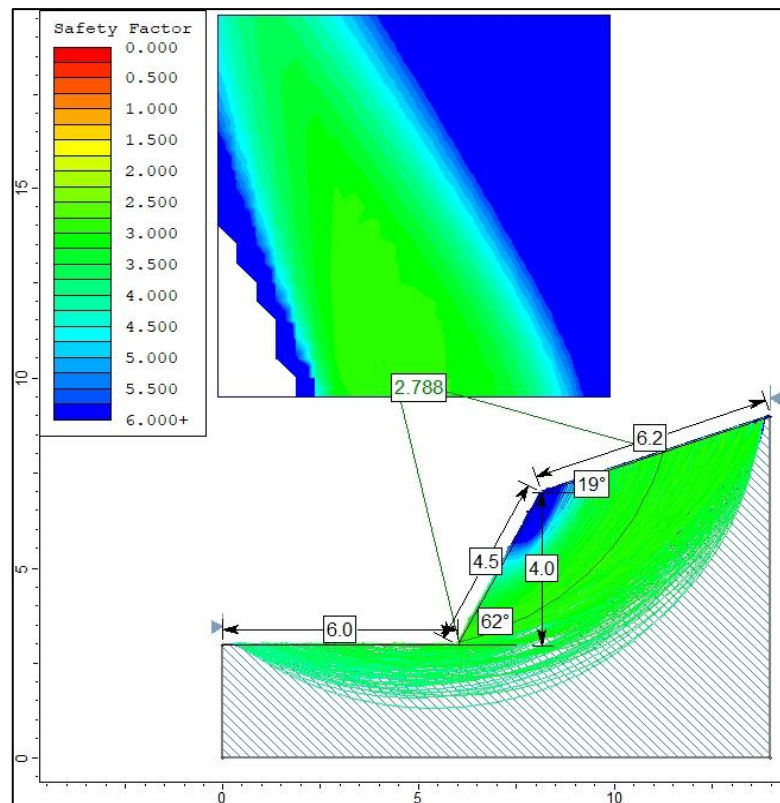


Figura 3.54: Factor de seguridad EG – 05 por método de Bishop simplificado, en condiciones normales.

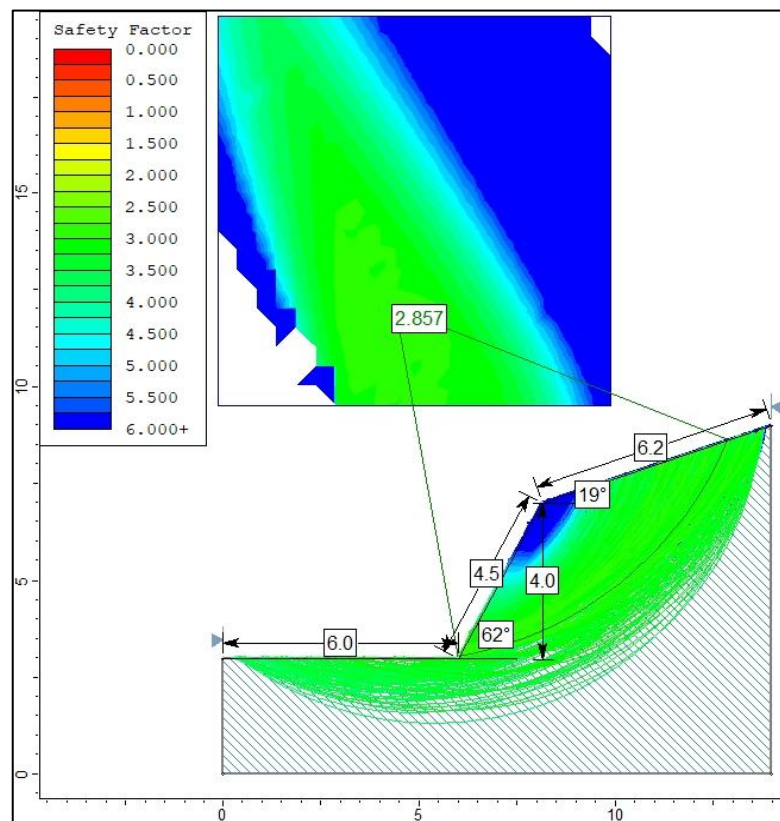


Figura 3.55: Factor de seguridad EG – 05 por método de Janbu simplificado, en condiciones normales.

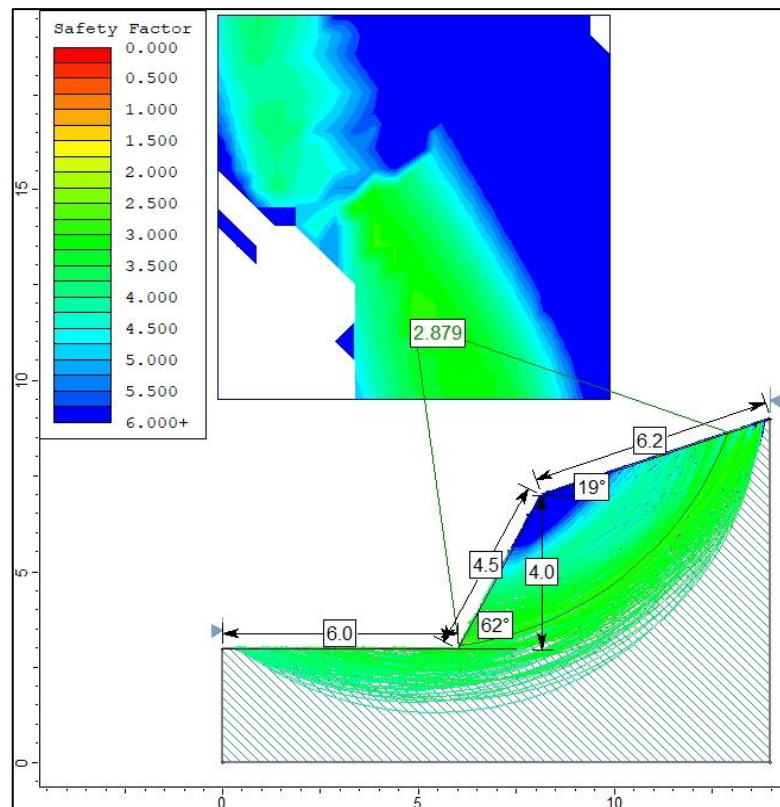


Figura 3.56: Factor de seguridad EG – 05 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones normales.

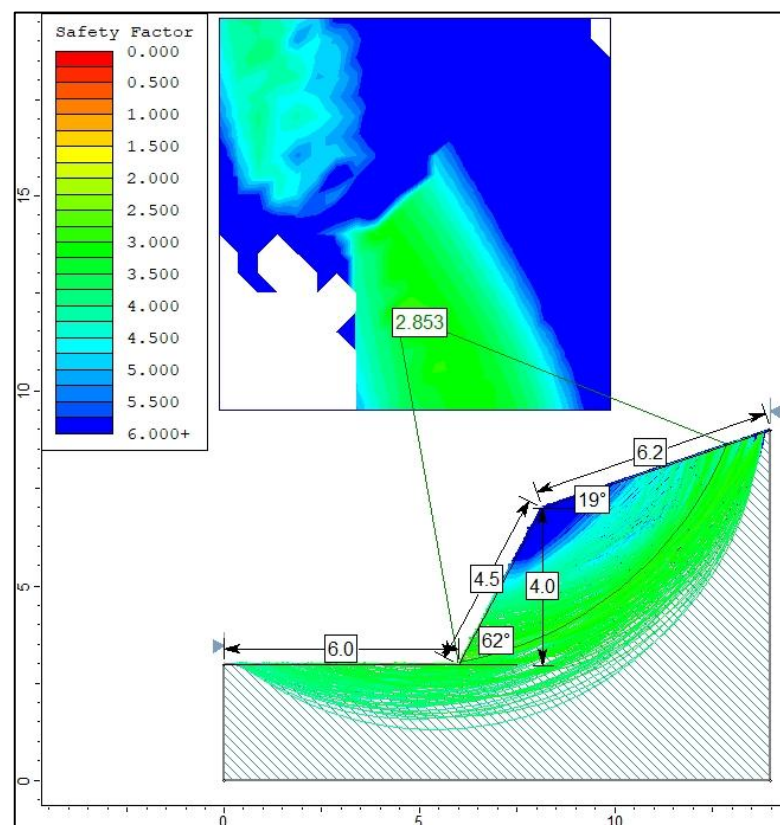


Figura 3.57: Factor de seguridad EG – 05 por método de Spencer, en condiciones normales.

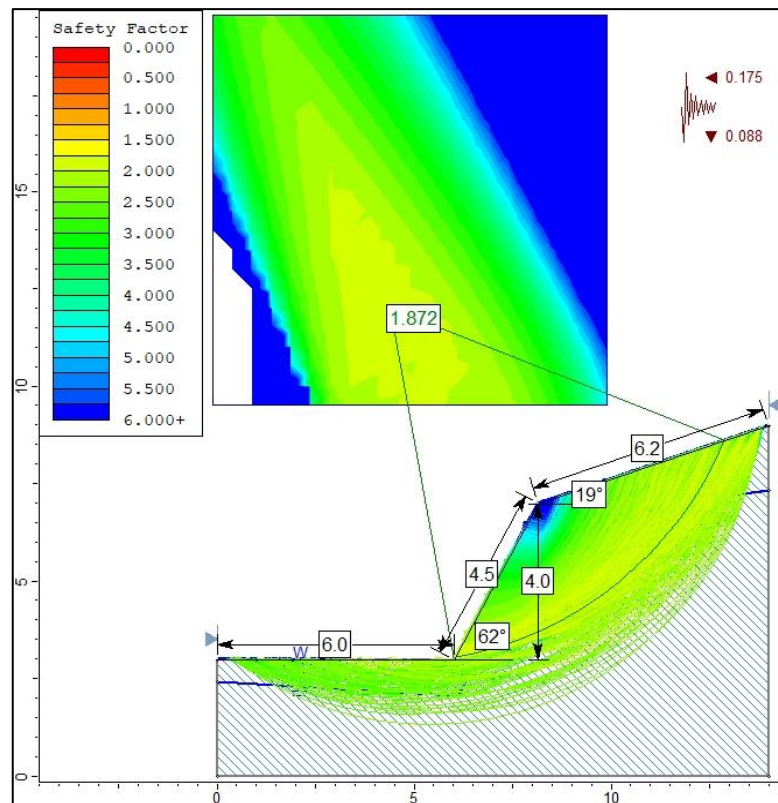


Figura 3.58: Factor de seguridad EG – 05 por método de Bishop simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

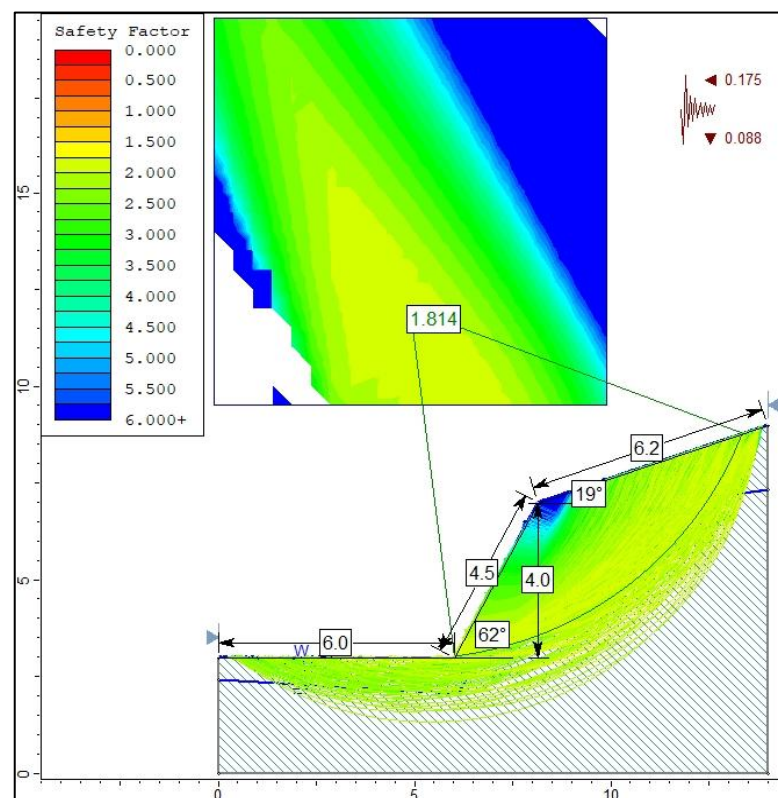
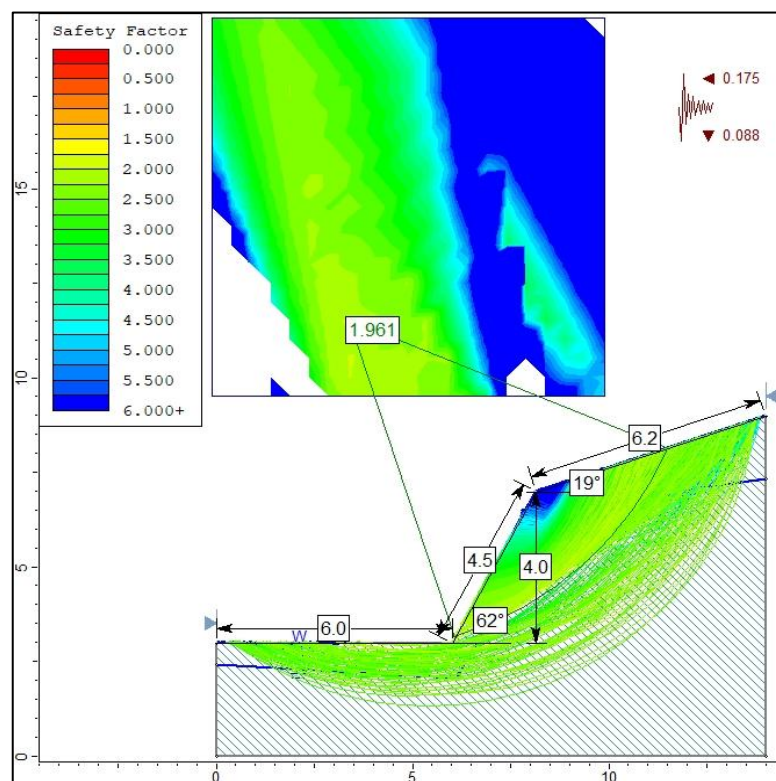
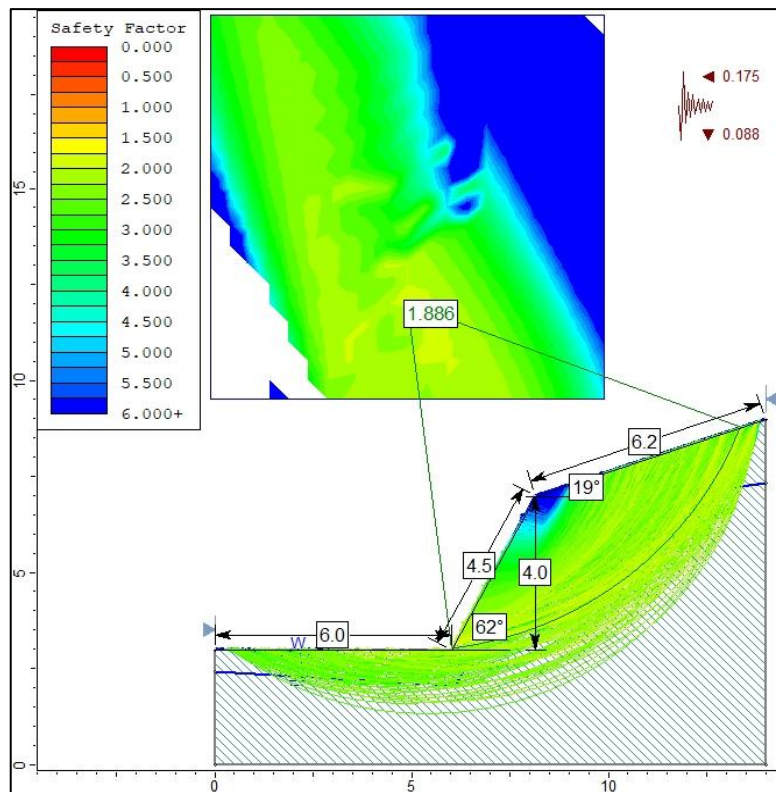


Figura 3.59: Factor de seguridad EG – 05 por método de Janbu simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.



