

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



TESIS PROFESIONAL

ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS
CARRETERA LEIMEBAMBA – ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000.
DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS,
DEPARTAMENTO AMAZONAS

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:
Bach. Trinidad Emérita Sánchez Araujo

Asesor:
Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado

Cajamarca – Perú

2022

DEDICATORIA

Con todo el cariño y amor, a mis padres Eugenio Sánchez y Norminda Araujo, quienes son el motor y motivo para salir adelante y los que siempre me guían por el camino del bien.

A mis queridos hermanos Milagros, Jéssica, Leonel, Cynthia, Sofía y Danilo; por el cariño, motivación e impulso que me brindan en el día a día.

A mis amigos y compañeros por brindarme todo su apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

Trinidad S.A.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, con mención especial a la Escuela Académico profesional de Ingeniería Geológica y a cada uno los docentes quienes contribuyeron en mi desarrollo y formación profesional compartiendo sus conocimientos y dejando un legado intelectual, que hoy en día es fundamental en el campo laboral en el que me desempeño.

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de carrera universitaria, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de experiencias y aprendizajes.

A mis padres, hermanos y amigos; por la motivación y apoyo constante e incondicional que me brindan a diario para alcanzar mis metas y crecimiento como persona y profesional.

De manera especial a mí asesor de tesis el Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por el apoyo y la constante supervisión durante el desarrollo de esta investigación.

Trinidad S.A.

ÍNDICE

	Pág.
CARATULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE FOTOS	xiv
ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.2	BASES TEÓRICAS	4
2.2.1	Talud.....	4
2.2.2	Marco Geológico.....	5
2.2.3	Movimiento de Masas	15
2.2.4	Criterios de Rotura	19
2.2.5	Análisis de Inestabilidad	22
2.2.6	Métodos de Equilibrio Límite	22
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	26

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.1.1	Ubicación Geográfica	28
3.1.2	Ubicación Política	28
3.2	ACCESIBILIDAD.....	28
3.3	CLIMA Y VEGETACIÓN	29
3.4	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.4.1	Tipo y Método de Investigación	30
3.4.2	Población de Estudio	30
3.4.3	Muestra de Estudio	30
3.4.4	Unidad de Análisis.....	31
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	31

	Pág.
3.5.1	Técnicas 31
3.5.2	Instrumentos y Equipos de Recopilación de datos 31
3.6	PROCEDIMIENTO 31
3.7	ESTRATIGRAFÍA..... 33
3.7.1	Depósitos Glaciofluviales (Q-gf)..... 33
3.7.2	Formación Condorsinga (Ji-c). 34
3.7.3	Formación Aramachay (Ji-a). 34
3.7.4	Formación Chambará (TR-ch). 35
3.8	UNIDADES MORFOGENÉTICAS (UH)..... 36
3.9	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... 40
3.10	GEOTECNIA..... 42
3.10.1	ESTACIÓN TC-01 PROGRESIVA (15 +193 – 15 +199) 45
3.10.2	ESTACIÓN TC-02 PROGRESIVA (15 + 291 - 15 + 306)..... 56
3.10.3	ESTACIÓN TC-03 PROGRESIVA (15 +524– 15 +527) 67
3.10.4	ESTACIÓN TC-04 PROGRESIVA (16 +174 – 16 +178.5) 78
3.10.5	ESTACIÓN TC-05 PROGRESIVA (16+564 – 16 +570) 89
3.10.6	ESTACIÓN TC-06 PROGRESIVA (16+658 – 16 +664) 100
3.10.7	ESTACIÓN TC-07 PROGRESIVA (20 +208 – 20 +218.5) 111
3.10.8	ESTACIÓN TC-08 PROGRESIVA (21+068.5 – 21 +108.5) 122

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO – CINEMÁTICO 132
4.2	FACTOR DE SEGURIDAD- SOFTWARE SLIDE V. 6.0 132
4.3	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... 137

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES 138
5.2.	RECOMENDACIONES..... 139
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 140

PLANOS

PLANO N°01:	Imagen Satelital - Ubicación	1:20000
PLANO N°02:	Imagen Satelital - Accesibilidad	1:120000
PLANO N°03:	Plano Geológico - Estructural	1:15000
PLANO N°04:	Plano Geotécnico	1:15000
PLANO N°05:	Plano de Zonificación	1:15000

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1	Clasificación en base a la resistencia de la roca.....6
Tabla 2.2	Descripción de Espaciado.....7
Tabla 2.3	Descripción de Persistencia.....7
Tabla 2.4	Perfiles de Rugosidad. La longitud de los perfiles está entre 1m y 10m.....8
Tabla 2.5	Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de rocas a partir de índices de campo.....8
Tabla 2.6	Descripción de la abertura.....9
Tabla 2.7	Descripción de las filtraciones en discontinuidades.....9
Tabla 2.8	Índice de Calidad de la Roca en función al RQD.....10
Tabla 2.9	Calidad del Macizo Rocoso en función al <i>RMR89</i>11
Tabla 2.10	Parámetros de valores para la clasificación <i>RMR89</i>12
Tabla 2.11	GSI para macizos rocosos homogéneos. Hoek y Marinos 2000.....14
Tabla 2.12	Guías para estimar el factor de alteración D.....21
Tabla 2.13	Métodos de Análisis de Estabilidad utilizados en la Tesis.....23
Tabla 3.1	Coordenadas UTM - WGS84 del tramo de investigación.....28
Tabla 3.2	Ruta N°1 de acceso a la zona de investigación.....29
Tabla 3.3	Ruta N°2 de acceso a la zona de investigación.....29
Tabla 3.4	Tabla de temperaturas de la provincia de Chachapoyas – Año 2021.....29
Tabla 3.5	Tabla de precipitación mensuales - Año 2017- 2021.....20
Tabla 3.6	Clasificación para Unidades Morfogénicas.....37
Tabla 3.7	Unidades Morfogénicas.....39
Tabla 3.8	Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-01.....46
Tabla 3.9	Asignación de valores para el macizo rococo, Estación TC- 01.....47
Tabla 3.10	Propiedades geomecánicas de la Estación TC- 01.....48
Tabla 3.11	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-01.....51
Tabla 3.12	Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-02.....57
Tabla 3.13	Asignación de valores para el macizo rococo, Estación TC- 02.....58
Tabla 3.14	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-02.....59
Tabla 3.15	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-01.....62
Tabla 3.16	Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-03.....68
Tabla 3.17	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-03.....69

	Pág.
Tabla 3.18	Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación TC- 03.....71
Tabla 3.19	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-0373
Tabla 3.20	Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-04.....79
Tabla 3.21	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-04.....80
Tabla 3.22	Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 04.....82
Tabla 3.23	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-04.....84
Tabla 3.24	Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-05.....90
Tabla 3.25	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-05.....91
Tabla 3.26	Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 05.....93
Tabla 3.27	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-05.....95
Tabla 3.28	Registro Geológico-Geotécnico tomado en campo, Estación TC-06.....101
Tabla 3.29	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-06102
Tabla 3.30	Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 06.....104
Tabla 3.31	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-06.....106
Tabla 3.32	Registro Geológico-Geotécnico tomado en campo, Estación TC-07.....112
Tabla 3.33	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-07.....113
Tabla 3.34	Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 07.....115
Tabla 3.35	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-07.....117
Tabla 3.36	Registro Geológico-Geotécnico tomado en campo, Estación TC-08.....123
Tabla 3.37	Propiedades geomecánicas de la Estación TC-08.....124
Tabla 3.38	Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 08.....126
Tabla 3.39	Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-08.....128
Tabla 4.1	Análisis Estereográfico – Cinemático de los Taludes Críticos.....132
Tabla 4.2	Rangos de Factores de Seguridad, recomendados por Hoek, 2007.....133
Tabla 4.3	Factor de Seguridad de los Taludes críticos.....136

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1	Representación gráfica de un talud. <i>Fuente.</i> Tomada de Suárez 1998.....4
Figura 2.2	Medidas a considerar en un plano de discontinuidad.....7
Figura 2.3	Condiciones para Rotura Planar. <i>Fuente:</i> Tomado de Gonzáles et al. 2004.....15
Figura 2.4	(a) Condición estructural de una Rotura Planar. b) representación estereográfica. <i>Fuente.</i> Herrera 2000.....16
Figura 2.5	Condiciones para Rotura en Cuña. <i>Fuente:</i> Tomado de Gonzáles et al. 2004.....17
Figura 2.6	(a) Condición estructural en una Rotura en Cuña. (b) Representación estereográfica. <i>Fuente.</i> Herrera 200018
Figura 2.7	Envolventes de Mohr - Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b).....20
Figura 2.8	Representación de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Spencer y Morgenstern-Price.....24
Figura 3.1	Etapas del proceso de investigación.....32
Figura 3.2	Columna Estratigráfica Local.....36
Figura 3.3	Mapa de Zonificación Sísmica del Perú. <i>Fuete:</i> RNE-Norma E-030 2016.....43
Figura 3.4.	Pantallas Procesadas del Software LoadCap.....44
Figura 3.5	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-01.....49
Figura 3.6	Estación TC-01, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....50
Figura 3.7	Estación TC-01, dimensiones del Talud.....51
Figura 3.8	Factor de seguridad TC-01 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.....52
Figura 3.9	Factor de seguridad TC-01 por método de Bishop simplificado en condiciones Tensiones de Efectivas más Sismicidad.....52
Figura 3.10	Factor de seguridad TC-01 por método de Janbu simplificado, en condiciones de Tensiones Totales53

	Pág.
Figura 3.11	Factor de seguridad TC-01 por método de Janbu simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad53
Figura 3.12	Factor de seguridad TC-01 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales54
Figura 3.13	Factor de seguridad TC-01 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad54
Figura 3.14	Factor de seguridad TC-01 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales.....55
Figura 3.15	Factor de seguridad TC-01 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....55
Figura 3.16	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-02.....60
Figura 3.17	Estación TC-02, Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....61
Figura 3.18	Estación TC-02, dimensiones del Talud.....62
Figura 3.19	Factor de seguridad TC-02 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales63
Figura 3.20	Factor de seguridad TC-02 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad63
Figura 3.21	Factor de seguridad TC-02 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales64
Figura 3.22	Factor de seguridad TC-02 por método de Janbu simplificado en condiciones Tensiones de Efectivas más Sismicidad64
Figura 3.23	Factor de seguridad TC-02 por método de Spencer condiciones de Tensiones Totales65
Figura 3.24	Factor de seguridad TC-02 por método de Spencer en condiciones Tensiones Efectivas más Sismicidad65
Figura 3.25	Factor de seguridad TC-02 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales.....66
Figura 3.26	Factor de seguridad TC-02 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....66
Figura 3.27	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-03.....70

	Pág.
Figura 3.28 Estación TC-03, Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....	72
Figura 3.29 Estación TC-03 dimensiones del Talud.....	73
Figura 3.30 Factor de seguridad TC-03 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales	74
Figura 3.31 Factor de seguridad TC-03 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad	74
Figura 3.32 Factor de seguridad TC-03 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales.....	75
Figura 3.33 Factor de seguridad TC-03 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....	75
Figura 3.34 Factor de seguridad TC-03 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales.....	76
Figura 3.35 Factor de seguridad TC-03 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad	76
Figura 3.36 Factor de seguridad TC-03 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales	77
Figura 3.37 Factor de seguridad TC-03 por método de Gle/Morgenstern-Price, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad	77
Figura 3.38 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-04.....	81
Figura 3.39 Estación TC-04 Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....	83
Figura 3.40 Estación TC-04 dimensiones del Talud.....	84
Figura 3.41 Factor de seguridad TC-04 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales	85
Figura 3.42 Factor de seguridad TC-04 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad	85
Figura 3.43 Factor de seguridad TC-04 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales	86
Figura 3.44 Factor de seguridad TC-04 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad	86

	Pág.
Figura 3.45	Factor de seguridad TC-04 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales.....87
Figura 3.46	Factor de seguridad TC-04 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad87
Figura 3.47	Factor de seguridad TC-04 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales88
Figura 3.48	Factor de seguridad TC-04 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones efectivas más sismicidad.....88
Figura 3.49	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-05.....92
Figura 3.50	Estación TC-05 Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....94
Figura 3.51	Estación TC-05, dimensiones del Talud.....95
Figura 3.52	Factor de seguridad TC-05 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales96
Figura 3.53	Factor de seguridad TC-05 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....96
Figura 3.54	Factor de seguridad TC-05 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales97
Figura 3.55	Factor de seguridad TC-05 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad97
Figura 3.56	Factor de seguridad TC-05 por método de Spencer, en condiciones de Tensiones Totales.....98
Figura 3.57	Factor de seguridad TC-05 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad98
Figura 3.58	Factor de seguridad TC-05 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales99
Figura 3.59	Factor de seguridad TC-05 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....99
Figura 3.60	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-06.....103
Figura 3.61	Estación TC-06, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....105

	Pág.
Figura 3.62	Estación TC-06 dimensiones del Talud.....106
Figura 3.63	Factor de seguridad TC-06 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.....107
Figura 3.64	Factor de seguridad TC-06 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....107
Figura 3.65	Factor de seguridad TC-06 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales108
Figura 3.66	Factor de seguridad TC-06 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....108
Figura 3.67	Factor de seguridad TC-06 por método de Spencer, en condiciones de Tensiones Totales.....109
Figura 3.68	Factor de seguridad TC-06 por método de Spencer en condiciones de efectivas más Sismicidad.....109
Figura 3.69	Factor de seguridad TC-06 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales110
Figura 3.70	Factor de seguridad TC-06 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad110
Figura 3.71	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-07.....114
Figura 3.72	Estación TC-07, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....116
Figura 3.73	Estación TC-067dimensiones del Talud.....117
Figura 3.74	Factor de seguridad TC-07 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.....118
Figura 3.75	Factor de seguridad TC-07 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.....118
Figura 3.76	Factor de seguridad TC-07 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales.....119
Figura 3.77	Factor de seguridad TC-07 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad119
Figura 3.78	Factor de seguridad TC-07 por método de Spencer condiciones de Tensiones Totales120

	Pág.
Figura 3.79	Factor de seguridad TC-07 por método de Spencer, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad120
Figura 3.80	Factor de seguridad TC-07 por método de Gle/Morgenstern-Price, en condiciones de Tensiones Totales.....121
Figura 3.81	Factor de seguridad TC-07 por método de Gle/Morgenstern-Price, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad..... 121
Figura 3.82	Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-08.....125
Figura 3.83	Estación TC-08, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).....127
Figura 3.84	Estación TC-08 dimensiones del Talud.....128
Figura 3.85	Factor de seguridad TC-08 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.....129
Figura 3.86	Factor de seguridad TC-08 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales129
Figura 3.87	Factor de seguridad TC-08 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales130
Figura 3.88	Factor de seguridad TC-08 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales130

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 3.1	Depósitos Glaciofluviales. Coordenadas: E 192860 N 9238786 Cota 3258 m.s.n.m.....33
Foto 3.2	Estratos de calizas de la formación Aramachay; con estratificación plana y color amarillento. Coordenadas: E 192850 N 9239381 Cota 3256 m.s.n.m.....34
Foto 3.3	Calizas con intercalación de lutitas rojizas y amarillas. Coordenadas: E 192954 N 9239027 Cota 3257 m.s.n.m.....34
Foto 3.4	Estratos de calizas de la formación Chambará. Espesor de 15 a 40 cm. Coordenadas: E 192187 N 9242897 Cota 3054 m.s.n.m.....35
Foto 3.5	Estratos de calizas de la formación Chambará. Espesor de 15 a 30 cm. Coordenadas: E 193731 N 9242208 Cota 3086 m.s.n.m.....35
Foto 3.6	Estructuras kársticas (Estalagmitas y Estalactitas), producto de la precipitación de carbonatos.....35
Foto 3.7	Columna de Calcita (unión de estalactita con estalagmita) de 15 cm.....35
Foto 3.8	Planicie a la margen derecha del río Atuen. Utilizado para la ganadería. Coordenadas: E 192874 N 9238844 Cota 3265 m.s.n.m.....37
Foto 3.9	Lomadas con escasa vegetación, con pendiente no mayor de 30° utilizados para la actividad ganadera. Coordenadas: E 193847 N 9239495 Cota 3090 m.s.n.m.....38
Foto 3.10	Ladera de calizas de la Formación Chambará, con ángulo de 45°. Coordenadas: E 192738 N 9242222 Cota 3100 m.s.n.m.....38
Foto 3.11	Ladera con un ángulo de 40°; Formación Chambará. Coordenadas: E 192319 N 9242673 Cota 3095 m.s.n.m.....38
Foto 3.12	Escarpe en calizas de la Formación Aramachay, ángulo de 75°. Coordenadas: E 192850 N 9239381 Cota 3256 m.s.n.m.....39
Foto 3.13	Anticlinal inclinado (formación Aramachay) Coordenadas: E 192925 N 9239585 Cota 3247 m.s.n.m.....40
Foto 3.14	Anticlinal (formación Aramachay) Coordenadas: E 192923 N 9239582 Cota 3246 m.s.n.m.....41
Foto 3.15	Pliegues tipo Chevron de la formación Aramachay Coordenadas: E 192898 N 9239535 Cota 3248 m.s.n.m.....41

	Pág.
Foto 3.16	Micropliegues en los estratos de la formación Chambará. Coordenadas: E 192970 N 9239696 Cota 3250 m.s.n.m.....41
Foto 3.17	Micropliegues en los estratos de la formación Chambará. Coordenadas: E 192970 N 9239696 Cota 3250 m.s.n.m.....42
Foto 3.18	Falla normal en rocas de la formación Chambará.....42
Foto 3.19	Falla inversa (Formación Aramachay).....42
Foto 3.20	Estación TC-01 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 15+193 – 15+199.....45
Foto 3.21	Estación TC-02 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 15+291 – 15+306.....56
Foto 3.22	Estación TC-03 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 15+524 – 15+527.....67
Foto 3.23	Estación TC-04 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 16+174 – 16+178.5.....78
Foto 3.24	Talud TC-05 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 16+564 – 16+570.....89
Foto 3.25	Talud TC-06 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 16+658 – 16 +664.....100
Foto 3.26	Talud TC-07 calizas limo arcillosas de la formación Aramachay (Ji-a) en las progresivas 20+208 – 20 +218.5.....111
Foto 3.27	Talud TC-08 calizas limo arcillosas de la formación Aramachay (Ji-a) en las progresivas 21+068.5 – 21 +108.5.....122

ABREVIATURAS

ISRM	:	Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas
RMR89	:	Sistema de Clasificación Geomecánica (Rock Mass Rating)
RQD	:	Designación de la Calidad de la Roca (Rock Quality Designation)
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica (Geological Strength Index)
FS	:	Factor de Seguridad
Kh	:	Aceleración máxima horizontal
Kv	:	Aceleración máxima vertical
ND	:	Número de discontinuidades
L	:	Longitud del talud en metros
TC	:	Talud Crítico
TT	:	Tensiones Totales
TE+S	:	Tensiones Efectivas + Sismicidad

RESUMEN

La investigación está ubicada en la carretera que une el distrito de Leimebamba y el anexo de Atuen que pertenece al distrito Chuquibamba, provincia Chachapoyas, departamento de Amazonas, progresivas KM 15+000 – KM 22+000. Litológicamente abarca depósitos Glaciofluviales y afloramientos rocosos de las Formaciones Chambará y Aramachay conformadas por rocas calcáreas y lutáceas. Los taludes del corte de carretera están constituidos por macizos rocosos que presentan fracturamiento originado por la geotectónica regional-local, pendientes pronunciadas y meteorización tanto superficial y profunda que condicionan la morfología; estos factores al interactuar con las variables detonantes de precipitación y sismicidad generan deslizamientos y desprendimientos rocosos lo que indica inestabilidad geotécnica; por tal motivo se hizo necesario determinar el comportamiento geotécnico de los taludes críticos. Para alcanzar los objetivos se realizó la toma de datos en campo en secciones transversales al eje de la carretera, y se emplearon las teorías: Sistema de Valoración del Macizo Rocosos (RMR89), Índice de Calidad de la Roca (RQD) e Índice de Resistencia Geológica (GSI), las cuales permitieron integrar las variables geoestructurales en un modelo cinemático de cada sección.

Utilizando Software Dips v6.0 se definió rotura en cuña y deslizamiento planar en las 8 estaciones analizadas y utilizando parámetros geomecánicos del Software RocData más sismicidad mediante el programa informático Slide v6.0, se obtuvo como resultados FS de 0.053 – 1.298 en condiciones de Tensiones Totales; así mismo FS en condiciones de Tensiones efectivas más sismicidad de 0.002 – 1.243; por lo tanto, todos los taludes analizados son inestables. Se recomienda realizar ensayos triaxiales, monitoreos constantes y un estudio para la estabilización en todos los puntos críticos de carretera.

Palabras claves: Talud, Geomecánica, Factor de Seguridad, Inestabilidad.

ABSTRACT

The investigation is located on the road that joins the district of Leimebamba and the annex of Atuen that belongs to the district of Chuquibamba, Chachapoyas province, department of Amazonas, progressive KM 15+000 - KM 22+000. Lithologically, it includes glaciofluvial deposits and rocky outcrops of the Chambará and Aramachay formations made up of calcareous and lutaceous rocks. The slopes of the road cut are made up of rock massifs that present fracturing originated by regional-local geotectonics, steep slopes and both superficial and deep weathering that condition the morphology; these factors interacting with the triggering variables of precipitation and seismicity generate landslides and rock falls indicating geotechnical instability; for this reason it was necessary to determine the geotechnical behavior of the critical slopes. In order to achieve the objectives, field data were collected in sections transversal to the road axis, and the following theories were used: Rock Mass Valuation System (RMR89), Rock Quality Index (RQD) and Geological Strength Index (GSI), which allowed the integration of the geostructural variables in a kinematic model of each section.

Using Dips v6.0 software, wedge fracture and planar sliding were defined in the 8 analyzed stations and using geomechanical parameters of RocData software plus seismicity using Slide v6.0 software, the results obtained were FS of 0.053 - 1.298 in conditions of total stresses; likewise FS in conditions of effective stresses plus seismicity of 0.002 - 1.243; therefore, all the analyzed slopes are unstable. It is recommended to perform triaxial tests, constant monitoring and a study for stabilization at all critical points of the road.

Key words: Slope, Geomechanics, Factor of Safety, Instability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La investigación abarca los taludes de la carretera Leimebamba – Atuen, tramo Km 15 + 000 al km 22 + 000, donde las litomorfoestructuras son afloramientos rocosos de las Formaciones Chambará y Aramachay del Grupo Pucará; conformadas por rocas calcáreas y lutáceas, estructuralmente influenciadas por 2 fallas regionales: La Joya y Tambillo, ambas con dirección NW–SE; las que han generado plegamientos, fallas y fuerte fracturamiento. Las fuertes precipitaciones, infiltración y sismicidad, causan alteraciones y cambios de las propiedades de los macizos rocosos, originado disminución de la resistencia de las rocas y por tanto inestabilidad geotécnica de los taludes.

Este problema nos indujo a preguntarnos ¿Cuál es el comportamiento geotécnico de los taludes en las zonas críticas de la carretera Leimebamba – Atuen, Km 15 + 000 – Km 22 + 000, Distrito Chuquibamba – Provincia Chachapoyas – Departamento Amazonas?; posiblemente el comportamiento inestable de los taludes del tramo en cuestión, sea producto de la interacción de las litomorfoestructuras en las Formaciones Chambará y Aramachay, la precipitación e infiltración de las aguas pluviales y la sismicidad de la zona.

En la zona de investigación evidenciamos puntos críticos de deslizamiento planar y falla tipo cuña, lo que genera peligros para la transitabilidad por dicha vía. En el estudio geotécnico se definió el comportamiento de las litomorfoestructuras, las condiciones de hidrología y la sismicidad, que proporcionan información que definen las condiciones en las zonas críticas y la inestabilidad geotécnica.

El estudio es de carácter no experimental, transversal; de alcance descriptivo, correlacional y explicativo, en el cual se pretende determinar el comportamiento geotécnico de los taludes del tramo de carretera en investigación.

Las limitaciones y restricciones del presente estudio es la escasa información debido a falta de estudios o investigaciones geotécnicas de la carretera en cuestión y no realizar ensayos triaxiales para obtener mayor precisión en las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos y lograr un mejor cálculo de los Factores de Seguridad.

El objetivo general de la tesis es determinar el comportamiento geotécnico de los taludes en las zonas críticas de la carretera Leimebamba – Atuen, km15 + 000 - km22 + 000; distrito Chuquibamba, provincia Chachapoyas, departamento Amazonas; y como específicos realizar el cartografiado de las litomorfoestructuras en las formaciones Aramachay y Chambará, realizar la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, así como el análisis hidrológico de la zona, calcular el factor de seguridad haciendo uso del software Slide v6.0 y realizar la zonificación de los tramos críticas.

La investigación consta de cinco capítulos; en el primero se desarrolla la parte introductoria el planteamiento y la formulación del problema, hipótesis, justificación, objetivos y alcances de la investigación. El segundo capítulo comprende los antecedentes teóricos nacionales y locales de la investigación, así como las bases teóricas, en este caso relacionado a taludes, marco geológico, métodos de clasificación, movimiento de masas, criterios de rotura y métodos de equilibrio límite. También se define los términos básicos necesarios e importantes que ayudan a comprender la base teórica.

El tercer capítulo, detalla las generalidades de la zona de investigación, ubicación y accesibilidad, así como clima y vegetación; los aspectos metodológicos de la investigación, y procedimientos para la recolección de datos; se detalla estratigrafía, unidades morfogenéticas, geología estructural y análisis geotécnico haciendo uso de la base teórica y los softwares: RocLab, Dips v6.0 y Dips v6.0. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos durante el proceso de investigación con su respectivo análisis, interpretación y discusión de resultados logrando así los objetivos propuestos. Finalmente, en el último capítulo presentamos las conclusiones y recomendaciones propuestas para el mejoramiento de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

INGEMMET (2009), realizó el estudio: “Riesgo geológico en la región Amazonas”, donde se analiza las zonas críticas a nivel regional, teniendo en cuenta la sismicidad, variación climática, complejidad geológica – geomorfológica, remoción de masas y peligros hidrológicos. Teniendo en cuenta la interacción de estos factores se genera mapas de zonificación y susceptibilidad de toda la región.

Castro (2010), realizó el compendio: “Geología, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas”; el cual comprende el estudio geológico de la región Amazonas, donde analiza la clasificación y descripción de las unidades litoestratigráficas, tomando como base el análisis de la sedimentología, litoestratigráficas, cronoestratigrafía y geología estructural. También analiza e identifica el comportamiento geoestructural de las secuencias litológicas, ambiente de depositación de la mismas y los procesos que dieron origen a las formaciones geológicas.

Castro (2010), realizó el estudio “Geomorfología, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas”, donde se describe, clasifica y categoriza los diversos relieves teniendo en cuenta la morfografía, morfogénesis, morfometría, morfocronología y petrografía. Teniendo en cuenta estos parámetros el estudio contribuye al análisis de los relieves sujetos a riesgo y amenazas.

Domínguez (2004), “Investigación Geológica – Geotécnica de los casos especiales en la carretera Corral Quemado – Pedro Ruiz Dpto. Amazonas”. Investiga los problemas geodinámicos y geotécnicos de los sectores críticos de la carretera en mención logrando determinar modelos tipos, los que han sido estudiados detalladamente logrando proponer alternativas de solución a las zonas críticas y las cuales podrían ser usadas como base o

ejemplo para estudios en lugares o regiones que presenten condiciones y características geológicas similares.

Camargo (2017), “Estudio geológico - geotécnico de detalle del km. 484 y 496 del ONP (Oleoducto Nor peruano), para el diseño de obras de estabilización y/o mitigación a nivel de ingeniería básica, provincia de Bagua - departamento de Amazonas”. Investiga y analiza la problemática geodinámica de las laderas del Km. 484 y Km. 496 del ONP, definiendo así el peligro activo y/o potencial de la estabilidad de las laderas del tramo del oleoducto en mención y a la vez, plantear posibles soluciones para mitigar el peligro latente de inestabilidad en la zona.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Talud

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

Existen diversos factores que pueden originar el fallo del estado natural de la estabilidad de las laderas o taludes, dentro los más importantes podemos mencionar: cambios en la topografía, sismicidad, agua subterránea, densidad del suelo, meteorización y factores antrópicos (Suárez 1998).

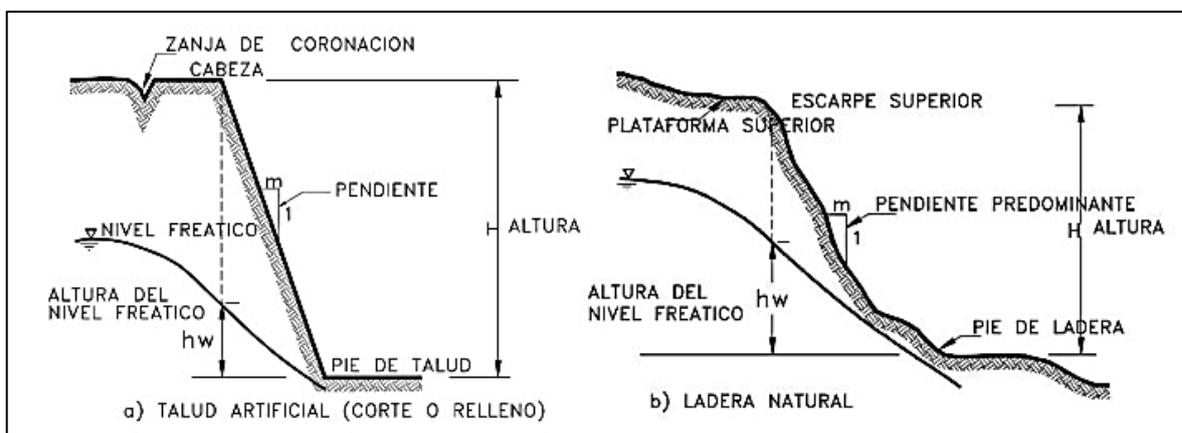


Figura 2.1 Representación gráfica de un talud. Fuente: Tomada de Suárez 1998

El talud o ladera consta de los siguientes elementos, según Suárez 1998:

- **Altura:** Distancia vertical entre el pie y la cabeza, definida por la diferencia de cotas entre estos dos elementos.
- **Pie:** Se denomina como pie, al cambio brusco de pendiente que se forma en la base (parte inferior) del talud o ladera.
- **Cabeza o Escarpe:** Se ubica en la parte superior del talud, zona donde se evidencia cambio de pendiente.
- **Altura de Nivel Freático:** Viene a ser la altura que llega a alcanzar el nivel del agua desde el nivel de pie de talud o ladera y antes de la cabeza o escarpe.
- **Pendiente:** Viene a ser la inclinación artificial o natural que presenta el talud o ladera, la cual por lo general se mide en grados.

2.2.2 Marco Geológico

Según Suárez (1998) la geología por lo general define las características o propiedades físicas y químicas del suelo o de la roca. Considera que una formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia según el tipo de roca que conforma la formación; mientras que las discontinuidades facilitan la ocurrencia de movimientos a lo largo de los planos de debilidad. Las formaciones geológicas, estructuras, discontinuidades, meteorización, variación de pendiente, sistemas de drenaje y geoformas, son considerados por Suarez como los elementos geológicos principales que se deben considerar en un estudio.

Durante las primeras etapas de las investigaciones, una de las labores fundamentales que se realiza en los estudios de ingeniería geológica es la descripción y caracterización de los macizos rocosos en los afloramientos, con la finalidad de determinar las propiedades y características geotécnicas del macizo in situ (González et al. 2004).

Considerando los conceptos anteriores, se debe tener en cuenta dos conceptos principales:

Matriz Rocosa

Según González et al. (2004), la matriz rocosa queda definida como los bloques de “roca intacta” que quedan entre las discontinuidades y cuya identificación se determina a partir de

su composición y la relación geométrica de sus minerales, es decir su textura. También se considera: características genéticas, composición química, forma y estructura del yacimiento, de las relaciones temporales y espaciales con otras rocas.

Las observaciones más comunes y prácticas según González et al. (2004) son: composición mineralógica, forma y tamaño de los granos, color y transparencia, meteorización y dureza. Considerando la resistencia (dureza) se presenta la clasificación de la roca en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Clasificación en base a la resistencia de la roca

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPA)	DESCRIPCIÓN
1 – 5	Muy Blanda
5 – 25	Blanda
25 – 50	Moderadamente Dura
50 – 100	Dura
100 – 250	Muy dura
>250	Extremadamente dura

Fuente: Tomado de González et al. 2004

Discontinuidades

Las discontinuidades son las estructuras que más afectan a la resistencia de un macizo rocoso. Condicionan de manera significativa las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. Determinar las características y propiedades de los planos de las discontinuidades de un macizo rocoso, permite estimar y definir la resistencia al corte que éstas poseen ya que es un factor fundamental para determinar la resistencia del macizo rocoso fracturado (González et al. 2004).

Orientación: Según González et al. (2004), la orientación de una discontinuidad en el espacio está definida por la dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte y por la inclinación respecto a la horizontal de dicha línea (Buzamiento).

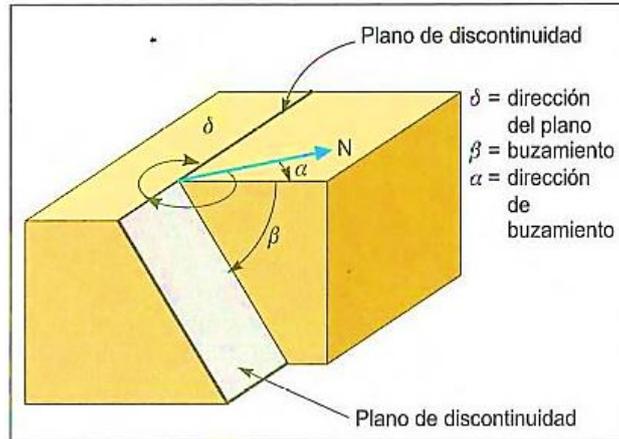


Figura 2.2 Medidas a considerar en un plano de discontinuidad.

Espaciado. Viene definido por la separación que existe entre los planos de discontinuidades la cual condiciona el tamaño de los bloques de la matriz rocosa y por ende el comportamiento mecánico de todo el macizo rocoso (González et al. 2004).

Tabla 2.2 Descripción de Espaciado

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO
Extremadamente junto	< 200mm
Muy junto	20 - 60 mm
Junto	60 - 200 mm
Moderadamente junto	200 - 600 mm
Separado	600 - 2.000 mm
Muy separado	2.000 – 6.000 mm
Extremadamente separado	> 6.000 mm

Fuente: Tomado de González et al. 2004.

Continuidad o Persistencia: Hace referencia a la extensión superficial del plano de discontinuidad, teniendo en cuenta su dirección y buzamiento.

Tabla 2.3 Descripción de Persistencia.

CONTINUIDAD	LONGITUD
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1 - 3 m
Continuidad media	3 - 10 m
Alta continuidad	10 - 20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

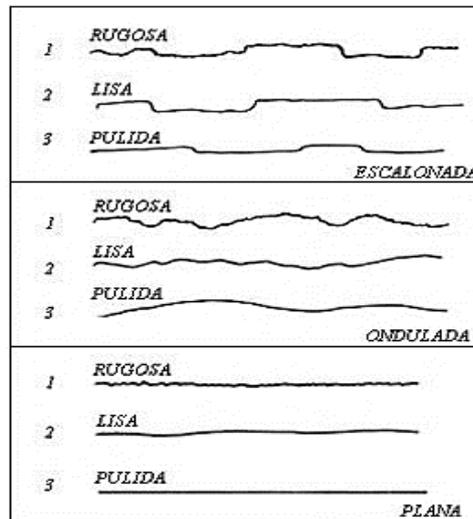
Rugosidad.

Escala Intermedia (Varios metros): Escalonadas, onduladas, y planas.

Escala Menor (Varios centímetros): Rugosas, lisas, y pulidas.

Teniendo en cuenta las escalas anteriores se puede definir nueve clases de rugosidad: (I) escalonadas rugosas (II) escalonadas lisas, (III) escalonadas pulidas, (IV) onduladas rugosas, (V) onduladas lisas, (VI) onduladas pulidas, (VII) planas rugosas, (VIII) planas lisas y (IX) planas pulidas

Tabla 2.4 Perfiles de Rugosidad. La longitud de los perfiles está entre 1m y 10m.



Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

Resistencia de las Paredes:

Tabla 2.5 Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a la compresión simple de rocas a partir de índices de campo

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO APROX. SIGMA - MPa
R1	Roca muy débil	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1.0 – 5.0
R2	Roca débil	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5.0 – 25
R3	Roca medianamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50 – 100
R5	Descripción de Espaciado	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	>250

Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

Abertura: Viene a ser la distancia que separa las paredes de la discontinuidad, este espacio puede estar relleno o no.

Tabla 2.6 Descripción de la abertura

ABERTURA	DESCRIPCIÓN
< 0.1 m	Muy cerrada
0.1 – 0.25 mm	Cerrada
0.25 – 0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5 – 2.5 mm	Abierta
2.5 – 10 mm	Moderadamente ancha
>10 mm	Ancha
1 – 10 cm	Muy ancha
10 – 100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

Relleno: Material que se encuentra entre las paredes de las discontinuidades (Abertura). Puede estar conformado por material de cuarzo, calcita, óxidos, arena, arcilla, brecha, etc. y puede encontrarse de manera compacta o blanda. Las propiedades físicas del relleno influyen en la resistencia la corte, la deformabilidad y la permeabilidad del macizo rocoso.

Filtraciones: Se considera al flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), o por las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria).

Tabla 2.7 Descripción de las filtraciones en discontinuidades

CLASE	DISCONTINUIDADES SIN RELLENO	DISCONTINUIDADES CON RELLENO
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua.	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua
II	Junta seca sin evidencia de flujo de agua.	Relleno húmedo, pero si agua libre.
III	Junta seca, pero con evidencia de haber circulado agua.	Relleno mojado con goteo ocasional.
IV	Junta húmeda, pero sin agua libre.	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar Q en l/min).
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo, pero sin flujo continuo.	Rellenos locales lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión).
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en l/min, y la presión).	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

Métodos de Clasificación

La clasificación geomecánica ha tomado mucha importancia en la actualidad, principalmente en los análisis y estudios geotécnicos de los taludes; la ventaja más resaltante que posee consiste en que permite obtener los principales parámetros mecánicos del macizo rocoso (módulo de elasticidad, coeficiente de rotura de Hoek-Brown, etc.) y mediante estos parámetros determinar cuantitativamente la calidad del macizo (Ramírez y Alejano 2004).