3.10.6. Estación Geotécnica 06 (EG – 06)

3.10.6.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por estratos de calizas mudstone bituminosas pertenecientes a la Formación Pariatambo (Ki – pa). Estos macizos rocosos varían entre 10 y 14 cm de espesor, presenta tres familias de discontinuidades las cuales se observan aberturas sin relleno, otras con relleno de arcillas y roca triturada. Además, presentan meteorización física, química y biológica, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose desprendimientos de rocas.

Tabla 3.32: Datos de ubicación y geometría del talud.

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	8.5 m
COORDENADAS	Norte	9206833 m	Pie	7 m
	Este	770529 m	D	62°
COTA	3250 msnm.		DD	27°



Foto 3.19: Perfil del talud en la progresiva Km 6 + 500.

3.10.6.2. Cálculo del RQD

Tabla 3.33: Cálculo del RQD mediante la expresión matemática

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	24	1,5	16	52.49

3.10.6.3. Valoración del RMR₈₉

Tabla 3.34: Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación Geotécnica 06.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							PTJE	
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa			7	
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa		< 1 MPa
		Puntuación	15	12	7	4	2	1		0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %		< 25%	12	
		Puntuación	20	17	12	8		3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm		< 6 cm	8	
		Puntuación	20	15	10	8		5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m		> 20 m	11	
		Valoración	6	4	2	1		0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm		> 5 mm		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada		Suave		
		Valoración	6	5	3	1		0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm		Relleno Blando > 5 mm		
		Valoración	6	4	2	2		0		
		Alteración	Inalterada	Lig. alterada	Mod. alterada	Muy alterada		Descompuesta		
		Valoración	6	5	3	1		0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando		Agua fluyendo	7	
		Puntuación	15	10	7	4		0		
VALORACION TOTAL RMR ₈₉									45	

3.10.6.4. Determinación del GSI

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la condición de las juntas.

Tabla 3.35: Estimación del GSI de la Estación Geotécnica 06.

ESTIMACIÓN DEL GSI						
RQD	Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
	Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración
52,49						(JCOND ₈₉)
	2	1	3	2	3	11
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$					GSI = 42.74	

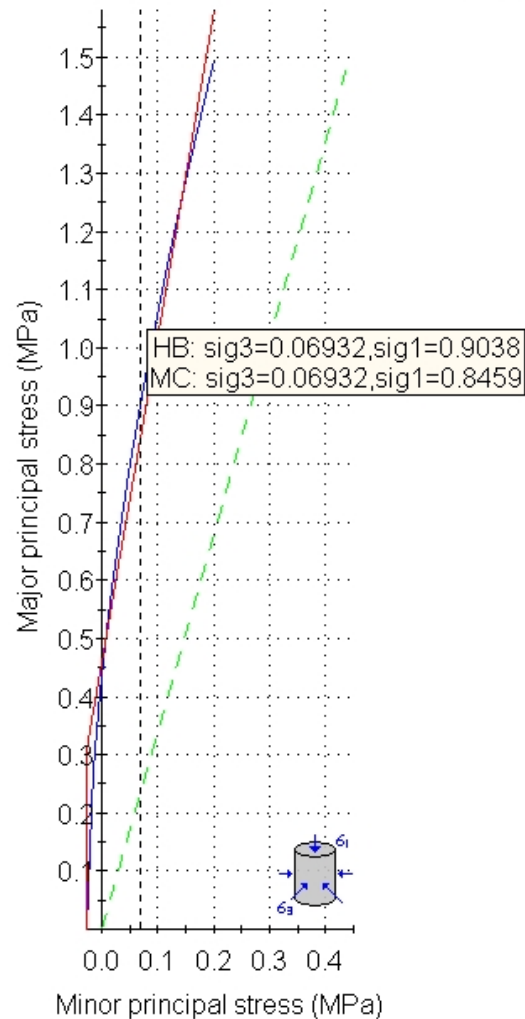
3.10.6.5. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 06 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.63 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.36.

Tabla 3.36: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 06.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 06				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	60 MPa	Criterio de Hoek - Brown	Mb	0.143
			s	0.000006
			a	0.510
GSI	42	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.097 MPa
			Phi	44.204º
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.027 MPa
			Sigc	0.434 MPa
			Sigcm	2.856 MPa
			Erm	2360.499 MPa
D	1	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	54000 MPa		Sig3max	0.200 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m³
			Slope height	8.5 m

ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE LA ESTACIÓN GEOTÉCNICA 06



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 60 MPa
GSI = 42 m_i = 9 Disturbance factor = 1
intact modulus (E_i) = 54000 MPa
modulus ratio (MR) = 900

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.143 s = $6.34e-5$ a = 0.510

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.097 MPa friction angle = 44.204 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.027 MPa
uniaxial compressive strength = 0.434 MPa
global strength = 2.856 MPa
modulus of deformation = 2360.499 MPa

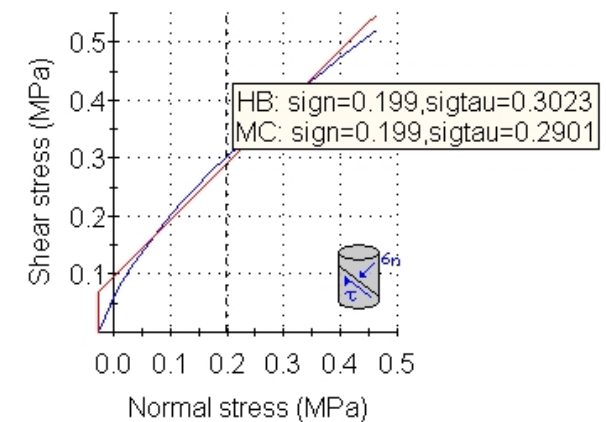


Figura 3.62: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en rocas de la Formación Pariatambo.

3.10.6.6. Análisis de discontinuidades con el software Dips v.7.0.

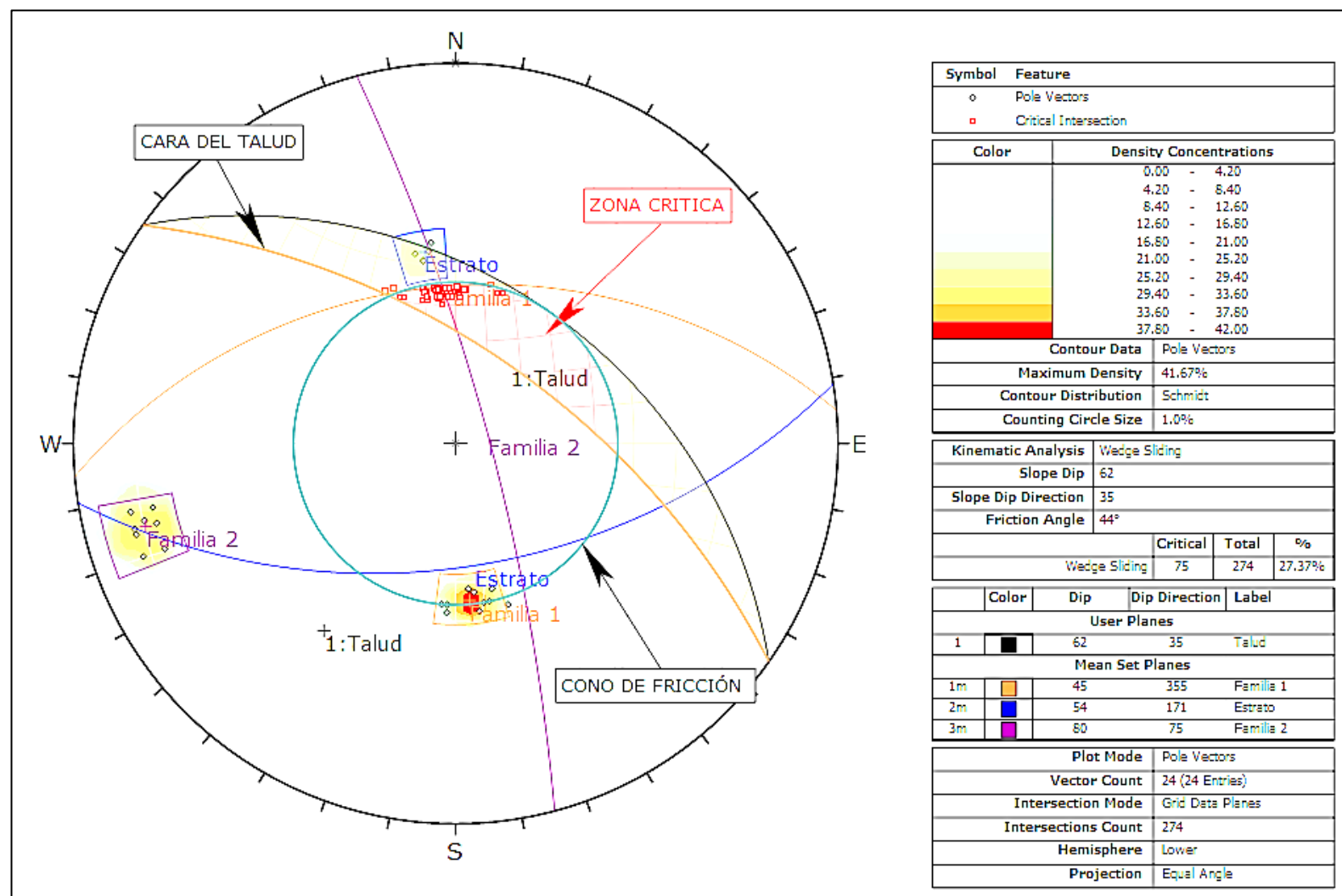


Figura 3.63: Análisis estereográfico y cinemático para rotura tipo cuña, mediante el software Dips de las discontinuidades del macizo rocoso en el talud de la estación geotécnica 06, indicando una probabilidad de falla del 27,37% del total de las discontinuidades.

3.10.6.7. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de “Grid Search”.

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

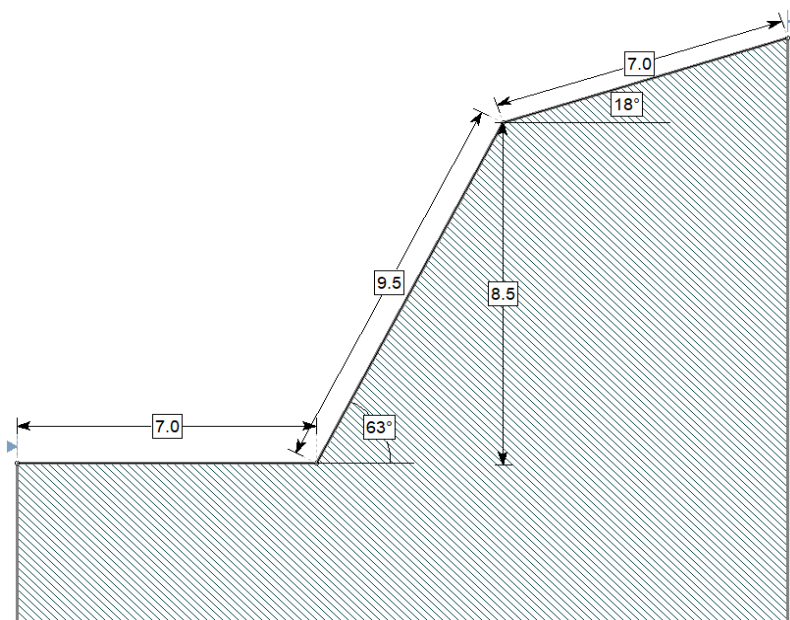


Figura 3.64: Estación Geotécnica 06, dimensiones del Talud.

Tabla 3.37: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 06.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	1.904	Estable a largo plazo
Janbu Simplificado		1.978	Estable a largo plazo
GLE/Morgenstern-Price		2.277	Estable a largo plazo
Spencer		2.286	Estable a largo plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	1.351	Estable a corto plazo
Janbu Simplificado		1.303	Estable a corto plazo
GLE/Morgenstern-Price		1.359	Estable a corto plazo
Spencer		1.367	Estable a corto plazo

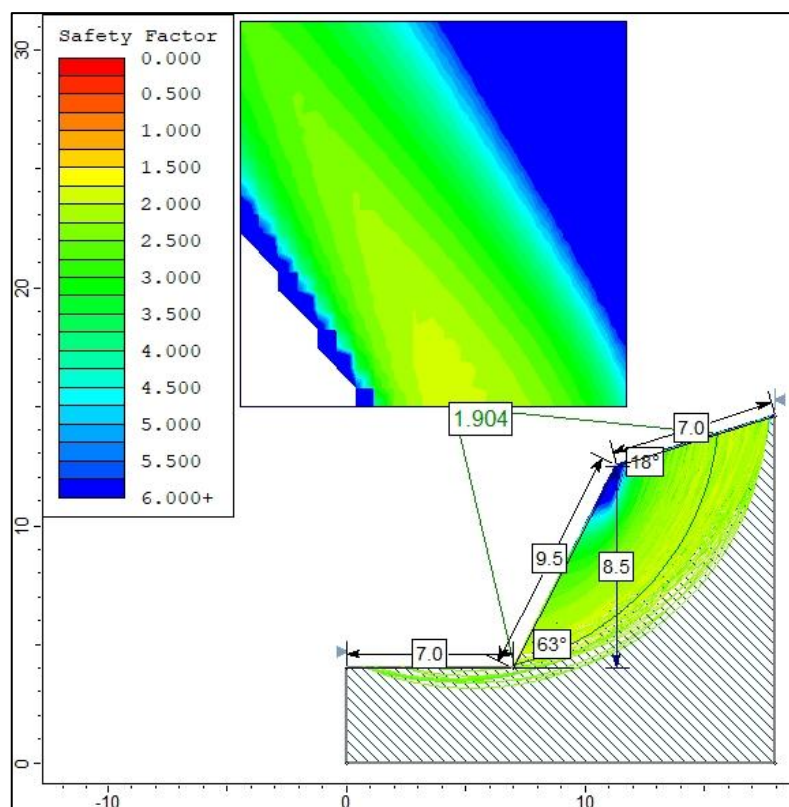


Figura 3.65: Factor de seguridad EG – 06 por método de Bishop simplificado en condiciones normales.

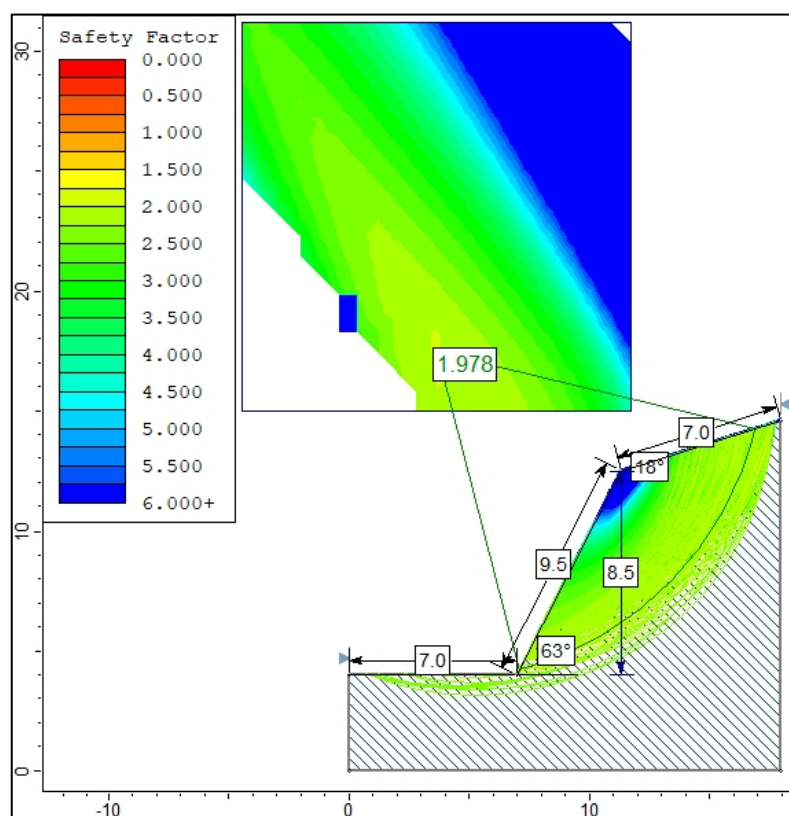


Figura 3.66: Factor de seguridad EG – 06 por método de Janbu simplificado en condiciones normales.

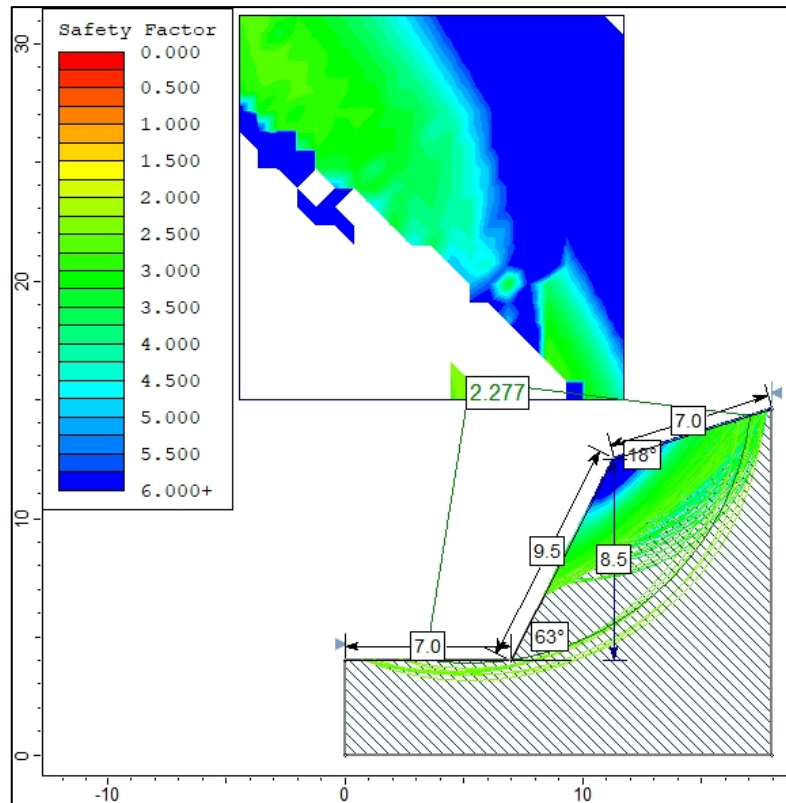


Figura 3.67: Factor de seguridad EG – 06 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones normales.

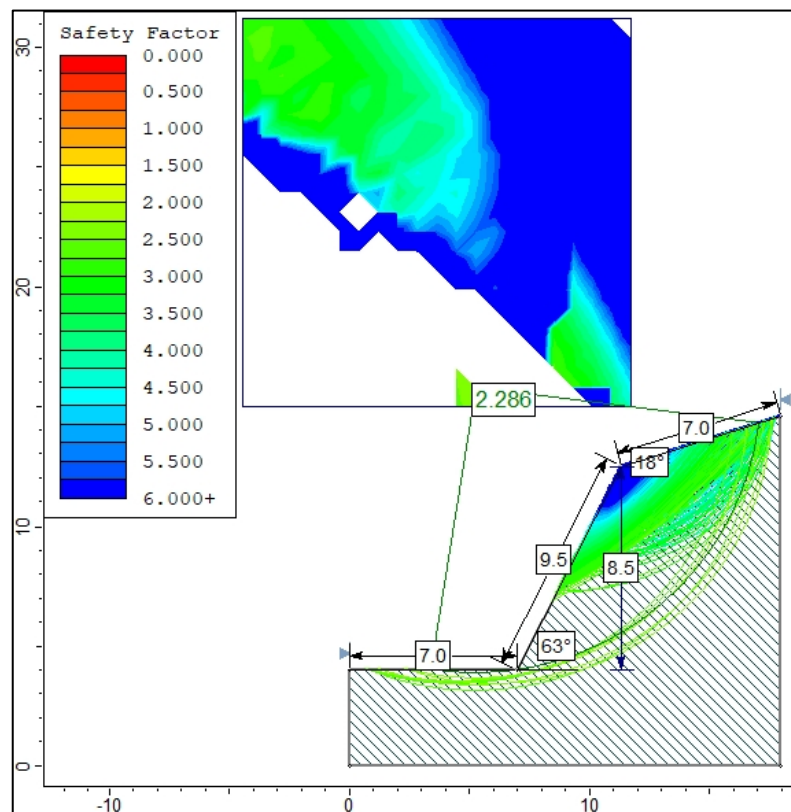


Figura 3.68: Factor de seguridad EG – 06 por método de Spencer en condiciones normales.

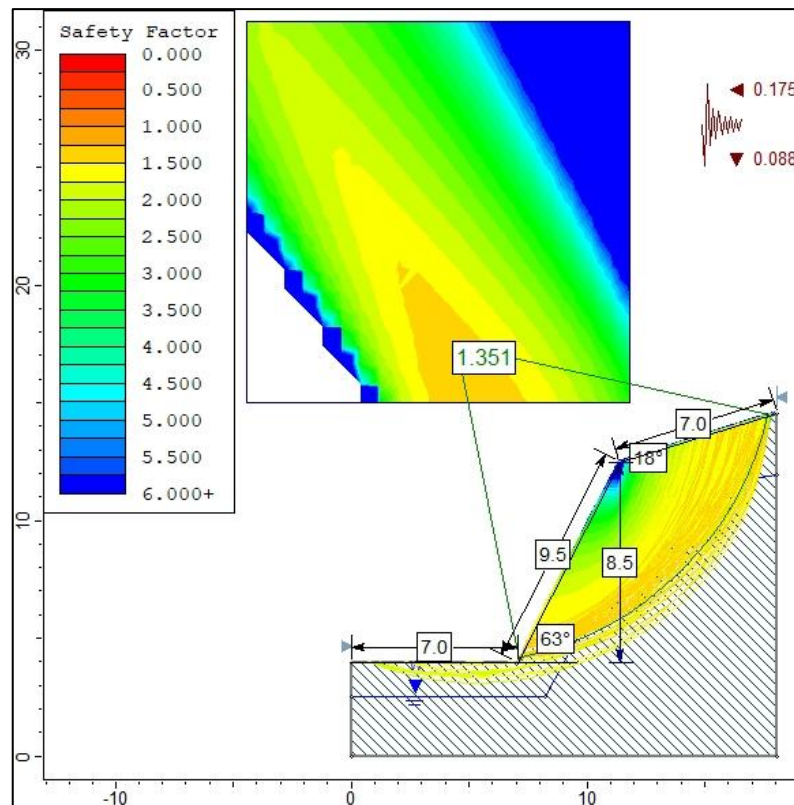


Figura 3.69: Factor de seguridad EG – 06 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

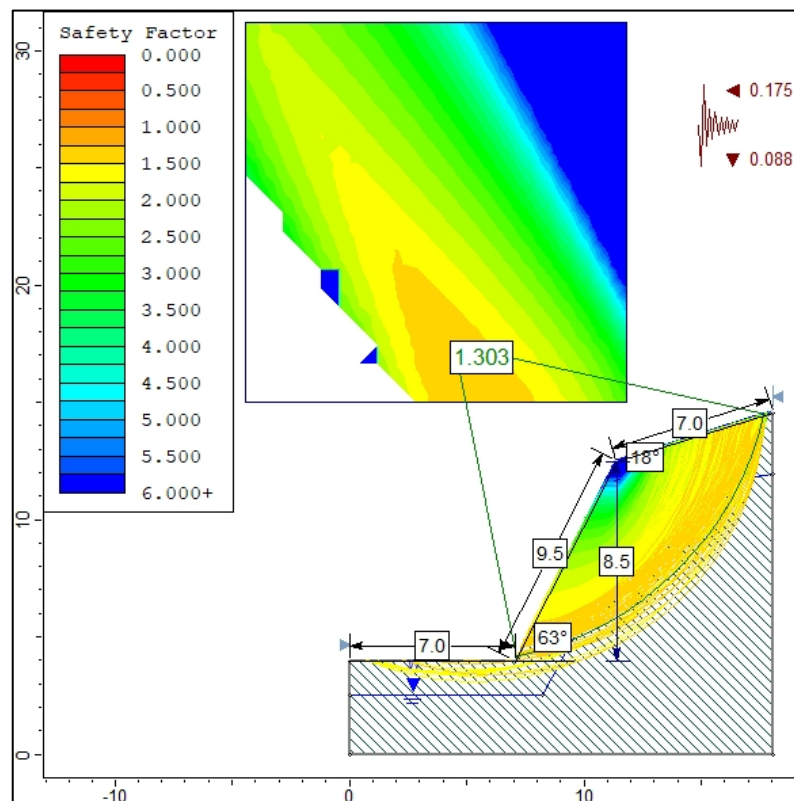


Figura 3.70: Factor de seguridad EG – 06 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

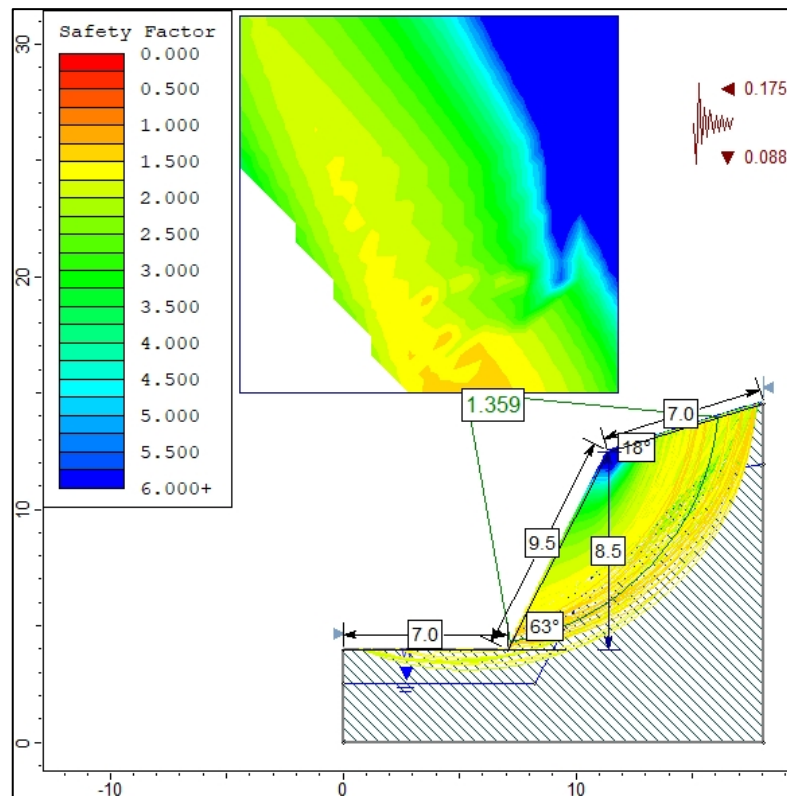


Figura 3.71: Factor de seguridad EG – 06 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

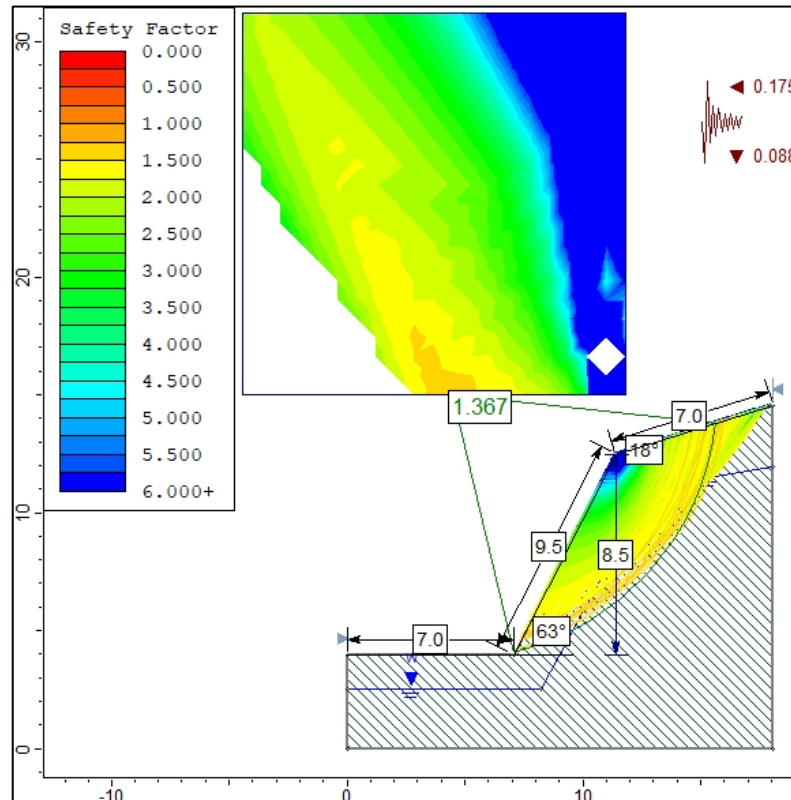


Figura 3.72: Factor de seguridad EG – 06 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

3.10.7. Estación Geotécnica 07 (EG – 07)

3.10.7.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por estratos de calizas mudstone y nodulares pertenecientes a la Formación Yumagual (Ks – yu). Estos macizos rocosos se encuentran altamente fracturado por lo que no se puede distinguir ni tomar datos de las discontinuidades. Por lo tanto, se determinará mediante GSI. Además, presentan meteorización física, química y biológica, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose desprendimientos de rocas.