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas para taludes son: Sistema de Valoración del Macizo Rocosó (RMR: Rock Mass Rating) e Índice de Resistencia Geológica (GSI: Geological Strength Index). Las dos primeras utilizan el parámetro Índice de Calidad de la Roca (RQD: Rock Quality Designation).

Índice de Calidad de la Roca (RQD: Rock Quality Designation)

Deere en 1967 propuso un método que permite determinar un estimado cuantitativo de la calidad de la matriz rocosa, haciendo uso de los testigos de perforación diamantina. Se puede decir que el RQD es el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores a 10cm en la longitud total del testigo.

Priest y Hudson en 1976, encontraron una estimación del RQD en función de las mediciones de los espacios entre las discontinuidades en un macizo rocoso usando la siguiente ecuación:

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

Dónde: $\lambda = N^{\circ}$ De Discontinuidades/Longitud

Tabla 2.8 Índice de Calidad de la Roca en función al RQD

RQD (%)	CALIDAD DE LA ROCA
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

Sistema de Valoración del Macizo Rocos, Bieniawski 1989. (RMR89: Rock Mass Rating).

A continuación, se mencionan los parámetros necesarios para poder realizar el cálculo del RMR: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca, índice de Calidad de la Roca (RQD), espaciado entre discontinuidades, condición de las discontinuidades y condición de infiltraciones de agua

El RMR permite calificar la calidad geotécnica de los macizos rocosos en una escala que varía desde 0 a 100 y considera 5 clases:

Tabla 2.9 Calidad del Macizo Rocos en función al *RMR89*

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

Fuente: ISRM (1981) citado por González et al. 2004

Tabla 2.10 Parámetros de Valores para la Clasificación RMR89.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES					
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 1 – 5 < 1 MPa MPa MPa
	VALOR	15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%
	VALOR		20	17	12	8	3
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 cm	6 – 20 cm	< 6cm
	VALOR		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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm
		VALOR	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		VALOR	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		VALOR	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0		
VALOR		30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
	VALOR		15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski (1989), citado por González et al. 2004

Índice de Resistencia Geológica (GSI: Geological Strength Index)

Desarrollado por Hoek y Brown en 1997; posteriormente Hoek y Marinos 2000, mejoraron e indicaron que el GSI evalúa y analiza la calidad del macizo rocoso teniendo en cuenta los siguientes parámetros: grado de fracturamiento, meteorización y las características de la estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades.

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, el GSI permite estimar la disminución de la resistencia del macizo rocoso mediante la combinación de dos parámetros geológicos principales: la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades. Existe una relación del GSI con el RMR89 mediante la ecuación:

$$\mathbf{GSI = RMR_{89} - 5}$$

Tabla 2.11 GSI para macizos rocosos homogéneos. Hoek y Marinos 2000.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA ROCAS FRACTURADAS (Hoek & Marinos, 2000) Estimar el valor promedio del GSI para la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades. No intentar ser muy preciso. Citar un rango de 33 a 37 es mas realístico que un GSI de 35. Note que las tablas no se aplican a las fracturas estructuralmente controladas. Cuando los planos estructurales débiles están en una orientación desfavorable con respecto de la cara excavada, estas dominarán el comportamiento de todo el macizo rocoso. La resistencia de cizalla de las superficies de la rocas son propensas a deteriorarse como el resultado de cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se trabaja con rocas en las categorías de débil a muy débil, se debería hacer un desplazamiento hacia la derecha. La presión del agua es tratada con análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES MUY BUENA Superficies muy rugosas, inalteradas y frescas.				
		BUENA Superficies rugosas, ligeramente intemperizadas, con pátinas de óxidos de Hierro.				
		REGULAR Superficies lisas, moderadamente intemperizadas y/o alteradas.				
		MALA Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimientos o rellenos compactos o fragmentos angulares.				
		MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimiento o rellenos arcillosos blandos.				
ESTRUCTURA		DECRECE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES →				
 INTACTA O MASIVA Especimen de roca intacta o roca in-situ masiva con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	DISMINUYE LA TRABAJÓN DE LAS PIEZAS DE ROCA ↓	90			N/A	N/A
 BLOCOSA Macizo rocoso inalterado bien trabado, definido por bloques cúbicos formados por 3 familias de discontinuidades.		80	70			
 MUY BLOCOSA Macizo rocoso trabado, parcialmente perturbado, definido por bloques angulares de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.			60	50		
 BLOCOSA/PERTURBADA/DEFORMADA Plegada, bloques angulares de mucha familias de discontinuidades, persistencia de los planos de estratificación o esquistocidad.				40	30	
 DESINTEGRADA Pobrementemente trabada, macizo rocoso muy fracturado con mezcla de fragmentos de roca angulares y redondeados.					20	
 LAMINADA/ CIZALLADA Ausencia de blocosidad debido a espaciados cercanos de débil esquistocidad o planos de cizalla.			N/A	N/A		10

2.2.3 Movimiento de Masas

Según Gonzales et al. (2004) los movimientos de masas en macizos rocosos están influenciados por el grado de fracturamiento, la orientación y distribución de las discontinuidades en función del talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa.

Deslizamiento (Slide)

Es un movimiento de masa cuyo desplazamiento ocurre por lo general a lo largo de una o varias superficies de falla visibles, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), los deslizamientos se clasifican según la forma de la superficie de falla, obteniendo así traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña.

Deslizamiento planar

Se puede considerar como la más sencilla de las formas de rotura y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca a través de un solo de falla y convenientemente orientada respecto al talud.

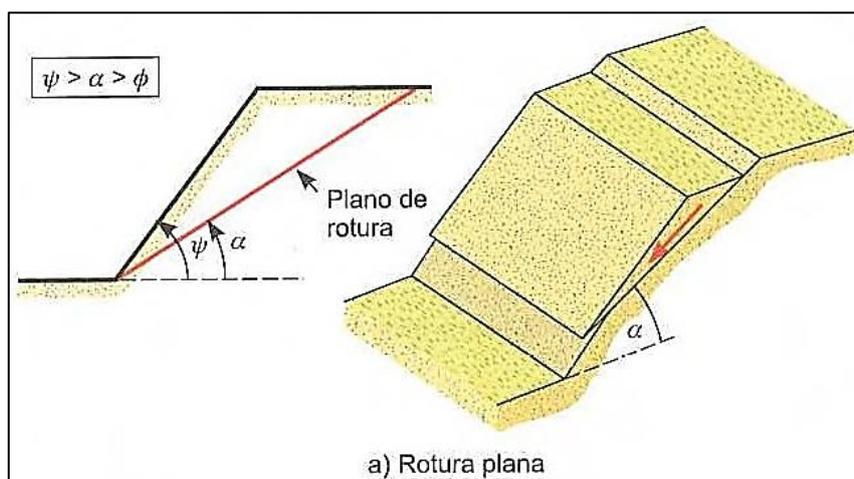


Figura 2.3 Condiciones para Rotura Planar. Fuente: Tomado de Gonzáles et al. 2004

Proyección estereográfica para el análisis cinemático de Rotura Planar

- La dirección de buzamiento de la discontinuidad planar (β) debe estar dentro de un rango de 20° con respecto a la dirección del buzamiento de la cara principal del talud (α).
- El buzamiento de la discontinuidad (ψ_p) debe ser menor que el buzamiento del talud (ϕ_p), y con esto la estructura debe aflorar en el talud.
- El buzamiento de la discontinuidad (ψ_p) debe superar el valor del ángulo de fricción de la superficie (ϕ_f).

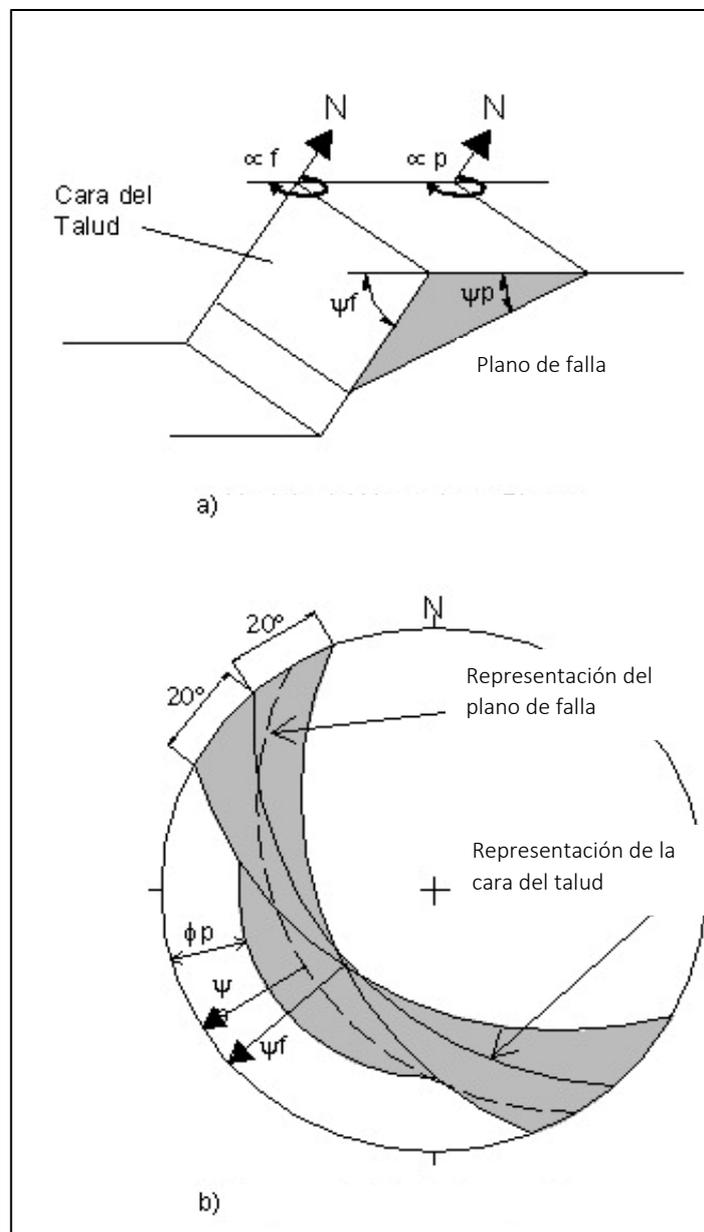


Figura 2.4 (a) Condición estructural de una Rotura Planar. b) representación estereográfica. Fuente: Herrera 2000.

Deslizamiento en cuña (wedge slide)

En este caso la masa del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se interceptan entre sí y a la vez interceptan la cara de la ladera o talud, por lo que la masa se desplaza siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos.

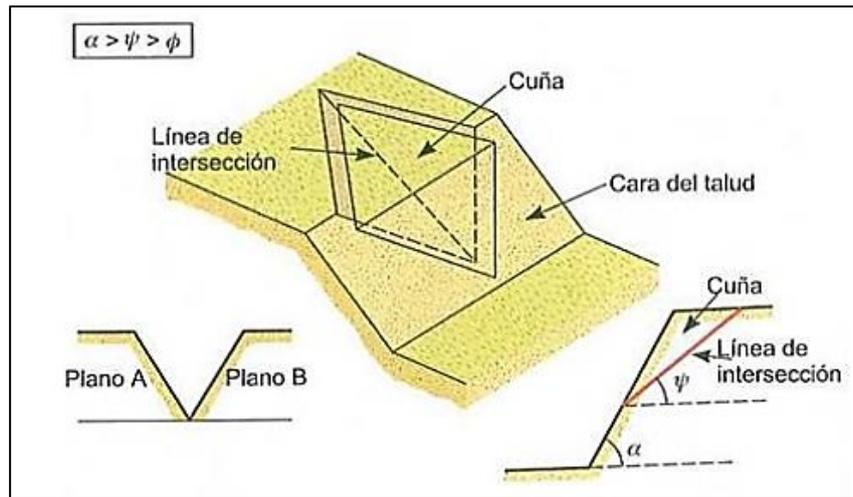


Figura 2.5 Condiciones para Rotura en Cuña. Fuente: Tomado de Gonzáles et al. 2004

Proyección estereográfica para el análisis cinemático de Rotura en Cuña.

- La línea de intersección debe aflorar en el talud. Para esto el buzamiento de la línea de intersección (ψ), cuya dirección es la dirección de desprendimiento debe ser menor que el buzamiento de la ladera (α).
- Si los ángulos de buzamiento de los planos de las estructuras son menores a los ángulos de dirección de buzamiento (Dip Dir) del talud y del azimut de la línea de intersección, entonces el deslizamiento ocurrirá en el plano de las estructuras de mayor buzamiento; en caso contrario el deslizamiento ocurrirá a lo largo de la línea de intersección.
- El buzamiento de la línea de intersección (ψ) debe ser mayor que el valor del ángulo de fricción de la superficie (ϕ).

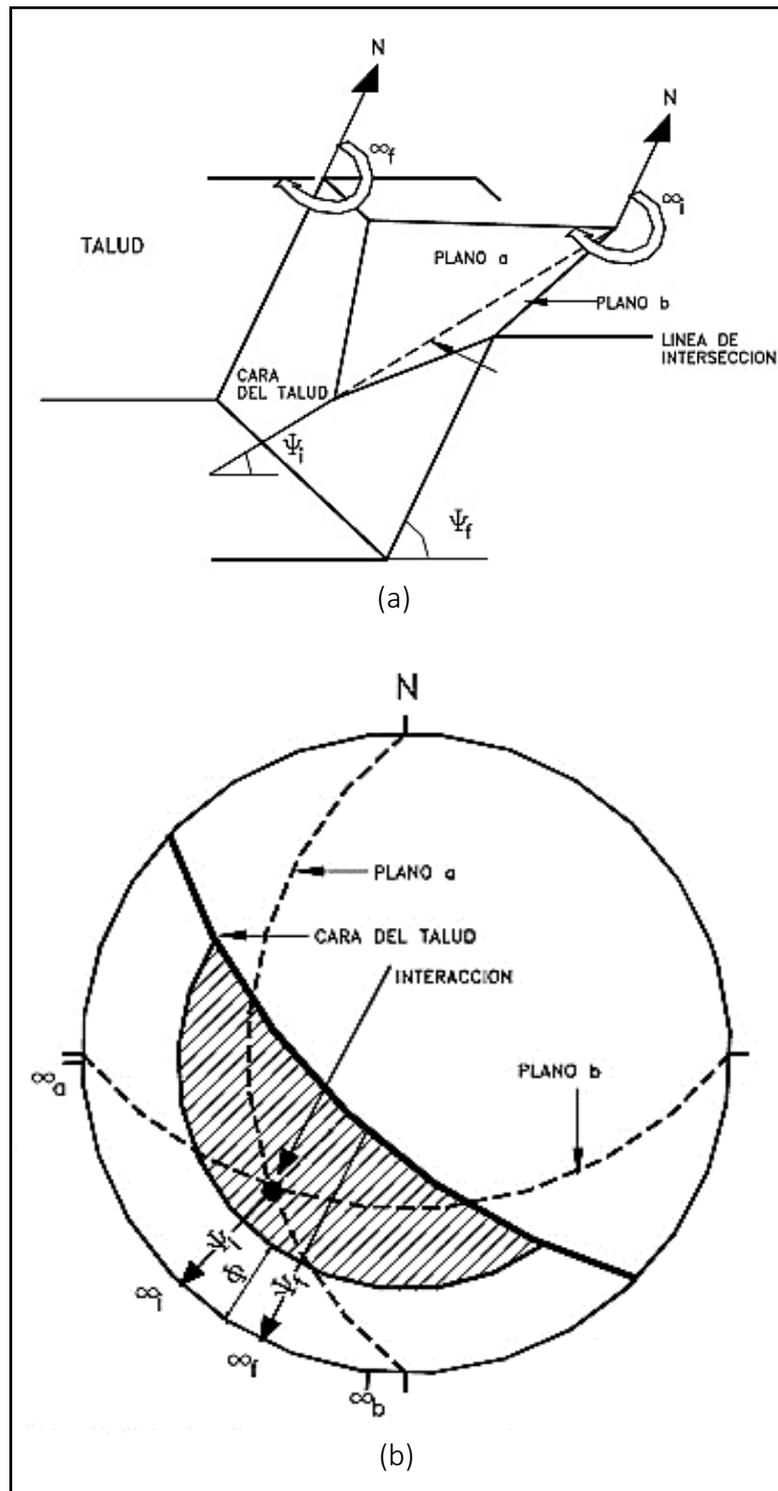


Figura 2.6. (a) Condición estructural en una Rotura en Cuña. (b) Representación estereográfica. Fuente: Herrera 2000.

2.2.4 Criterios de Rotura

Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb

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 (Gonzales de Vallejo, 2004):

$$\mathcal{T} = c' + \sigma_n \operatorname{tag} \phi'$$

Dónde:

\mathcal{T} y σ_n , son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura

c' y ϕ' son la cohesión y ángulo de rozamiento de la matriz rocosa.

El criterio puede expresarse igualmente en función de los esfuerzos principales σ_1 y σ_3

$$\sigma_1 = \frac{2c' + \sigma_3 [\operatorname{sen}2\theta + \operatorname{tag}\phi' (1 - \operatorname{cos}2\theta)]}{\operatorname{sen}2\theta - \operatorname{tag}\phi' (1 + \operatorname{cos}2\theta)}$$

Permitiendo obtener la resistencia en cualquier plano definido por θ . Para el plano crítico de rotura, $\theta = 45^\circ + \phi'/2$, la expresión anterior tomara la forma:

$$\sigma_1 = \frac{2c \operatorname{cos}\phi' + \sigma_3 (1 + \operatorname{sen}\phi')}{(1 - \operatorname{sen}\phi')}$$

Si se da la condición $\sigma_3 = 0$; σ_1 , será la resistencia a compresión simple de la roca:

$$\sigma_1 = \sigma_c = \frac{2c \operatorname{cos}\phi'}{1 - \operatorname{sen}\phi'}$$

El criterio también proporciona el valor de la resistencia a tracción:

$$\sigma_1 = \frac{2c \operatorname{cos}\phi'}{1 + \operatorname{sen}\phi'}$$

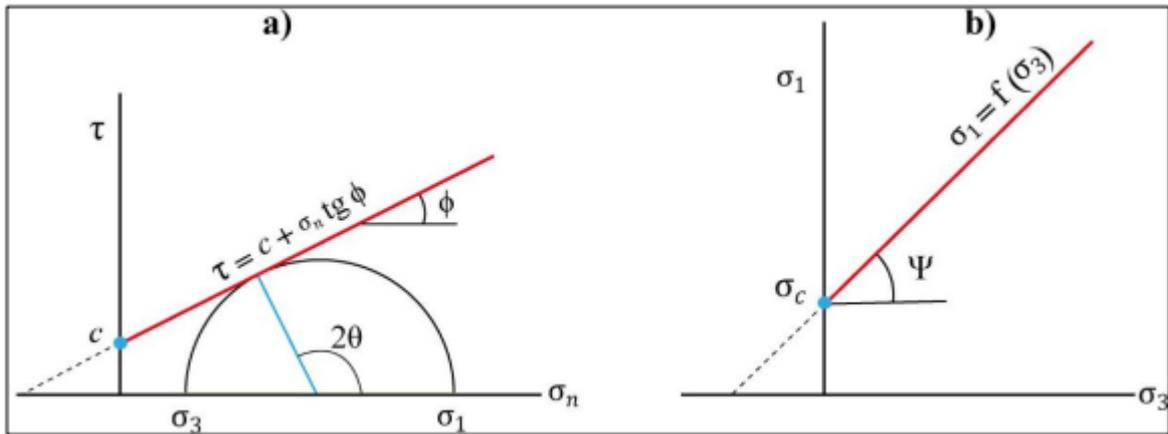


Figura 2.7 Envolventes de Mohr - Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b).

Criterio de Rotura de Hoek – Brown Generalizado

Hoek y Brown introdujeron su criterio de rotura en un intento de proporcionar los datos de partida para el análisis necesario en el diseño de excavaciones subterráneas en roca competente. El criterio partía de las propiedades de la roca intacta y el estudio del comportamiento de macizos rocosos y entonces se introducían factores reductores de estas propiedades sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado. Posteriormente, llegó a ser necesario introducir nuevos elementos cada vez que dicho criterio era aplicado a un amplio rango de problemas prácticos y considerando nuevas investigaciones se introdujo el concepto de Hoek-Brown Generalizado, esta se expresa como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

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

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

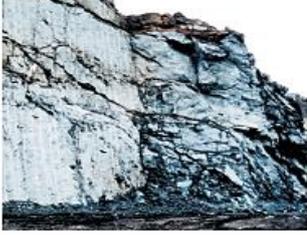
s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

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

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

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.

Tabla 2.12 Guías para estimar el Factor de Alteración D

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 afectación a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Fuente: Hoek et al., 2002.

2.2.5 Análisis de Inestabilidad

El estudio de la inestabilidad de taludes parte del conocimiento geométrico (altura e inclinación), geológico (presencia de planos, zonas de debilidad y anisotropía en el talud), hidrogeológico y geomecánico del macizo rocoso o suelo (resistencia y deformabilidad), que, junto con el análisis de los factores externos que actúan sobre el terreno, definen el comportamiento de los materiales y sus modelos y mecanismos de deformación y rotura (Gonzales et al. 2004).

Los métodos de análisis empleados para definir la estabilidad 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 los análisis de taludes. Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y rotacional (Suarez 2009).

2.2.6 Métodos de Equilibrio Límite

Los métodos de equilibrio límite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas que favorecen al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de la superficie de rotura (Gonzales et al. 2004). 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, etc.).
- 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 o favorecen el deslizamiento y las resistentes u opuestas a éstas. El valor del coeficiente de seguridad de la superficie del talud en estudio, viene a ser el equilibrio estricto o límite entre las fuerzas que actúan. (Gonzales et al. 2004).

Tabla 2.13 Métodos de Análisis de Estabilidad utilizados en la tesis

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 sobredeterminada 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 sobredeterminada 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: Tomado de Suárez, 2009.

Método de Bishop Simplificado

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$FS = \frac{\sum [C' b + (W - ub) \tan \phi' / ma]}{\sum W \sin \alpha}$$

Donde:

$$ma = \cos\alpha \left(1 + \frac{\tan\alpha \tan\phi}{FS} \right)$$

b = Ancho de la Dovela

W = Peso de cada Dovela

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

u = Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \times h_w$

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela

Método de Spencer (1967)

Inicialmente pensado para el análisis de superficies de rotura circulares, el método de Spencer (1967) puede ser aplicado a superficies no circulares siempre que se adopte uno centro de rotación friccional. En este método se suponen todas las fuerzas entre elementos, donde, W son las cargas verticales externas, E_L y E_R las fuerzas normales izquierda y derecha entre rebanadas; X_L y X_R fuerzas (verticales) entre rebanadas a izquierda y derecha; P y S son la fuerza normal y tangencial a la base de la rebanada.

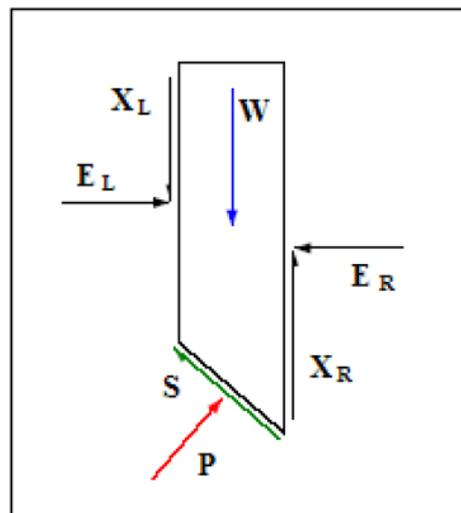


Figura 2.8 Representación de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Spencer y Morgenstern-Price.

También se supone que las fuerzas entre rebanadas tienen una inclinación constante (θ) a lo largo de toda la recta, de forma que:

$$X/E = \tan \theta$$

Dónde X son las fuerzas verticales y E las horizontales. La fuerza normal en la base del elemento será pues:

$$P = \left[W(E_R - E_L) \tan \theta - \frac{1}{FS} (c'l \sin i - u \tan \varphi' \sin i) \right] / m_i$$

Donde:

$$m_i = \cos i \left(1 + \tan i \cdot \frac{\tan \varphi'}{F} \right)$$

Dónde FS es el factor de Seguridad definido como la tensión de corte movilizada respecto la disponible; ER y EL son las fuerzas horizontales derecha e izquierda respectivamente, entre los elementos de la rebanada; u es la presión de poro en la superficie de rotura; l es la longitud de la base de la rebanada; i la inclinación de la base del elemento; c' y φ' la cohesión y el ángulo de fricción en la superficie de rotura.

Suponiendo que el ángulo θ es constante para todos los elementos de la vertiente, se pueden hacer ambos, el equilibrio global de momentos y el de fuerzas, de manera que se encuentran dos valores del Factor de Seguridad, el del equilibrio de fuerzas (Ff) y el de momentos (Fm). Se puede encontrar un valor de θ tal que ambos factores de seguridad coincidan, que será el Factor de Seguridad de la vertiente. Spencer estudió la relación entre Ff y Fm . Dedujo que el Factor de Seguridad resultante del equilibrio de momentos es relativamente insensible a las fuerzas entre elementos. Esta conclusión es coincidente con la de Bishop.

Método de Morgenstern - Price (1965)

El método de análisis desarrollado por Morgenstern y Price (1965) puede ser aplicado tanto a superficies de rotura circulares como no circulares. Es un método parecido al método de Spencer, pero en el caso de Morgenstern - Price permite la especificación de las fuerzas entre rebanadas. El esquema de fuerzas entre rebanadas es el mismo que para el método de Spencer (Imagen 2.8). Considera que las tensiones y las fuerzas varían continuamente en la superficie, resuelve las componentes normal y paralela a la base para cada elemento formulando ecuaciones de equilibrio de fuerza generales. Supone que existe la siguiente relación entre esta componente vertical y normal:

$$X/E = \lambda \cdot f(x)$$

Dónde $f(x)$ es la función que varía de forma continua a lo largo de la línea, y λ es un valor escala. Para una función dada $f(x)$, los valores de λ y F se encuentran de forma que se cumplan los equilibrios globales de Momentos y Fuerzas. De esta forma $F = Fm = Ff$.

Para escoger $f(x)$ se puede hacer considerando la distribución de tensiones normales a los límites de los elementos. En general no tiene que haber tensiones efectivas de tracción y las tensiones de corte deben ser menores a las requeridas por el equilibrio crítico local.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Macizo rocoso

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula (Gonzales et al. 2004).

Matriz rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral (Gonzales et al. 2004).

Discontinuidad

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 (Gonzales et al. 2004).

Meteorización

Denominada también intemperización, está relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa. La meteorización se divide en meteorización física, química y biológica. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía 2004).

Factor de seguridad

El Factor de Seguridad es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia (capacidad) y las fuerzas impulsoras (demanda) del sistema en su entorno considerado. (Read y Stacey 2009).

Factores geológicos

Son la estratigrafía, litología y estructuras geológicas de un talud (Gonzales et al. 2004).

Factores geométricos

Determinan la altura e inclinación de un talud (Gonzales et al. 2004).

Factores geomecánicos

Determinan el comportamiento mecánico del terreno (Gonzales et al. 2004).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Ubicación Geográfica

La carretera Leimebamba – Atuen se encuentra ubicada al NE del distrito de Chuquibamba, en el cuadrángulo de Leimebamba 14h con una extensión de 27 km. Las coordenadas que definen el tramo de investigación se encuentran en la Tabla 15. y abarca una extensión de 7 km. El tramo de investigación se observa en el Plano N°01 (Plano de Ubicación).

Tabla 3.1.1 Coordenadas UTM - WGS84 del tramo de investigación

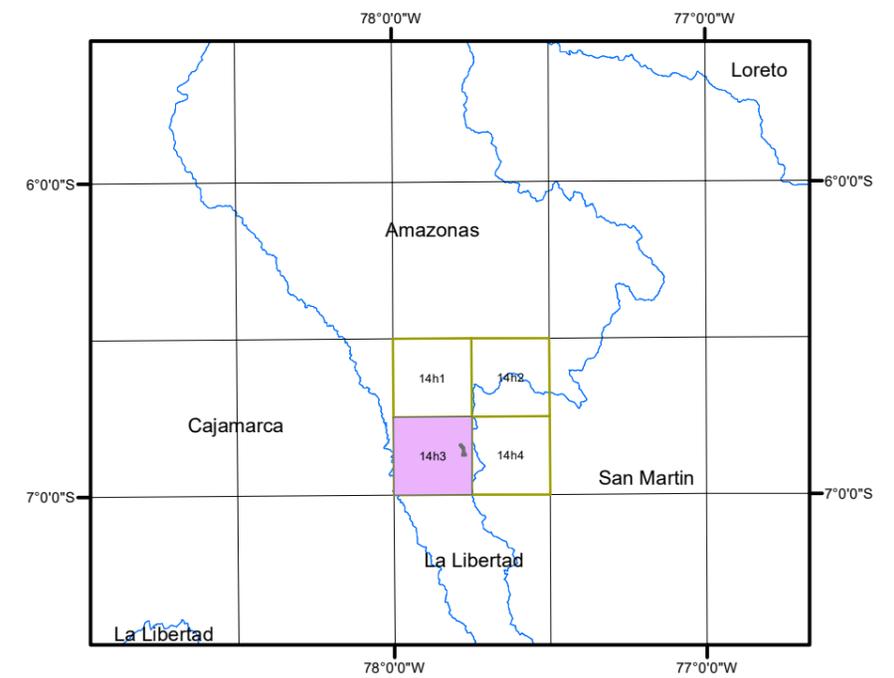
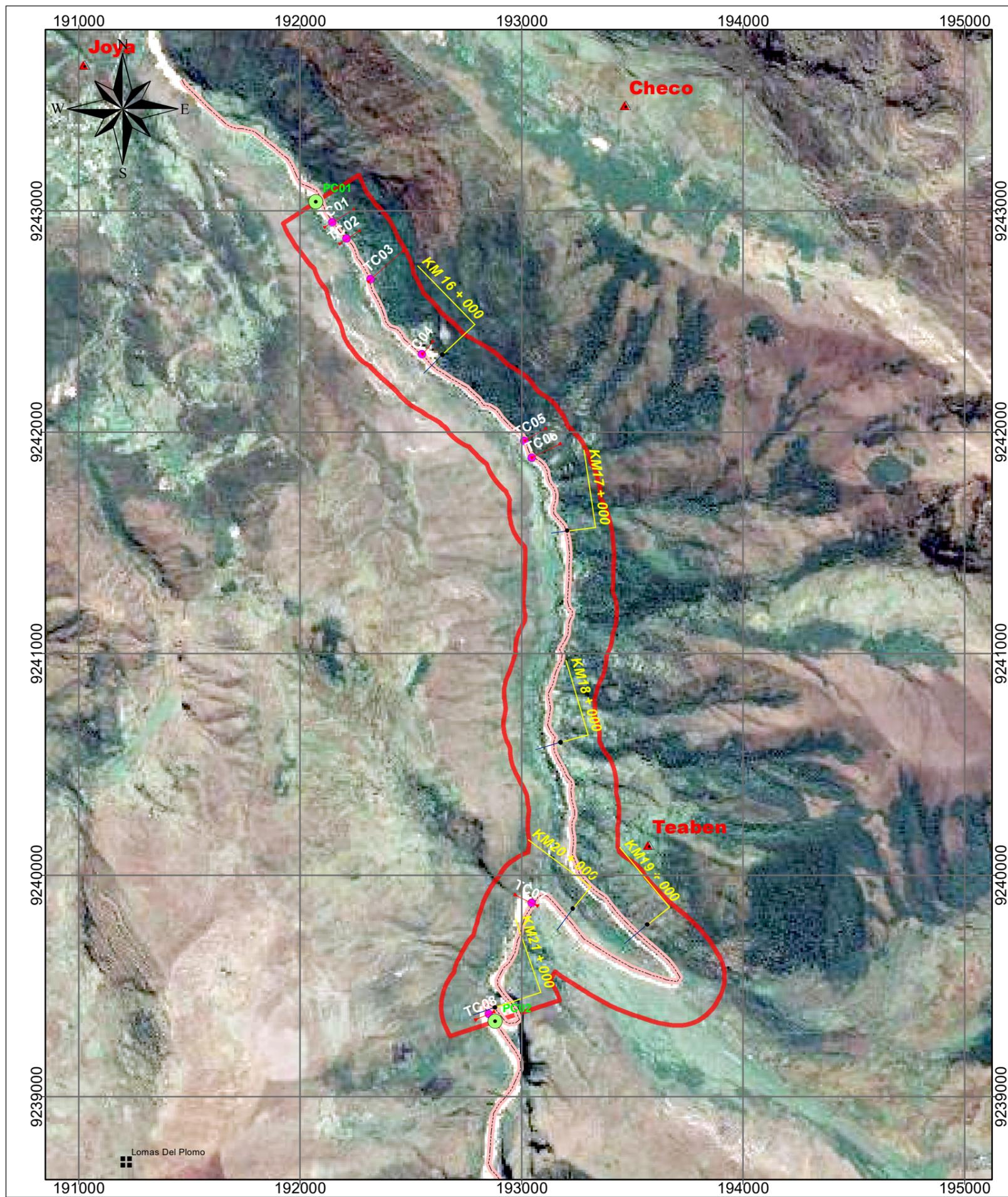
TRAMO	KILOMETRO	ESTE	NORTE	ALTIDUD
PI	Km 15	192032	9243118	3039 m.s.n.m.
PF	Km 22	192851	9238696	3315 m.s.n.m.

3.1.2 Ubicación Política

Políticamente La carretera Leimebamba – Atuen abarca el Anexo de Atuen (distrito Chuquibamba) y el distrito de Leimebamba, provincia Chachapoyas y departamento de Amazonas.

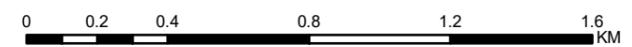
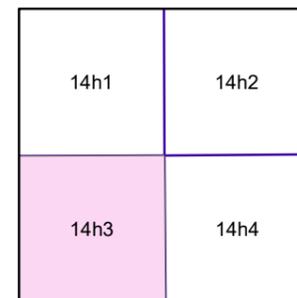
3.2 ACCESIBILIDAD

El acceso al área de investigación es a través de 2 rutas, las cuales se detallan a continuación, ver Plano N°02 (Plano de accesibilidad):



SIMBOLOGÍA

- AREA_INFLUENCIA
- PUNTOS LÍMITES
- ESTACIONES
- CORTE_TALUDES
- PROGRESIVAS
- ▲ PUEBLOS
- CARRETERA
- CERROS



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica			
	Tesis: ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS		
	Plano: IMAGEN SATELITAL - UBICACIÓN	PLANO N°:	
	Tesista: Bach. Trinidad Emérita Sánchez Araujo	01	
Asesor: Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado	Datum: WGS-84	Zona: 18S	Fecha: Marzo-2022
			Escala: 1:20,000

Tabla 3.2 Ruta N°1 de acceso a la zona de investigación

RUTA 01	DISTANCIA	ESTADO	TIEMPO
Cajamarca - Chacanto	159.7 km	Asfaltada	4 horas
Chacanto - Leimebamba	89.8 km	Asfaltada	3 horas
Leimebamba - Atuen	27 km	Trocha	2 horas

Tabla 3.3 Ruta N°2 de acceso a la zona de investigación.