Tabla 3.38: Datos de ubicación y geometría del talud

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	12 m
COORDENADAS	Norte	9206929 m	Pie	6 m
	Este	770465 m	D	63°
COTA	3250 msnm.		DD	164°

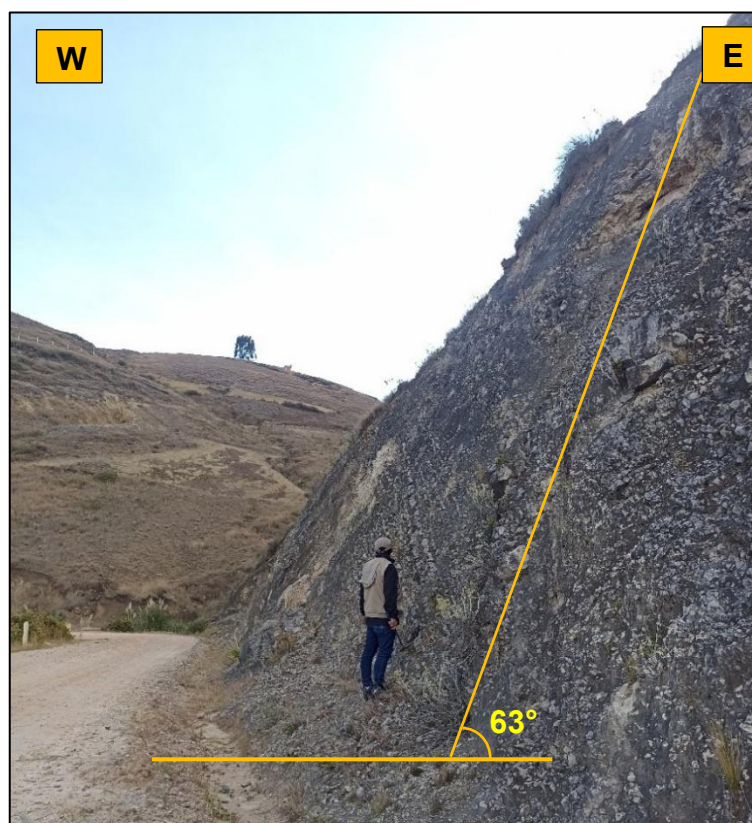


Foto 3.20: Perfil del talud en la progresiva Km 7 + 300

3.10.7.2. Determinación del GSI

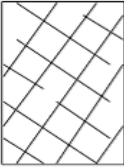
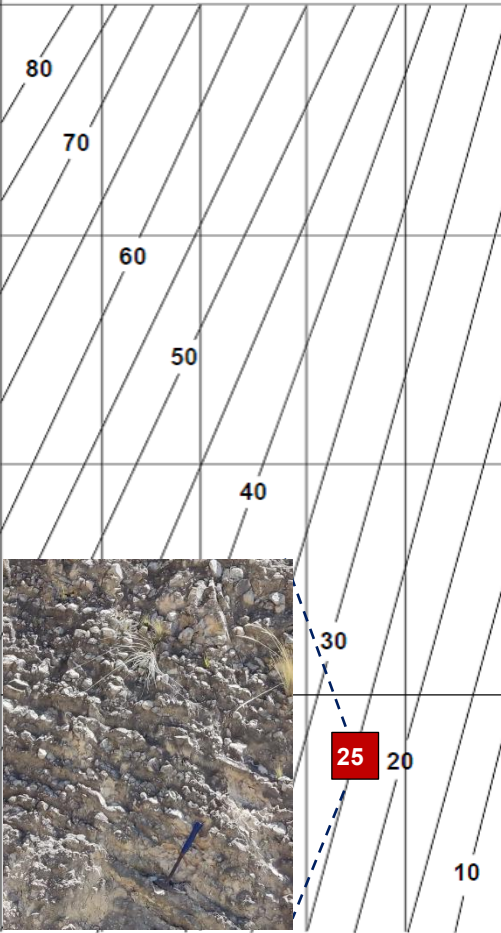
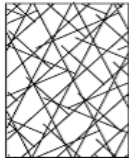
INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI , de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI , por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración) BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES ➤	
	FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.	DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA 	
	FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.		
	FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.		
	DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS		

Figura 3.73: GSI = 25 de la estación EG – 07, según la condición del macizo rocoso se encuentra desintegrado.

3.10.7.3. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 07 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.75 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.39.

Tabla 3.39: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 07.

PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 07				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	30 MPa	Criterio de Hoek - Brown	mb	0.042
			s	0.0000037
			a	0.531
GSI	25	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.035 MPa
			Phi	25.042°
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.003 MPa
			Sigc	0.039 MPa
			Sigcm	0.649 MPa
			Erm	681.802 MPa
D	1	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	27000 MPa		Sig3max	0.240 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m ³
			Slope height	12 m

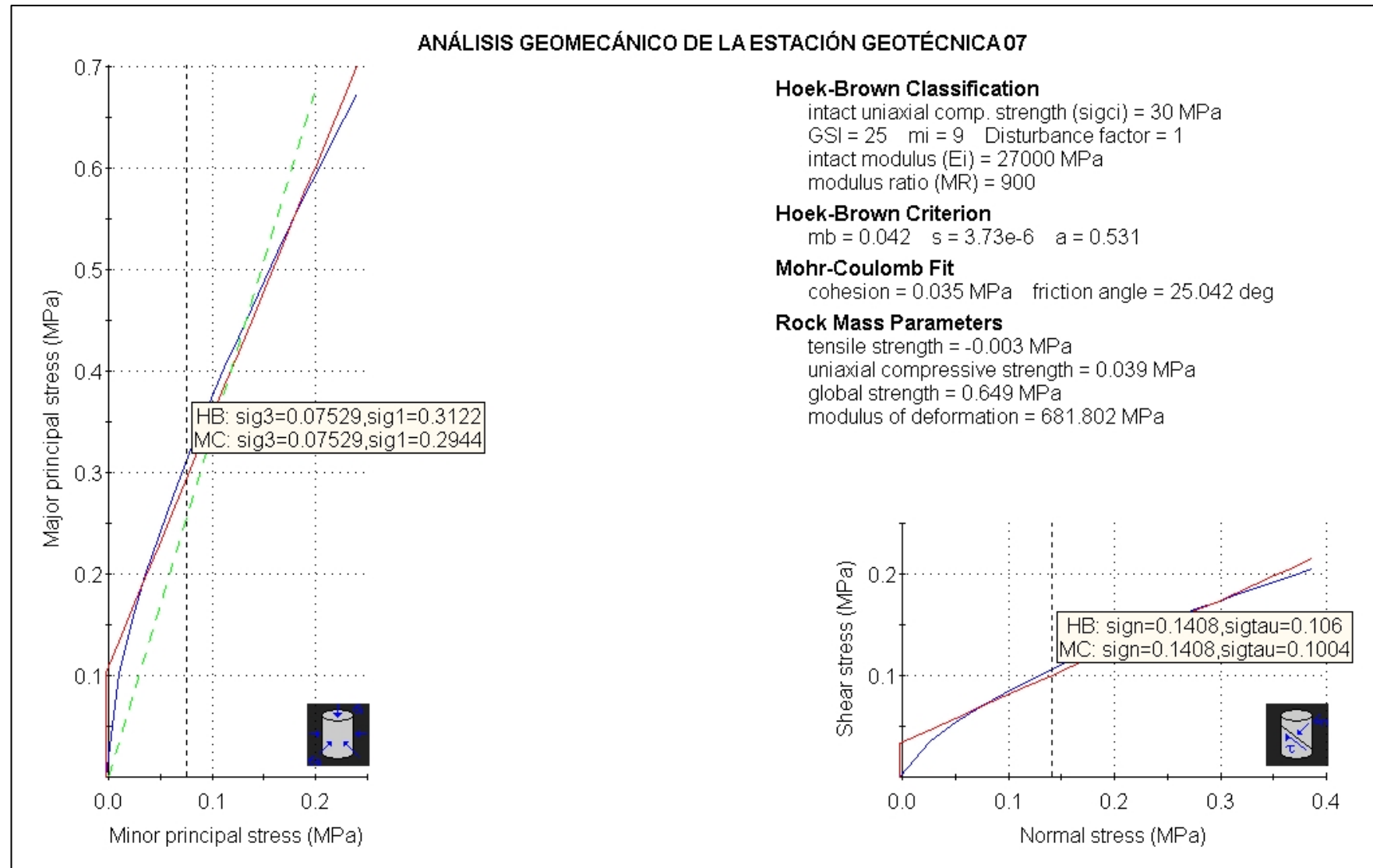


Figura 3.74: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en rocas de la Formación Pariatambo.

3.10.7.4. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de "Grid Search".

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

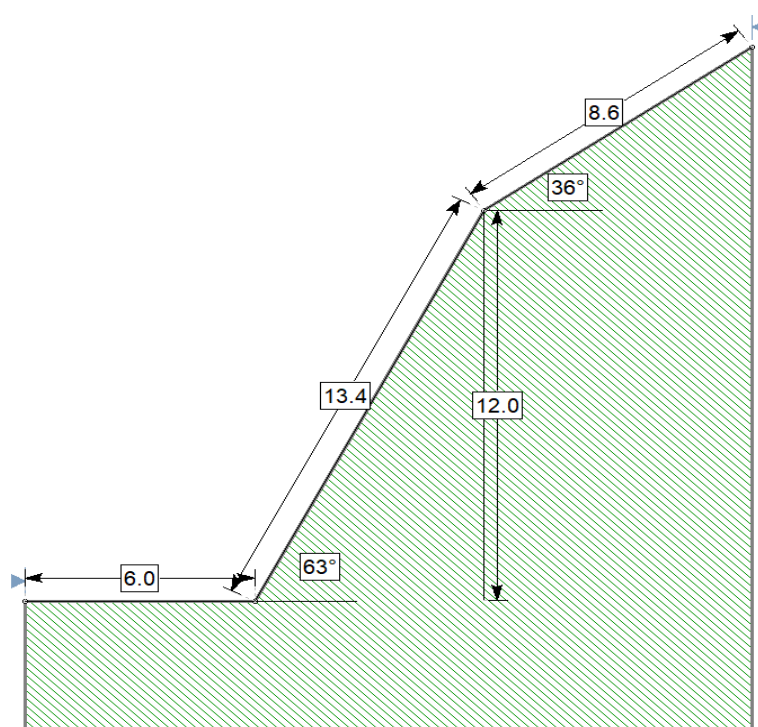


Figura 3.75: Estación Geotécnica 07, dimensiones del Talud.

Tabla 3.40: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 07.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	1.095	Estable relativo
Janbu Simplificado		1.174	Estable relativo
GLE/Morgenstern-Price		1.733	Estable a largo plazo
Spencer		1.949	Estable a largo plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	0.711	Inestable
Janbu Simplificado		0.707	Inestable
GLE/Morgenstern-Price		0.707	Inestable
Spencer		0.709	Inestable

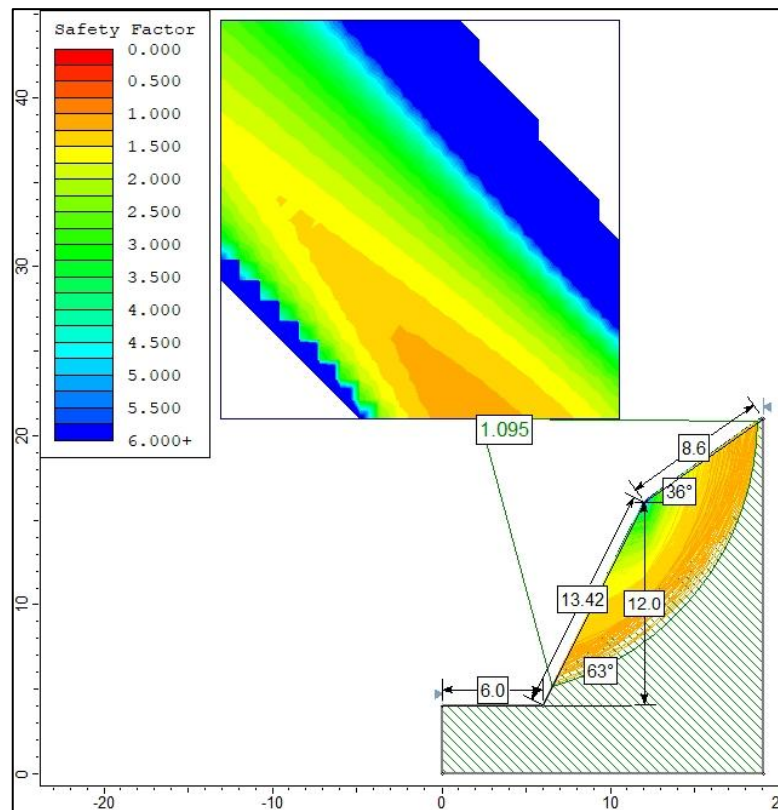


Figura 3.76: Factor de seguridad EG – 07 por método de Bishop simplificado en condiciones normales.

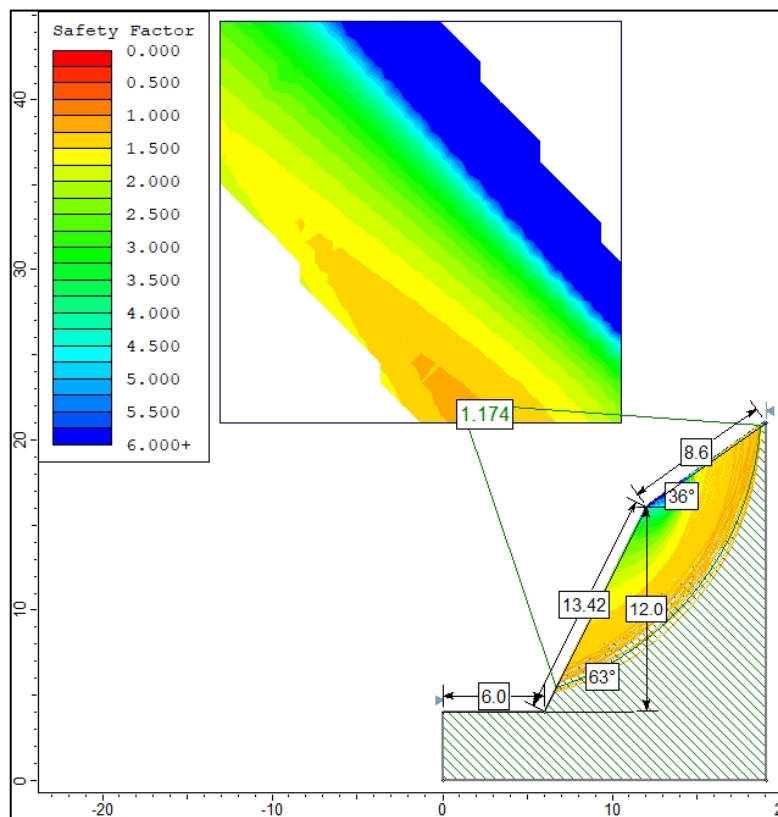


Figura 3.77: Factor de seguridad EG – 07 por método de Janbu simplificado en condiciones normales.

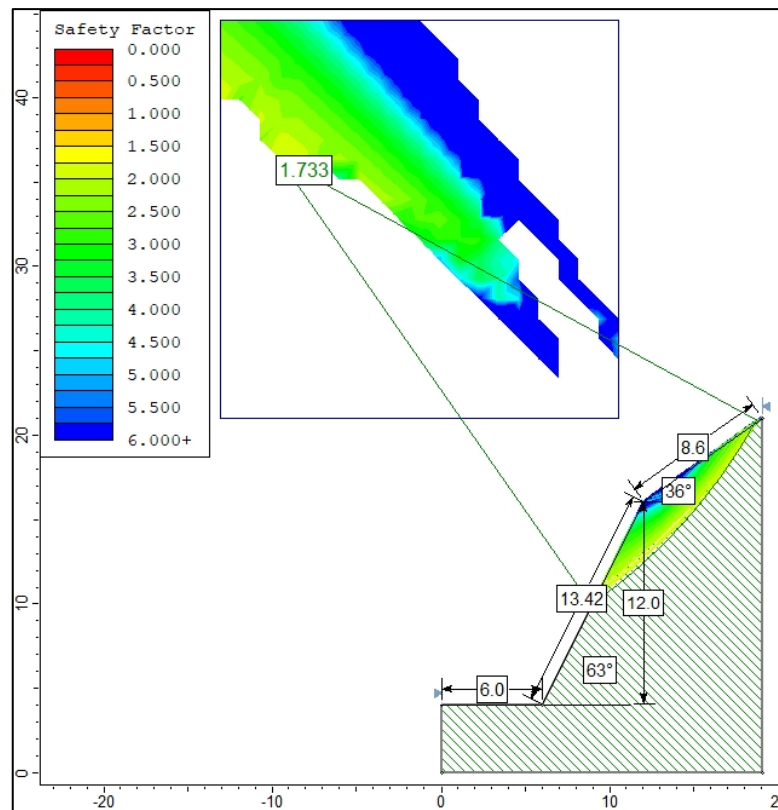


Figura 3.78: Factor de seguridad EG – 07 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones normales.

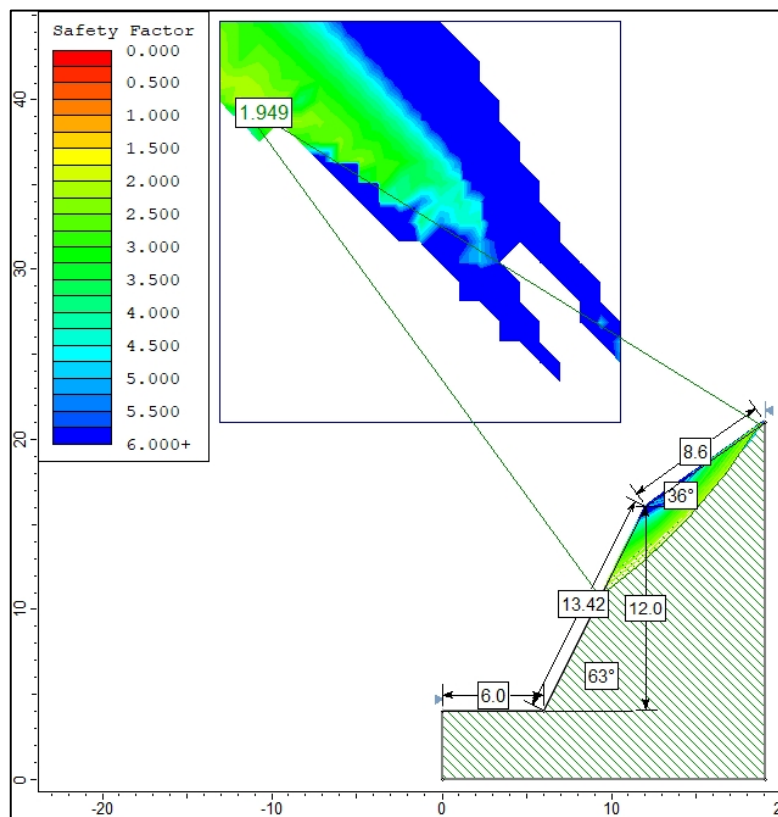


Figura 3.79: Factor de seguridad EG – 07 por método de Spencer en condiciones normales.

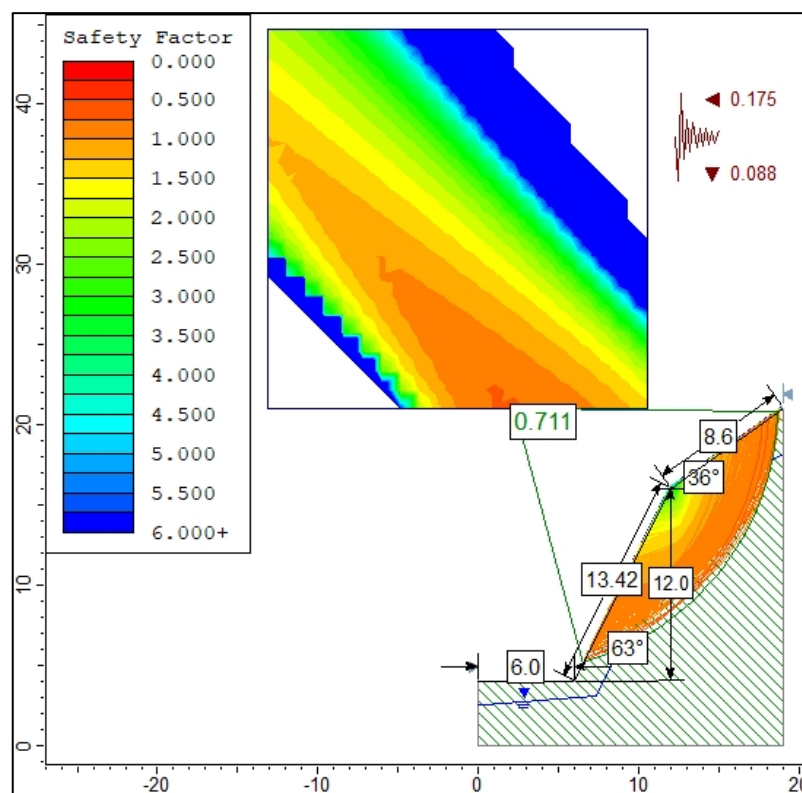


Figura 3.80: Factor de seguridad EG – 07 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

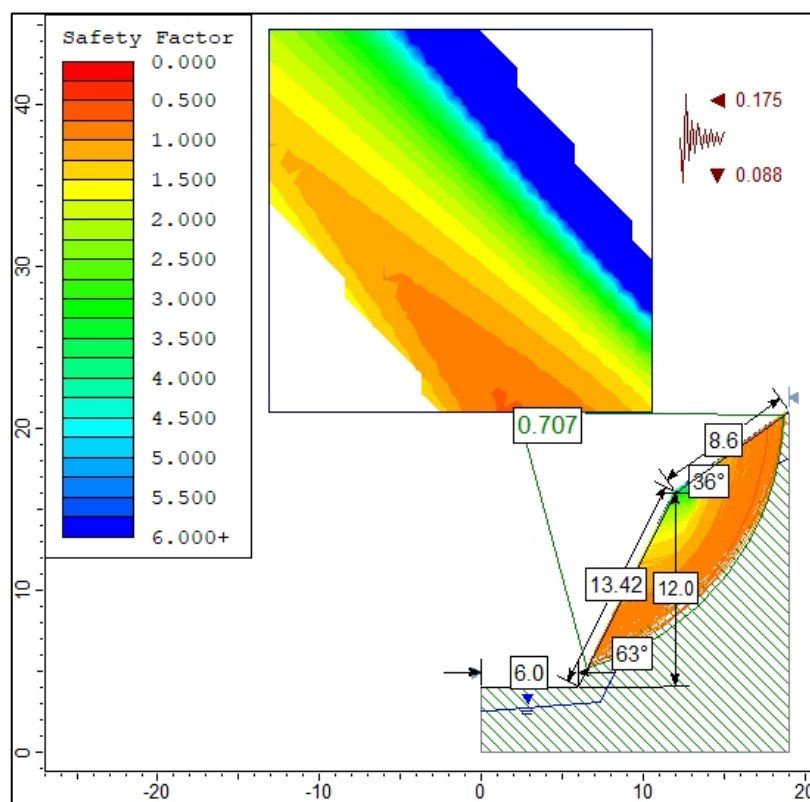


Figura 3.81: Factor de seguridad EG – 07 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

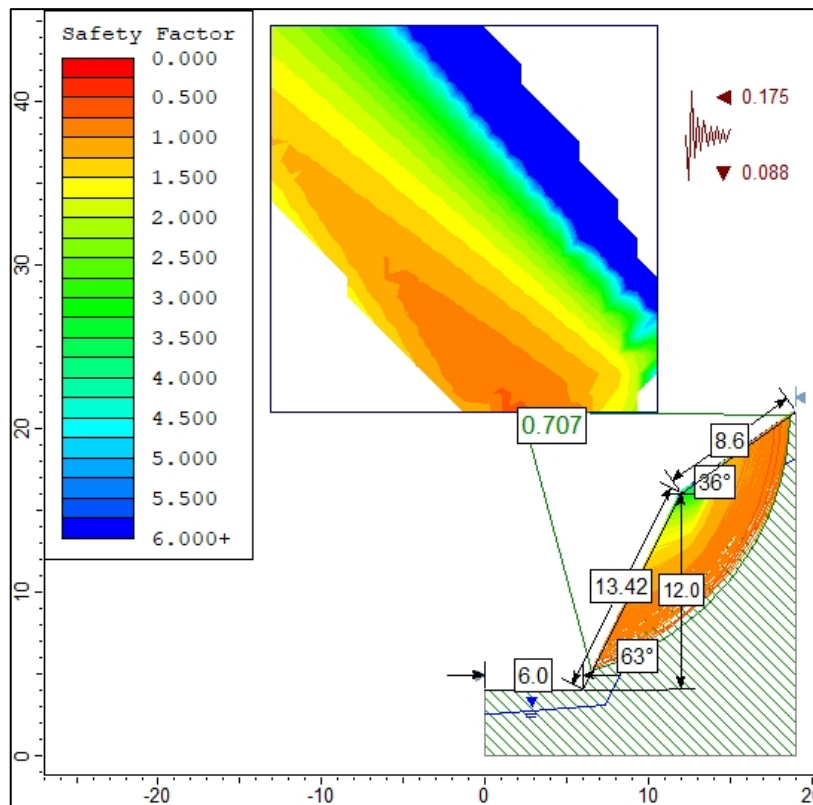


Figura 3.82: Factor de seguridad EG – 07 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

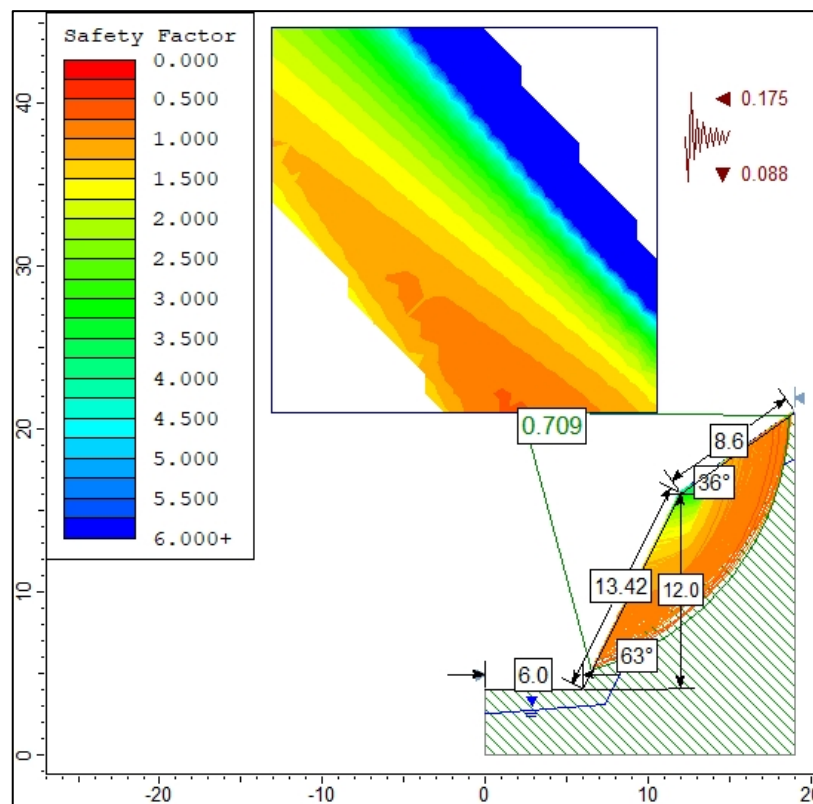


Figura 3.83: Factor de seguridad EG – 07 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

3.10.8. Estación Geotécnica 08 (EG – 08)

3.10.8.1. Descripción y ubicación del talud

Litológicamente está constituido por estratos de calizas mudstone y nodulares pertenecientes a la Formación Yumagual (Ks – yu). Estos macizos rocosos se encuentran altamente fracturado por lo que no se puede distinguir ni tomar datos de las discontinuidades. Por lo tanto, se determinará mediante GSI. Además, presentan meteorización física, química y biológica, causando alteraciones y cambios en las propiedades de las rocas, evidenciándose desprendimientos de rocas.