RUTA 02	DISTANCIA	ESTADO	TIEMPO
Cajamarca – San Vicente	192.7 km	Asfaltada - Trocha	4:30 horas
San Vicente - Chuquibamba	27 km	Trocha	1 hora
Chuquibamba - Atuen	26 km	Trocha	2 horas
Atuen - Leimebamba	27 km	Trocha	2 horas

3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

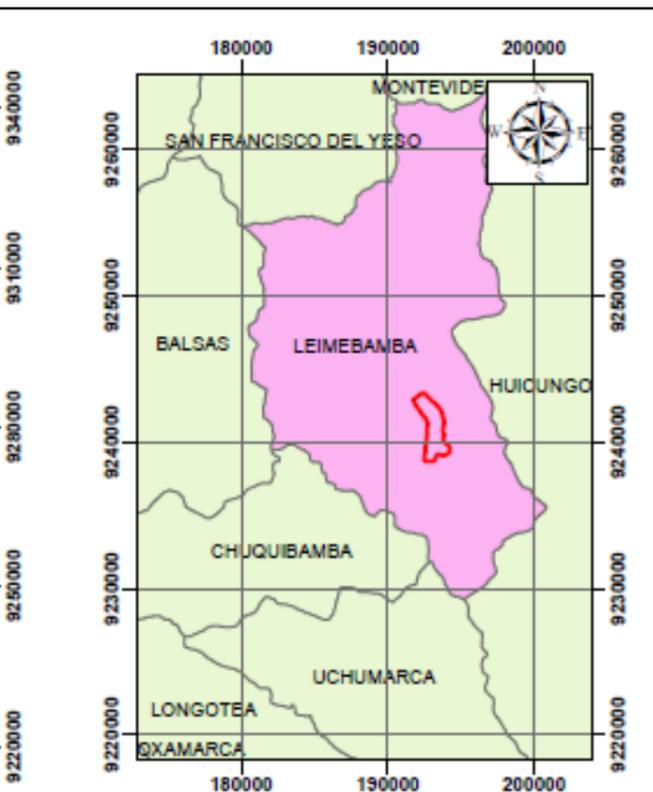
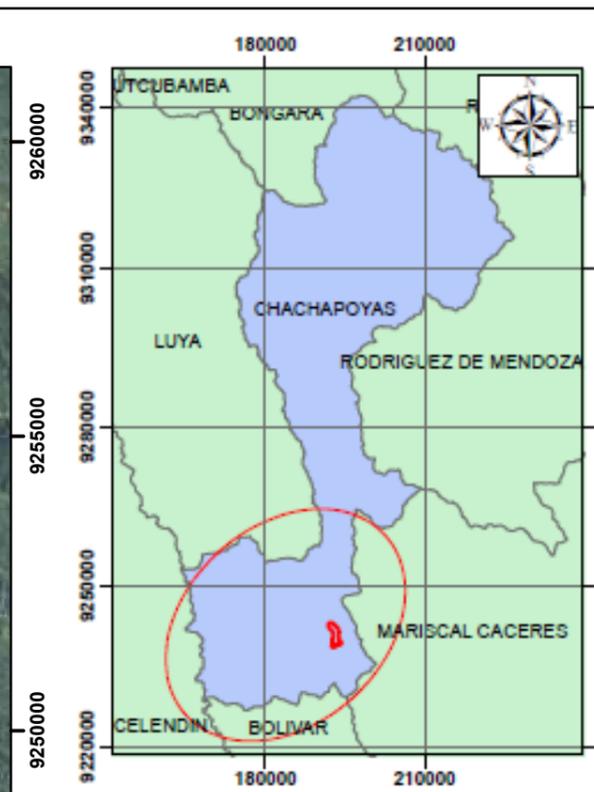
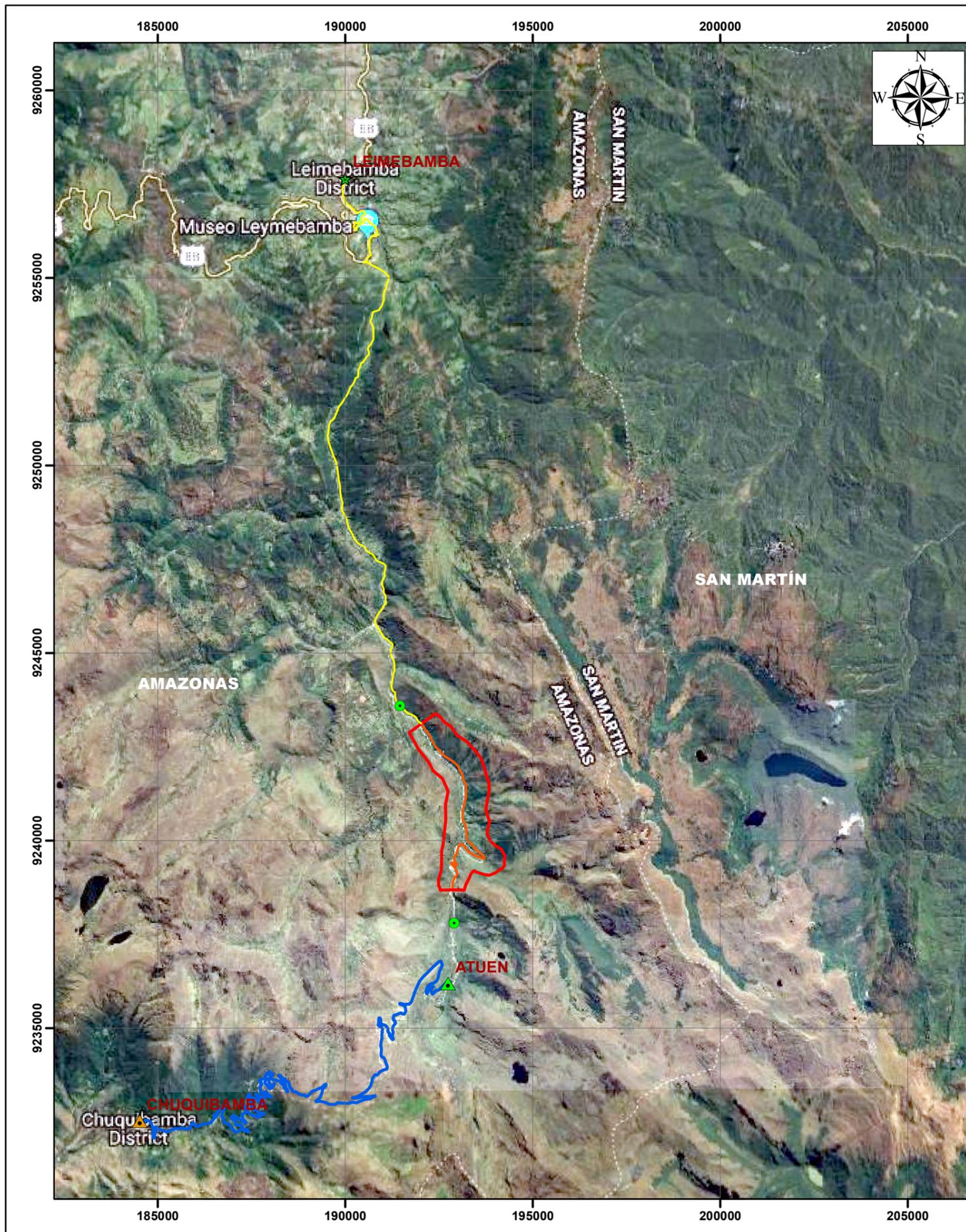
La vegetación del área de investigación se caracteriza por sauco, aliso, campanillo, quishuar; arbustos de tallo corto como: sonche, chilca, ichu; pastos para ganadería heno, grama dulce, pasto ovillo y en las partes de valle y lomadas se tienen sembríos como papa, ocas, ollucos y habas las cuales están asociadas a épocas de lluvias.

Con respecto al clima, los datos de temperatura (máxima y mínima) se presentan en la Tabla 3.4 y corresponden a data del año 2021 según el SENAMHI y la DRD (Dirección de Redes de Observación y Datos); donde la temperatura máxima la tenemos en el mes de febrero y octubre y es de 24.2° y la temperatura mínima 3.2° y 4° en los meses de agosto y julio respectivamente.

Tabla 3.4 Tabla de temperatura de la provincia de Chachapoyas – Año 2021

TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA - AÑO 2021												
ESTACIÓN CHACHAPOYAS												
(Amazonas-Chachapoyas-Chachapoyas)												
MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC
T°(max)	21.4	24.2	21.4	21.6	22.6	21.8	22.4	23.2	23.8	24.2	---	---
T°(min)	8	8.8	11	10.4	7	7.2	4	3.2	7.8	5.0	---	---

Fuente: SENAMHI / DRD. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>



SIMBOLOGÍA

- DISTRITO
- CENTRO POBLADO
- CIUDAD
- PROVINCIA CHACHAPOYAS
- TRAMO DE INVESTIGACIÓN
- PUNTO LIMITE
- ÁREA DE INVESTIGACIÓN

ACCESIBILIDAD

- LEIMEBAMBA - ATUEN - PC1 (CARRETERA AFIRMADA)
- CHUQUIBAMBA - ATUEN - PC2 (TROCHA CARROZABLE)



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica			
	Tesis: ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000, DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS		
	Plano: IMAGEN SATELITAL - ACCESIBILIDAD	PLANO N°: 02	
	Tesista: Bach. Trinidad Emérita Sánchez Araujo	Asesor: Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado	
Datum: WGS-84	Zona: 18S	Fecha: Marzo-2022	Escala: 1:120,000

Con respecto a las precipitaciones durante el periodo 2017 y 2021; los meses que presentan mayor precipitación son: octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, con volumen promedio de mensual 132.2 mm (volumen al año 926.2mm.); mientras que los meses de mayo, junio, julio agosto y setiembre presentan un volumen promedio de 45.06mm.

Tabla 3.5 Tabla de precipitaciones mensuales – Año 2017-2021

PRECIPITACIONES MENSUALES PARA EL PERIODO 2017-2021													Promedio Anual
MES/AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC	
2017	144.7	146.2	173.7	147.5	62.32	2.36	3.80	100	43.6	92	83.8	148.4	95.7
2018	142.5	171.4	132.6	203.2	94.47	41.2	11.15	12.9	30	173.5	126	156.79	108.0
2019	193.5	194.4	273.4	80.82	112.6	28.2	42.9	20.7	16.1	106	157	166.1	116.1
2020	95.4	91.71	79.0	101	63.37	43.7	72.9	33.6	66	22	57.5	210.71	78.1
2021	132.6	61.8	67.18	67.18	39.75	30.2	16.4	49.3	88.7	114	106	210.7	82.0
Promedio mensual	141.8	133.1	145.2	119.9	74.5	29.1	29.4	43.3	48.9	102	106	178.5	

Fuente: SENAMHI / DRD. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Tipo y Método de Investigación

La investigación fue tipo no experimental, transversal; de alcance descriptivo, correlacional y explicativo. El método de la investigación será deductivo-inductivo.

3.4.2 Población de Estudio

Taludes del tramo Km 15 + 000 – Km 22 + 000 de la carretera Leimebamba – Atuen (ver plano 02).

3.4.3 Muestra de Estudio

Zonas críticas del tramo km15 + 000 – km22 + 000 de la carretera Leimebamba – Atuen (ver plano 02).

3.4.4 Unidad de Análisis

Inestabilidad de taludes en las Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga del tramo Km 15 + 000 – Km 22 + 000 de la carretera Leimebamba – Atuen.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas

- Observación de campo y análisis documental.
- Interpretación de imágenes satelitales.
- Ensayos geomecánicos
- Recolección de información mediante tablas geomecánicas.
- Procesamiento de información de propiedades geomecánicas en el software Rock Data.
- Análisis mediante Software Dips, Slide.

3.5.2 Instrumentos y Equipos de Recopilación de datos

Instrumentos: Matriz geológica-geotécnica, libreta de campo, imágenes satelitales, planos topográficos.

Equipos: Brújula, GPS, wincha, Cámara fotográfica, Picota geológica, Lápiz de dureza, Protactor, Tableros, Lapiceros y lápices

Softwares: SAS Planet, ArcGIS 10.5, DIPs, Slide, AutoCAD 2018.

3.6 PROCEDIMIENTO

3.6.1 Etapa Preliminar

Conformada por la planificación de tareas, asociada a la recopilación de teorías relacionadas con el problema de investigación que serán base fundamental para lograr el análisis respectivo (libros, estudios, investigaciones, tesis y papers relacionados), evaluación e

interpretación de imágenes satelitales para un mejor estudio de estructuras y geoformas. Elaboraron de planos básicos y necesarios (ubicación, geológico y topográfico), teniendo en cuenta la data de la carta 14-h (Leimebamba) tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

3.6.2 Etapa de campo

Comprende el cartografiado geológico del tramo de carretera en investigación a una escala 1: 20 000, descripción de los macizos rocosos teniendo en cuenta su aspecto geo-estructural, geomorfológico, geodinámico y geomecánico, los que permitirán conocer con la mayor precisión los parámetros que afectan a los macizos rocosos del área en investigación.

3.6.3 Trabajo de Gabinete

Conformada por el análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo. Se procedió a analizar la calidad de la data, realizar la caracterización geomecánica RMR89, se hizo uso de los Softwares RocData, Dips y Slide V.6 para obtener resultados e interpretarlos, definiéndose de esta manera la inestabilidad de los taludes. Finalmente, se procede a presentar el proyecto de investigación.

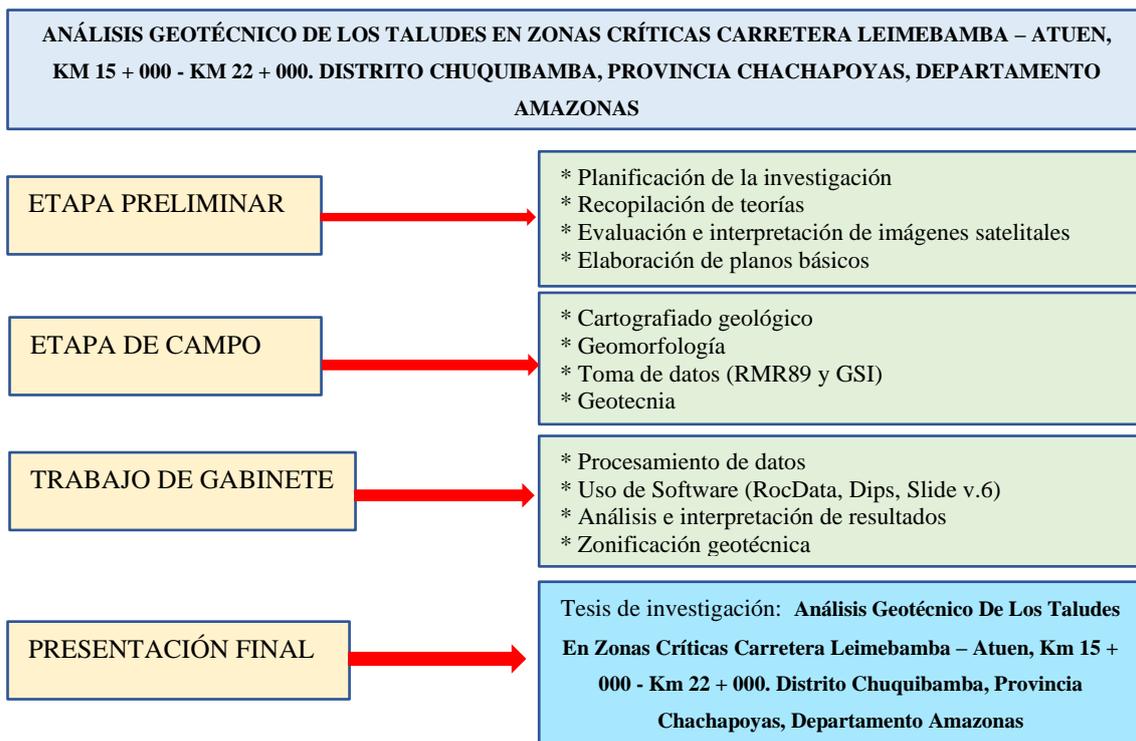


Figura 3.1 Etapas del proceso de investigación

3.7 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía local está constituida por una secuencia sedimentaria del Grupo Pucará, perteneciente al Triásico superior y Jurásico inferior; conformada por las Formaciones Chambará y Aramachay. Rodeando los cauces de los ríos se encuentran depósitos cuaternarios Glaciofluviales y Aluviales, los que son producto del traslado de material erosionado movido por glaciares y posteriormente ordenados y depositado por corrientes que fluyen desde el punto de fusión de hielo. La estratigrafía que incide en el comportamiento geodinámico del área de investigación son las Formaciones Chambará y Aramachay, que pertenecen al grupo Pucará (Ver plano N°03- Geológico - Estructural).

3.7.1 Depósitos Aluviales (Q-al)

Conformadas por gravas y clastos subredondeados que se encuentran en la quebrada y márgenes del río Atuen. Presentan niveles de arenas y limos cerca al cauce del río.

3.7.2 Depósitos Glaciofluviales (Q-gf).

Conformado principalmente por gravas y arena. Los depósitos glacio-fluviales están representados por los materiales ubicados en la parte alta de la Cordillera Oriental, donde la actividad de las masas glaciares da lugar a la acumulación de morrenas de modo restringido. Están compuestos por material heterométrico, de gravas subredondeadas, en matriz areno-limosa, de profundidad y permeabilidad variable y medianamente compactos. Han sufrido removilización por acción fluvial.



Foto 3.1 Depósitos Glaciofluviales. Coordenadas: E 192860 N 9238786 Cota 3258 m.s.n.m.

3.7.3 Formación Condorsinga (Ji-c).

La Formación Condorsinga consta de una secuencia de calizas micríticas de color gris a crema, generalmente dispuesta en estratos delgados entre 10 a 30 cm. de espesor. En algunos casos, tiene intercalaciones de limo-arcillitas de colores gris claro, verdoso a amarillentas, se caracteriza por su estratificación delgada en su base y gruesa hacia el tope, además es más resistente a la erosión, que los afloramientos de la formación anterior.

Los afloramientos de esta formación están en el lado opuesto de la zona de toma de datos, no se tomó datos en esta formación.

3.7.4 Formación Aramachay (Ji-a).

Está conformada por calizas y limo arcillitas color marrón oscuro, intercaladas con calizas grises a negras, bituminosas, limo-arcillitas calcáreas color marrón oscuro, y se diferencia de los afloramientos de la formación infrayacente y suprayacente por su menor resistencia a la erosión y porque superficialmente presentan coloraciones cremas de aspecto terroso. En la zona es reconocible por sus afloramientos menos resistentes a la erosión, sus estratos están generalmente limitados por superficies de estratificación planas y paralelas.

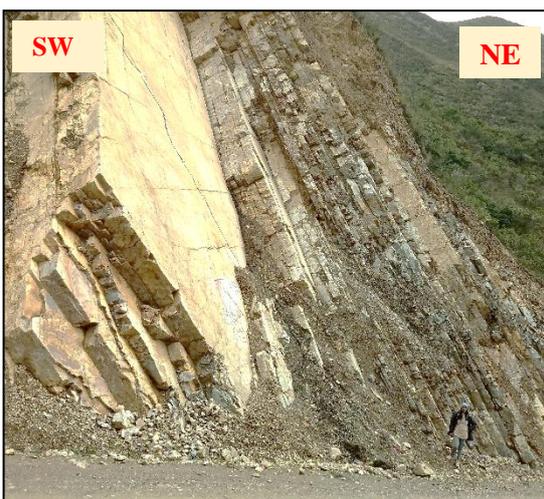


Foto 3.2 Estratos de calizas de la formación Aramachay; con estratificación plana y color amarillento. Coordenadas: E 192850 N 9239381 Cota 3256 m.s.n.m.



Foto 3.3 Calizas con intercalación de lutitas rojizas y amarillas. Coordenadas: E 192954 N 9239027 Cota 3257 m.s.n.m.

3.7.5 Formación Chambará (TR-ch).

Los afloramientos de esta formación se extienden por casi todo el tramo de carretera en estudio, desde el km 15 hasta el km 20 y es precisamente en estos afloramientos donde se tomaron la mayor cantidad de datos, pues es donde se encuentran las zonas críticas de la investigación. Está formada por calizas grises a gris oscuras con coloraciones superficiales beige a marrón claro (esto debido a la meteorización generada por el agua), con presencia de nódulos calcáreos. Son resistentes de apariencia maciza, sin embargo, en algunos lugares se observan estructuras kársticas (estalactitas, estalagmitas y columnas), pequeñas cuevas y depresiones; escarpas empinadas. También encontramos intercalación de lutitas amarillentas.



Foto 3.4 Estratos de calizas de la formación Chambará. Espesor de 15 a 40cm. Coordenadas: E 192187 N 9242897 Cota 3054 m.s.n.m

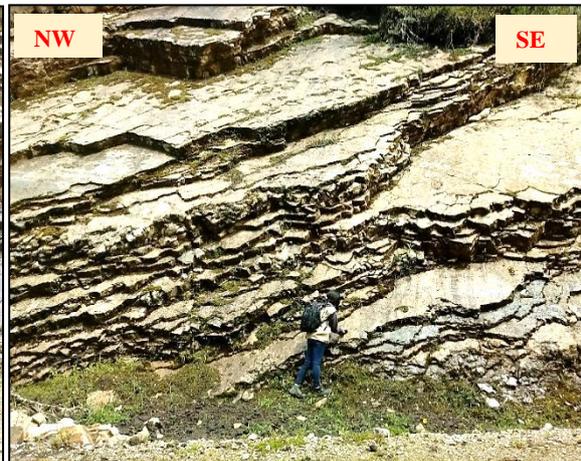


Foto 3.5 Estratos de calizas de la formación Chambará. Espesor de 15 a 30cm. Coordenadas: E 193731 N 9242208 Cota 3086 m.s.n.m



Foto 3.6 Estructuras kársticas (Estalagmitas y Estalactitas), producto de la precipitación de carbonatos.



Foto 3.7 Columna de Calcita (unión de estalactita con estalagmita) de 15 cm

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA ZONA							
M.A.	EON	ERA	SIS.	EPOCA	ESPESOR	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA
19060	FANEROZOICO	CEN.	CUATE	PLEISTOC		DEPÓSITOS ALUVIALES DEPÓSITOS GLACIOFLUVIALES	
161.2+/-4		MESOZOICO	JURÁSICO	INFERIOR		GRUPO PUCARÁ	Formación Condorsinga
199.6+/-0.6				SUPERIOR			Formación Aramachay
228+/-2			TRIÁSICO	Formación Chamará			

Figura 3.2 Columna Estratigráfica Local

3.8 UNIDADES MORFOGENÉTICAS (UH)

Las unidades morfo genéticas de la zona están conformadas mayormente por montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente, alineamiento montañoso compuesto por secuencias estratificadas, plegadas y/o con buzamientos de las capas que controlan la pendiente de las laderas, conformando anticlinales, sinclinales, cuevas y espinazos. Las pendientes varían desde moderadas a muy abruptas ($> 30^\circ$); su asociación litológica es principalmente sedimentaria. También está conformado por sedimentos de formas irregulares que bordean zonas montañosas que han sufrido proceso de deglaciación en el Pleistoceno (depósitos glacio-fluviales).

Debido a las geoformas presentes en el terreno es propenso a los siguientes riesgos geológicos: derrumbe, caída de rocas, deslizamientos (en roca) y procesos de erosión de laderas.

Para la definición de las Unidades Morfo genéticas (UM) se ha tomado en cuenta la clasificación que se muestra en la Tabla 3.6, cuyas variables base fueron las propuestas por Tapia-Varela, y López-Blanco, 2001 y modificadas por Rodríguez 2016., las cuales se denominaron: planicies, lomadas, laderas y escarpas.

Tabla 3.6 Clasificación para Unidades Morfogenéticas

TIPO DE RELIEVE	GEOMETRÍA	LITOLOGÍA	ORIGEN	EDAD DE LA LITOLOGÍA		
				Periodo	Época	Edad
Unidad Morfogenética (UM)	Pendiente	Asociada a su composición	Asociado al evento o proceso geológico			
Planicies	0° - 8°					
Lomadas	8° - 20°					
Laderas	20° - 50°					
Escarpas	>50°					

Fuente: Rodríguez 2016.

La clasificación es bastante simple, concreta y económica cuando se trata de definir el comportamiento y estabilidad de lugares con problemas geodinámicos y geotécnicos. La clasificación propuesta se diferencia de la clasificación de (Tapia-Varela y López-Blanco, 2001), por la denominación del relieve como Unidades Morfogenéticas (UM) y la cuantificación de la geometría (pendientes). (Rodríguez 2016).

Planicies

Superficies planas, bastante homogéneas, ligeramente onduladas; estas formas están asociadas a laderas estructurales, depósitos aluviales antiguos y fluvio-glaciares, ubicados inmediatamente a los cursos fluviales y fondos de valle; con poca erosión actual y fácil de manejar para actividades agrícolas y ganaderas. Está afectada por los procesos de erosión pluvial. Su extensión está limitada a los valles. Se consideró también las terrazas fluviales y llanuras de inundación de poca amplitud y mostrando en general una pendiente entre 1° y 8°.



Foto 3.8 Planicie a la margen derecha del río Atuen. Utilizado para la ganadería. Coordenadas: E 192874 N 9238844 Cota 3265 m.s.n.m.

Lomadas

Son relieves con pequeñas elevaciones homogéneas y pendientes suaves. Su rango de pendientes está entre 8° y 20° , y sirven parcialmente como terrenos de pastoreo, agricultura y ganadería. En la zona está litológicamente asociada a las formaciones Chambará y Aramachay a ambos márgenes del río Atuen.

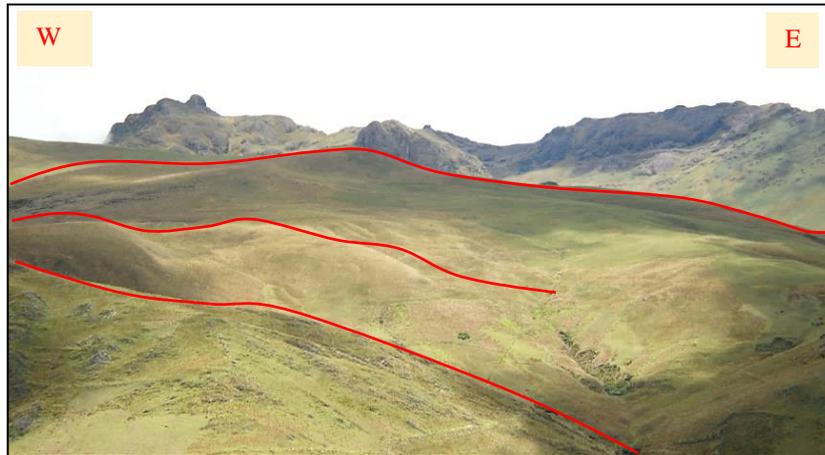


Foto 3.9 Lomadas con escasa vegetación, con pendiente no mayor de 30° , utilizados para la actividad ganadera. Coordenadas: E 193847 N 9239495 Cota 3090 m.s.n.m.

Laderas

Alineamiento montañoso compuesto por secuencias estratificadas plegadas cuyas pendientes varían desde moderadas a abruptas (20° a 50°); compuestas principalmente por calizas, fuertemente fracturadas y altamente meteorizables, debido a los agentes erosivos y los cambios litológicos. Son comunes a lo largo de todo el tramo de carretera.



Foto 3.10 Ladera de calizas de la Formación Chambará, con ángulo de 45° . Coordenadas: E 192738 N 9242222 Cota 3100 m.s.n.m.



Foto 3.11 Ladera con un ángulo de 40° ; Formación Chambará. Coordenadas: E 192319 N 9242673 Cota 3095 m.s.n.m.

Escarpes

En la zona se puede observar pendientes pronunciadas del terreno mayor a 60 ° conformadas principalmente por calizas de la formación Aramachay. Por la disposición de sus estratos con respecto al talud y el grado de meteorización, son zonas críticas que presentan inestabilidad.



Foto 3.12 Escarpe en calizas de la Formación Aramachay, ángulo de 75°.
Coordenadas: E 192850 N 9239381 Cota 3256 m.s.n.m.

Como resumen general presentamos en el siguiente cuadro las Unidades Morfogenéticas principales definidas en la zona.

Tabla 3.7 Unidades Morfogenéticas

TIPO DE RELIEVE	GEOMETRÍA	LITOLOGÍA	ORIGEN	EDAD DE LA LITOLOGÍA		
				Periodo	Época	Edad
Unidad Morfogenética (UM)	Pendiente	Asociada a su composición	Asociado al evento o proceso geológico	Periodo	Época	Edad
Planicie	0° - 8°	Depósitos Gl.	Transportados	Cuaternario	Pl - Ho	
Lomada / Ladera	8° - 35°	Fm. Chambará	Sedimentario	Triásico	Superior	Noriano Rhaetiano
Lomada / Ladera	10° - 40°	Fm. Chambará	Sedimentario	Triásico	Superior	Noriano Rhaetiano
Ladera	20° - 50°	Fm. Chambará	Sedimentario	Triásico	Superior	Noriano Rhaetiano
Escarpa	50° - 85°	Fm. Aramachay	Sedimentario	Jurásico	Inferior	Pliensbachiano inferior

3.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El análisis estructural procura representar la orientación espacial de las diferentes estructuras geológicas, con el objetivo de entender los mecanismos de deformación en el área de estudio y poder definir una distribución de tensiones que originan las estructuras.

Los esfuerzos actuantes en los estratos de la zona de investigación, han generado deformaciones dúctiles y frágiles; por ende, el tramo de carretera en investigación se encuentra controlada por estructuras continuas (anticlinales, sinclinales y micropliegues) y discontinuas (diaclasas y fallas).

Anticlinal (Pliegue Inclinado):

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 Aramachay. En la Foto 3.14, el flanco izquierdo del anticlinal posee buzamiento de 35° SE y flanco derecho buzamiento de 89° NW. En la Foto 3.15, flanco izquierdo con buzamiento de 60° NW y flanco derecho, 25° SE de buzamiento.



Foto 3.13 Anticlinal (formación Aramachay)
Coordenadas: E 192925 N 9239585 Cota 3247 m.s.n.m.

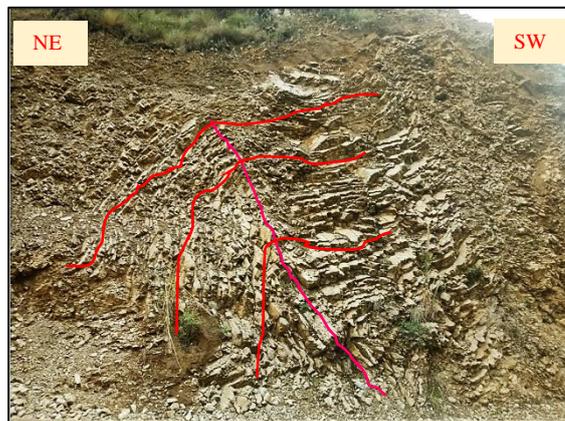


Foto 3.14 Anticlinal (formación Aramachay)
Coordenadas: E 192923 N 9239582 Cota 3246 m.s.n.m.

Pliegues Tipo Chevron

Este tipo de pliegues se evidencia en el punto E 192898 N 9239535 Cota 3248 m.s.n.m. donde se aprecia que la charnela del pliegue es muy aguda, llegando hasta el punto de rotura, tal como se observa en la Foto 3.15.



Foto 3.15 Pliegues tipo Chevron de la formación Aramachay
 Coordenadas: E 192898 N 9239535 Cota 3248 m.s.n.m.

Micropliegues

Los micropliegues se producen por lo general en estratos de poco espesor ya que poseen una mayor plasticidad; en las Fotos 3.16 y 3.17 se puede observar ligeras ondulaciones en los estratos delgados (0.10m a 0.15m de espesor) de las rocas calizas de la formación Chambará, formando micropliegues que dan indicio de las fuerzas actuantes y deformacionales que actúan sobre el macizo rocoso cambiando la forma del estrato sin perturbar su continuidad.



Foto 3.16 Micropliegues en los estratos de la formación Chambará. Coordenadas: E 192970 N 9239696 Cota 3250 m.s.n.m.



Foto 3.17 Micropliegues en los estratos de la formación Chambará. Coordenadas: E 192970 N 9239696 Cota 3250 m.s.n.m.

Fallas

En el punto E 192367 N 9242542 Cota 3238 m.s.n.m., se evidencia falla normal en estratos de roca caliza de la formación Chambará, donde la zona del plano de falla se encuentra severamente meteorizado y alterado, con grado de fracturamiento intenso. La orientación del plano de falla es de 230°N y buzamiento de 45° (ver Foto 3.18).

En el punto E 192902 N 9239598 Cota 3249 m.s.n.m., se evidencia falla inversa en estratos de roca caliza de la formación Aramachay, se deduce el plano de falla teniendo en cuenta la orientación y buzamiento de los estratos que se observan a ambos lados de la falla. La orientación del plano de falla es de 255°N y buzamiento de 75° ((ver Foto 3.19).

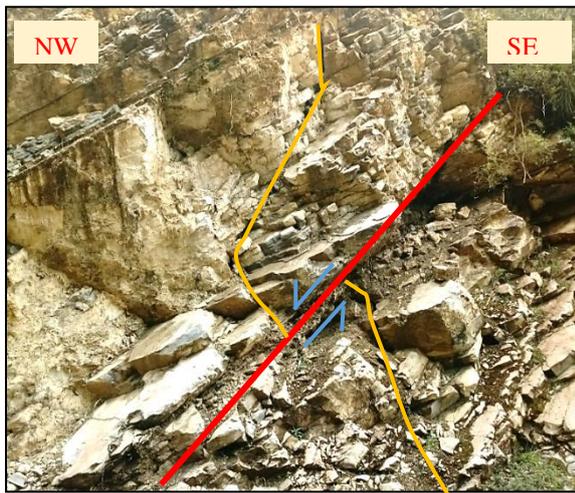


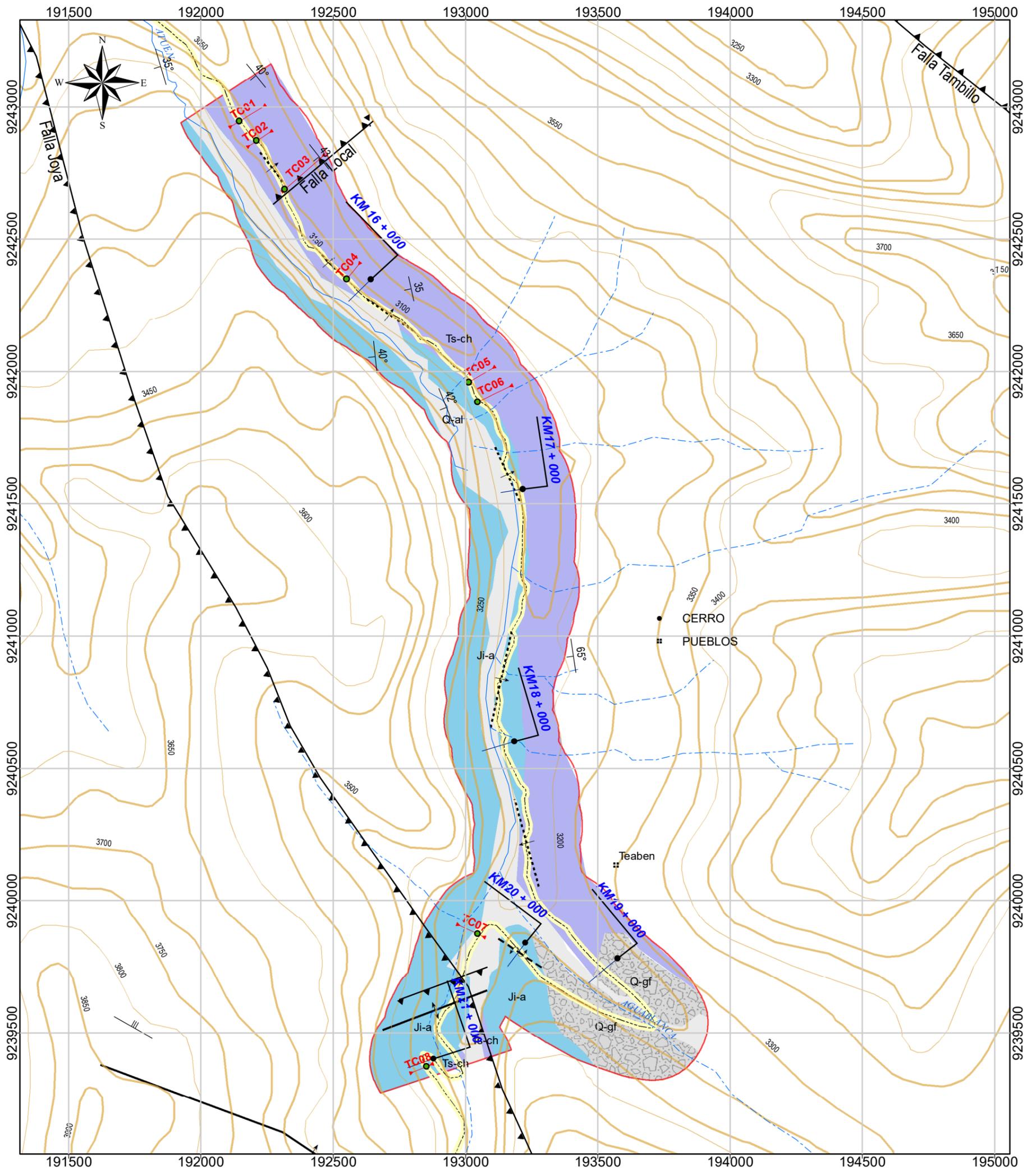
Foto 3.18 Falla normal en rocas de la formación Chambará.



Foto 3.19 Falla Inversa (Formación Aramachay)

3.10 GEOTECNIA

La caracterización geotécnica de la carretera Leimebamba – Atuen se ha sectorizado por estaciones de puntos críticos (TC), donde se definió el comportamiento geológico – geomecánico, mediante la Valoración del Macizo Rocos (RMR) Bieniawski 1989; Índice de Calidad de la Roca (RQD) e Índice de Resistencia Geológica (GSI) según Hoek, 2013. Dentro de la metodología analítica se realizó proyecciones estereográficas (Dips.v6.0), con las familias de discontinuidades propensas a producir las fallas del tipo planar y cuña. Para luego calcular el Factor de seguridad (FS) de los taludes mediante el método de equilibrio límite (Slide.v6.0).



LEYENDA	
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
	Depósito Aluvial
	Depósito Glaciofluvial
	Discordancia Angular
	Formación Condorsinga
	Formación Aramachay
	Formación Chambará

SIMBOLOGÍA	
	AREA_INFLUENCIA
	CORTE_TALUDES
	ESTACIONES
	FALLA INVERSA
	ANTICLINAL
	SINCLINAL
	CHEVRON
	MICROPLIEGUES
	BUZAMIENTOS
	CARRETERA

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S

 Projection: Transverse Mercator

 Datum: WGS 1984

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	Tesis: ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS	
Plano:	GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL	03
Tesista:	Bach. Trinidad Emérita Sánchez Araujo	
Asesor:	Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado	
Datum:	WGS-84	Zona: 18S
	Fecha:	Marzo-2022
	Escala:	1:15,000

Para definir los estados críticos de los taludes se ha utilizado el cálculo de FS en condiciones de tensiones totales y condiciones efectivas más sismicidad; debido a que la zona de investigación presenta una etapa de lluvia bastante importante entre los meses de octubre y abril con promedios de 132.3 mm precipitación, así mismo encontramos que la zona está muy cerca de una zona altamente sísmica como es la parte centro norte del departamento de San Martín.

Para definir las condiciones sísmicas se tomó como referencia la Norma Técnica E.030 DISEÑO SISMOTERRESTRE – RNE 2016. Según lo indicado anteriormente nuestra área de investigación corresponde la zona sísmica 2, con aceleración sísmica máxima de 0.25; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.125 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.0625 (Kv), calculado con el software LoadCap.