Tabla 3.41: Datos de ubicación y geometría del talud

DATUM	WGS – 84		GEOMETRIA DEL TALUD	
ZONA	17 S		Altura	8 m
COORDENADAS	Norte	9206997 m	Pie	6 m
	Este	770690 m	D	65°
COTA	3251 msnm.		DD	170°

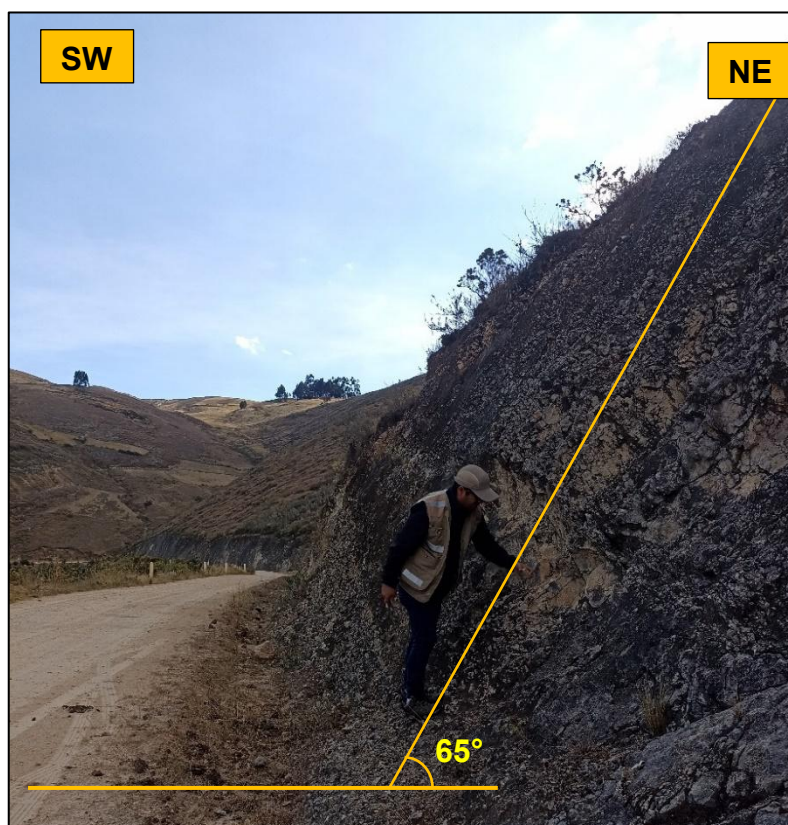


Foto 3.21: Perfil del talud en la progresiva Km 8 + 600

3.10.8.2. Determinación del GSI

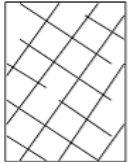
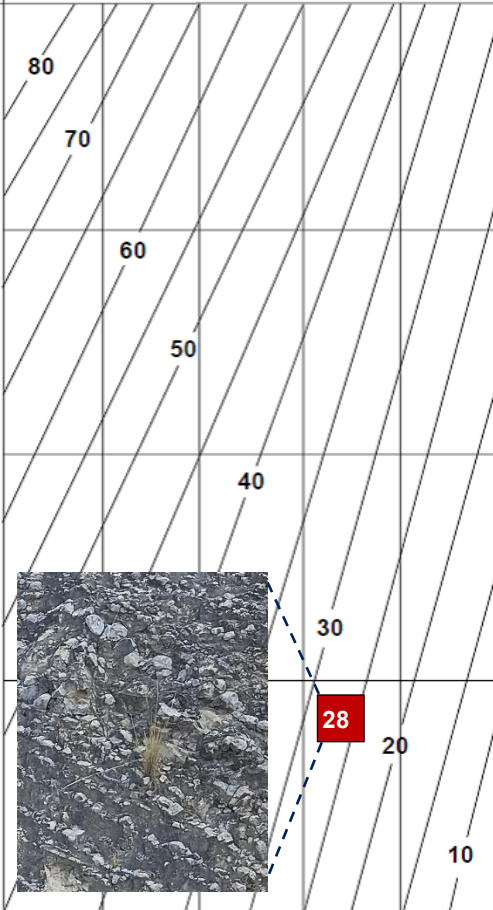
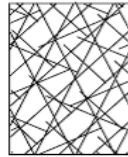
INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI , de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI , por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración) BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con patinas de óxido de hierro REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES ➤	
	FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.		
	FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.		
	FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.		
	DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS		
DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA ⬇			

Figura 3.84: GSI = 28 de la estación EG – 08, según la condición del macizo rocoso se encuentra desintegrado.

3.10.8.3. Determinación de las propiedades geomecánicas

Para determinar las propiedades geomecánicas del talud de la Estación Geotécnica 08 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 3.86 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 3.42.

Tabla 3.42: Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 08.

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 08				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	30 MPa	Criterio de Hoek - Brown	mb	0.054
			s	0.000006
			a	0.526
GSI	28	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.030 MPa
			Phi	31.067°
mi	9	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.004 MPa
			Sigc	0.055 MPa
			Sigcm	0.760 MPa
			Erm	725.651 MPa
D	1	Rango de Envolvente de falla	Datos del talud	
Ei	27000 MPa		Sig3max	0.149 MPa
MR	900		Unit Weight	0.026 MN/m ³
			Slope height	8 m

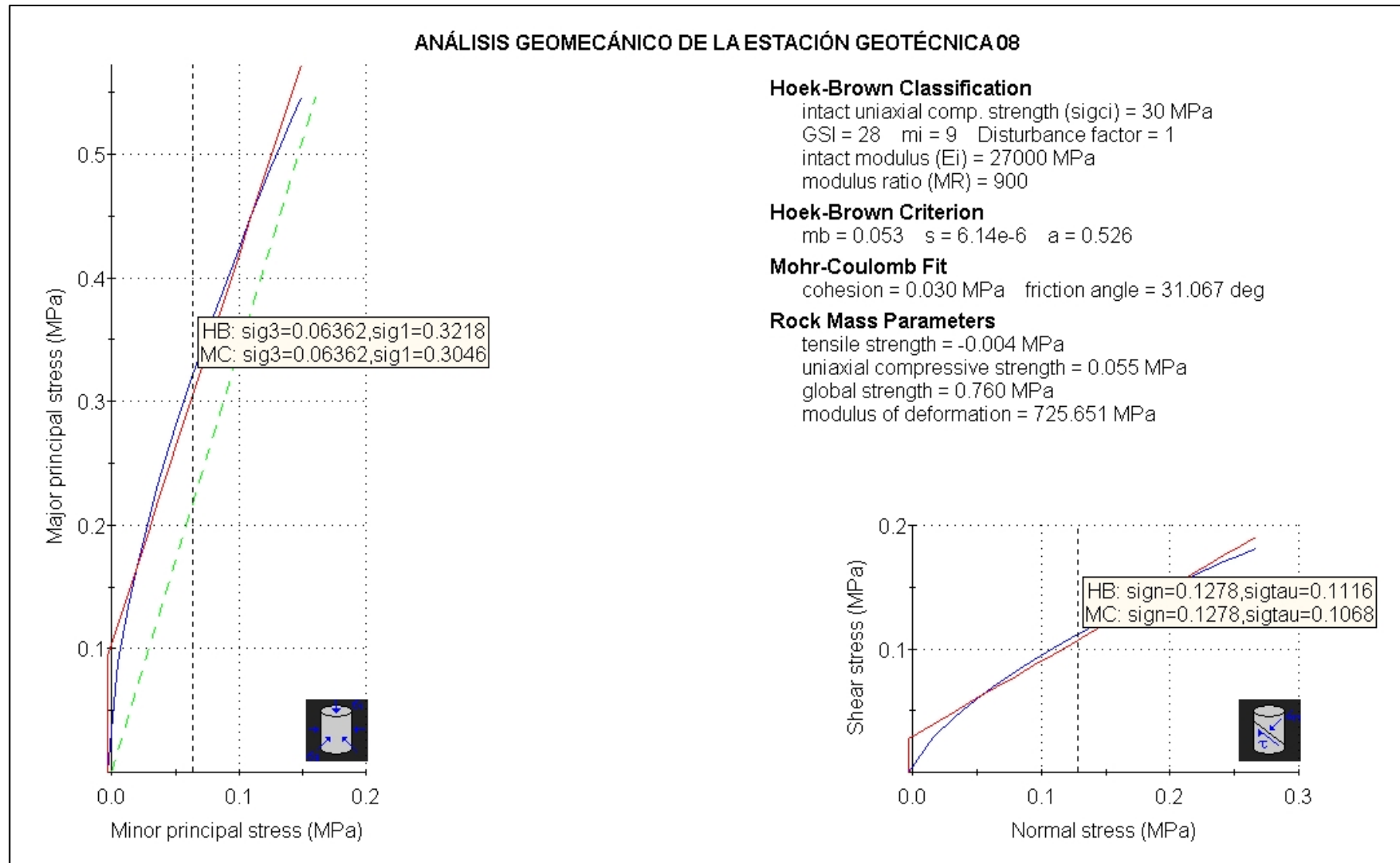


Figura 3.85: Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData y Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) en rocas de la Formación Chulec.

3.10.8.4. Cálculo del factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Los métodos usados para calcular el factor de seguridad fueron: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado LE/Morgenstern-Price, y Spencer; el número de dovelas fue de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones y el método de búsqueda de la falla crítica fue de “Grid Search”.

El cálculo del FS se realizó en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad, considerando la aceleración sísmica máxima de 0.35; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.175 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.088 (Kv).

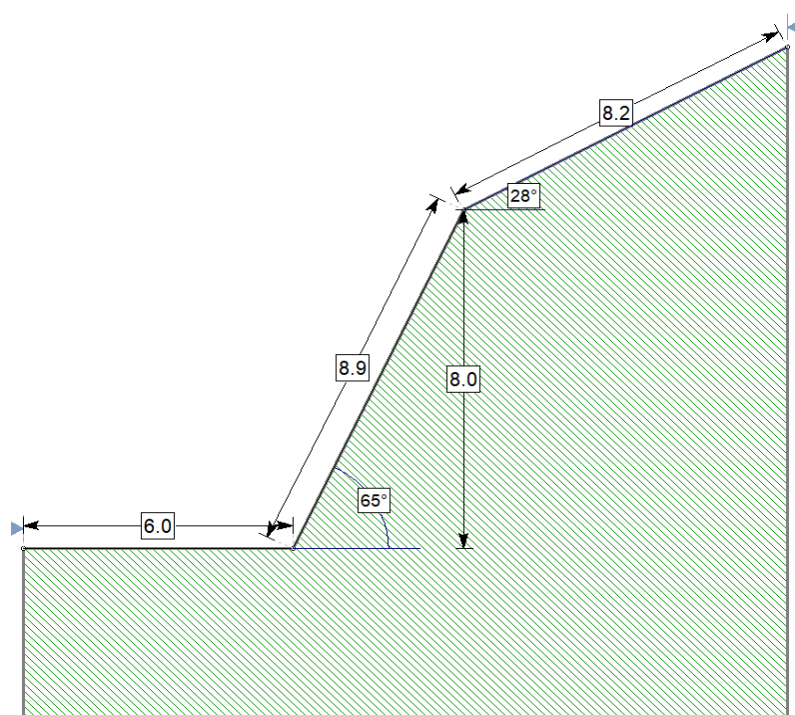


Figura 3.86: Estación Geotécnica 08, dimensiones del Talud.

Tabla 3.43: Resultado del cálculo del FS por los diferentes métodos, Estación Geotécnica 08.

Métodos	Condición	FS	Talud
Bishop simplificado	Condiciones normales	1.404	Estable a corto plazo
Janbu Simplificado		1.431	Estable a corto plazo
GLE/Morgenstern-Price		1.670	Estable a largo plazo
Spencer		1.475	Estable a corto plazo
Bishop simplificado	Condiciones efectivas + Sismicidad	0.892	Inestable
Janbu Simplificado		0.850	Inestable
GLE/Morgenstern-Price		0.900	Inestable
Spencer		0.974	Inestable

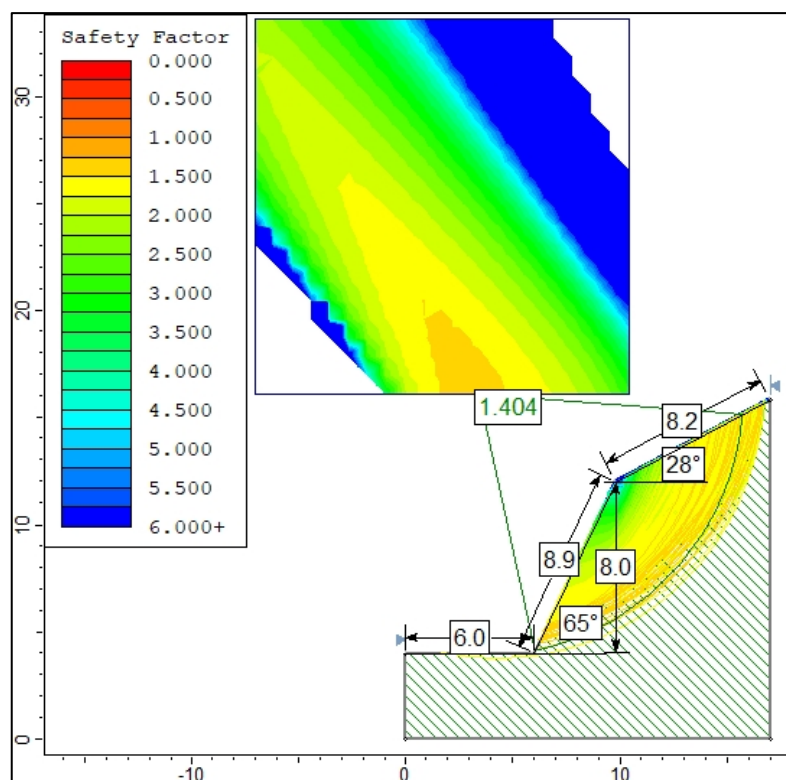


Figura 3.87: Factor de seguridad EG – 08 por método de Bishop simplificado en condiciones normales.

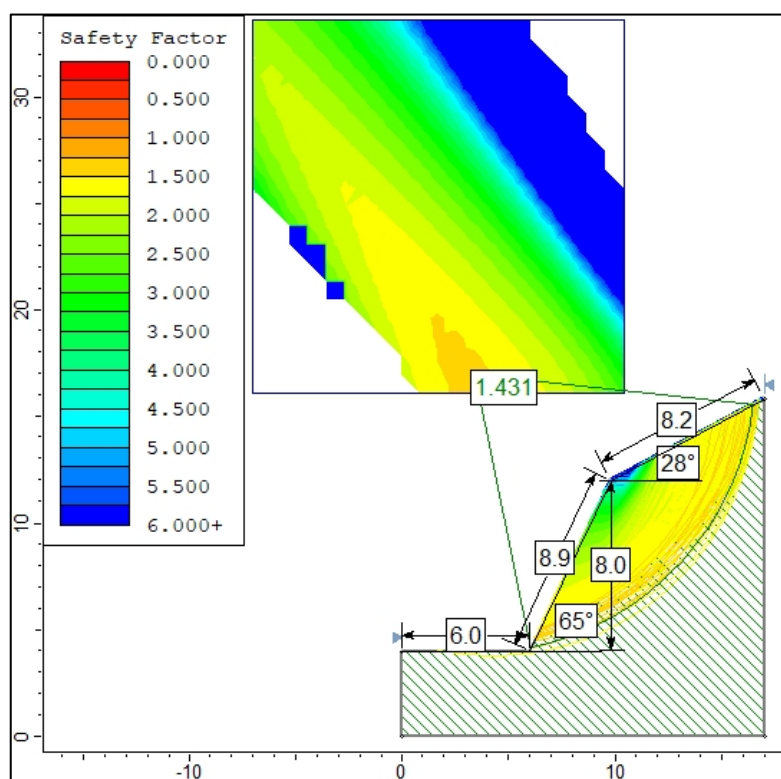


Figura 3.88: Factor de seguridad EG – 08 por método de Janbu simplificado en condiciones normales.

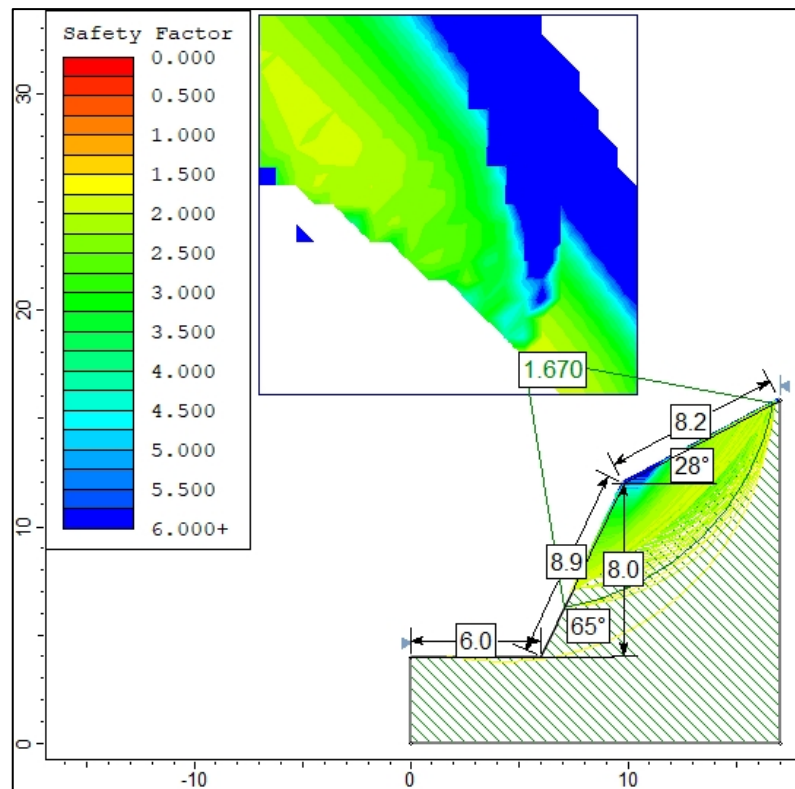


Figura 3.89: Factor de seguridad EG – 08 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones normales.

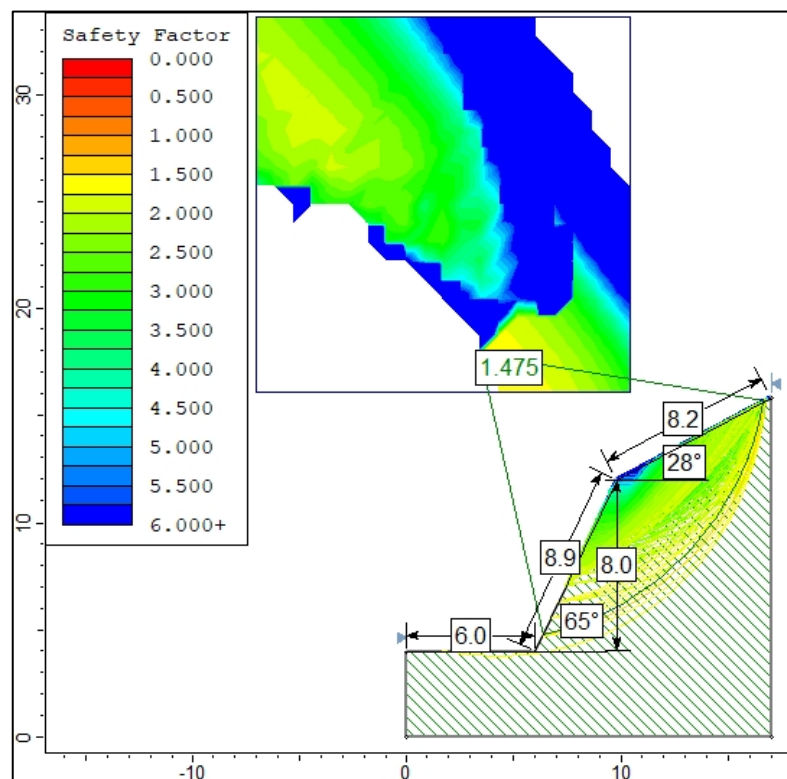


Figura 3.90: Factor de seguridad EG – 08 por método de Spencer en condiciones normales.

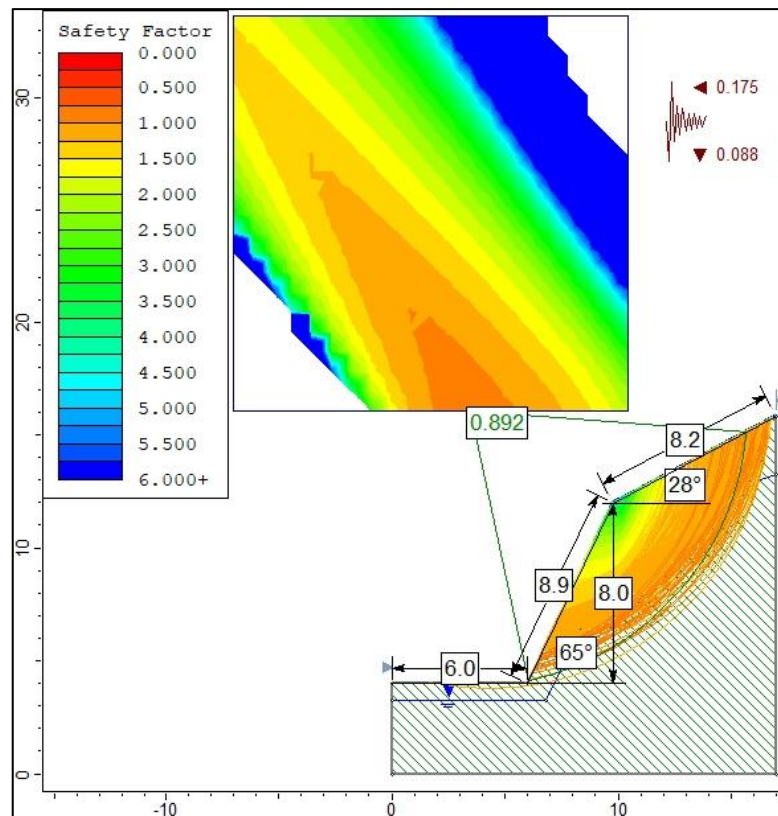


Figura 3.91: Factor de seguridad EG – 08 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

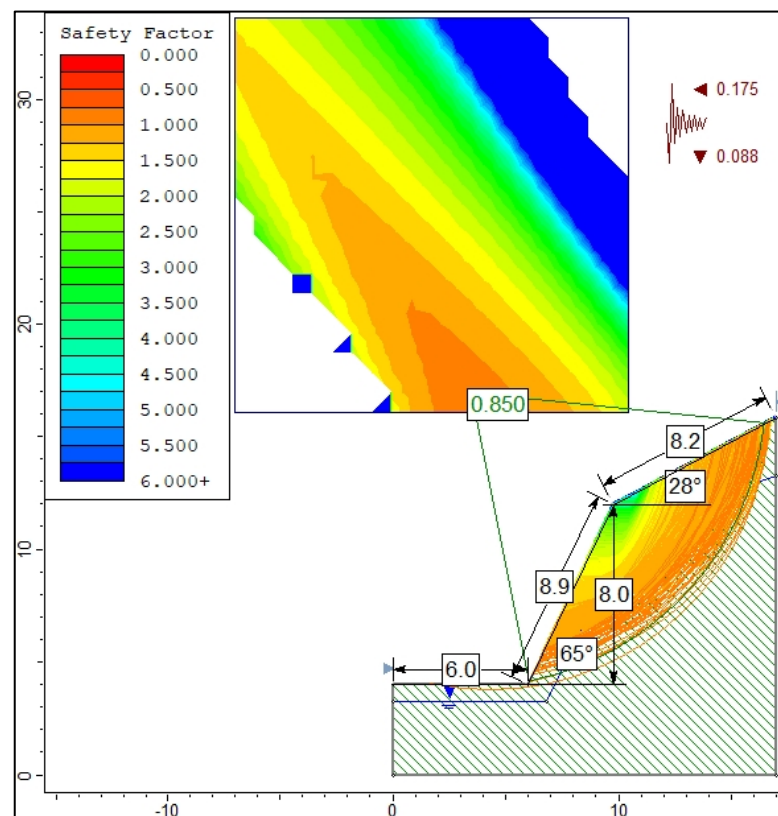


Figura 3.92: Factor de seguridad EG – 08 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

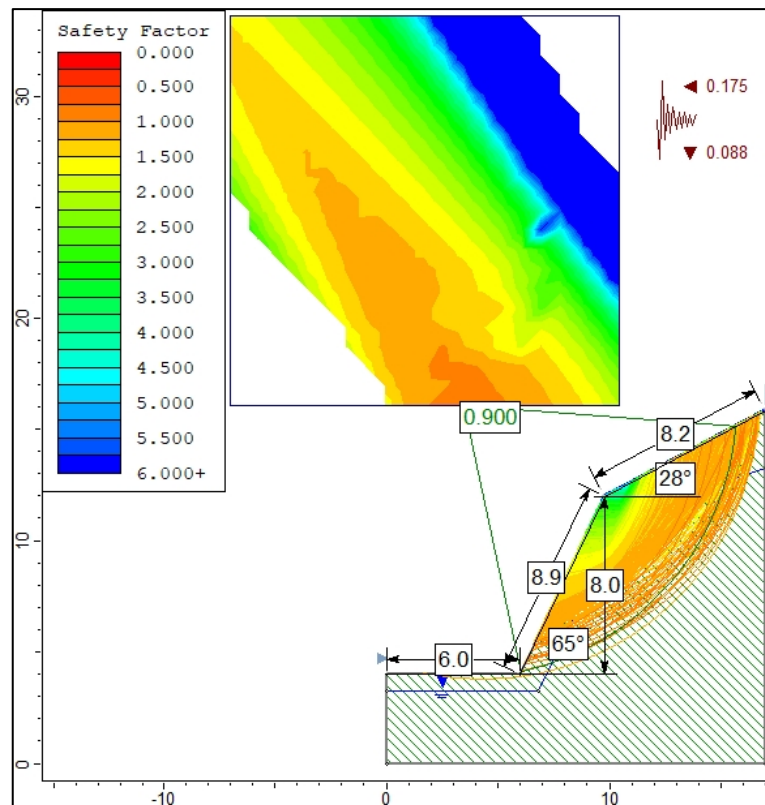


Figura 3.93: Factor de seguridad EG – 08 por método de GLE/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

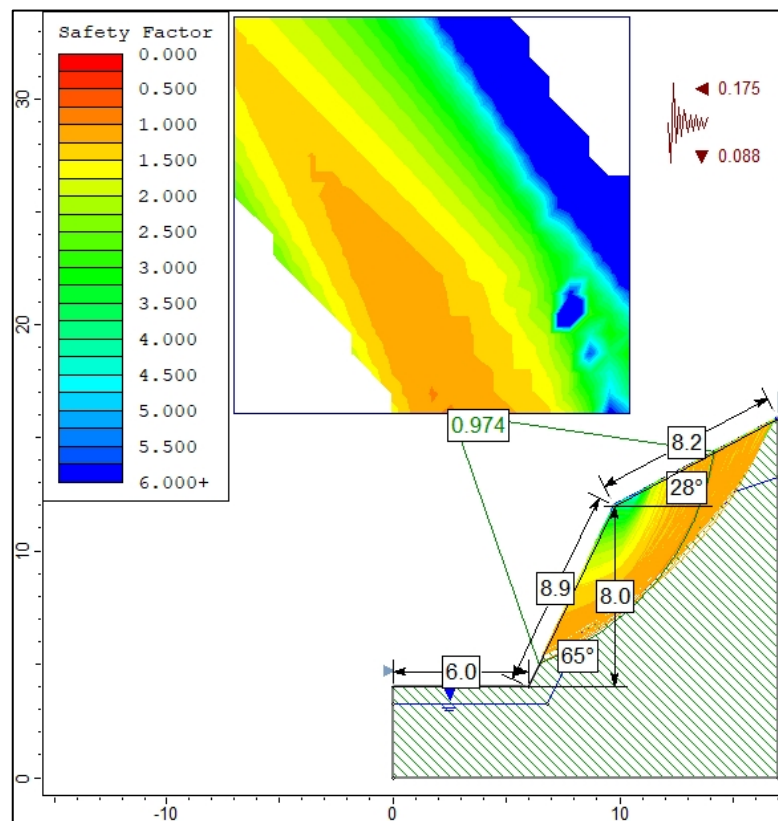


Figura 3.94: Factor de seguridad EG – 08 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La carretera de Cajamarca a Urubamba Alta, en el tramo comprendido entre el KM 1 + 000 – KM 9 +000, corta litológicamente macizos rocosos de las Formaciones Chulec, Pariatambo, Yumagual, volcánico Huambos y Depósitos coluvio aluvial. El corte de la carretera ha generado taludes con cuyas pendientes son muy pronunciadas, lo que provoca inestabilidad y los hace propensos a deslizamientos y desprendimientos de rocas de tipo planar y en cuña, especialmente en temporadas de lluvias entre los meses octubre a abril.

Geomorfológicamente, está compuesta por planicies, lomadas en mayor proporción, así como laderas en ambos márgenes de la carretera y las escarpas se encuentran distribuidas a lo largo del tramo de la carretera formado los taludes y también se encuentran en los márgenes de la quebrada Urubamba.

Estructuralmente, se identificó una falla inversa que muestra un levantamiento de los estratos de la Formación Pariatambo con un buzamiento de 84° con dirección NW. Asimismo, se identificó una falla normal en estratos de la Formación Yumagual con un buzamiento de 68° con dirección NE. Además, se identificó también un plegamiento anticlinal tumbado, así como microplegamientos anticlinales y sinclinales en estratos de la Formación Chulec.

Para clasificación y análisis geomecánico de los macizos rocoso de los taludes, se utilizaron las clasificaciones geomecánicas: RMR, RQD y GSI. Según el RMR₈₉, la calidad de la roca se clasificó como Clase III – Calidad Media, que varían en el rango de 44 – 51; esto es debido a factores condicionantes tanto internos como externos, y variables de contorno, como la litología, que varía desde calizas modstone, packstone y calizas nodulares, arcillotitas y limolitas calcáreas hasta margas, ubicadas en todo el tramo donde se tienen las estaciones geotécnicas, KM1+000 – KM7+000, con un grado de meteorización moderada y un grado de fracturamiento de medio a alto. Considerando el GSI, se identificó tres estaciones geotécnicas (EG – 03; EG – 07; EG – 08) con macizos rocosos desintegrados, mientras que las otras estaciones presentan fuerte fracturamiento, con tres familias de discontinuidades bien diferenciadas.

Para la evaluación geotécnica de los taludes, se realizó 8 estaciones con secciones transversales al eje de carretera. En las secciones es importante la geometría del talud (pendiente y altura) pues influyen directamente en su inestabilidad. En las estaciones consideradas, la pendiente de los taludes varía entre 62° y 82° y la altura de 4 m a 12 m.

4.1. ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO- CINEMÁTICO.

El análisis cinemático se realizó para cinco estaciones geotécnicas como se muestra en la tabla 4.1, mediante proyecciones estereográficas haciendo uso del software Dips v.7.0, para determinar las zonas de riesgo de falla de los taludes críticos considerando las discontinuidades y el ángulo de fricción interno de la roca en función del Dips y DD del talud. El análisis muestra probabilidad de ocurrencia de rotura planar en las estaciones geotécnicas 02 y 04. Mientras que rotura en cuña presentan las cinco estaciones.