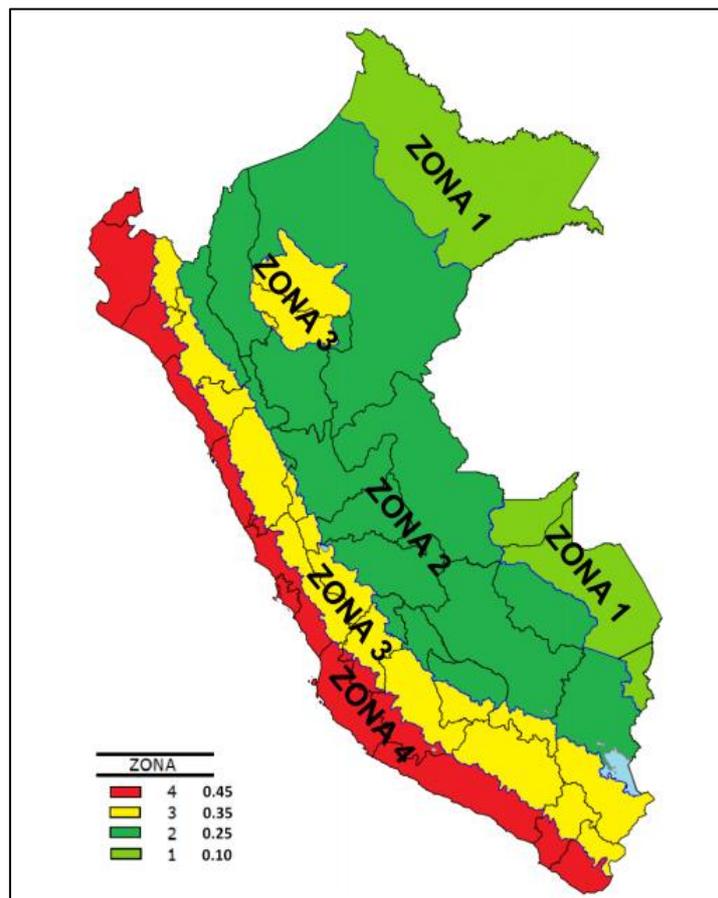


Figura 3.3 Mapa de Zonificación Sísmica del Perú
Fuete: RNE-Norma E-030 2016

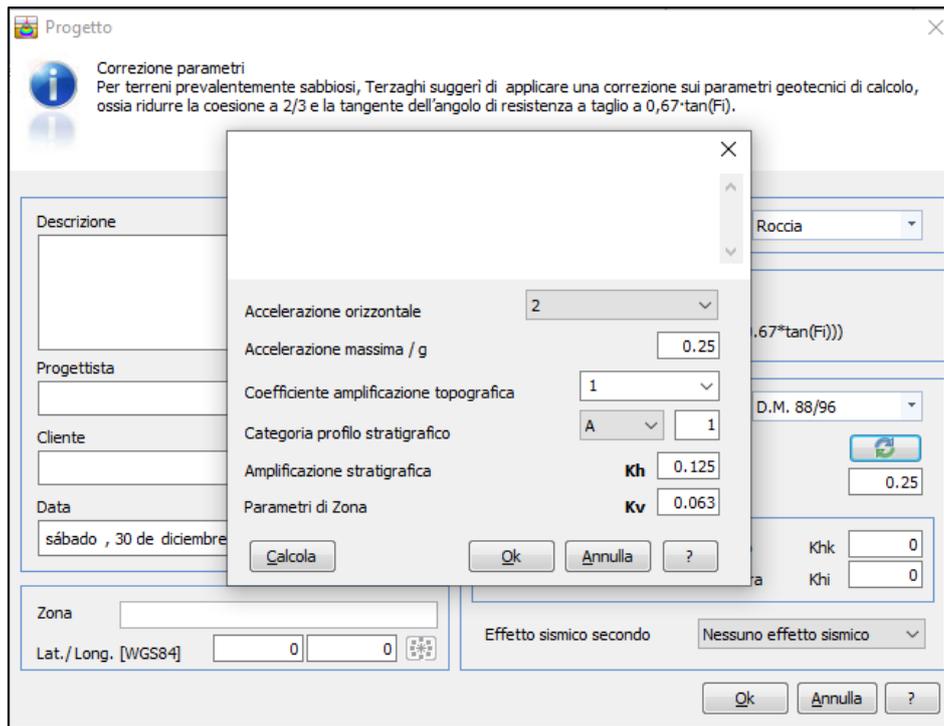


Figura 3.4. Pantallas Procesadas del Software LoadCap

3.10.1 ESTACIÓN TC-01 PROGRESIVA (15 +193 – 15 +199)

Estación donde el ancho de carretera es de 9m y el talud de corte tiene una altura de 14m, donde encontramos calizas grises oscuras con coloraciones beige de aspecto macizo en la parte inferior y más delgado en la superior, perteneciente a la Formación Chambará (Tr-ch) con planos de estratificación que tienen DIP 39° y DD 262° como se muestra en la Foto 3.21.

Las datos y características del talud de corte de carretera y de las familias de discontinuidades principales observadas en campo, se muestra en la Tabla 3.8; los cuales han sido obtenidos utilizando el instrumento de recolección de datos denominado Registro Geológico-Geotécnico (Fuente: Rodríguez 2016).

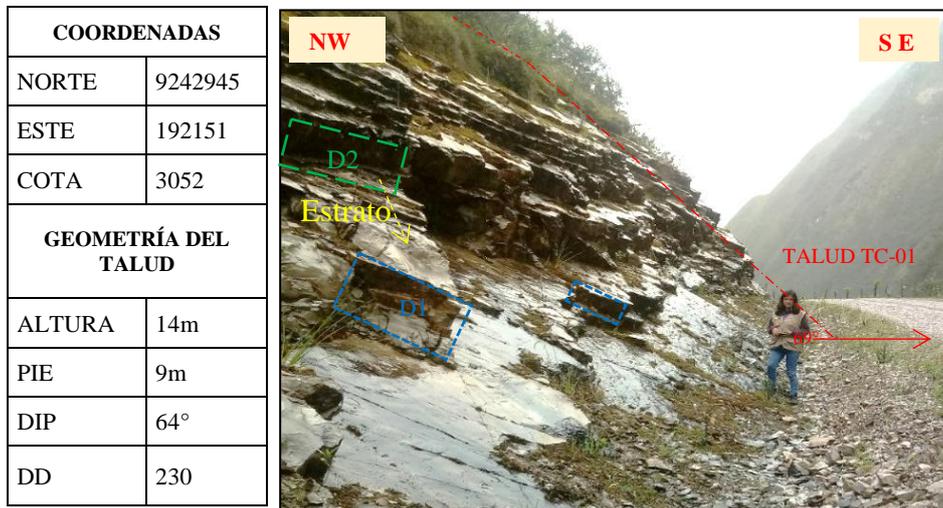


Foto 3.20 Estación TC-01 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 15+193 – 15+199

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-01, los cuales fueron necesarios para la calificación de la roca; se hizo uso de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.8 se presenta el resumen de los datos tomados.

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 15.67$

ND = 47 y L=3

Se obtiene **RQD= 53.57**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.8, se calculó el RMR89 obteniendo como resultado el valor de **50** dando una clasificación geomecánica Tipo III - Calidad Regular (ver Tabla 2.9).

Tabla 3.9 Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación TC- 01.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES					
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa 1 – 5 MPa < 1 MPa
		VALOR	15	12	7	4	2 1 0
2		RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%
		VALOR	20	17	12	8	3
3		Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 cm	6 – 20 cm	< 6cm
		VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm
		VALOR	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		VALOR	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		VALOR	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
	VALOR	6	5	3	1	0	
	VALOR	30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
		VALOR	15	10	7	4	0
VALOR TOTAL RMR		$RMR = 7 + 12+10+2+4+3+2+3+7=50$					

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso, tal como se muestra en la Figura 3.5. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Propiedades geomecánicas de la Estación TC- 01.

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 01				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	75MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.463
			s	0.0004
			a	0.508
GSI	46	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.239 MPa
			phi	51.82°
Mi	9	Parámetros del Macizo Rocoso	sigt	-0.065 MPa
			sigc	1.412 MPa
			sigcm	6.622 MPa
			Erm	4995.79 MPa
D	0.7	Rango de Envoltente de Falla	Datos del talud	
Ei	60000		sig3max	0.3164 MPa
MR	800		Unit Weight	0.024 MN/m3
			Slope Height	14m

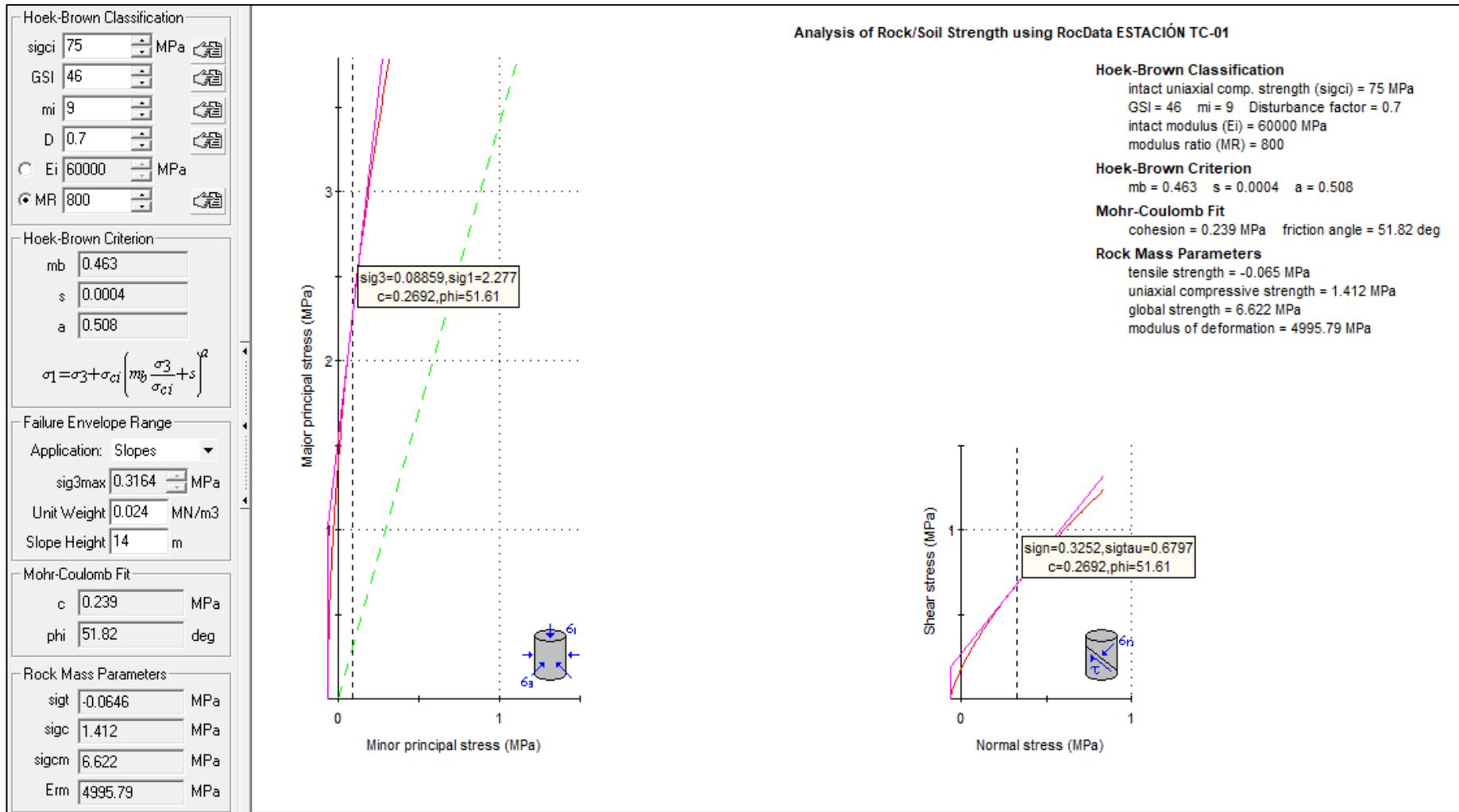


Figura 3.5 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-01

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

Se realizó el análisis cinemático mediante proyecciones estereográficas de las discontinuidades evidenciadas en campo en la Estación TC-01; definiendo qué: en el diagrama de polos y círculos máximos, contorno de distribución de Fisher; respecto al talud, ángulo de fricción y zona de riesgo de falla; el macizo rocoso muestra probabilidad de 5.26% de rotura planar (Ver figura 3.6 (a)); 8.82% probabilidad de rotura en cuña, al NW entre el talud y los estratos y familia de discontinuidades 2; y hacia el SW, entre la familia 1 y la cara de talud. (Ver Figura 3.6 (b)).

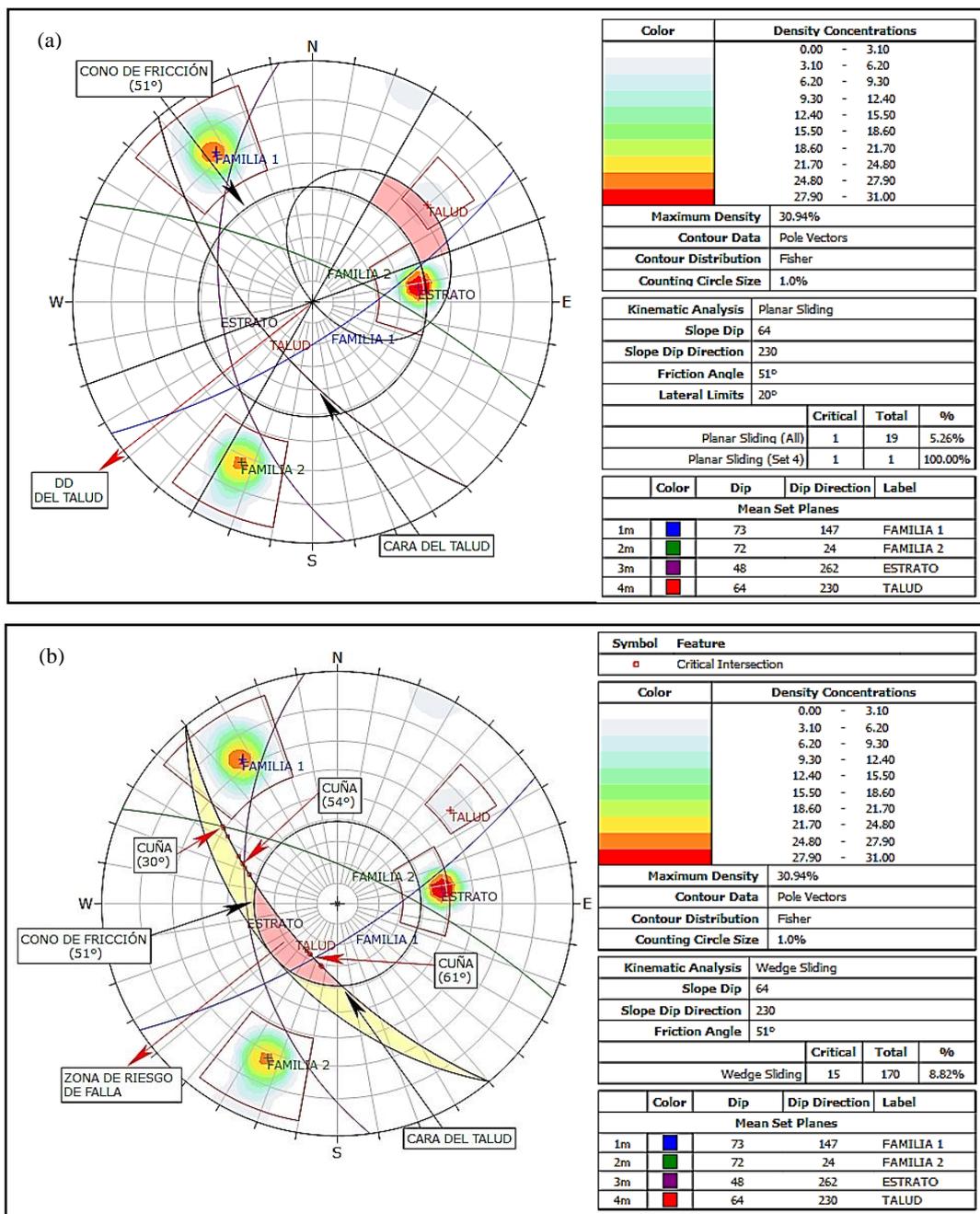


Figura 3.6 Estación TC-01, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ 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 0.25; coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.125 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.0625 (Kv). El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.11, donde se determina que el Talud de la estación TC-01 presenta inestabilidad.

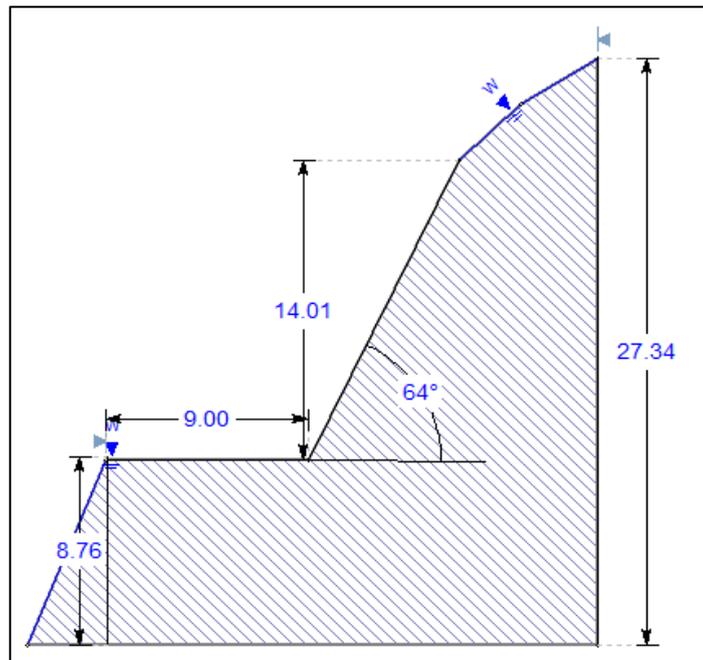


Figura 3.7 Estación TC-01, dimensiones del Talud

Tabla 3.11 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-01

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.711	Inestable
	Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.538	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.687	Inestable
	Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.505	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Totales	0.705	Inestable
	Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.539	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Totales	0.706	Inestable
	Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.540	Inestable

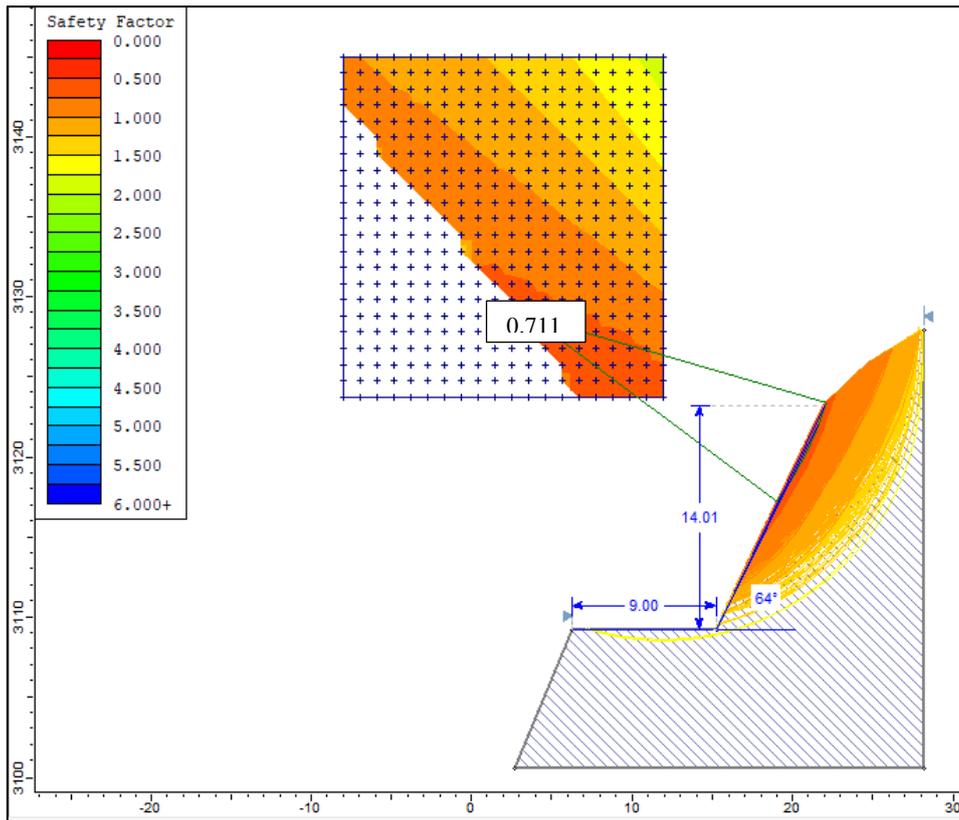


Figura 3.8 Factor de seguridad TC-01 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.

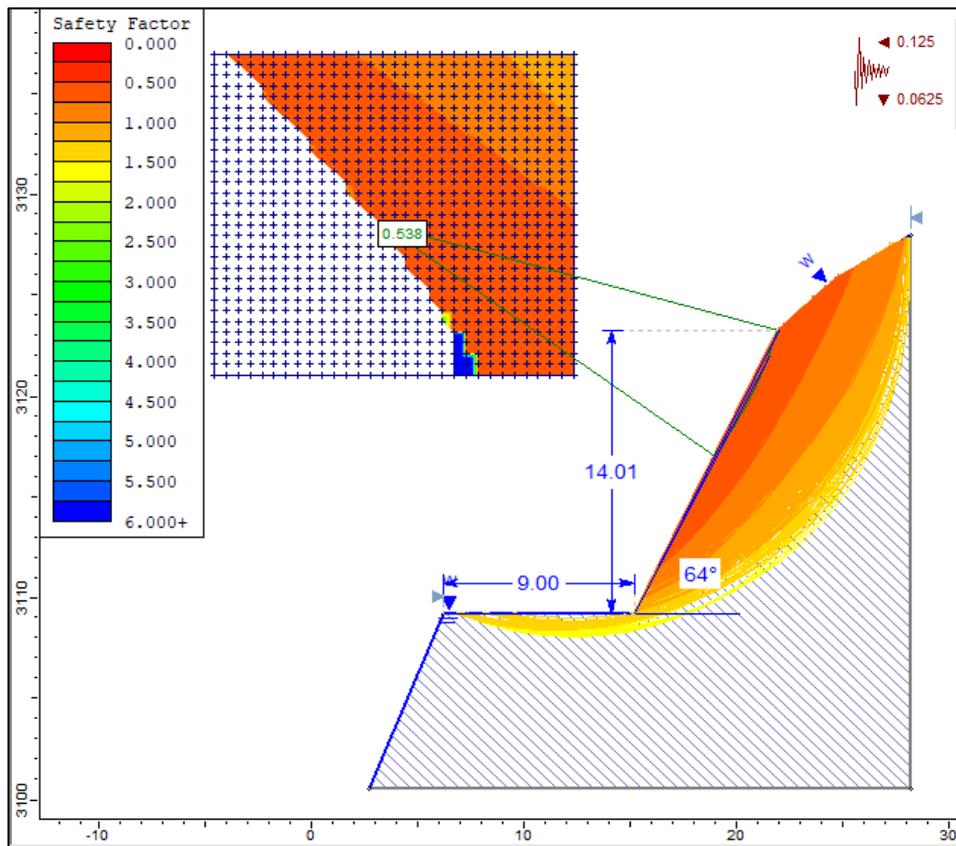


Figura 3.9 Factor de seguridad TC-01 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

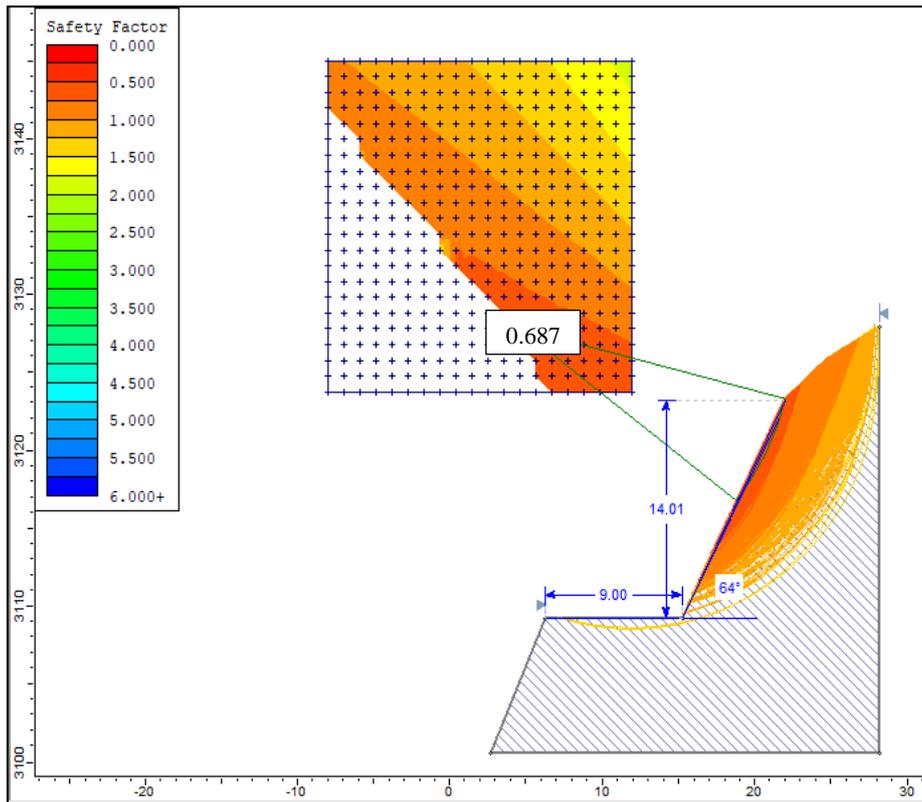


Figura 3.10 Factor de seguridad TC-01 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales.

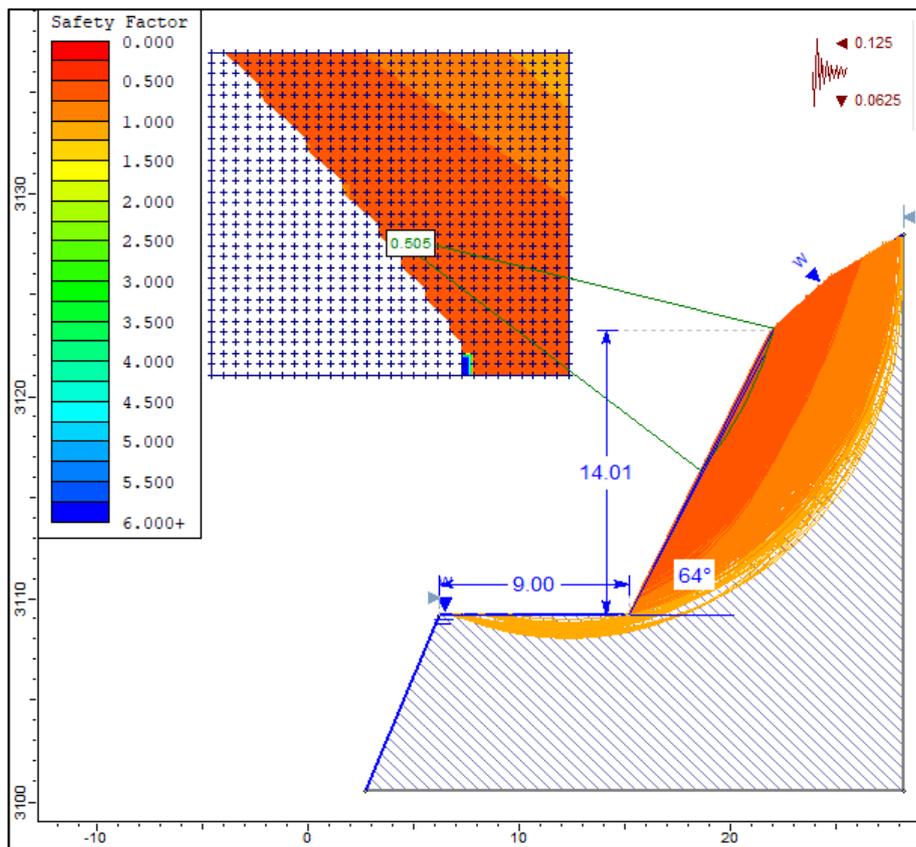


Figura 3.11 Factor de seguridad TC-01 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

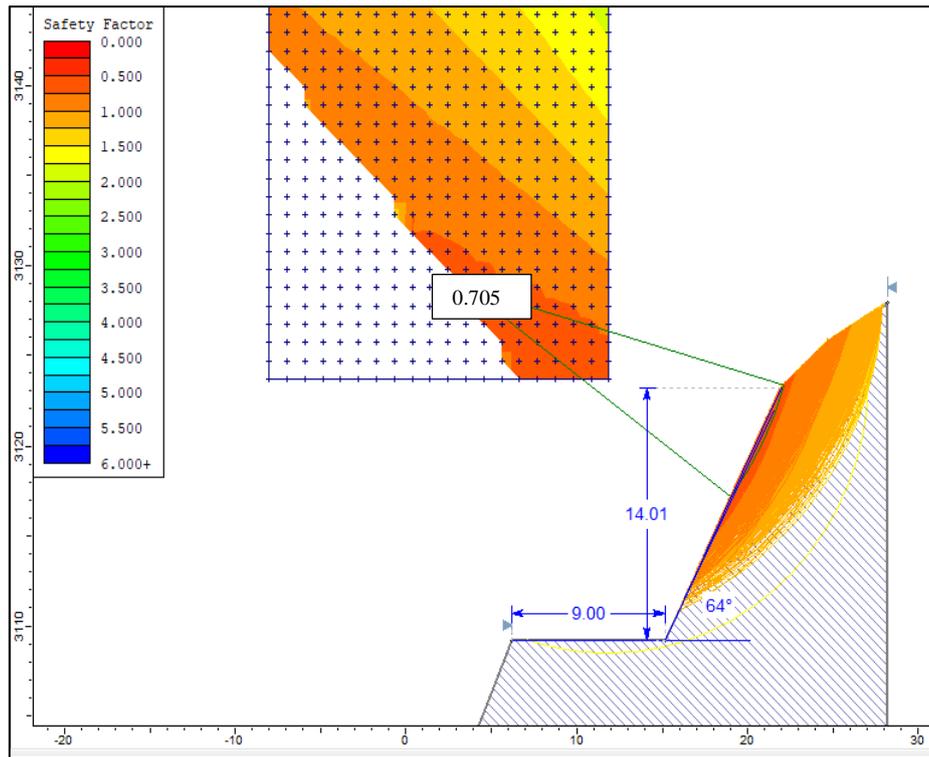


Figura 3.12 Factor de seguridad TC-01 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

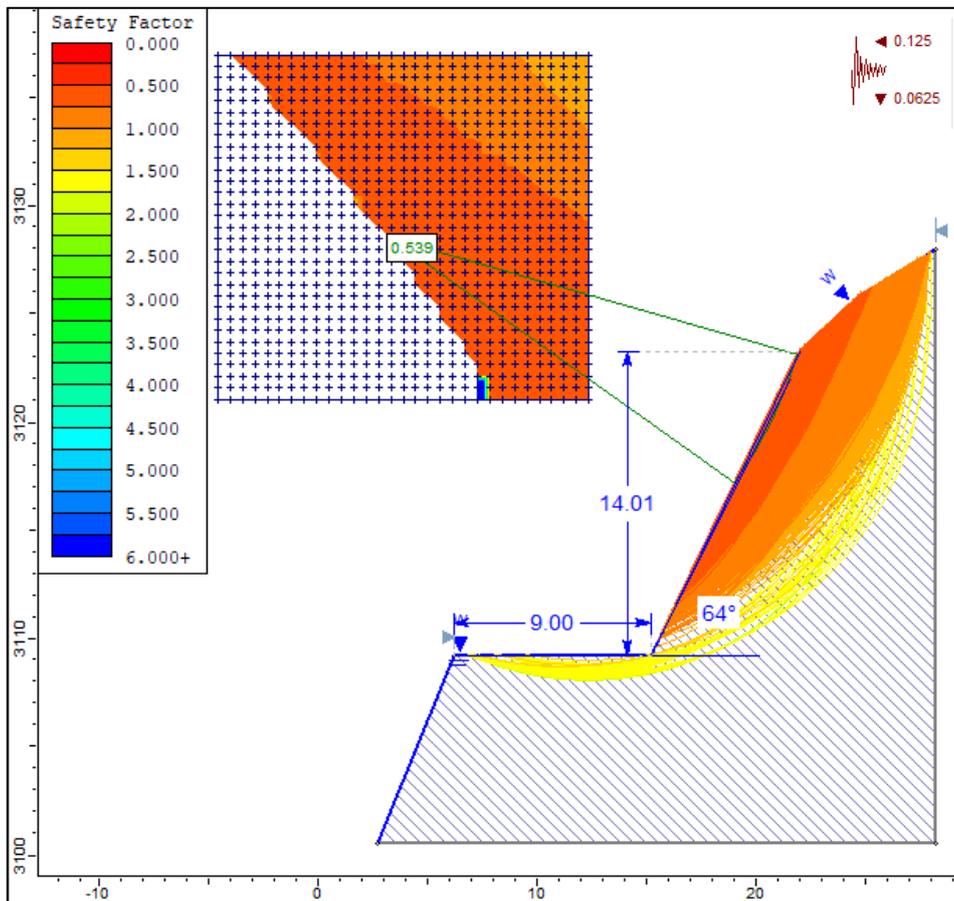


Figura 3.13 Factor de seguridad TC-01 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

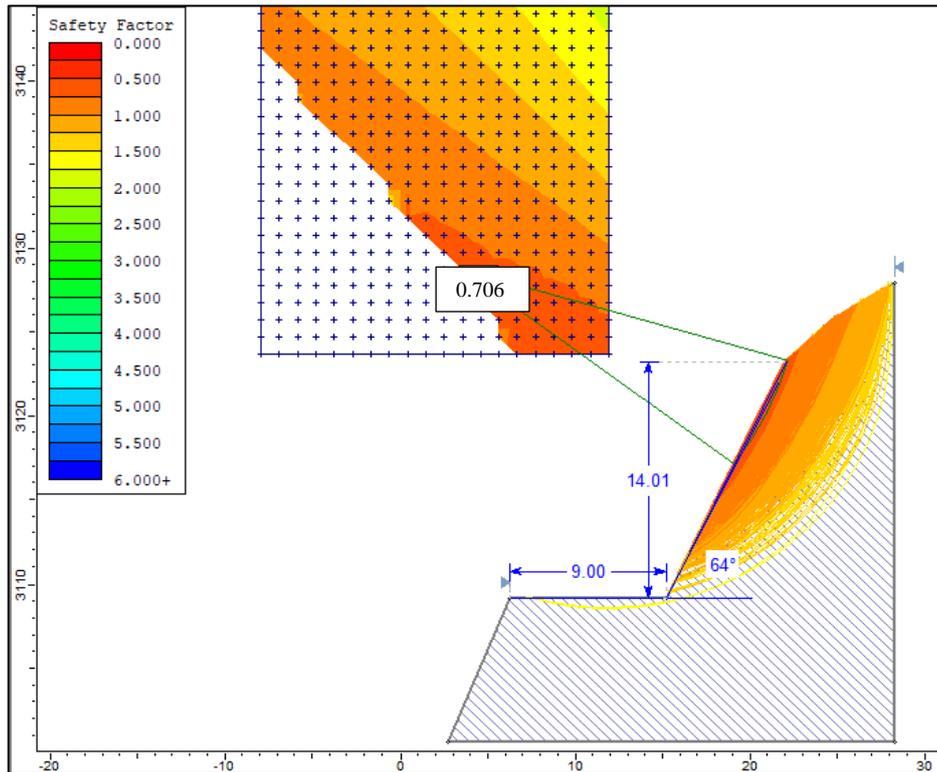


Figura 3.14 Factor de seguridad TC-01 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales (Condiciones normales)

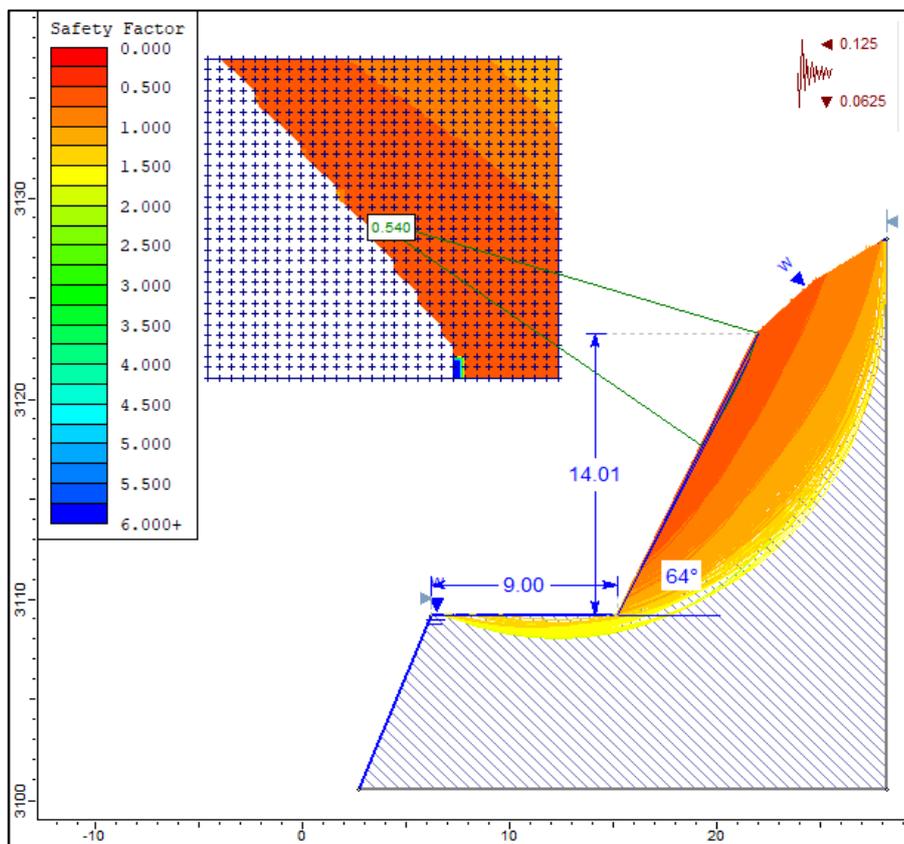


Figura 3.15 Factor de seguridad TC-01 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

3.10.2 ESTACIÓN TC-02 PROGRESIVA (15 + 291 - 15 + 306)

Formada por calizas nodulares oscuras con coloraciones beige-gris de aspecto macizo en la parte superior y poco resistente en la inferior perteneciente a la Formación Chambará (Tr-ch) con planos de estratificación intercalados (10/40 cm), conformando tres familias de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento alto. Se evidencian desprendimientos de rocas.

Las datos y características del talud de corte de carretera y de las familias de discontinuidades principales observadas en campo, se muestra en la Tabla 3.12.

COORDENADAS	
NORTE	9242895
ESTE	192187
COTA	3060
GEOMETRÍA DEL TALUD	
ALTURA	14.25 m
PIE	9.38 m
DIP	58°
DD	231

Foto 3.21 Estación TC-02 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 15+291 – 15+306

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-02, los cuales fueron necesarios para la calificación de la roca; se hizo uso de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.12 se presenta el resumen de los datos tomados.

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 15.95$

ND = 67 y L= 4.20m

Se obtiene **RQD= 52.62**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.12, se calculó el RMR89 obteniendo como resultado el valor de **52** dando una clasificación geomecánica Tipo III - Calidad Regular (Ver Tabla 2.09).