Tabla 4.1: Análisis Estereográfico – Cinemático de los taludes críticos.

Estación geotécnica	Tipo de rotura	Porcentaje (%)
EG – 01	Cuña	5,49
EG – 02	Planar	15
	Cuña	23,40
EG – 04	Planar	24
	Cuña	54.65
EG – 05	Cuña	7.59
EG – 06	Cuña	27.37

4.2. FACTOR DE SEGURIDAD – SOFTWARE SLIDE V.6.0

El cálculo del Factor de Seguridad considerando la data obtenida de los taludes se realizó mediante el software Slide v.6,0, y usamos el método de análisis del Criterio Generalizado de Hoek-Brown, donde los datos fundamentales son la resistencia a la compresión uniaxial, **m** (constante de Hoek- Brown que depende del tipo de roca)

y s (constante que depende de las características del macizo rocoso); estos datos se obtuvieron mediante el software RocData v.4.0.

Se utilizaron los métodos de Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, GLE/Morgenstern – Price y Spencer, los cuales procesan la información en condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos, considerando el número de dovelas de 30, tolerancia de 0.005 y 50 máximas iteraciones, siendo el método de búsqueda de la falla crítica mediante el “Grid Search”.

El Factor de Seguridad se calculó en condiciones normales del terreno. y en condiciones de tensiones efectivas más la sismicidad. Se eligió tensiones efectivas ya que el agua juega un rol muy importante en épocas de lluvia y el área de estudio no es ajena a las precipitaciones.

Para el análisis de resultados, se utiliza los rangos de Factores de seguridad recomendados por Hoek 2007, mostrados en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Rangos de Factores de Seguridad, recomendados por Hoek, 2007.

FACTOR DE SEGURIDAD	
Inestable	< 1.0
Estable relativo	1.0 – 1.3
Estable a corto plazo	1.3 – 1.5
Estable a largo plazo	> 1.5

Fuente: Hoek, E. 2007.

Del análisis de los taludes de las cinco estaciones que tienen una probabilidad de rotura planar y cuña, fueron analizados por el método de equilibrio límite de dos dimensiones con el software Slide v.6.0 y se obtuvieron los siguientes resultados:

El Talud de la EG – 01 muestra estabilidad a largo plazo en condiciones normales, con un factor de Seguridad (FS) que oscila entre 3.99 y 2.287. Sin embargo, bajo condiciones efectivas más sismicidad, la estabilidad es a corto plazo, presentando un FS entre 1.477 y 1.499. Los valores relacionados con la rotura en cuña se detallan en el cuadro siguiente.

Tabla 4.3: Datos obtenidos mediante el software
RocData v.4.0, EG – 01.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 01					
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm	Rotura
75 MPa	59.29	0,522 MPa	57.676°	12761.84 MPa	Cuña

El Talud de la EG – 02 muestra estabilidad a largo plazo en condiciones normales, con un factor de Seguridad (FS) que oscila entre 1.657 y 1.764. Sin embargo, bajo condiciones efectivas más sismicidad, la estabilidad es Estable relativo, presentando un FS entre 1.058 y 1.188. Los valores relacionados con la rotura en planar y cuña se detallan en el cuadro siguiente.

Tabla 4.4: Datos obtenidos mediante el software
RocData v.4.0, EG – 02.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 02					
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm	Rotura
75 MPa	47.22	0,223 MPa	46.091°	5983.743 MPa	Planar y Cuña

El Talud de la EG – 03 muestra estabilidad relativo en condiciones normales, con un factor de Seguridad (FS) que varía entre 1.190 y 1.222. Sin obstante, bajo condiciones de tensiones efectivas más sismicidad, los taludes se vuelven inestables, presentando un FS entre 0.726 y 0.818. debido al intenso fracturamiento del talud.

Tabla 4.5: Datos obtenidos mediante el software
RocData v.4.0, EG – 03.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 03				
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm
30 MPa	22	0,019 MPa	27.323°	648.225 MPa

El Talud de la EG – 04 muestra estabilidad relativa en condiciones normales según el método de Bishop Simplificado, con un FS de 1.284. Utilizando el método de Janbu Simplificado se evidencia estabilidad a corto plazo con un FS de 1.405. En cambio, los métodos de GLE/Morgenstern-Price y Spencer muestran estabilidad a largo plazo con un FS de 1.624 y 1.723 respectivamente. Sin embargo, bajo

condiciones efectivas más sismicidad, los taludes se vuelven inestables, con un FS entre 0.793 y 0.805. Los valores relacionados con la rotura en planar y cuña se detallan en el cuadro siguiente.

Tabla 4.6: Datos obtenidos mediante el software RocData v.4.0, EG – 04.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 04					
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm	Rotura
60 MPa	43.35	0,108 MPa	43.688°	2476.062 MPa	Planar y Cuña

El Talud de la EG – 05 muestra estabilidad a largo plazo tanto en condiciones normales, con un factor de Seguridad (FS) que oscila entre 2.788 y 2.879. y en condiciones efectivas más sismicidad, presentando un FS entre 1.814 y 1.961. Esto debido a que el talud tiene pequeña altura. Los valores relacionados con la rotura en cuña se detallan en el cuadro siguiente.

Tabla 4.7: Datos obtenidos mediante el software RocData v.4.0, EG – 05.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 05					
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm	Rotura
60 MPa	44,16	0,087 MPa	49.816°	2601.437 MPa	Cuña

El Talud de la EG – 06 muestra estabilidad a largo plazo en condiciones normales, con un factor de Seguridad (FS) que oscila entre 1.904 y 2.286. Sin embargo, bajo condiciones efectivas más sismicidad presenta estabilidad a corto plazo, presentando un FS entre 1.303 y 1.367. Los valores relacionados con la rotura en cuña se detallan en el cuadro siguiente.

Tabla 4.8: Datos obtenidos mediante el software RocData v.4.0, EG – 06.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 06					
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm	Rotura
60 MPa	42.74	0,097 MPa	44.204°	2360.499 MPa	Cuña

El Talud de la EG – 07 muestra estabilidad relativa en condiciones normales según los métodos de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado, con un FS de 1.095 y

1.174 respectivamente. En cambio, los métodos de GLE/Morgenstern-Price y Spencer muestran estabilidad a largo plazo con un FS de 1.733 y 1.949 respectivamente. Sin embargo, bajo condiciones efectivas más sismicidad, los taludes se vuelven inestables, con un FS entre 0.707 y 0.711, debido al intenso fracturamiento del talud.

Tabla 4.9: Datos obtenidos mediante el software RocData v.4.0, EG – 07.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 07				
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm
30 MPa	25	0,035 MPa	25.042°	681.802 MPa

El Talud de la EG – 08 muestra estabilidad a corto plazo en condiciones normales, con un factor de Seguridad (FS) que oscila entre 1.404 y 1.475. Sin embargo, bajo condiciones efectivas más sismicidad, los taludes se vuelven inestables, con un FS entre 0.850 y 0.974, debido al intenso fracturamiento del talud.

Tabla 4.10: Datos obtenidos mediante el software RocData v.4.0, EG – 08.

ESTACIÓN GEOTÉCNICA 08				
σ_{ci}	GSI	c'	ϕ'	Erm
30 MPa	28	0,030 MPa	31.067°	725.651 MPa

Tabla 4.11: Factor de Seguridad de los Taludes en condiciones normales, datos estadísticos Slide 6.0

FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES NORMALES				
Estaciones geotécnicas	METODOS			
	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Gle/Morgenstern-Price	Spencer
EG – 01	2.287	2.595	3.263	3.990
EG – 02	1.657	1.718	1.764	1.740
EG – 03	1.190	1.210	1.222	1.212
EG – 04	1.284	1.405	1.624	1.723
EG – 05	2.788	2.857	2.879	2.853
EG – 06	1.904	1.978	2.277	2.286
EG – 07	1.095	1.174	1.733	1.949
EG – 08	1.404	1.431	1.670	1.475

Tabla 4.12: Factor de Seguridad de los Taludes en condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad, datos estadísticos Slide 6.0

FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD				
Estaciones geotécnicas	METODOS			
	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Gle/Morgenstern-Price	Spencer
EG – 01	1.477	1.539	1.497	1.499
EG – 02	1.104	1.058	1.116	1.188
EG – 03	0.768	0.726	0.768	0.818
EG – 04	0.796	0.793	0.805	0.798
EG – 05	1.872	1.814	1.886	1.961
EG – 06	1.351	1.303	1.359	1.367
EG – 07	0.711	0.707	0.707	0.709
EG – 08	0.892	0.850	0.900	0.974

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La investigación realizada reveló que la inestabilidad de los taludes en el tramo de la carretera Cajamarca a Urubamba Alta entre el Km. 1 + 000 – Km 9 + 000, confirma la hipótesis planteada con la presentación de los resultados. confirmándose que el área investigada presenta taludes inestables debido a factores geológicos, que incluyen secuencias litológicas de rocas carbonatadas del Cretácico Inferior y Superior pertenecientes a las Formaciones Chulec, Pariatambo y Yumagual, así como rocas volcánicas del Volcánico Huambos y deposito Coluvio aluvial. Otro factor geológico son las estructuras como plegamientos, fallas y diaclasas, junto con procesos de meteorización física, química y biológica, causan fuerte fracturamiento en los macizos rocosos de dichas Formaciones. Según la clasificación geomecánica RMR89, las rocas se califican como de Clase III, con una calidad media en el rango de 44 – 51. Por otro lado, influyen los factores geométricos del talud como la pendiente y altura, generando roturas de tipo planar y cuña. Además, se confirma que, la inestabilidad de los taludes es causada por factores detonantes como la precipitación pluvial y la sismicidad, los cuales afectan directamente a los macizos rocosos incrementando la abertura de las discontinuidades y la aparición de otras. De este modo, se demuestra la hipótesis se ajusta a la realidad del problema, donde la inestabilidad geotécnica depende de la variable hidrológica (precipitación e infiltración) y sísmica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con la presente investigación se logró caracterizar geotécnicamente los taludes dentro de la carretera Cajamarca – Urubamba Alta en el tramo Km 1 + 000 – Km 9+ 000, determinando que existen zonas de inestabilidad bajo condiciones de tensión efectivas.

Los principales parámetros geomecánicos identificados en el tramo de la carretera Cajamarca – Urubamba Alta en el tramo Km 1 + 000 – Km 9+ 000, son el factor de seguridad y también la litología que está principalmente constituida por las Formaciones Chulec, Pariatambo y Yumagual, rocas volcánicas perteneciente al Volcánico Huambos y depósitos cuaternarios coluvio – aluvial, las cuales contribuyen a la estabilidad de los taludes dentro del tramo de estudio.

Una vez realizado el calculo del factor de seguridad en las estaciones geomecánicas bajo parámetros de condiciones normales y condiciones de tensiones efectivas más sismicidad, se identificaron zonas estables bajo condiciones normales a todos los taludes presentes en el tramo correspondientes a la investigación.

Sin embargo, bajo condiciones de tensiones efectivas, luego de realizar el cálculo de factor de seguridad se identificaron taludes inestables en las estaciones geomecánicas N°03, N°04, N°07 y N°08 con un FS entre 0.707 y 0.974, debido al intenso fracturamiento del talud.

El análisis cinemático – geotécnico de Software Dips v.7.0, de las discontinuidades críticas y el ángulo de fricción, nos determina probabilidad de rotura de tipo planar en las estaciones geotécnica 02 y 04 y rotura en cuña en las estaciones geotécnicas 01, 02, 04, 05 y 06.

5.2. RECOMENDACIONES

Para poder complementar la presente investigación se recomienda realizar ensayos triaxiales para obtener mayor precisión en las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos y complementar el presente estudio, porque las pruebas de resistencia cuantitativas realizadas en campo inevitablemente generan margen de error.

Proponer a las autoridades locales (Municipalidad Provincial de Cajamarca, Junta Vecinal, INDECI) que adopten medidas para la mitigación inmediata de las zonas identificadas como inestables; ya que con la llegada de la temporada de lluvias estas zonas pueden llegar a generar deslizamientos afectando a las zonas urbanas que estarían dentro del radio de influencia de dichos taludes.

Proponer a las autoridades locales realizar la señalización de las zonas inestables, ya que esta vía es el principal acceso hacia zonas turísticas dentro del distrito de Cajamarca así mismo existe gran crecimiento urbano en el área circundante y no se cuenta con la correcta delimitación de las zonas de riesgo.

Se recomienda al Gobierno Regional de Cajamarca e INDECI, realizar monitoreo de las zonas identificadas como inestables para poder realizar actividades de prevención y mejoramiento de dichos taludes, previniendo posibles deslizamientos que afecten a la población circundante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán, S. (2009). Gestión de riesgos en la ciudad de Cajamarca frente a la amenaza de deslizamiento zonas Urubamba, Corisorgona y ronquillo. Care Perú.
- Bieniawski, Z. 1989. Engineering rock mass clasifications: A complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and petroleum Engineering. Pensilvania, Estados Unidos. Edit. John Wiled and Sons. 240 p.
- Dávila, BJ. 2011. Diccionario Geológico . Lima, Perú : Arth Grouting S.A.C. 901p.
- Deere, D. U. 1989. Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1, Waterways Experiment Station, Viksburg, MS.
- Gavilanes, H; Andrade, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y geomecánico de macizos rocosos. Quito, Ecuador. AIME. 340 p.
- González de Vallejo, LI; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. (2004). Ingenieria Geologica . Madrid, España : PERSON EDUCACIÓN, S.A. 744 p.
- Hoek, E; Carranza, C; Corkum, B. 2002. El criterio de rotura de Hoek - Brown - Edición 2002 . Minnesota.
- Hoek, E. 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.
- Huang, WT. 2009. Petrología . México: Limusa. 275 p.
- Melentijevic, S. 2005. Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada. Tesis Ph.D. Madrid, España, UPM. 571 p.

- Neyra, P. (2011). Evaluación de Riesgos en Zonas Urbanas, Estudio Complementario de las Condiciones de Riesgos de Desastres en la Ciudad de Cajamarca. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- Quispe, M. (2011). Zonificación Ecológica y Económica Base para el Ordenamiento Territorial del Departamento de Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Ramirez Oyanguren, P; Alejano Monge, L. 2004. Mecanica de Rocas: Fundamentos e Ingenieria de Taludes . Madrid, España. 258 p.
- Suárez Díaz, J. 2009. Deslizamientos. *Analisis Geotécnico* . Bucaramanga, Colombia . 550 p.
- Villanueva Villena, E. 2018. Evaluación geotécnica para analizar la inestabilidad de los taludes en la carretera de los Km. 128 a Km. 140 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios, Distrito de San Juan, provincia y departamento de Cajamarca. Cajamarca, Perú, UNC. 88 p.
- Zavaleta, C. (2011). Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Instituto Geológico Minero, Metalúrgico. Perú.

ANEXOS

Plano de ubicación.

Plano Satelital

Plano Topográfico (Modelo Digital de Elevación).

Plano de Unidades Morfogenéticas.

Plano Geológico-Estructural.

Plano Geotécnico