Tabla 3.13 Asignación de valores para el macizo rococo, Estación TC- 02.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES					
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 1 – 5 < 1 MPa MPa MPa
	VALOR	15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%	
	VALOR	20	17	12	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm	
	VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm
		VALOR	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		VALOR	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		VALOR	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0		
VALOR		30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
	VALOR	15	10	7	4	0	
VALOR TOTAL RMR		$RMR = 7 + 12+10+2+4+5+2+3+7=52$					

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-02, tal como se muestra en la Figura 3.16. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-02

PROPIEDADES GEOMECAICAS DE TC- 02				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	75 MPa	Criterio de Hoek-Brown	Mb	0.546
			s	0.0006
			s	0.506
GSI	49	Parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	sc	0.284 Mpa
			Phi	52.78 Degrees
mi	9	Parámetros del Macizo Rocosó	Sigt	-0.085 Mpa
			Sigc	1.780 Mpa
			Sigcm	7.279 Mpa
			Erm	6038.28 Mpa
D	0.7	Rango de Envolvente de Falla	Datos del Talud	
Ei	60000		sig3max	0.3191 MPa
MR	800		Unit Weight	0.026 MN/m3
			Slope Height	14.25 m

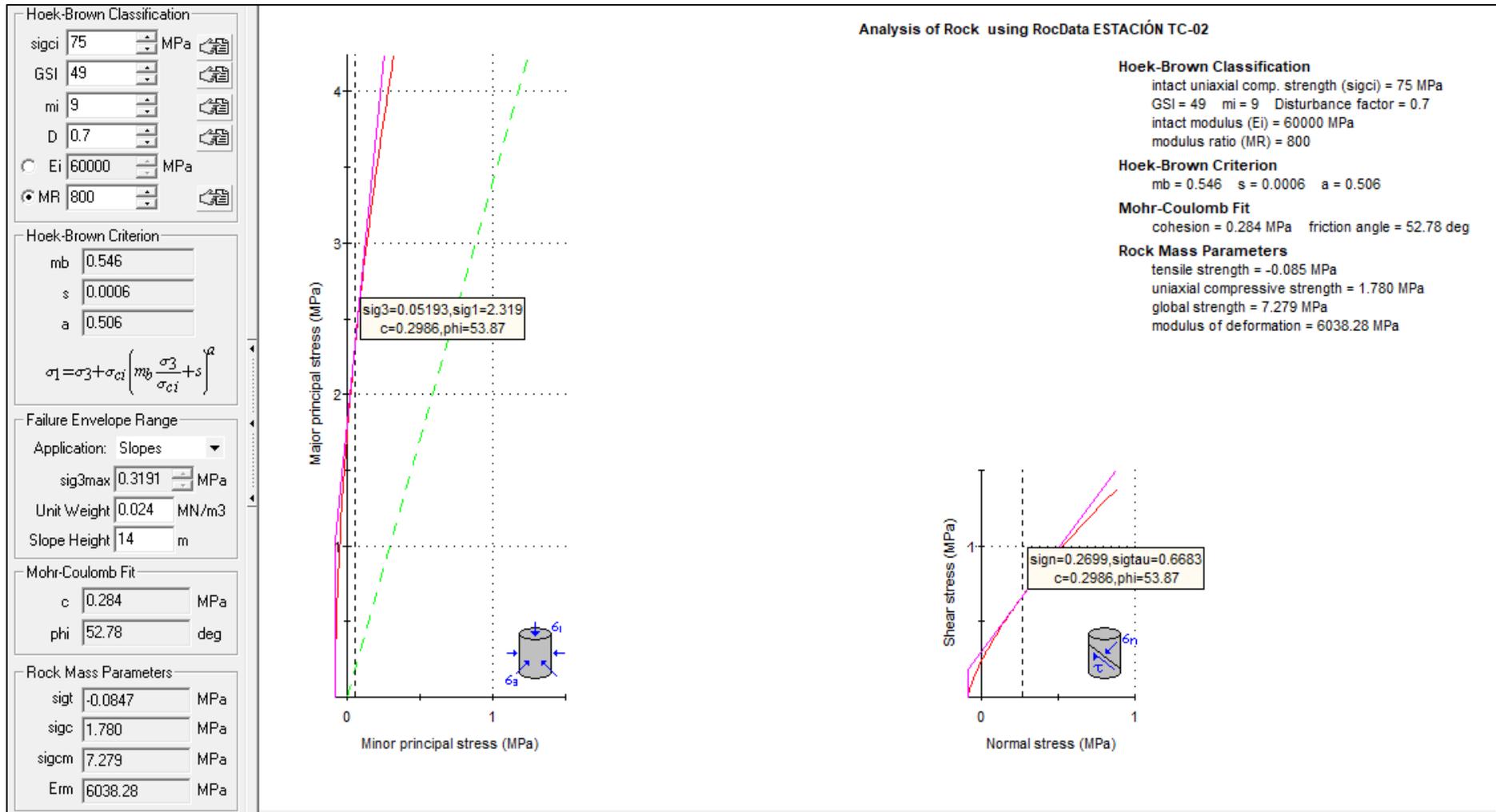


Figura 3.16 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-02

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

Se realizó el análisis cinemático mediante proyecciones estereográficas de las discontinuidades evidenciadas en campo en la Estación TC-02; definiendo que el macizo rocoso muestra una probabilidad de 4.35% de rotura planar (Ver Figura 3.17 (a)); 7.51% probabilidad de rotura en cuña, al SW entre la familia 1 y la cara del talud, al SW entre la familia 3 y la cara de talud y al NW entre la cara del talud y los estratos. (Ver Figura 3.17 (b)).

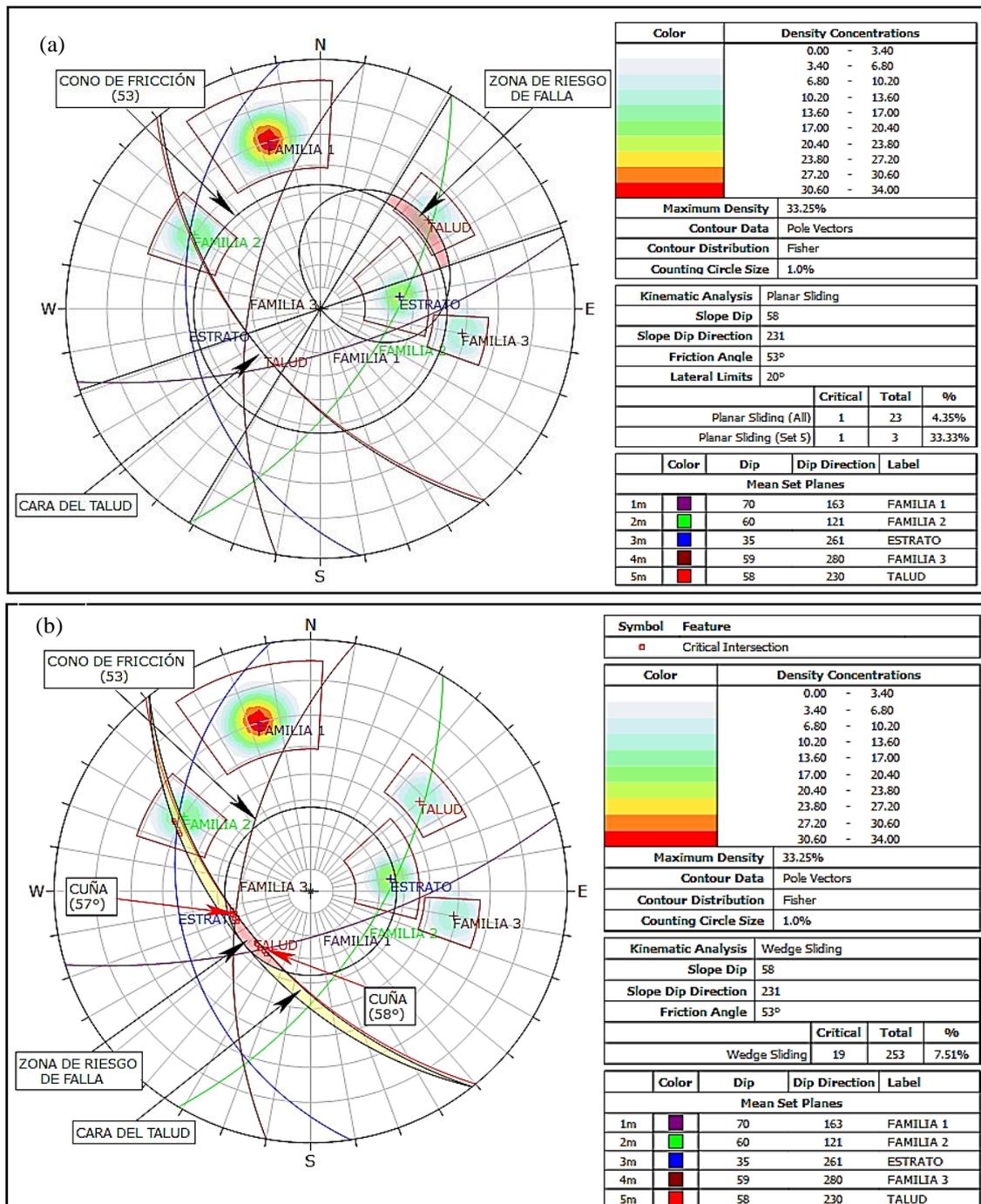


Figura 3.17 Estación TC-02, Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

El cálculo del FS de la estación TC-02, se realizó de la misma manera que el cálculo de la estación TC-01. El resultado obtenido (Ver Tabla 3.15), indica que el talud es inestable, tanto en condiciones normales como en condiciones efectivas más sismicidad; estos resultados se obtienen aplicando los 4 métodos (Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, LE/Morgenstern-Price, y Spencer).

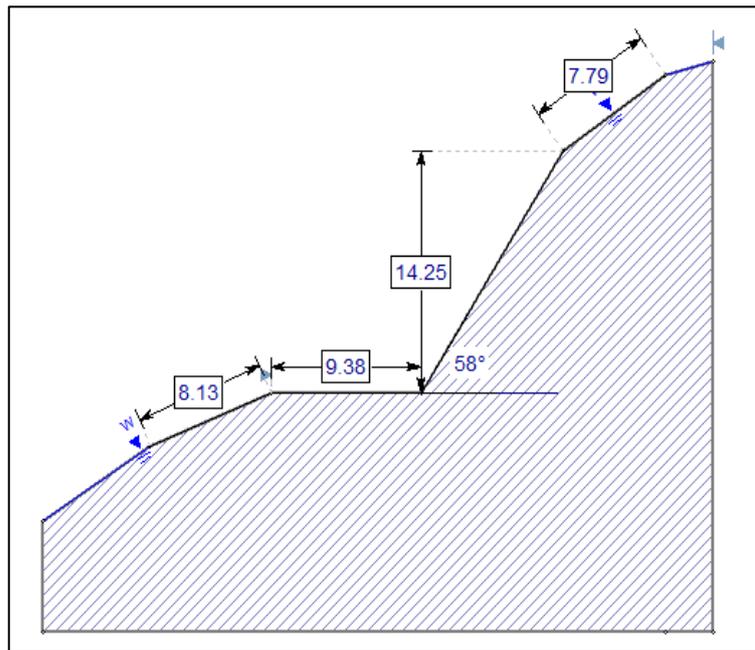


Figura 3.18 Estación TC-02, dimensiones del Talud

Tabla 3.15 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-02

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.107	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.804	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.009	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.682	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.053	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.821	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.006	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.697	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Totales	0.237	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.996	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.687	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Totales	0.518	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.628	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.005	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.689	Inestable

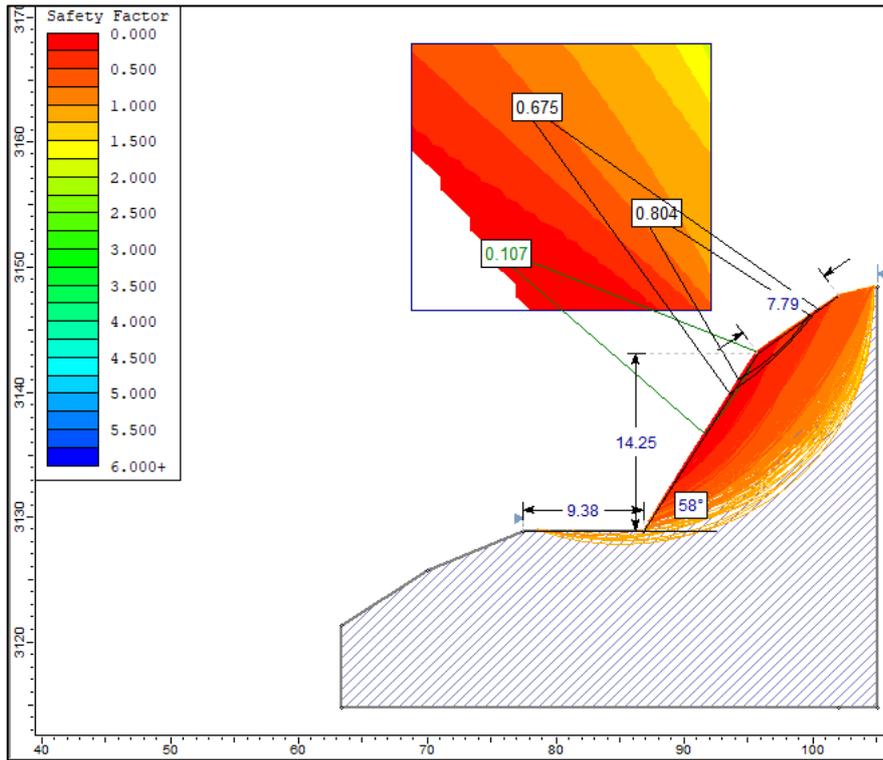


Figura 3.19 Factor de seguridad TC-02 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.

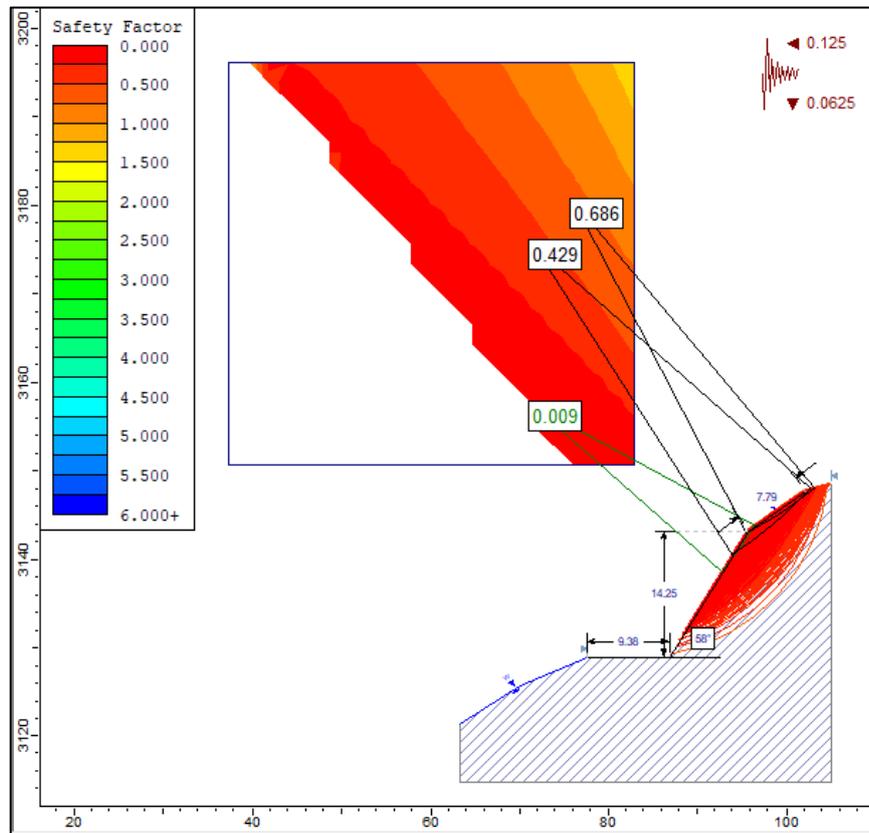


Figura 3.20 Factor de seguridad TC-02 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones efectivas más Sismicidad.

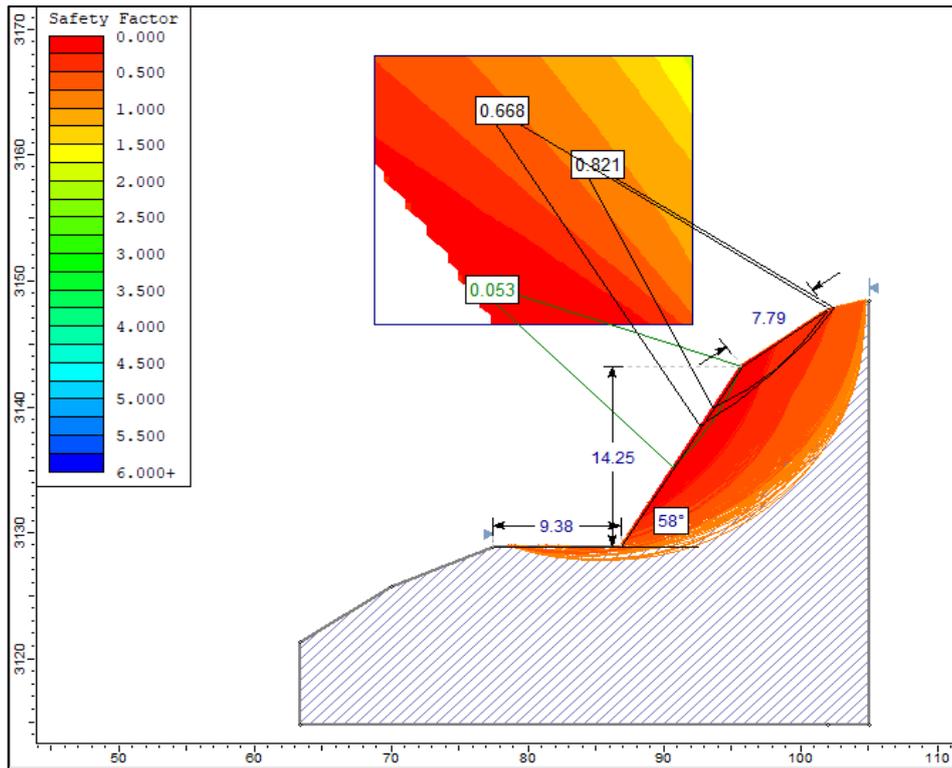


Figura 3.21 Factor de seguridad TC-02 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales.

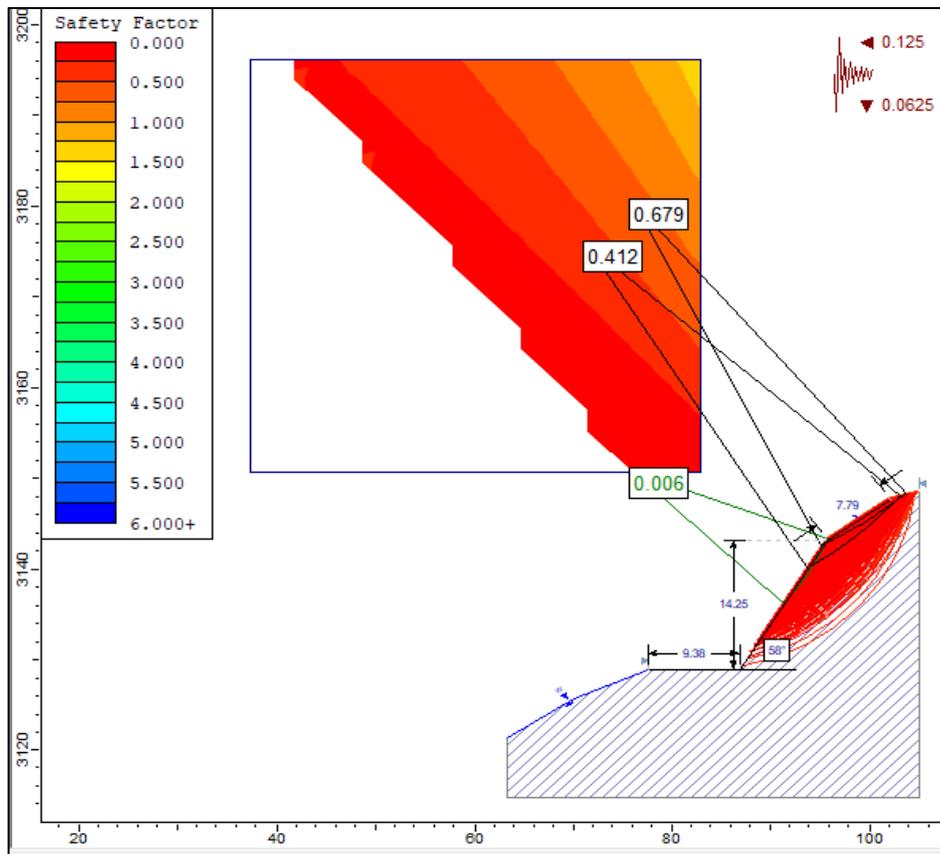


Figura 3.22 Factor de seguridad TC-02 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.

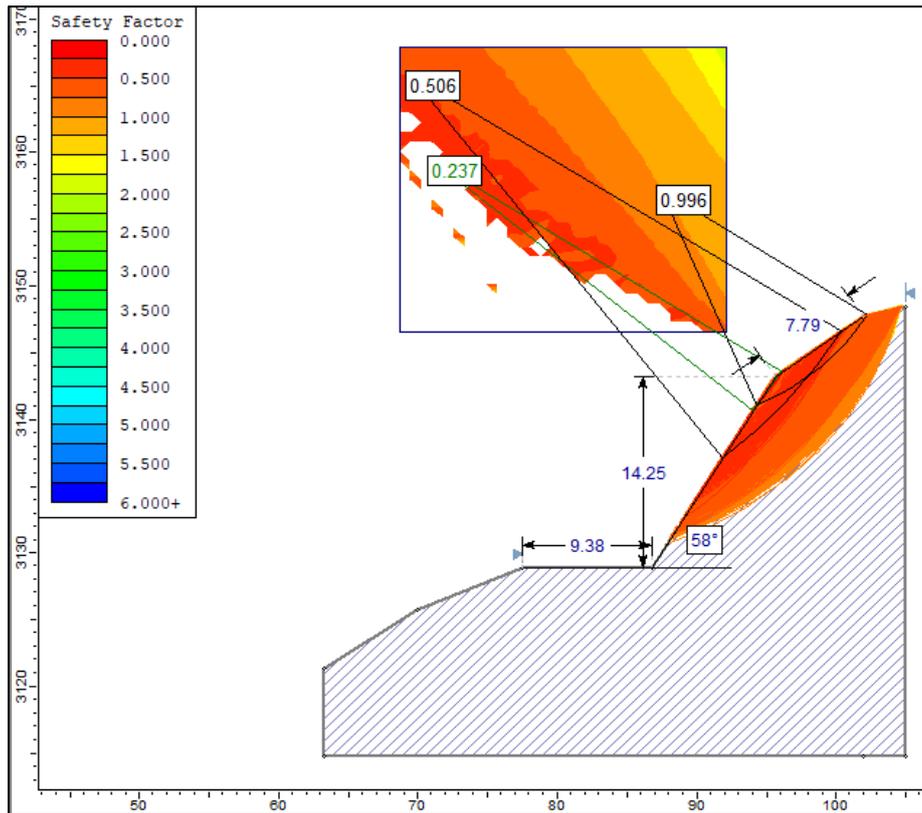


Figura 3.23 Factor de seguridad TC-02 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

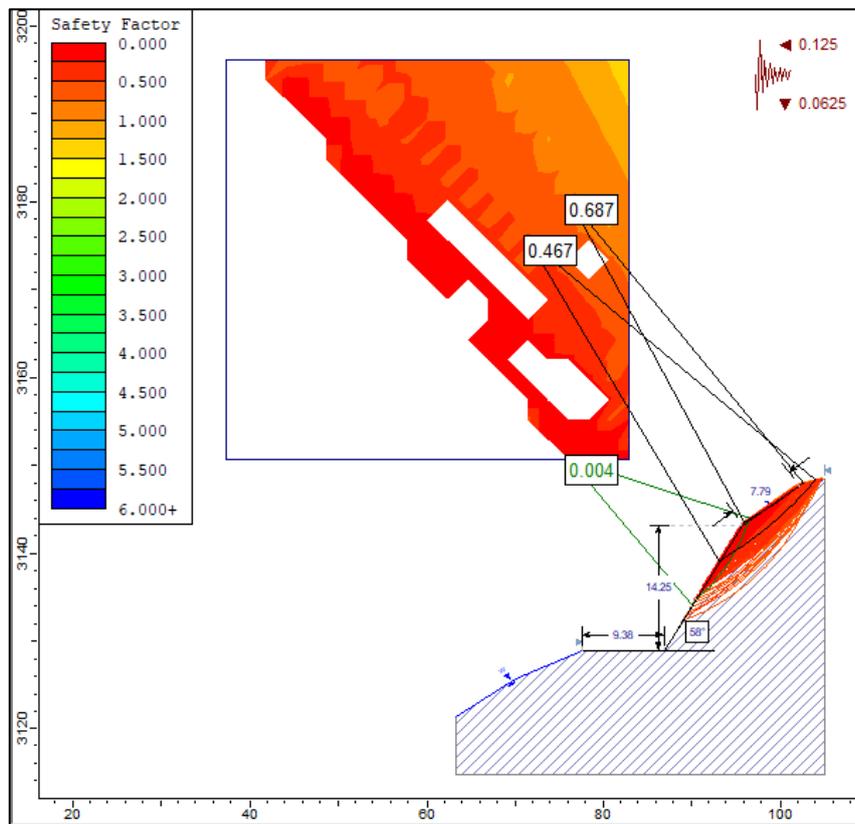


Figura 3.24 Factor de seguridad TC-02 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

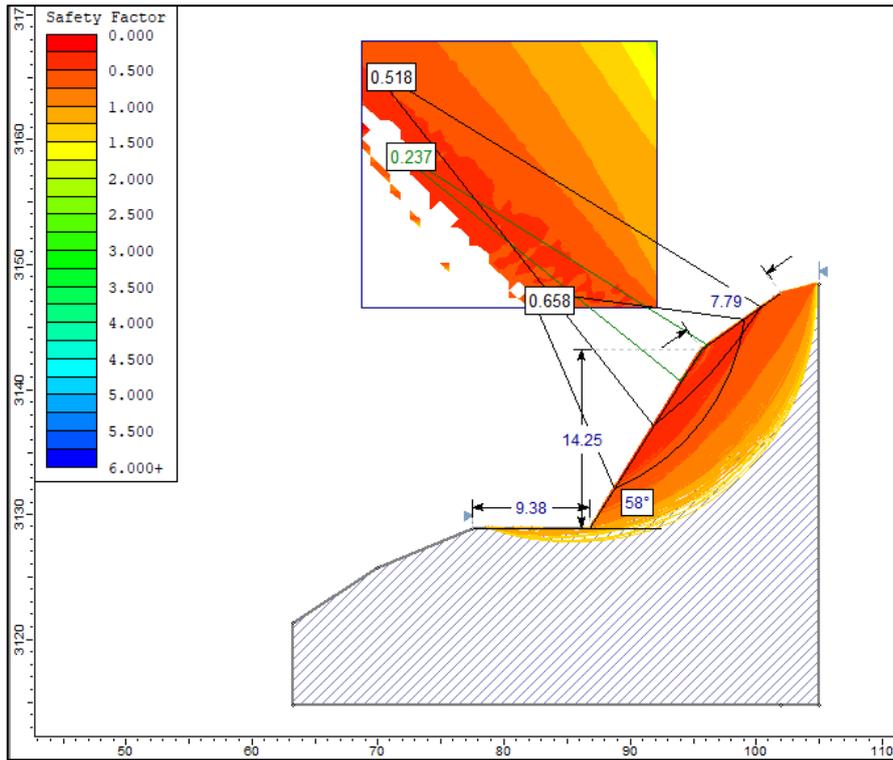


Figura 3.25 Factor de seguridad TC-02 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones Tensiones Totales

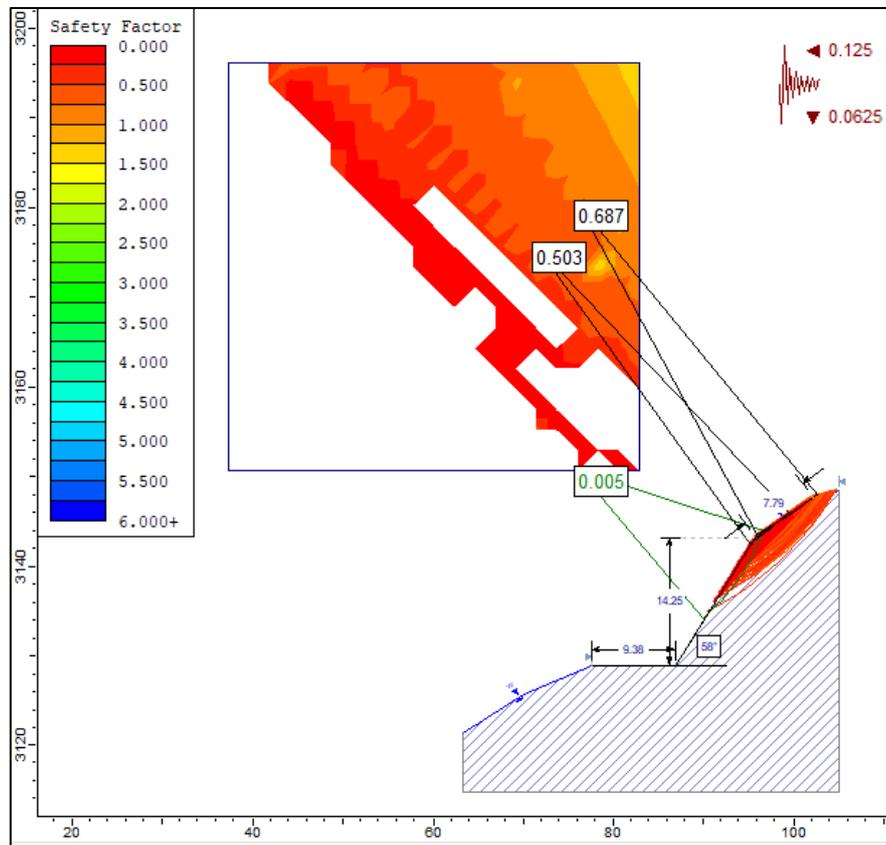


Figura 3.26 Factor de seguridad TC-02 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

3.10.3 ESTACIÓN TC-03 PROGRESIVA (15 +524– 15 +527)

Se continua con la misma litología de calizas onduladas oscuras con coloraciones beige a gris oscuro de aspecto poco resistente perteneciente a la Formación Chambará (Tr-ch) con planos de estratificación intercalados (10/30 cm) como se muestra en la Tabla 3.16, conformando dos familias principales de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento alto. Se evidencian desprendimientos de rocas.

COORDENADAS	
NORTE	9242670
ESTE	192318
COTA	3056
GEOMETRÍA DEL TALUD	
ALTURA	39.98 m
PIE	10.46 m
DIP	59
DD	230

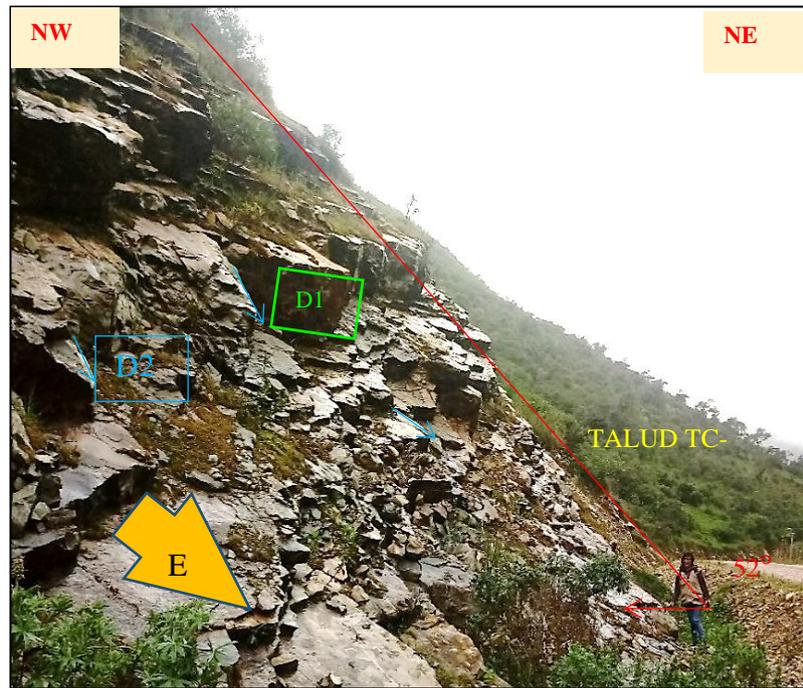


Foto 3.22 Talud TC-03 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 15+524 – 15+527

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-03, haciendo uso de los de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.16 se presenta el resumen de los datos tomados.

Tabla 3.16 Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-03

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																		
REGISTRO Nº 03 : Datos de Discontinuidades				FACULTAD DE INGENIERIA																		
RESPONSABLE : Trinidad Sánchez				Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica																		
SISTEMA : WGS 84				TESIS : ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA – ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000.																		
CODIGO : 03		FECHA : 2020		DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS																		
DIS. Nro.	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS														
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZ	GRADO DE FRACT.	RQD	GSI	E=Estratif.	RESIST.C OMP.UNI AX	DIRECCIÓN		ESPACIAD O (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	LECTU RA	
					1=Fresco						TIPO	DUREZA										
3=Mod	1=Alto	λ	1= Bloq-regular	Fi=falla inversa	σci (Mpa)	ORIENTACIÓN	1 = > 2	1 = < 1	1= Nada	1=Muy Rug.	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1 = Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real							
				2=Lev															D=Diaclasa			
				3=Mod	1=Alto	λ	2= Bloq-irregular	Fd=falla Direcc				3 = 0, 6 - 0,2	3 = 3-10	3 = 0,1 - 1,0	3= Lig.Rug.	3 = Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod.Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy		
				4=Alt	2= Med		3= Bloq y capas	mf=Microfalla					4=0,2 - 0,06	4=10-20	4=1,0-5,0	4= Ond. - Lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm	4= Muy Alt	4 = Goteo		
				5=Compl	3= Bajo	ND/m	4= Fract-	SE=Sobrees.				5 = < 0,06	5 = >20	5 = >5	5= Suave-pulida	5 = Roca Tritur	5=Suave>5m m.	5= Descomp	5 = Flujo			
				6=Suelo				C=Contacto			DIP	DD				6 = Bx			6 = Presión			
															7 = Panizo							
															8 = Veta							
3	192318	9242670	3056	Calizas/ Fm Chamberá	3	1	ND = 62	3		65	40	269	E = 0.45 m	P = 25 m	A = 5 mm	2	1	4	3	3	1	
							L = 3.80	40 - 45	E		35	264	3	5	4	2	1	4	3	3	1	
							λ = 16.32				38	268	2	5	4	2	1	4	3	3	3	1
							RQD=51.47				36	267	2	5	4	2	1	4	3	3	3	1
										37	269	2	5	4	2	1	4	3	3	3	1	
										88	202	E = 0.80 m	P = 4 m	A = 4 mm	2	1	4	3	3	3	1	
										87	211	2	3	4	2	1	4	3	3	3	1	
										88	209	2	3	4	2	1	4	3	3	3	1	
										86	206	2	3	4	2	1	4	3	3	3	1	
										87	210	2	3	4	2	1	4	3	3	3	1	
										72	150	E = 0.20 m	P = 5 m	A = 1 mm	2	1	4	3	3	3	1	
										70	149	2	3	3	2	1	4	3	3	3	1	
										73	151	2	3	3	2	1	4	3	3	3	1	
										69	148	2	3	3	2	1	4	3	3	3	1	
										73	150	2	3	3	2	1	4	3	3	3	1	
										59	229											
						58	231															
						60	232															
						57	230															
						59	229															

Fuente: Rodriguez, 2016

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-03, tal como se muestra en la Figura 3.27. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-03

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 03				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	65 MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.222
			S	0.0001
			a	0.509
GSI	43	Parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	c	0.232 MPa
			phi	38.04degrees
mi	9	Parámetros del Macizo Rocosos	sigt	-0.0344 MPa
			sigc	0.648 MPa
			sigcm	3.895 MPa
			Erm	2381.87 MPa
D	0.9	Rango de Envolvente de Falla	Datos del Talud	
Ei	45500		sig3max	0.7837 MPa
MR	700		Unit Weight	0.024 MN/m3
			Slope Height	39.98 m

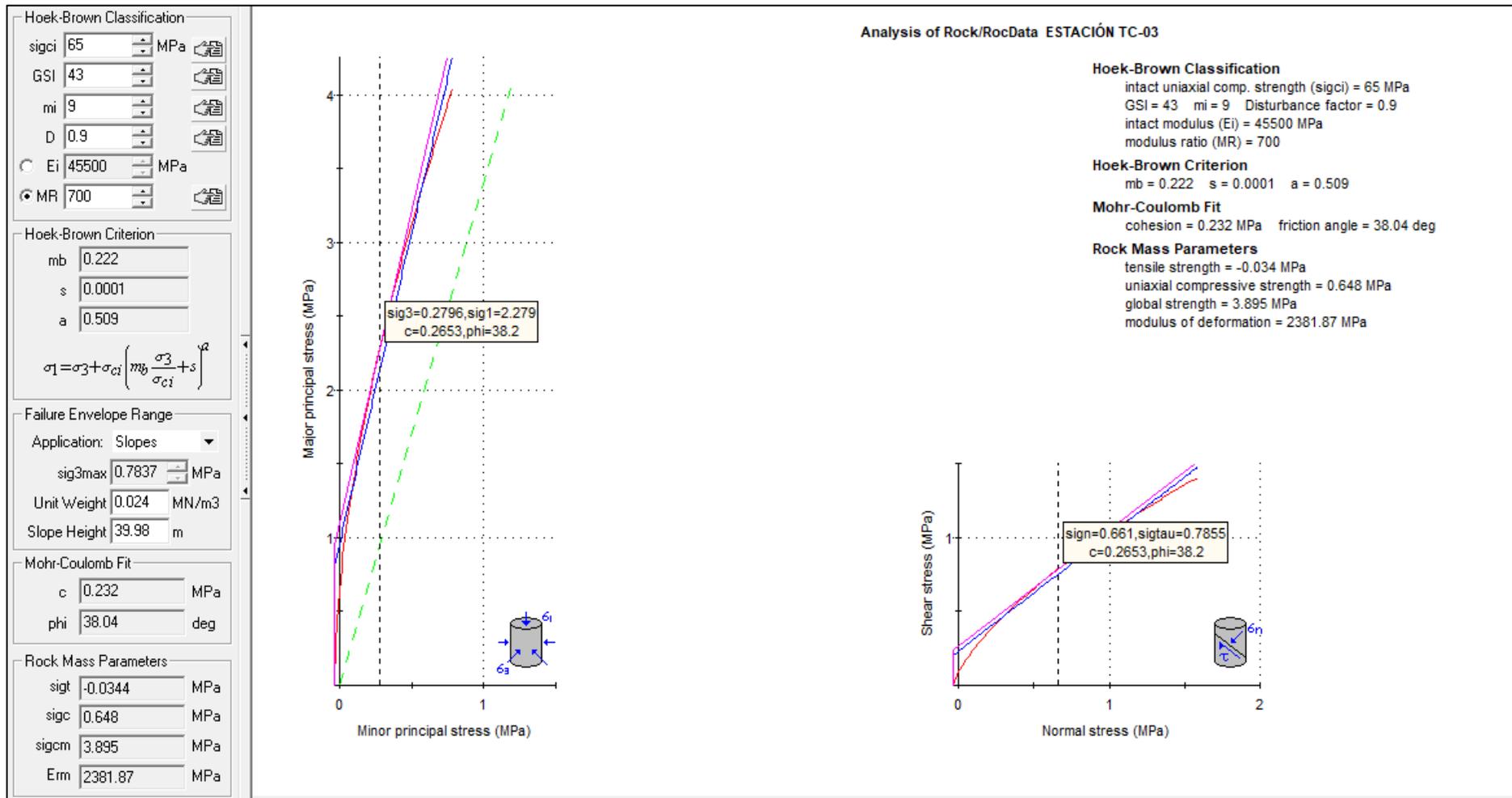


Figura 3.27 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-03

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 16.32$

ND = 62 y L=3.8m

Se obtiene **RQD=51.47**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.16, se calculó el RMR89 del macizo rocoso de la estación TC-03 obteniendo como resultado el valor de **46** dando una clasificación geomecánica Tipo III - Calidad Regular (ver tabla 2.9).

Tabla 3.18 Asignación de valores para el macizo rocoso, Estación TC- 03.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES					
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 –4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa 1 – 5 MPa < 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%	
	VALOR	20	17	12	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm	
	VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm
		VALOR	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		VALOR	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		VALOR	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	descompuesta
	VALOR	6	5	3	1	0	
	VALOR	30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
	VALOR	15	10	7	4	0	
VALOR TOTAL RMR		$RMR = 4 + 12+10+6+1+5+2+3+4=46$					

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

El macizo rocoso de la estación TC-03, según los resultados del Dips V.6, muestra una probabilidad de 23.81% de rotura planar (Ver Figura 3.28 (a)); probabilidad de 44.76% de rotura en cuña, al SW entre la familia 2 y la cara del talud y al NW entre el estrato y la cara de talud (Ver Figura 3.28 (b)).

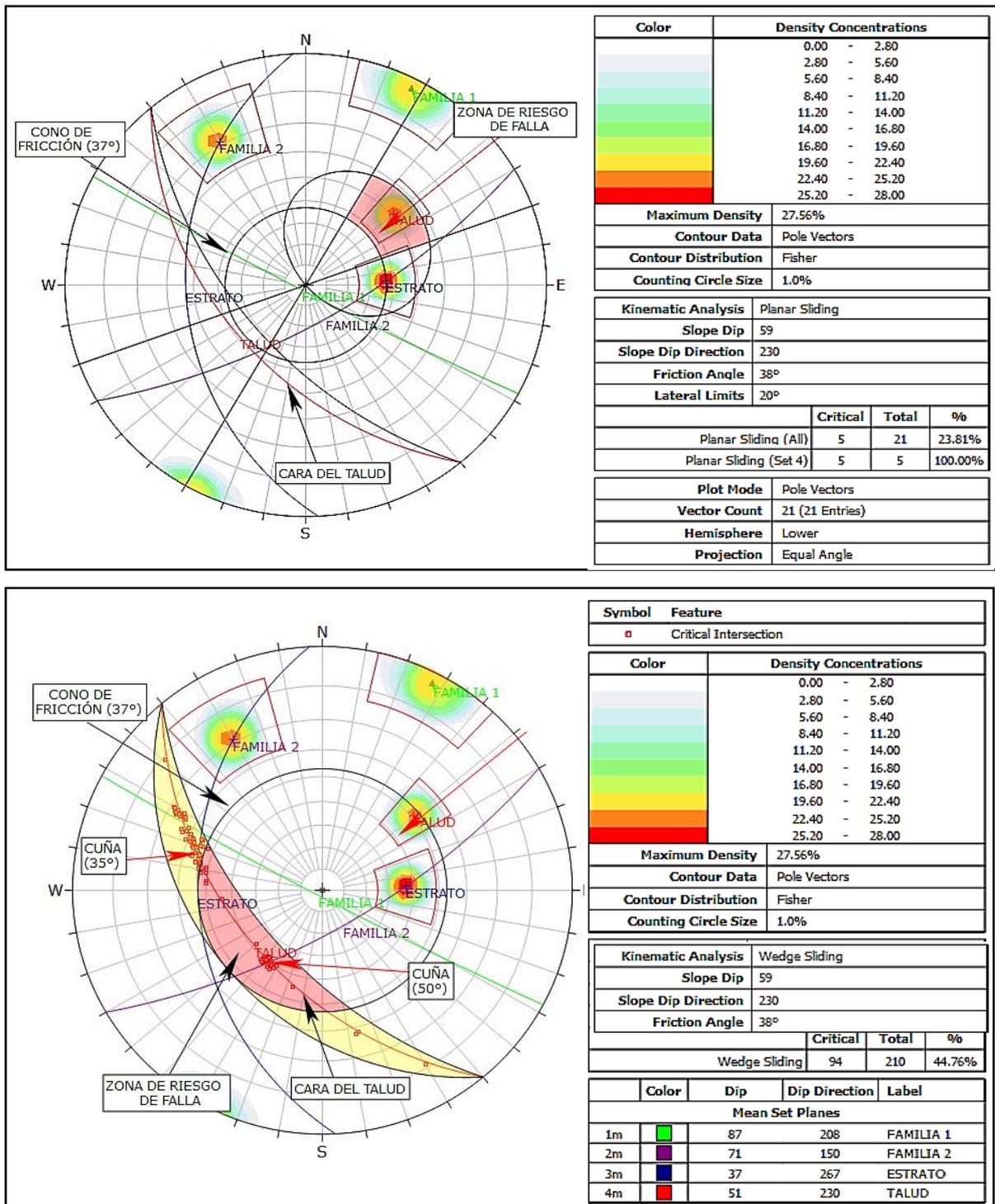


Figura 3.28 Estación TC-03, Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Para el cálculo del FS de la estación TC-03 se aplicó los cuatro métodos: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Gle/Morgenstern-Price, y Spencer. El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.19, donde se determina que el talud de la estación TC-03 presenta inestabilidad con los cuatro métodos en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad.

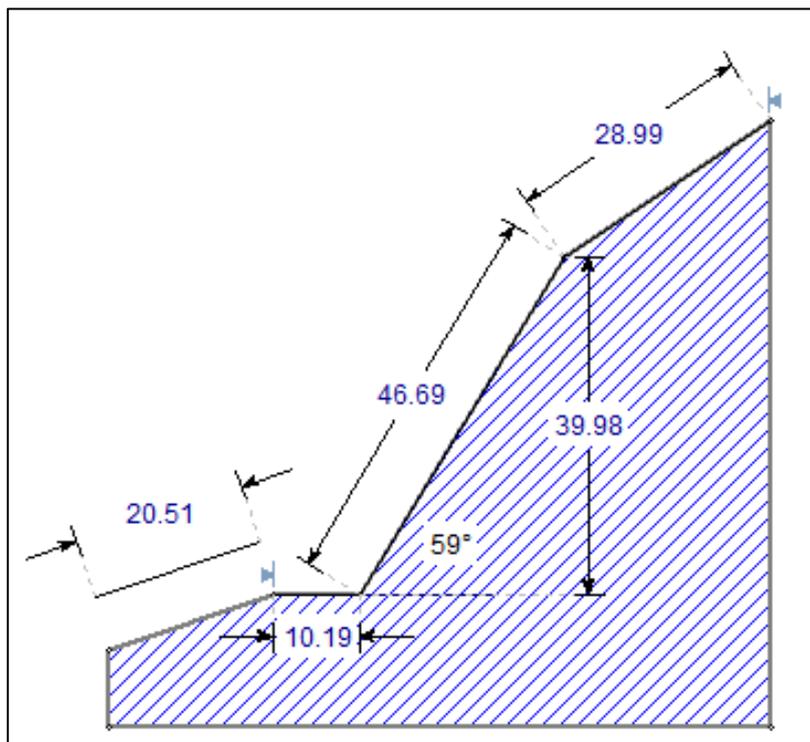


Figura 3.29 Estación TC-03 dimensiones del Talud

Tabla 3.19 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-03

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones Tensiones Totales	0.509	Inestable
	Condiciones de tensiones efectivas + Sismicidad	0.009	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones Tensiones Totales	0.497	Inestable
	Condiciones de tensiones efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
Spencer	Condiciones Tensiones Totales	0.505	Inestable
	Condiciones de tensiones efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones Tensiones Totales	0.505	Inestable
	Condiciones de tensiones efectivas + Sismicidad	0.005	Inestable

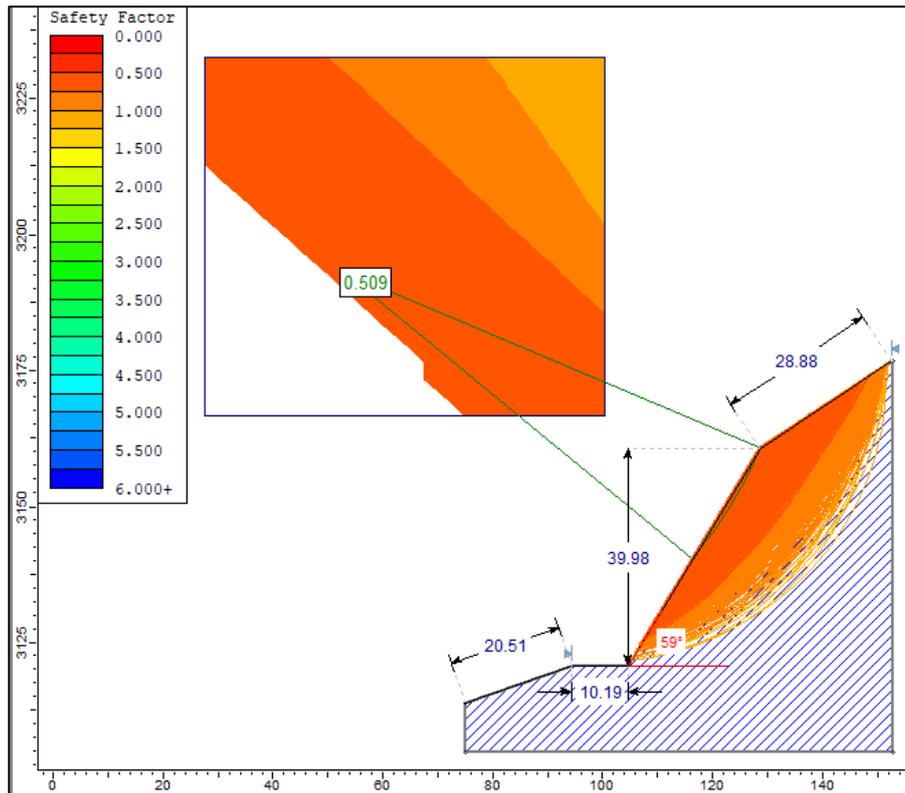


Figura 3.30 Factor de seguridad TC-03 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales

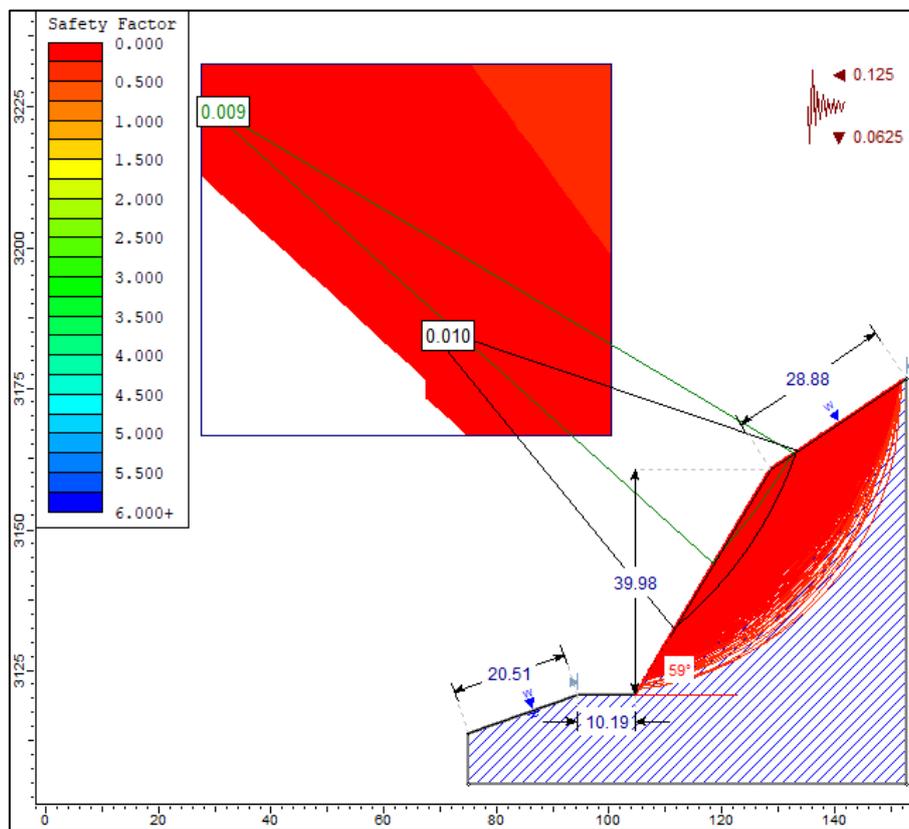


Figura 3.31 Factor de seguridad TC-03 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones efectivas más Sismicidad

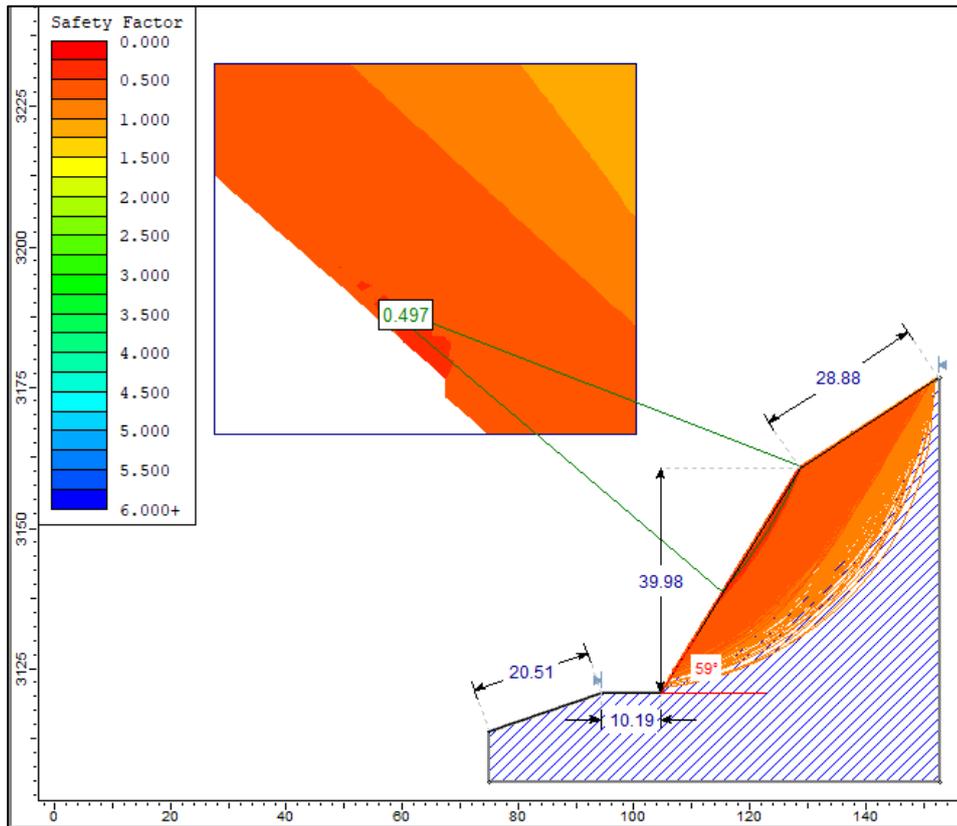


Figura 3.32 Factor de seguridad TC-03 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales

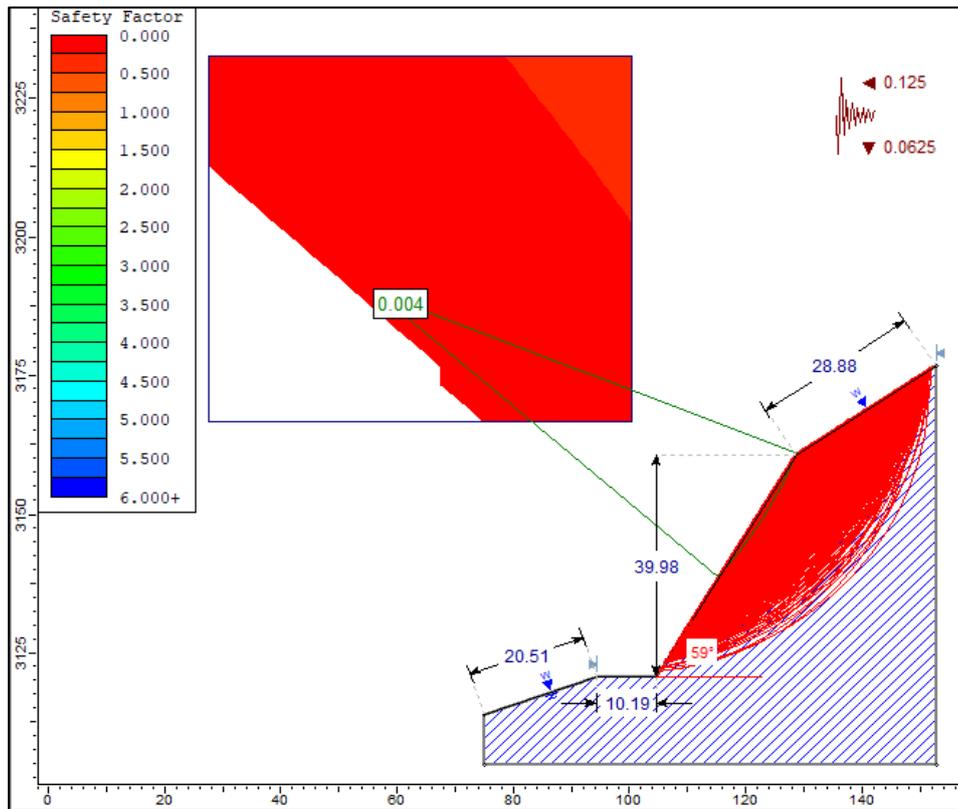


Figura 3.33 Factor de seguridad TC-03 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones efectivas más Sismicidad

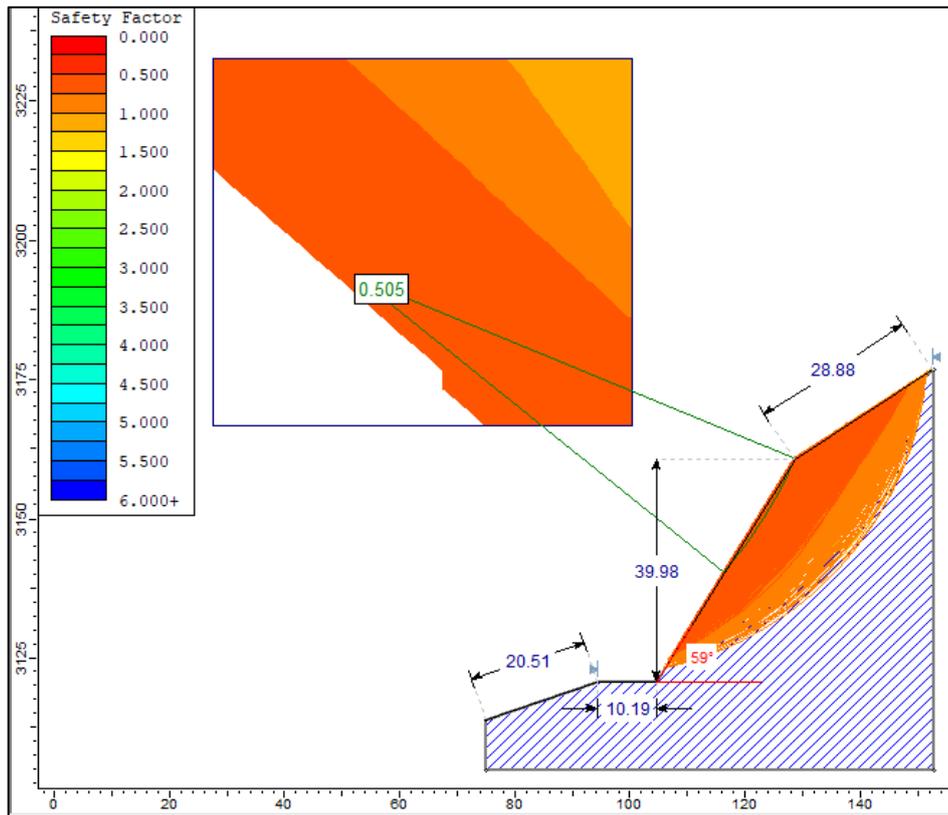


Figura 3.34 Factor de seguridad TC-03 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

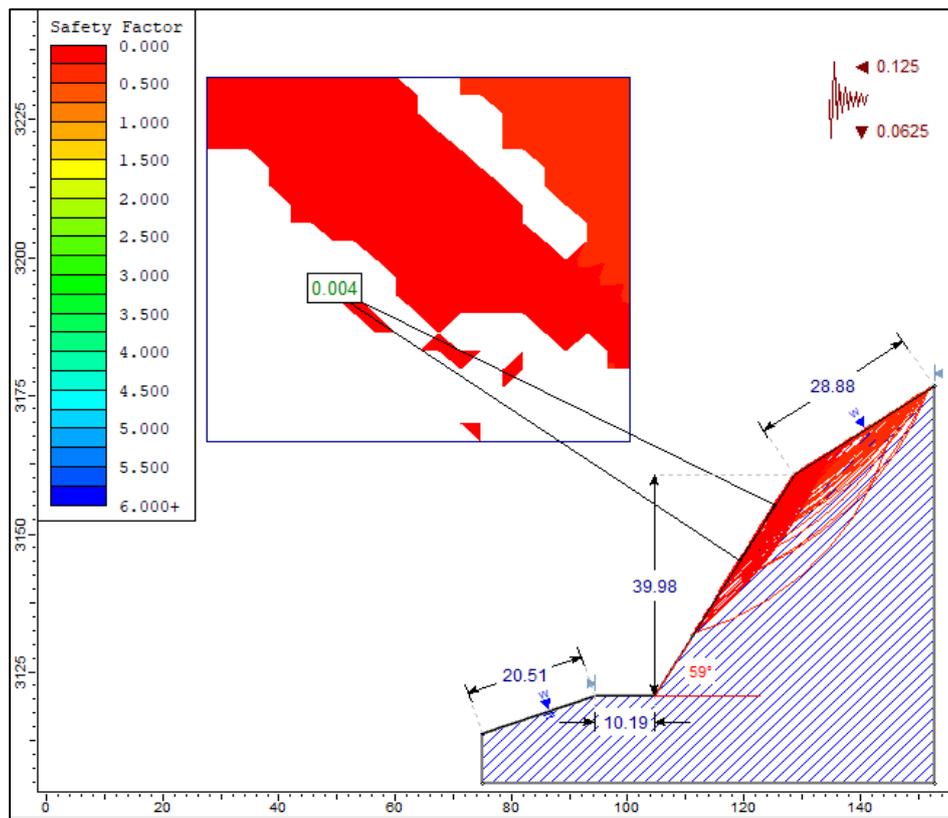


Figura 3.35 Factor de seguridad TC-03 por método de Spencer en condiciones de Tensiones efectivas más Sismicidad

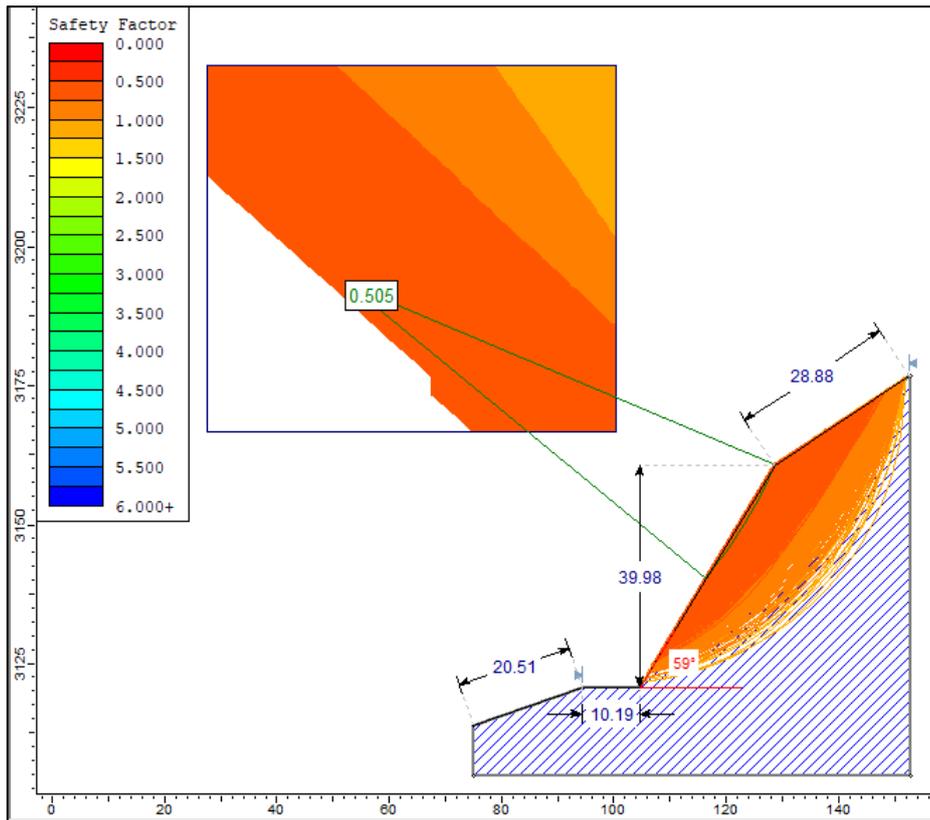


Figura 3.36 Factor de seguridad TC-03 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales

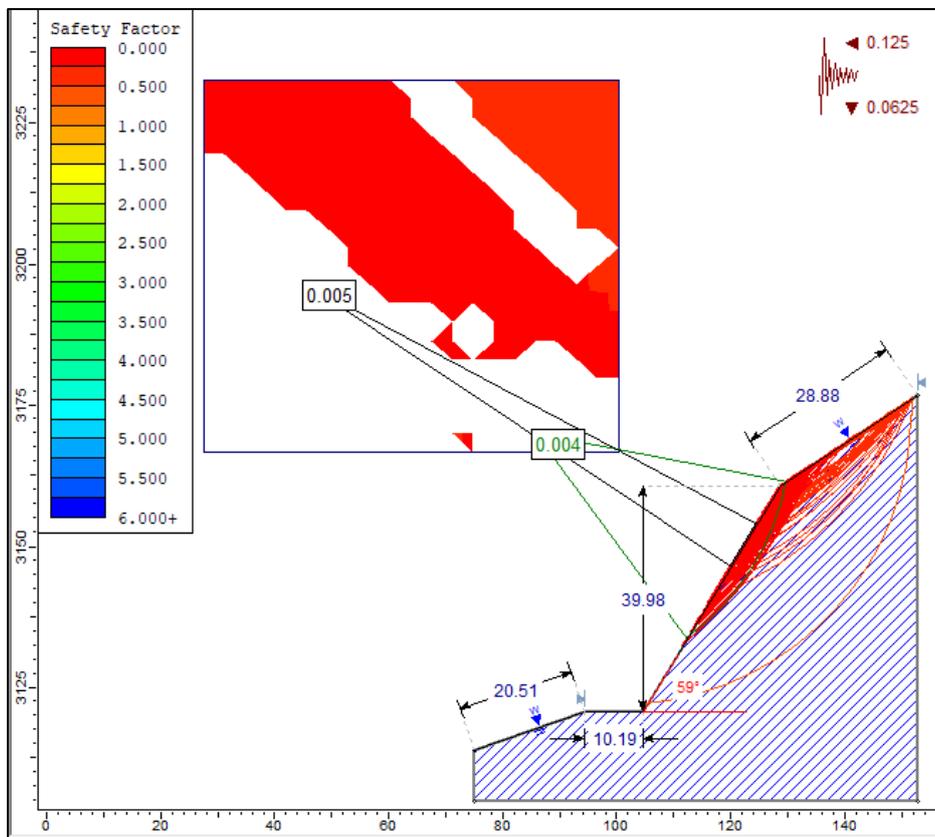


Figura 3.37 Factor de seguridad TC-03 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones efectivas más Sismicidad

3.10.4 ESTACIÓN TC-04 PROGRESIVA (16 +174 – 16 +178.5)

Formada por calizas nodulares micritas de color beige a gris muy resistentes perteneciente a la Formación Chambará (Tr-ch) con planos de estratificación intercalados (10/30 cm) como se muestra en la Tabla 3.20, conformando dos familias principales de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento alto. Se evidencia desprendimiento de rocas.

COORDENADAS	
NORTE	9242207
ESTE	192728
COTA	3086
GEOMETRÍA DEL TALUD	
ALTURA	23.20 m
PIE	11.96 m
DIP	73
DD	210

La fotografía muestra un talud de roca con una inclinación de 73 grados. Se observan dos familias de discontinuidades: una marcada con un recuadro verde 'D1' y otra con un recuadro amarillo 'D2'. Una línea roja indica la inclinación del talud, etiquetado como 'TALUD TC-04' con un ángulo de '73'. En la parte superior izquierda hay una etiqueta 'NE' y en la superior derecha 'SW'. Un trabajador es visible en la base del talud.

Foto 3.23 Talud TC-04 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 16+174 – 16+178.5

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-04, haciendo uso de los de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.20 se presenta el resumen de los datos tomados.

Tabla 3.20 Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-04

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica																					
REGISTRO N° 04 : Datos de Discontinuidades				TESIS : ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA – ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS																					
RESPONSABLE : Trinidad Sánchez																									
SISTEMA : WGS 84																									
CODIGO : 04		FECHA : 2020																							
TC	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZ	GRADO DE FRACT.	RQD	GSI	E=Estratif.	RESIST.C OMP.UNI AX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	LECTURA					
					1=Fresco											TIPO	DUREZA								
2=Lev	3=Mod	1 = Alto	1= Bloq-regular	2= Bloq-irregular	3= Bloq y capas	4= Fract-	4= Ond. - Lisa	5= Suave - pulida	6= Bx	7= Panizo	8= Veta														
4	192728	9242207	3086	Calizas/ Fm Chambará	3	2	ND = 63	3		70	43	261	E = 0.65 m	P = 3.5 m	A = 15 mm	2	1	5	3	2	1				
				L = 4 m	50-60	E	42	265	2	3	5	2	1	5	3	2	1								
				λ = 15.75			46	261	2	3	5	2	1	5	3	2	1								
				RDQ=53.30			42	266	2	3	5	2	1	5	3	2	1								
						36	262																		
						37	264	2	3	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						70	110	E = 0.55 m	P = 1.5 m	A = 20 mm	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						69	109	3	2	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						60	120	3	2	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						54	121	3	2	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						54	119	3	2	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						55	49	E = 0.50 m	P = 0.6 m	A = 10 mm	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						58	44	3	1	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						62	38	3	1	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						52	41	3	1	5	2	1	5	3	2	1	5	3	2	1					
						72	210																		1
		73	210																						
		69	211																						
		70	209																						

Fuente: Rodriguez,2016

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-04, tal como se muestra en la Figura 3.38. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-04

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 04				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	70 MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.513
			S	0.0007
			a	0.506
GSI	50	Parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	c	0.333 MPa
			phi	48.70 degrees
mi	8	Parámetros del Macizo Rocosos	sigt	-0.097 MPa
			sigc	1.793 MPa
			sigcm	6.619 MPa
			Erm	5256.81 MPa
D	0.7	Rango de Envolvente De Falla	Datos del Talud	
Ei	49000		sig3max	0.5009 MPa
MR	700		Unit Weight	0.026 MN/m3
			Slope Height	23.20 m

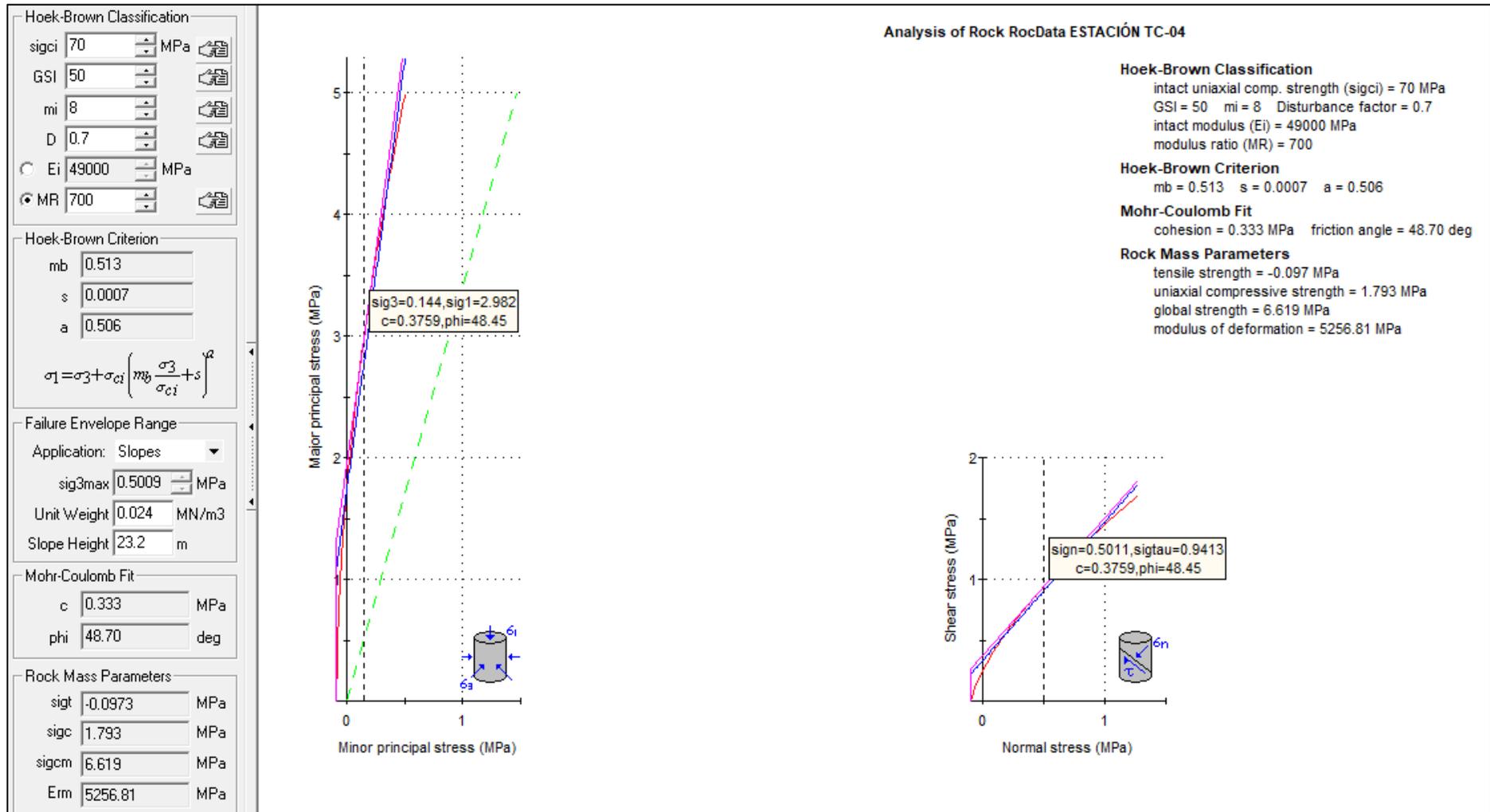


Figura 3.38 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-04

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 15.75$

ND = 63 y L= 4 m

Se obtiene **RQD= 53.30**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.20, se calculó el RMR89 del macizo rocoso de la estación TC-04 obteniendo como resultado el valor de **53** dando una clasificación geomecánica Tipo III – Calidad Regular (ver tabla 2.9).

Tabla 3.22 Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 04.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25	1 – 5	< 1
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%			
	VALOR	20	17	12	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm			
	VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0				
VALOR		30	23	13	6	0			
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR	15	10	7	4	0			
VALOR TOTAL RMR		$RMR = 7 + 12+15+4+0+5+0+3+7=53$							

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

En el macizo rocoso de la estación TC-04, según los resultados del Dips V.6, muestra una probabilidad de 15.79% de rotura planar (Ver Figura 3.39 (a)); probabilidad de 25.73% de rotura en cuña, al NW el talud y el estrato y al SE entre la Familia 1 y la cara de talud (Ver Figura 3.39 (b)).

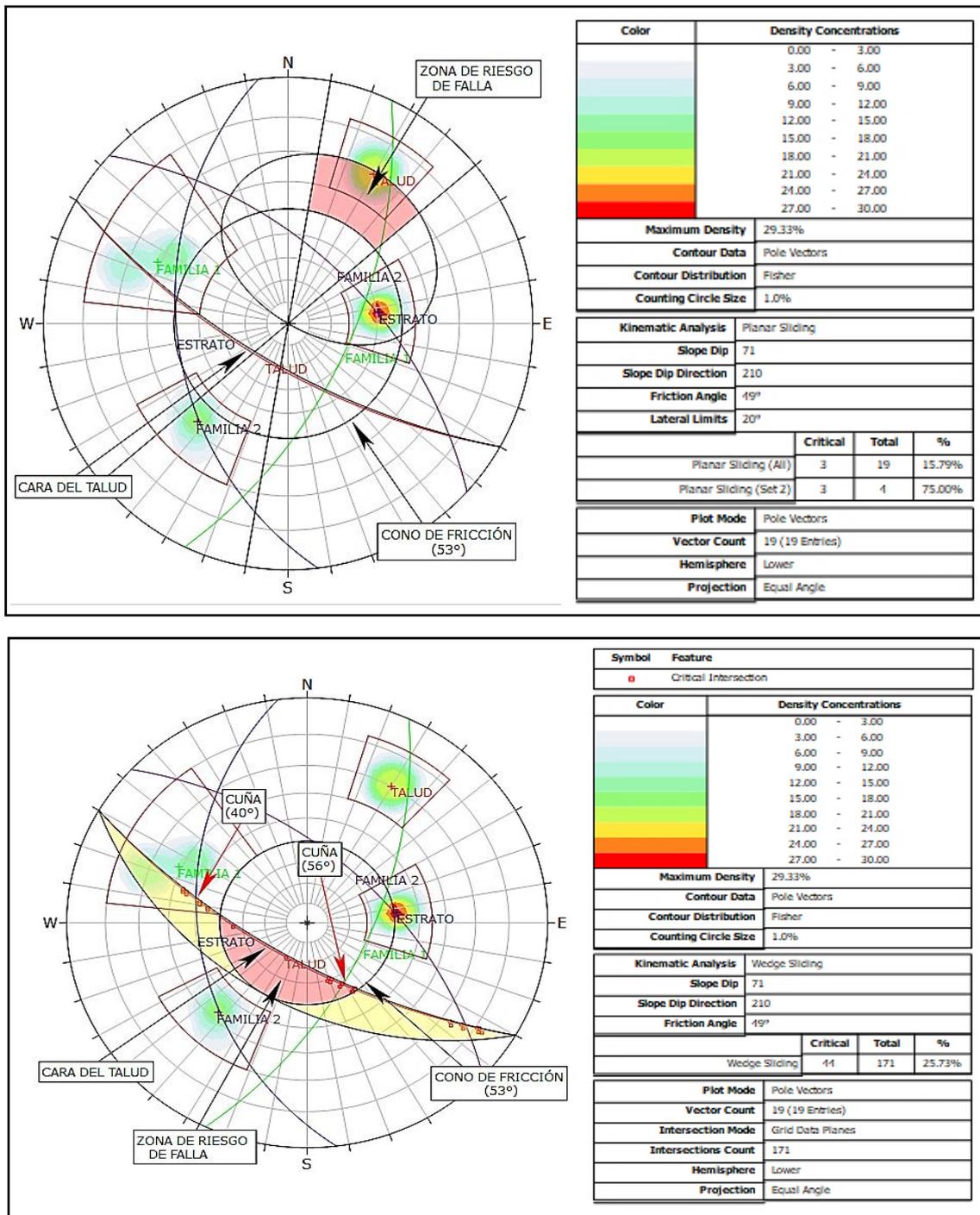


Figura 3.39 Estación TC-04 Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide V.6

Para el cálculo del FS de la estación TC-04, se usó los cuatro métodos: Bishop Simplificado, y Janbu Simplificado. El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.23, donde se determina que el talud de la estación TC-04 es inestable, ya que se requiere que el valor mínimo del FS sea 1.5, para considerarse estable y seguro.

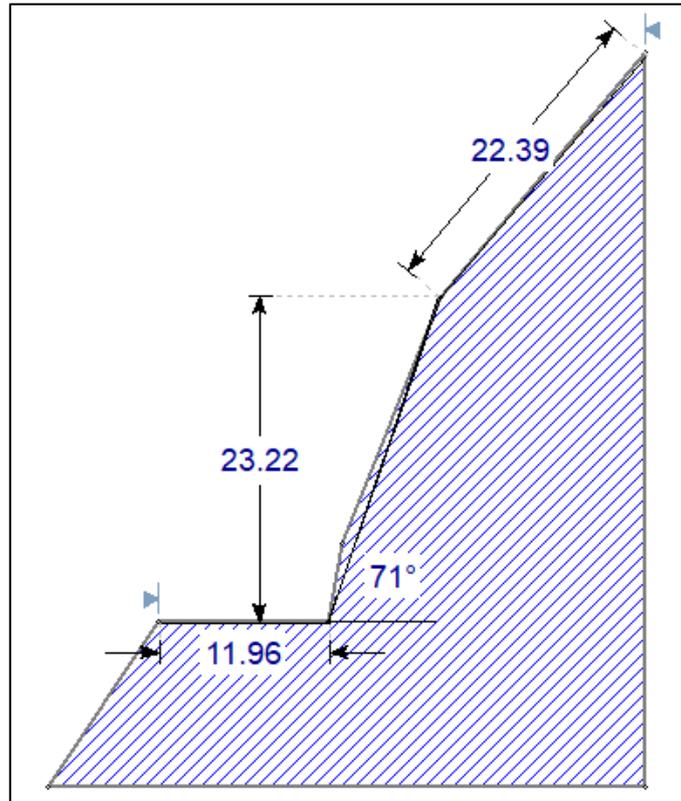


Figura 3.40 Estación TC-04 dimensiones del Talud

Tabla 3.23 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-04

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	1.298	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	1.094	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	1.249	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	1.023	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Totales	1.296	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	1.243	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Totales	1.293	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	1.092	Inestable

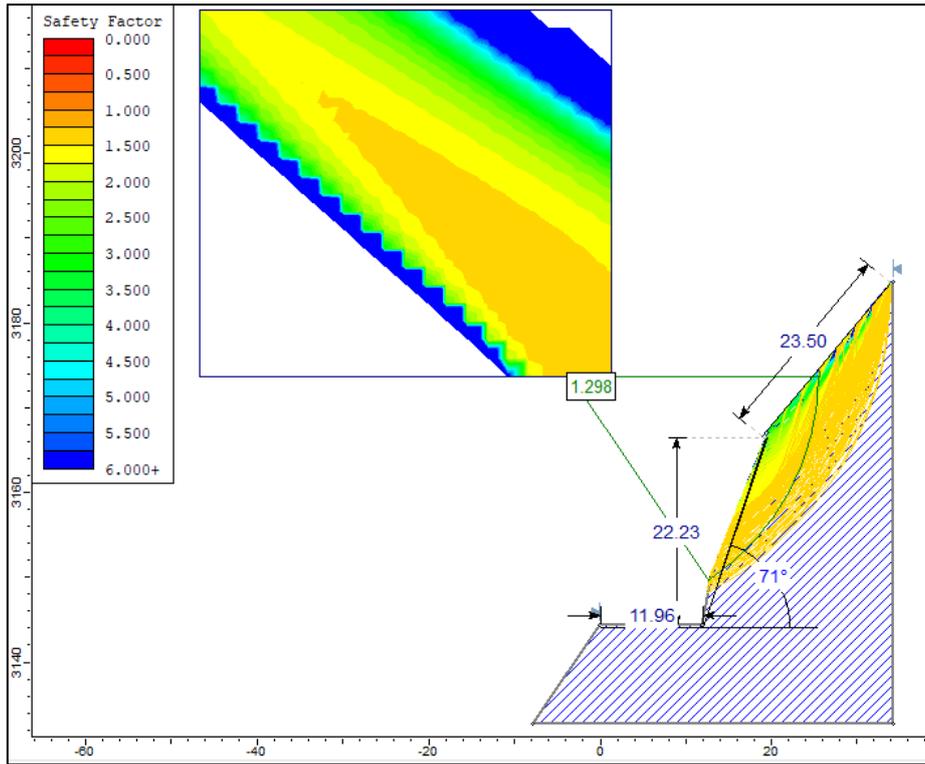


Figura 3.41 Factor de seguridad TC-04 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales

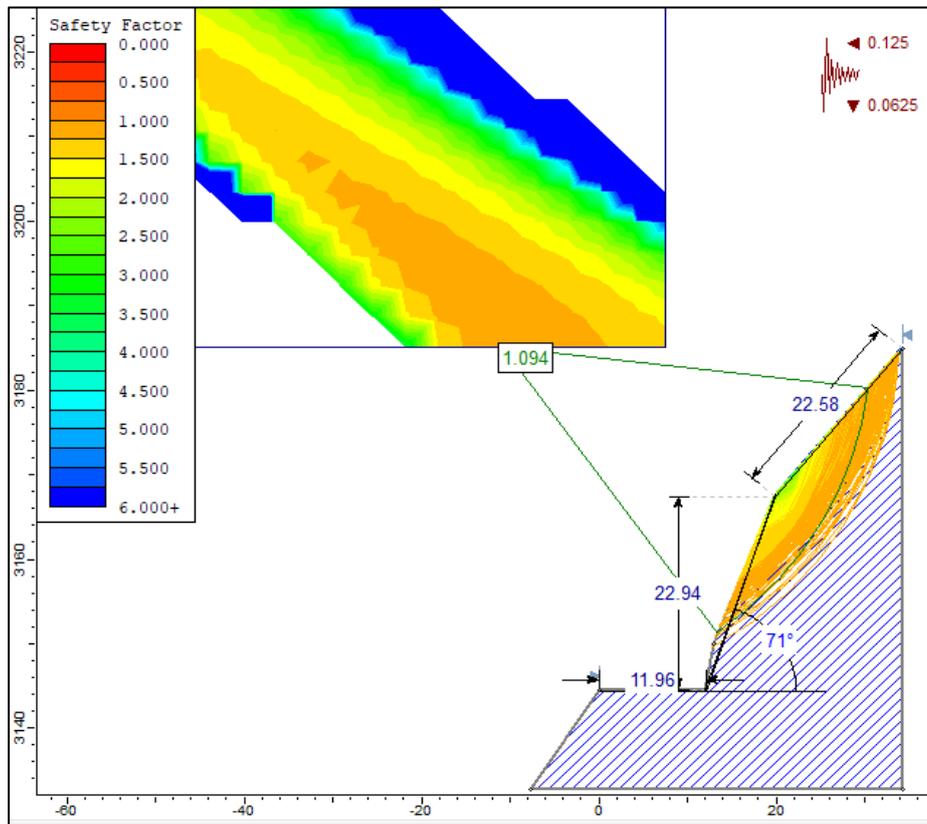


Figura 3.42 Factor de seguridad TC-04 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

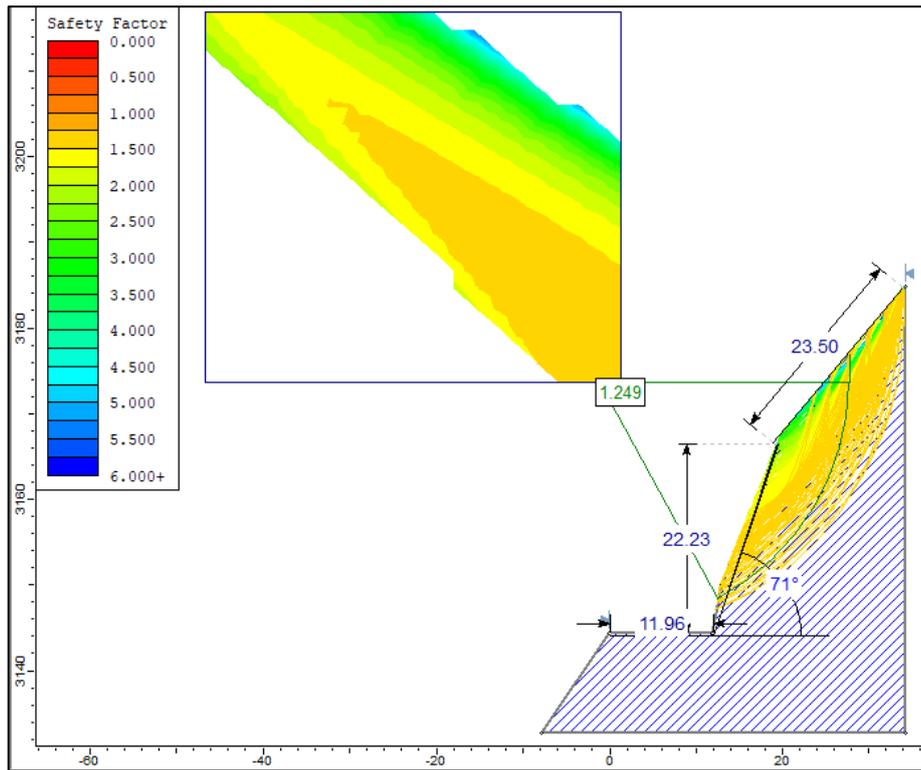


Figura 3.43 Factor de seguridad TC-04 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales

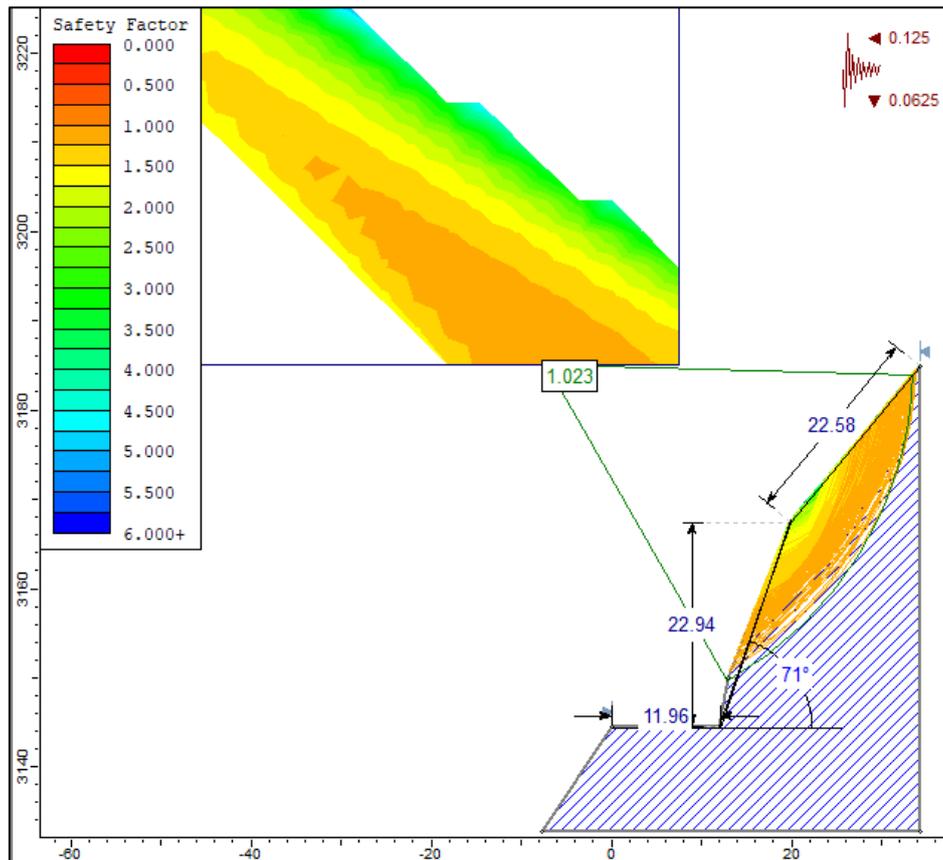


Figura 3.44 Factor de seguridad TC-04 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

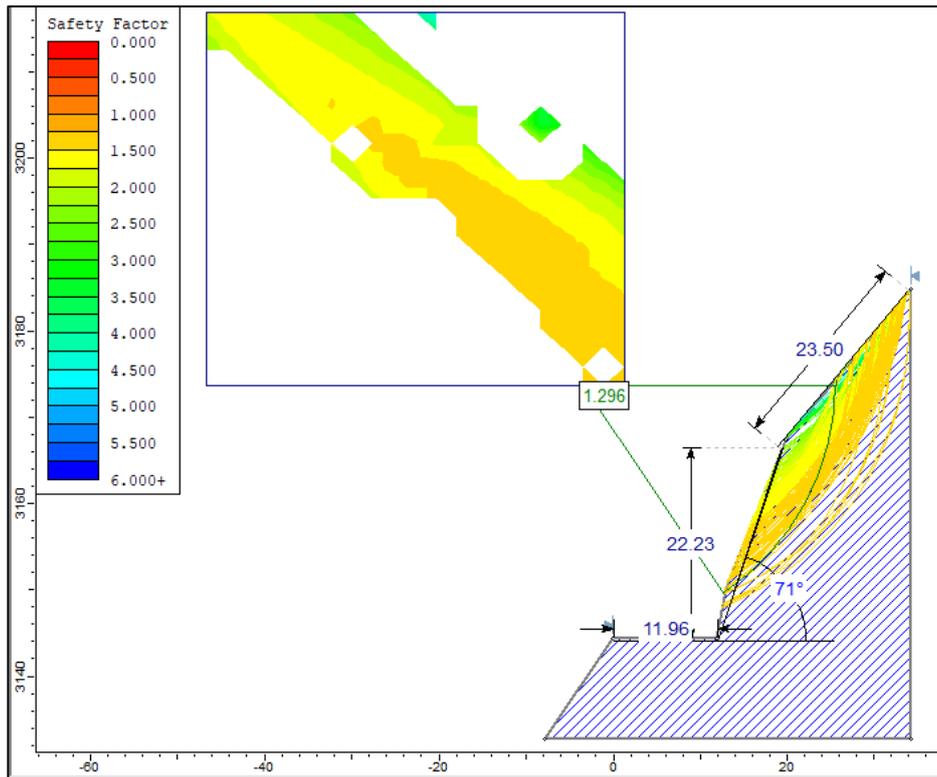


Figura 3.45 Factor de seguridad TC-04 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

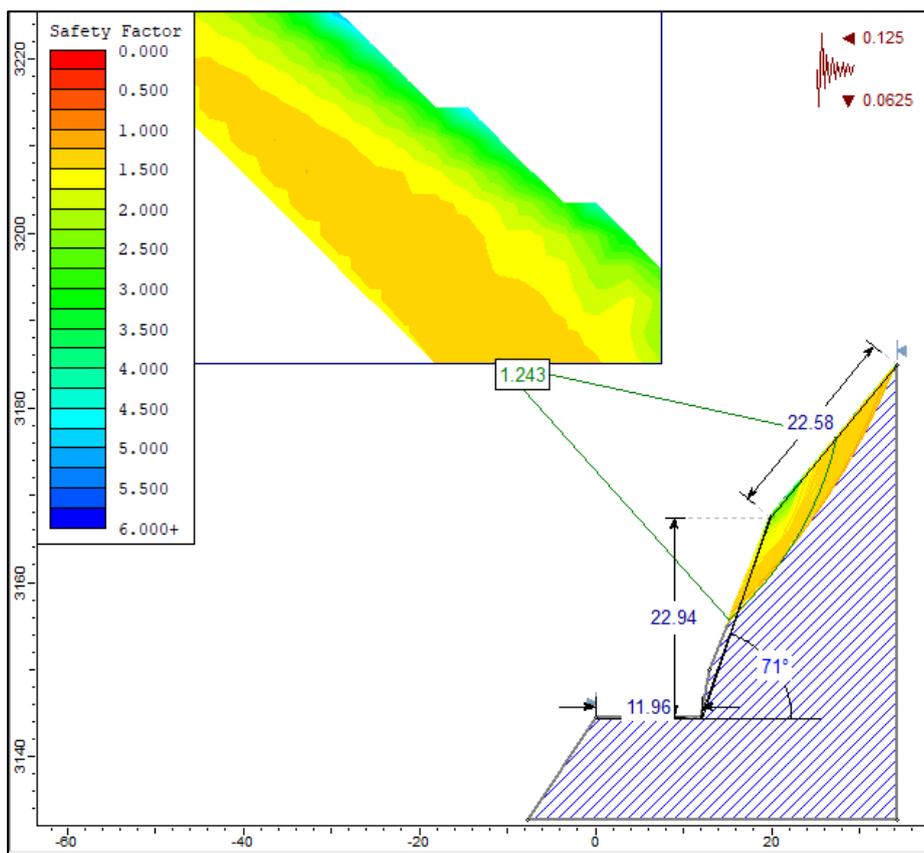


Figura 3.46 Factor de seguridad TC-04 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

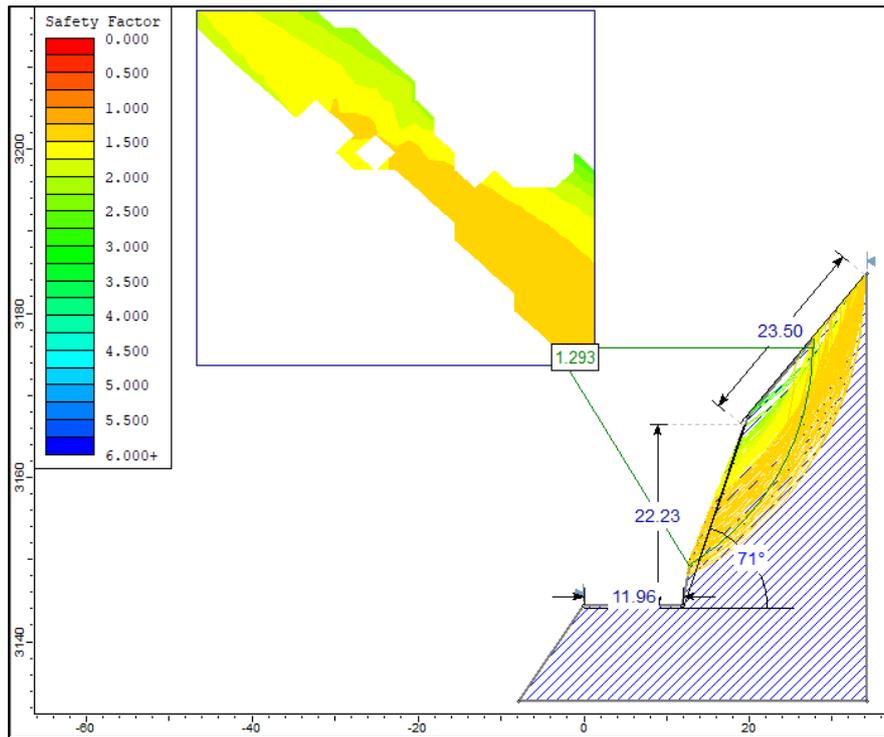


Figura 3.47 Factor de seguridad TC-04 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales

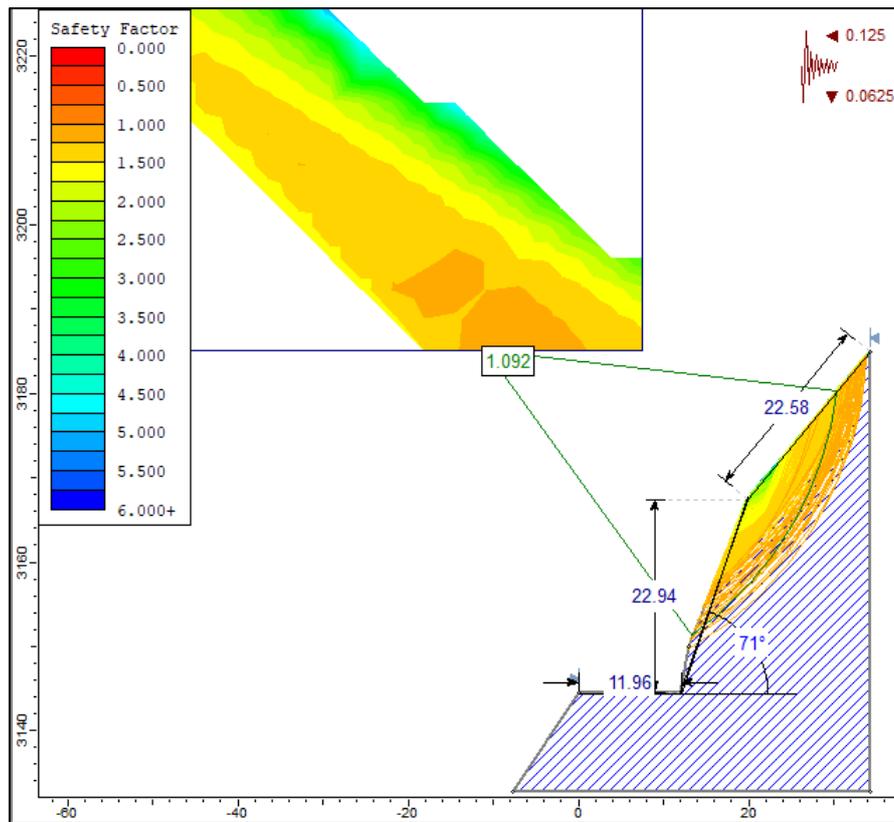


Figura 3.48 Factor de seguridad TC-04 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

3.10.5 ESTACIÓN TC-05 PROGRESIVA (16+564 – 16 +570)

Compuesta por calizas nodulares beige-negras demasiano resistentes pertenecientes a la Formación Chambará (Tr-ch) con planos de estratificación intercalados (10/15cm) como se muestra en la Tabla 3.24, conformando dos familias principales de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento alto.

COORDENADAS	
NORTE	9241970
ESTE	193015
COTA	3107
GEOMETRÍA DEL TALUD	
ALTURA	36.25 m
PIE	7.449 m
DIP	53
DD	238

Foto 3.24: Talud TC-05 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresiva 16+ 564 – 16+570

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-05, haciendo uso de los de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.24 se presenta el resumen de los datos tomados.

Tabla 3.24 Registro Geológico-Geotécnico tomados en campo, Estación TC-05

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica																				
REGISTRO Nº 05 : Datos de Discontinuidades				TESIS : ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS																				
RESPONSABLE : Trinidad Sánchez																								
SISTEMA : WGS 84																								
CODIGO : 05		FECHA : 2020																						
TC	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZ	GRADO DE FRACT.	RQD	GSI	TIPOS	RESIST.CO MP.UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIAD O (m)	PERSIS (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC- METEOR	AGUA	LECTURA				
					1=Fresco	1 = Alto	λ	1 = Bloq - regular	E=Estratif.	σci (Mpa)	ORIENTACIÓN	1 = > 2	1 = < 1	1 = Nada	1=Muy Rug.	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1 = Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real				
				2=Lev	2 = Med				λ			2 = Bloq - irregular	D=Diaclasa	DIP	DD	2 = 2 -0, 6	2 = 1-3	2 = < 0,1	2= Rugos	2 = Qz / Silic	2=Duro<	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar
				3=Mod		3 = Bloq y capas	λ	3 = Bloq - intenso					Fn=Falla Norm			3 = 0, 6 -0,2	3 = 3-10	3 = 0,1 - 1,0	3= Lig.Ru	3 = Calcita	3=Duro>	3=Mod.Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy
				4=Alt									4= Fract- intenso			ND/m	4= Fract- intenso	Fi=falla inversa	4=0,2 - 0,06	4=10-20	4=1,0-5,0	4= Ond. - Lisa	4 = Oxidos	4=Suave
				5=Compl	6=Suelo	ND/m	4= Fract- intenso	Fd=falla Direcc	5 = < 0,06			5 = >20						5 = >5	5= Suave - pulida	5 = Roca Tritur	5=Suave >5mm.	5= Descomp	5 = Flujo	
				6=Suelo								mf=Microfalla							6 = Bx			6 = Presión		
								SE=Sobrees.							7 = Panizo									
								C=Contacto							8 = Veta									
5	193015	9241970	3107	Calizas / Fm Chamberá	3	1	ND = 47	3			60	42	256	E = 0.10 m	P = 16 m	A = 2 mm	2	1	4	3	3	1		
							L = 3	45-50	E				40	258	4	4	4	2	1	4	3	3	1	
								λ = 15.67				40	259	4	4	4	2	1	4	3	3	1		
								RQD=53.57				42	262	4	4	4	2	1	4	3	3	1		
												40	260	4	4	4	2	1	4	3	3	1		
												70	112	E = 1.20 m	P = 11 m	A = 1 mm	2	1	4	3	2	1		
												75	108	2	4	3	2	1	4	3	2	1		
												66	105	2	3	3	2	1	4	3	2	1		
												70	103	2	4	3	2	1	4	3	2	1		
												69	114	2	4	3	2	1	4	3	2	1		
												48	131	E = 0.45 m	P = 0.7 m	A = 1 mm	2	1	4	3	3	1		
												52	132	3	3	3	2	1	4	3	3	1		
												50	121	3	3	3	2	1	4	3	3	1		
												54	127	3	3	3	2	1	4	3	3	1		
												52	130	3	3	3	2	1	4	3	3	1		
												50	240									1		
											52	241												
											51	243												
											48	240												
											53	238												

Fuente: Rodriguez, 2016

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-05, tal como se muestra en la Figura 3.49. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-05

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 05				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	60MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.239
			S	0.0001
			a	0.511
GSI	47	Parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	c	0.217 MPa
			phi	38.65 degrees
mi	8	Parámetros del Macizo Rocosos	sigt	-0.0330 MPa
			sigc	0.625 MPa
			sigcm	3.700 MPa
			Erm	2260.01 MPa
D	0.8	Rango de Envolvente de Falla	Datos del Talud	
Ei	42000		sig3max	0.07136 MPa
MR	700		Unit Weight	0.024 MN/m3
			Slope Height	36.25 m

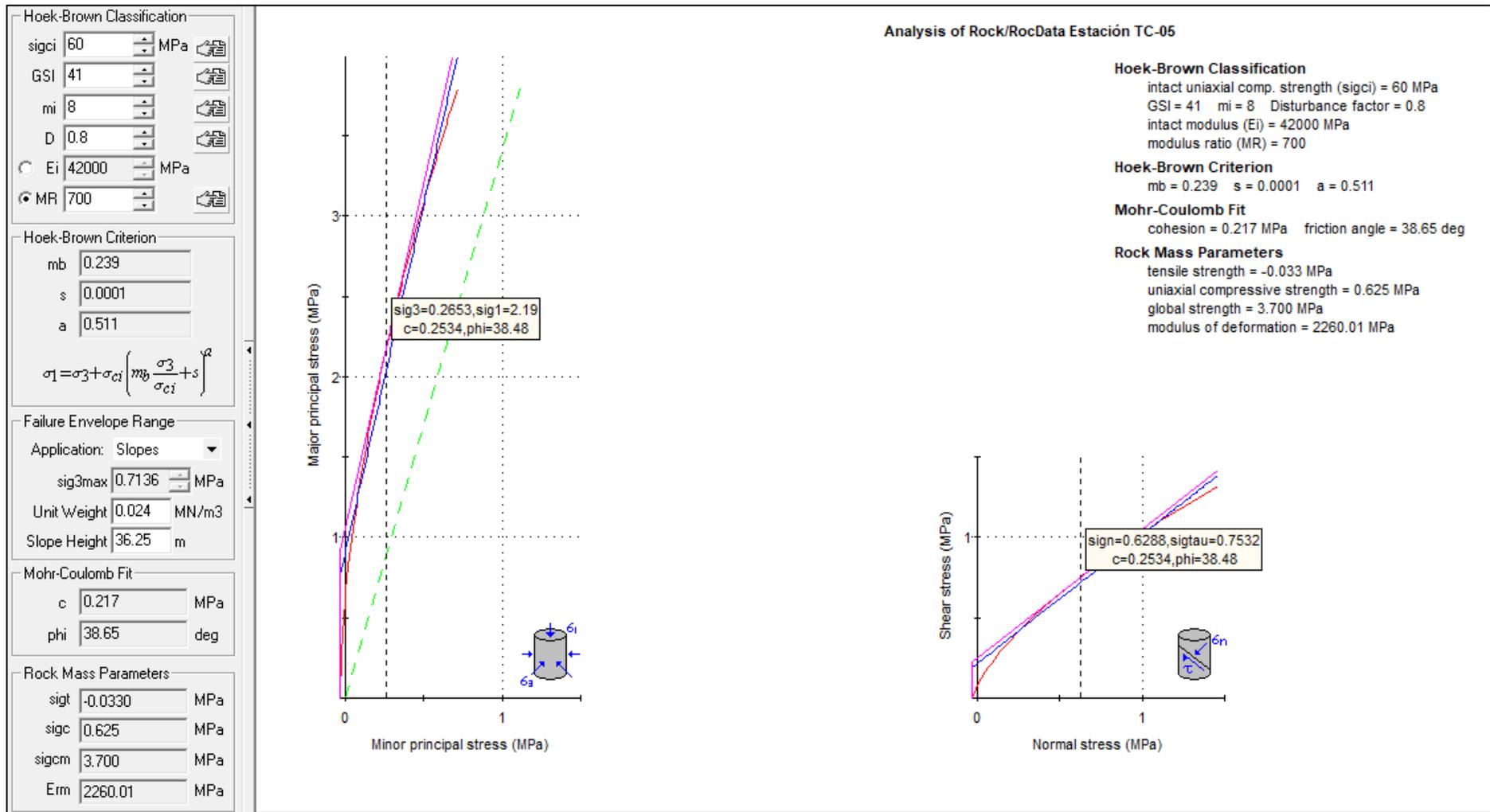


Figura 3.49 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-05

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 15.67$

ND = 47 y L = 3 m

Se obtiene **RQD= 53.57**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.24, se calculó el RMR89 del macizo rocoso de la estación TC-05 obteniendo como resultado el valor de **45** dando una clasificación geomecánica Tipo III – Calidad Regular (ver Tabla 2.9).

Tabla 3.26 valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 05.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25	1 – 5	< 1
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%			
	VALOR	20	17	12	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm			
	VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
	VALOR	6	5	4	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
	VALOR	6	5	3	1	0			
	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm			
	VALOR	6	4	2	2	0			
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	descompuesta			
VALOR	6	5	3	1	0				
VALOR		30	23	13	6	0			
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR	15	10	7	4	0			
VALOR TOTAL RMR		$RMR = 7 + 12+8+2+4+3+ 2+3+4=45$							

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

En el macizo rocoso de la estación TC-05, según los resultados del Dips V.6, muestra una probabilidad mínima de 10% de rotura planar (Ver Figura 3.50 (a)); probabilidad mínima de 3.16% de rotura en cuña al SW (Ver Figura 3.50 (b)).

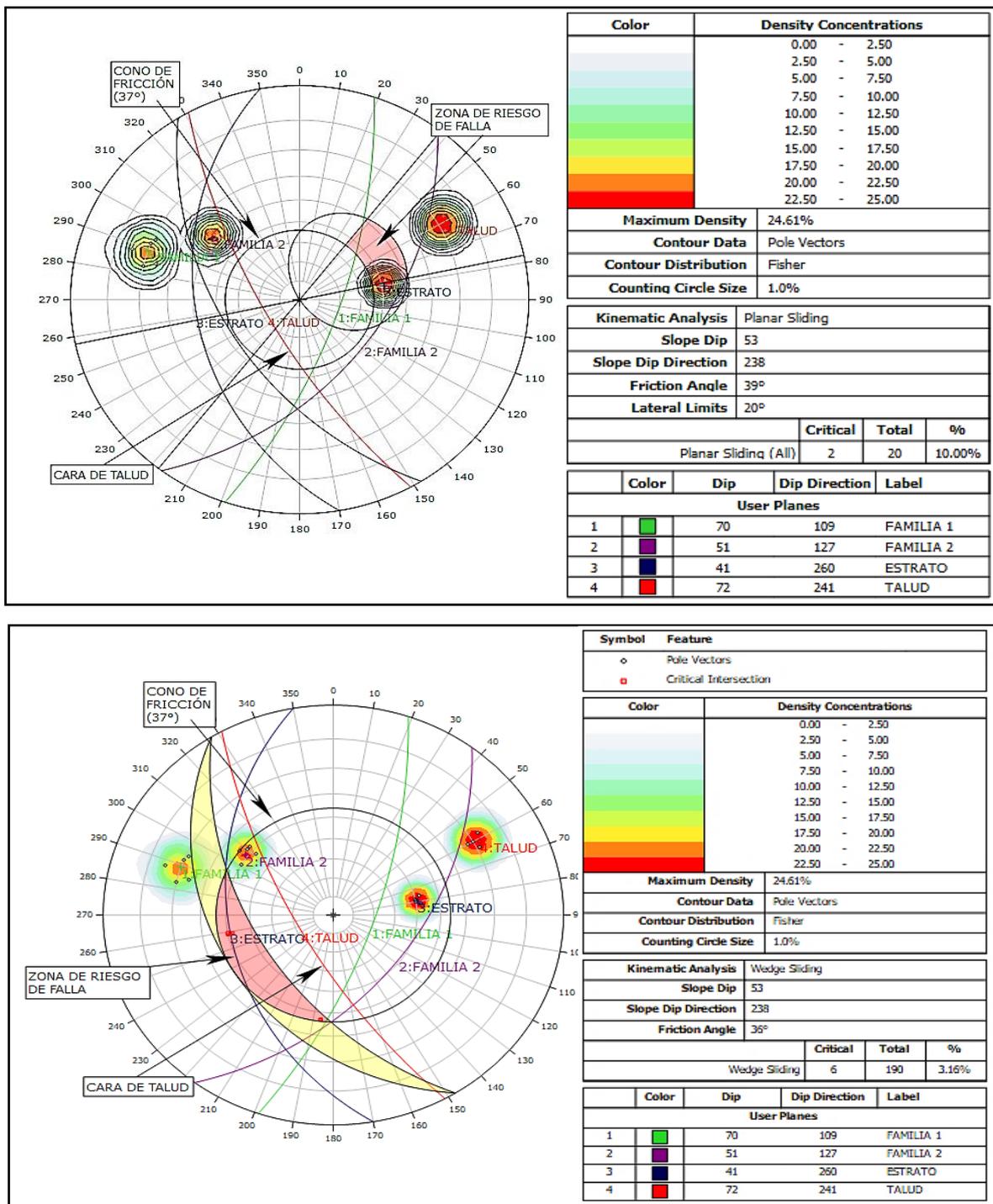


Figura 3.50 Estación TC-05 Análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Para el cálculo del FS de la estación TC-05, se usó los cuatro métodos: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Gle/Morgenstern-Price, y Spencer, tal como se hizo en la estación TC-03. El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.27, donde se determina que el talud de la estación TC-05 es estable inestable, con los cuatro métodos en condiciones normales y condiciones efectivas más sismicidad

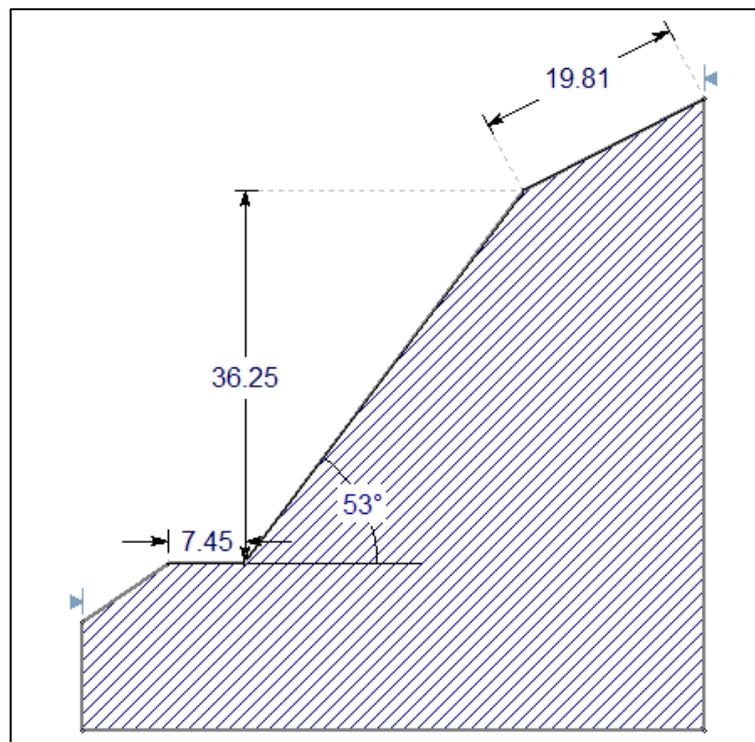


Figura 3.51 Estación TC-05, dimensiones del Talud.

Tabla 3.27 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-05

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.624	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.026	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.617	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.02	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Totales	0.621	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.018	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Totales	0.621	Inestable
	Condiciones de Tensiones efectivas + Sismicidad	0.076	Inestable

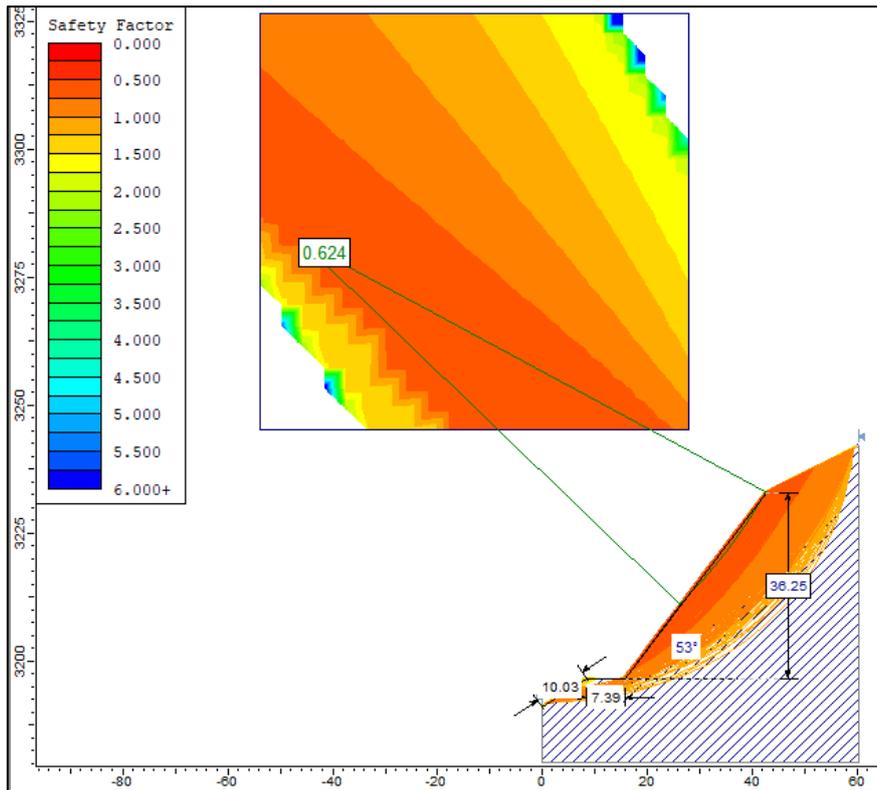


Figura 3.52 Factor de seguridad TC-05 por método de Bishop simplificado, en condiciones de Tensiones Totales

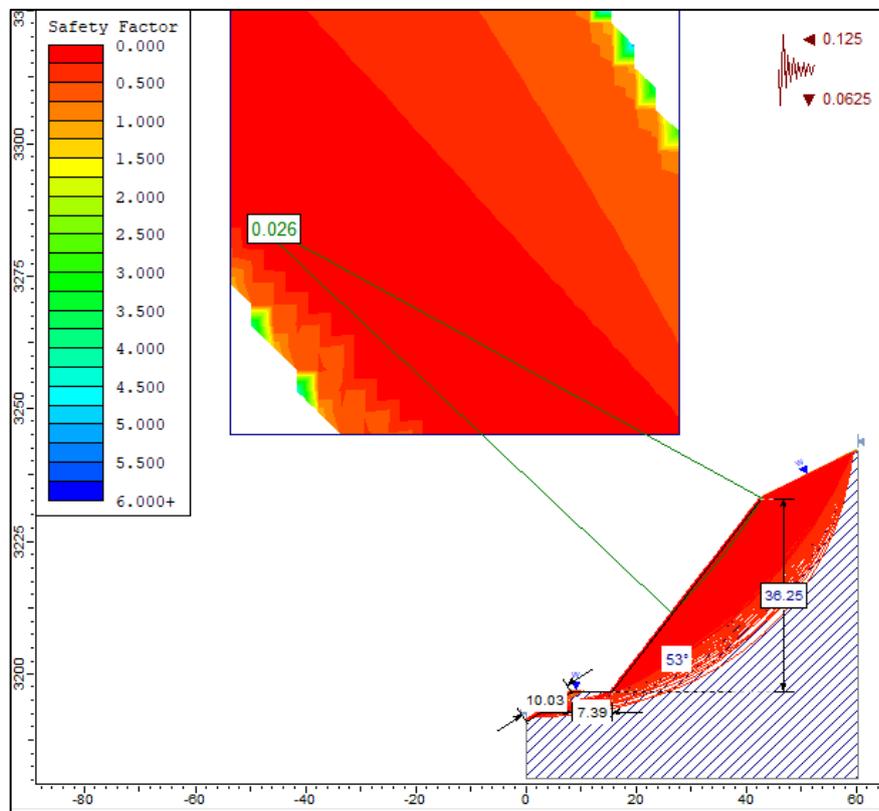


Figura 3.53 Factor de seguridad TC-05 por método de Bishop simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

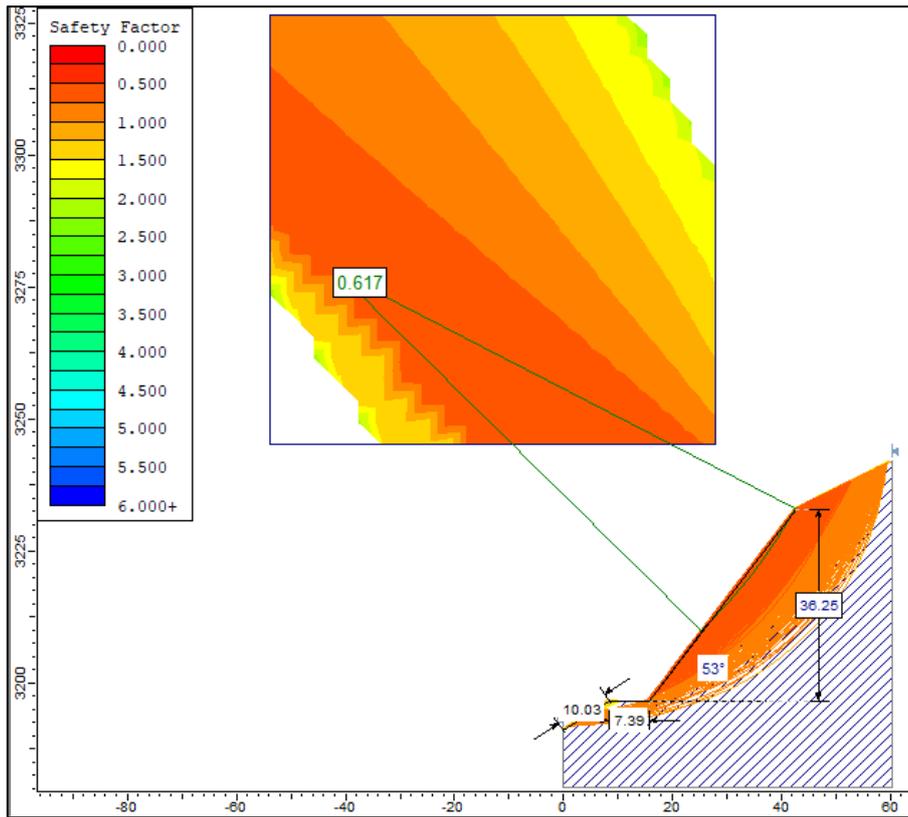


Figura 3.54 Factor de seguridad TC-05 por método de Janbu simplificado, en normales

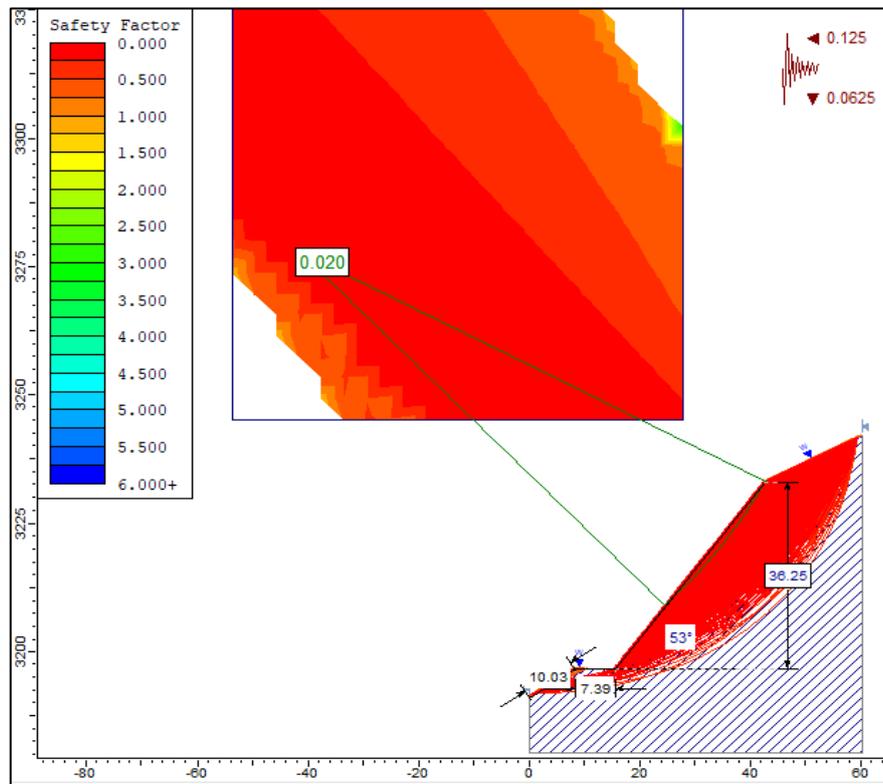


Figura 3.55 Factor de seguridad TC-05 por método de Janbu simplificado, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

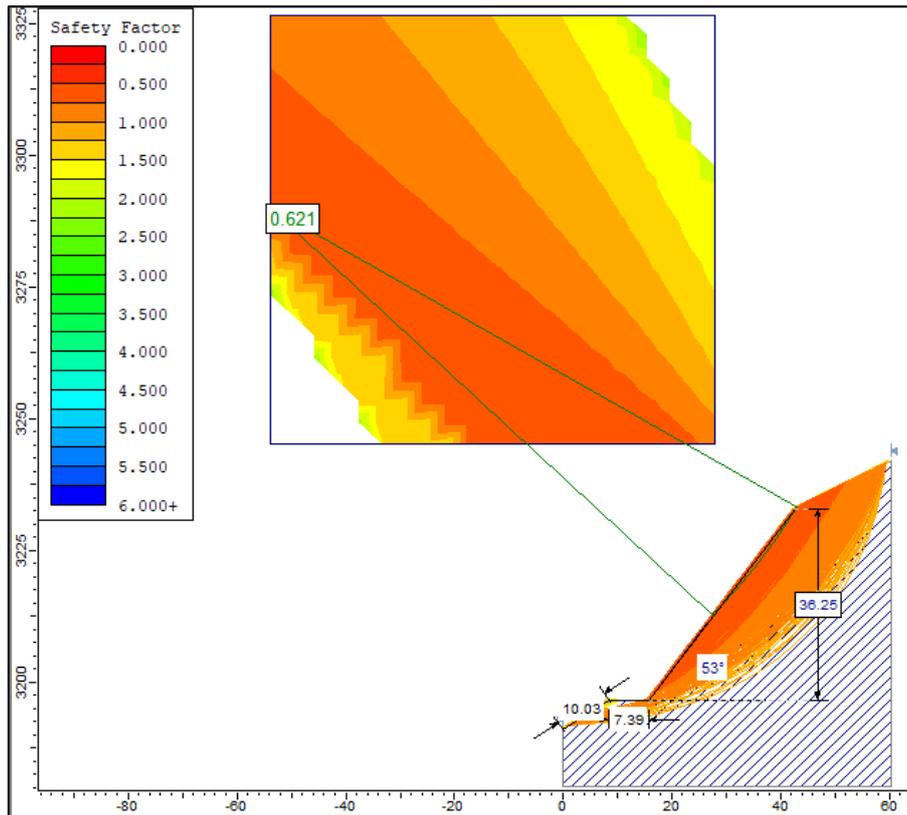


Figura 3.56 Factor de seguridad TC-05 por método de Spencer, en condiciones de Tensiones Totales

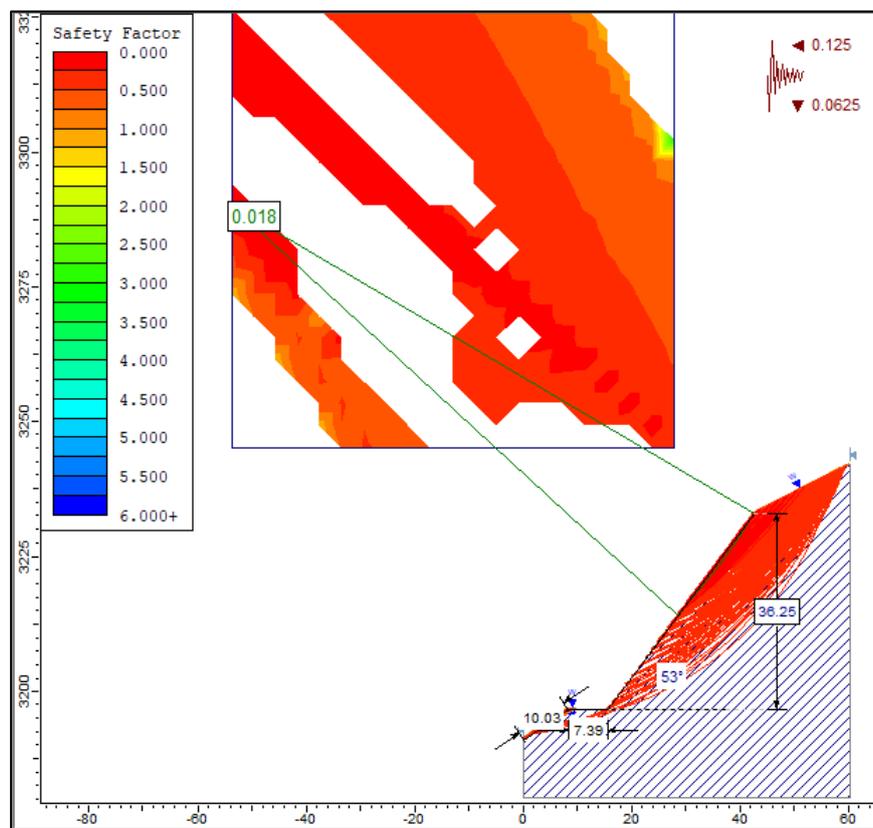


Figura 3.57 Factor de seguridad TC-05 por método de Spencer, en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

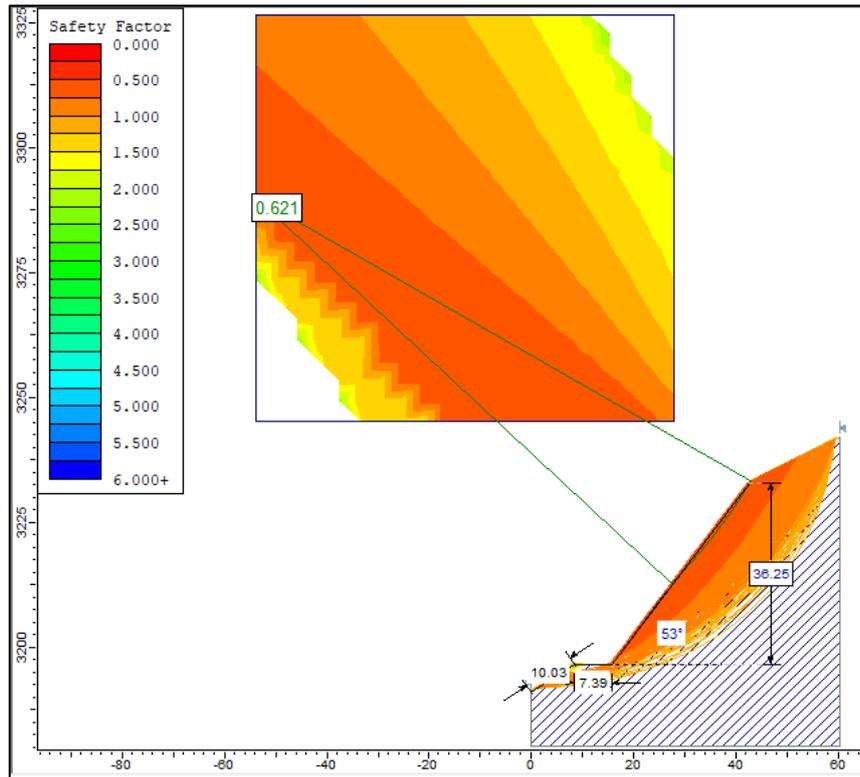


Figura 3.58 Factor de seguridad TC-05 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales

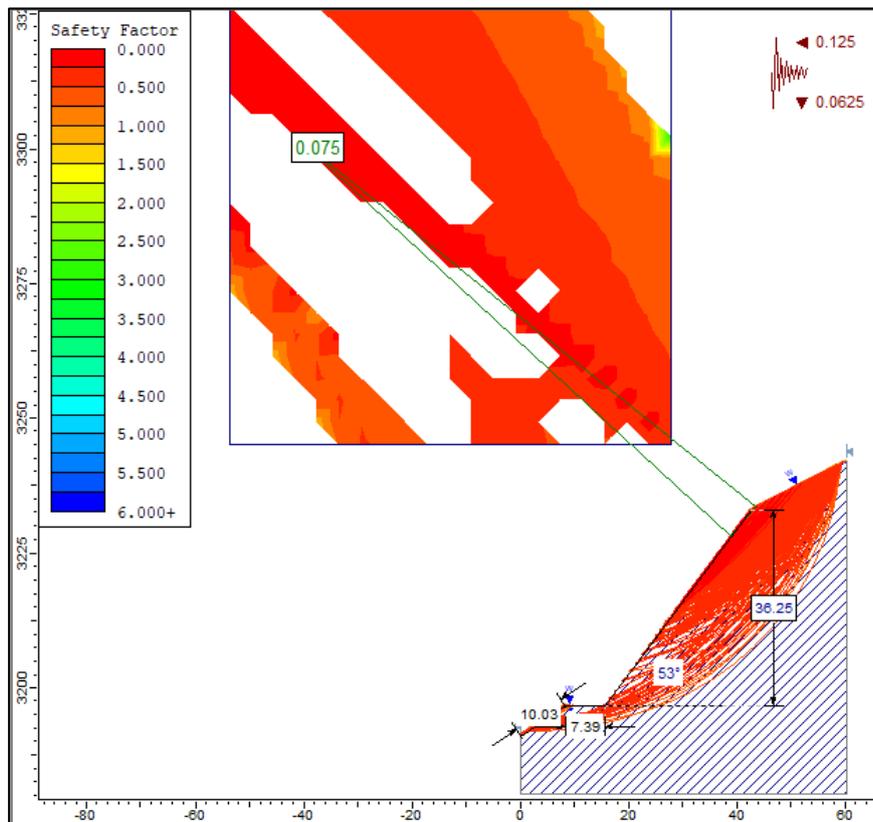


Figura 3.59 Factor de seguridad TC-05 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

3.10.6 ESTACIÓN TC-06 PROGRESIVA (16+658 – 16 +664)

Calizas nodulares negras – grises con coloraciones beige en la parte inferior altamente resistentes perteneciente a la Formación Chambará (Tr-ch) con planos de estratificación intercalados (15/20 cm) como se muestra en la Tabla 3.28, conformando dos familias principales de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento medio.



Foto 3.25 Talud TC-06 calizas de la formación Chambará (Tr-Ch) en las progresivas 16+658 – 16 +664

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-06, haciendo uso de los de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.28 se presenta el resumen de los datos tomados.

Tabla 3.28 Registro Geológico-Geotécnico tomado en campo, Estación TC-06

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO					UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica																																								
REGISTRO N° 06 : Datos de Discontinuidades					TESIS : ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA – ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS																																								
RESPONSABLE : Trinidad Sánchez																																													
SISTEMA : WGS 84																																													
CODIGO : 06			FECHA : 2020																																										
DIS. Nro.	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																																				
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZ		GRADO DE FRACT.	RQD	GSI	TIPOS	RESIST.CO MP.UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIAD O (m)	PERSIS (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	LECTURA																							
					1=Fresco	2=Lev						λ	1= Bloq-regular					2= Bloq-irregular	3= Bloq y capas				4= Fract- intens	TIPO	DUREZA																				
3=Mod	4=Alt	5=Compl	6=Suelo	1= Alto	2= Med	3= Bajo	ND/m	1= Bloq-regular	2= Bloq-irregular	3= Bloq y capas	4= Fract- intens	DIP	DD	1= > 2	2= 2 - 0,6	3= 0, 6 - 0,2	4= 0,2 - 0,06	5= < 0,06	1= Muy Rug.	2= Rugos	3= Lig.Ru	4= Ond. Lisa	5= Suave pulida	6= Bx	7= Panizo	8= Veta	1= Ninguna	2= Duro<5mm	3= Duro>5mm	4= Suave<5mm	5= Suave>5m m.	1= Inalterada	2= Lig. Alt	3= Mod.Alt	4= Muy Alt	5= Descomp	1= Seco	2= Humedo	3= Mojado	4= Goteo	5= Flujo	6= Presión	1= Lec. Real	2= Lect Apar	3= Lec Proy
6	193065	9241879	3107	Calizas/Fm Chambará	3	2	ND=35	3		E	75	50	261	E = 0.18 m	P = 5 m	A = 3 mm	2	1	4	2	2	1																							
							L = 2.5	45-60		E		49	260	4	3	4	2	1	4	2	2	1																							
							λ = 14			E		53	261	4	3	4	2	1	4	2	2	1																							
							RQD=56.18			E		52	263	4	3	4	2	1	4	2	2	1																							
										E		51	260	4	3	4	2	1	4	2	2	1																							
										E		73	123	E = 0.1.20 m	P = 4 m	A = 2 mm	2	1	4	3	2	1																							
										D1		68	126	3	3	4	2	1	4	3	2	1																							
										D1		71	125	3	3	4	2	1	4	3	2	1																							
										D1		70	123	3	3	4	2	1	4	3	2	1																							
										D1		68	125	3	3	4	2	1	4	3	2	1																							
										D2		54	130	E = 0.60m	P = 1.20 m	A = 1 mm	2	1	4	3	2	1																							
										D2		53	127	3	2	3	2	1	4	3	2	1																							
										D2		50	129	3	2	3	2	1	4	3	2	1																							
										D2		53	131	3	2	3	2	1	4	3	2	1																							
										D2		55	129	3	2	3	2	1	4	3	2	1																							
										TALUD		77	225									1																							
												76	222																																
												76	221																																
												75	220																																
												75	222																																

Fuente: Rodriguez, 2016

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-06, tal como se muestra en la Figura 3.60. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.29.

Tabla 3.29 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-06

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 06				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	70 MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.517
			S	0.0005
			a	0.507
GSI	48	Parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	c	0.317MPa
			phi	49.13 degrees
mi	9	Parámetros del Macizo Rocosó	sigt	-0.077 MPa
			sigc	1.648 MPa
			sigcm	7.054 MPa
			Erm	4249.49 MPa
D	0.7	Rango de Envolvente de Falla	Datos del Talud	
Ei	45000		sig3max	0.5296Pa
MR	600		Unit Weight	0.024 MN/m3
			Slope Height	24.51m

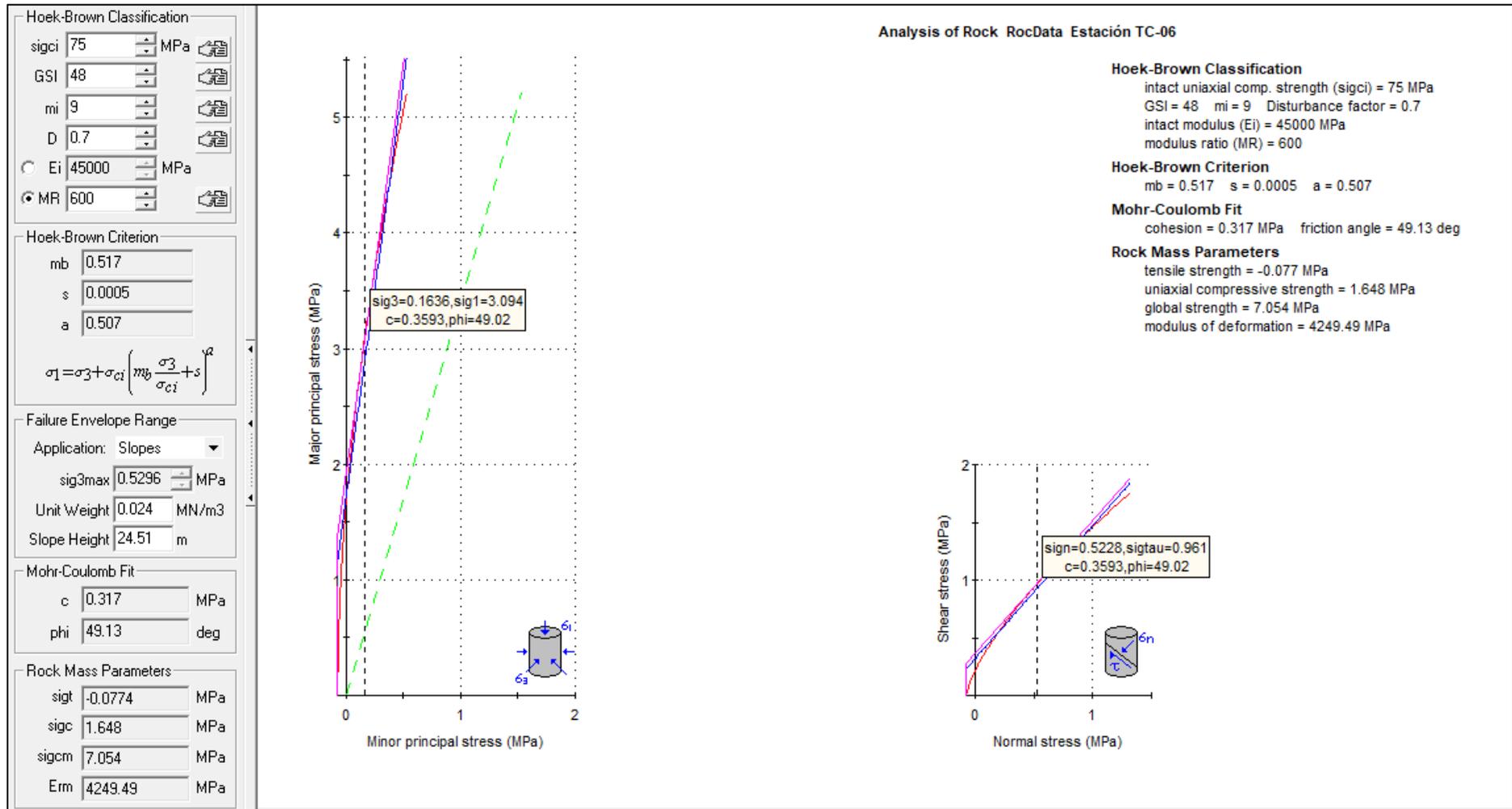


Figura 3.60 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-06

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 5$

ND = 35 y L= 2.50m

Se obtiene **RQD= 59.18**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.28, se calculó el RMR89 del macizo rocoso de la estación TC-05 obteniendo como resultado el valor de **53** dando una clasificación geomecánica Tipo III – Calidad Regular (ver tabla 2.9).

Tabla 3.30 Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 06.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES					
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 1 – 5 < 1 MPa MPa MPa
	VALOR	15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%	
	VALOR	20	17	12	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm	
	VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm
		VALOR	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		VALOR	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		VALOR	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	descompuesta		
VALOR	6	5	3	1	0		
VALOR		30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
	VALOR	15	10	7	4	0	
VALOR TOTAL RMR		RMR= 7+12+10+4+1+5+2+3+7= 53					

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

En el macizo rocoso de la estación TC-06, según los resultados del Dips v6.0 muestra una probabilidad de 15% de rotura planar (Ver Figura 3.61(a)); probabilidad de 37.37% de rotura tipo cuña en las intersecciones del talud y de los estratos al NW, intersección del talud con la familia de discontinuidades 1 y la familia 2 al SE (Ver Figura 3.61(b)).

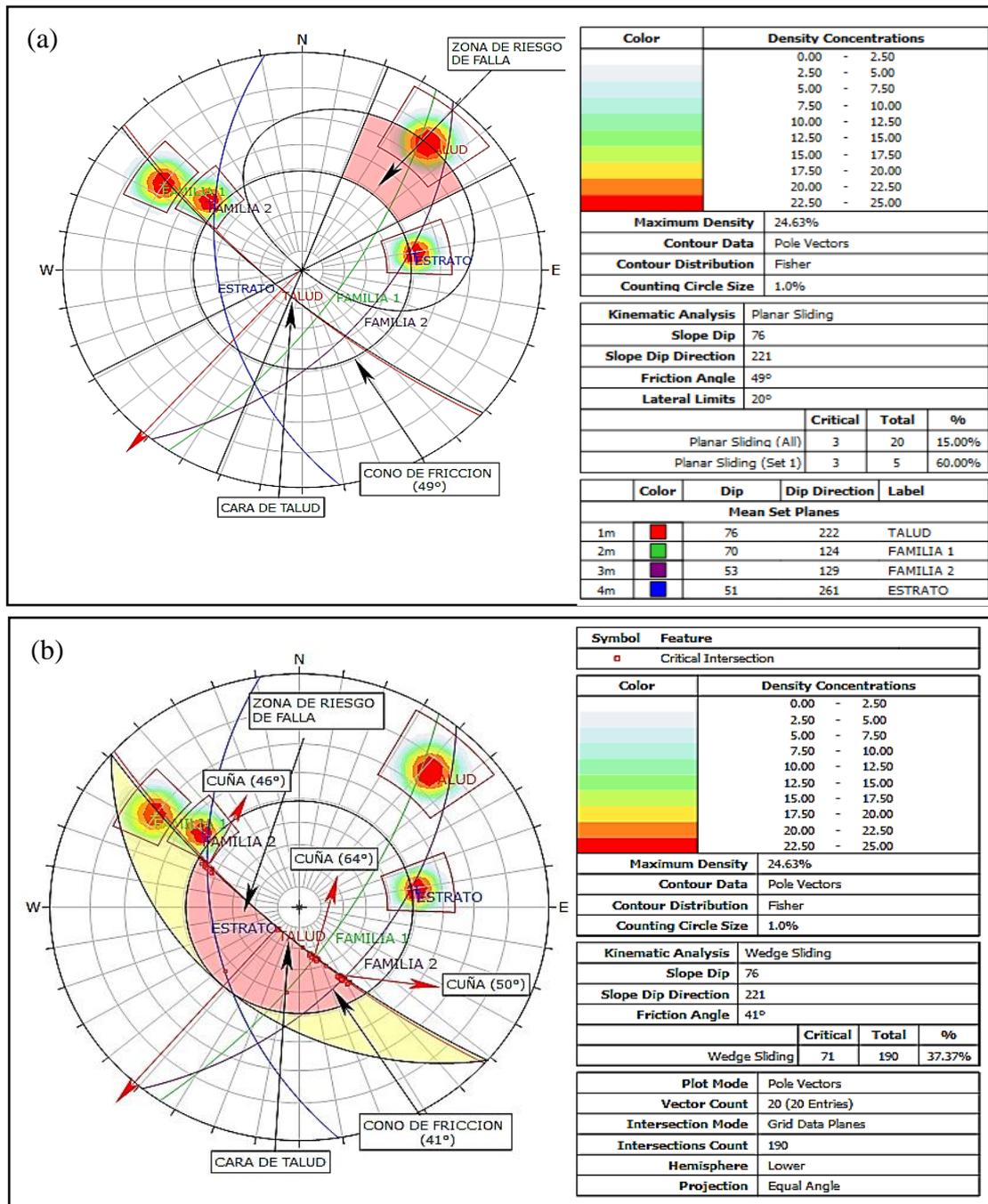


Figura 3.61 Estación TC-06, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Se usó los cuatro métodos: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Gle/Morgenstern-Price, y Spencer, tal como se hizo en la estación anteriores. El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.31, donde se determina que el Talud de la estación TC-06 es inestable tanto en condiciones normales y en condiciones efectivas más sismicidad. A continuación, se presentan los gráficos del análisis de inestabilidad realizado con el Slide v6.0.

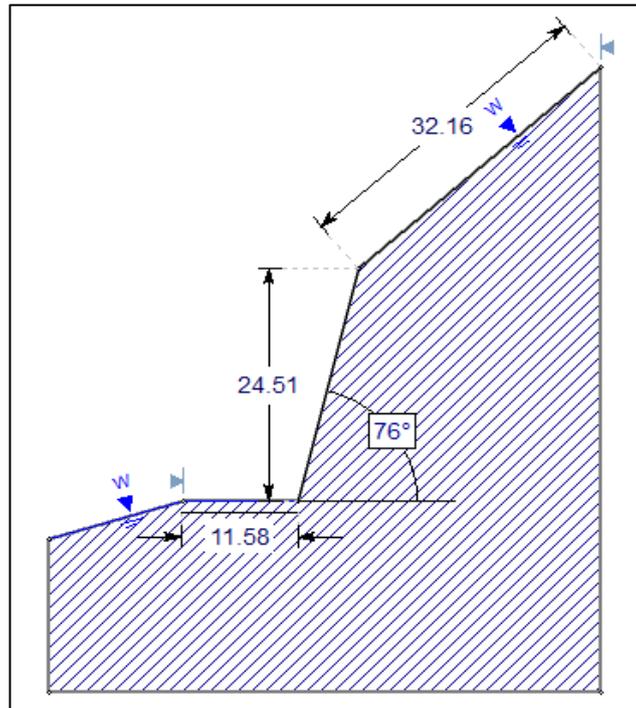


Figura 3.62 Estación TC-06 dimensiones del Talud

Tabla 3.31 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-06

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.487	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	1.332	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.007	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.291	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.47	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	1.295	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.00	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.212	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Totales	0.509	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	1.334	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.361	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Totales	0.516	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	1.335	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.399	Inestable

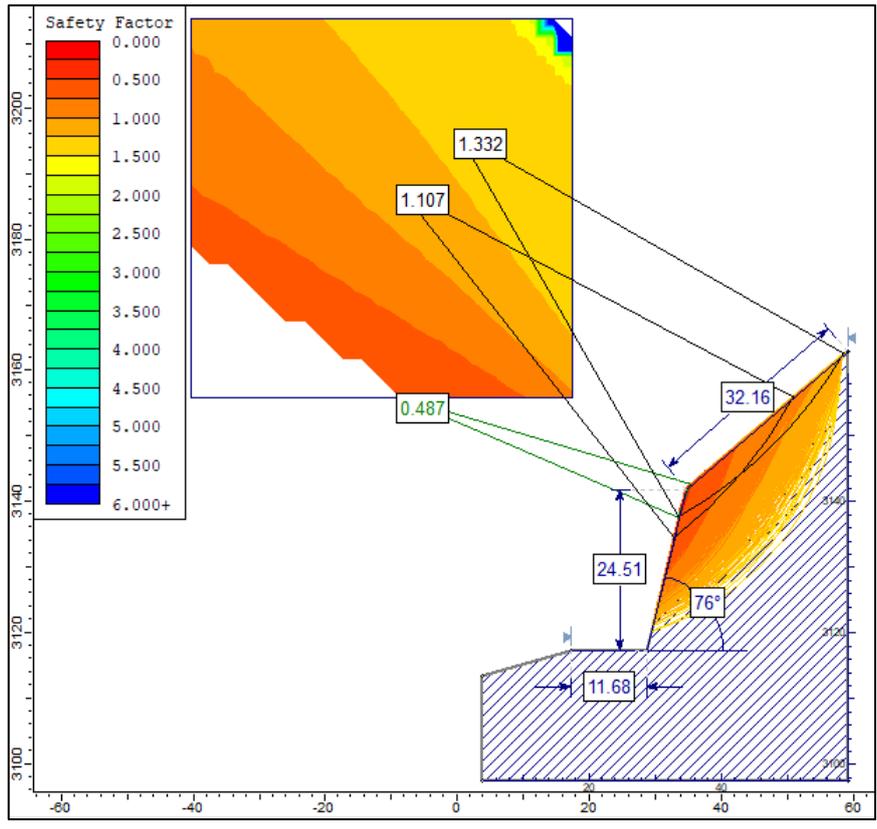


Figura 3.63 Factor de seguridad TC-06 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales.

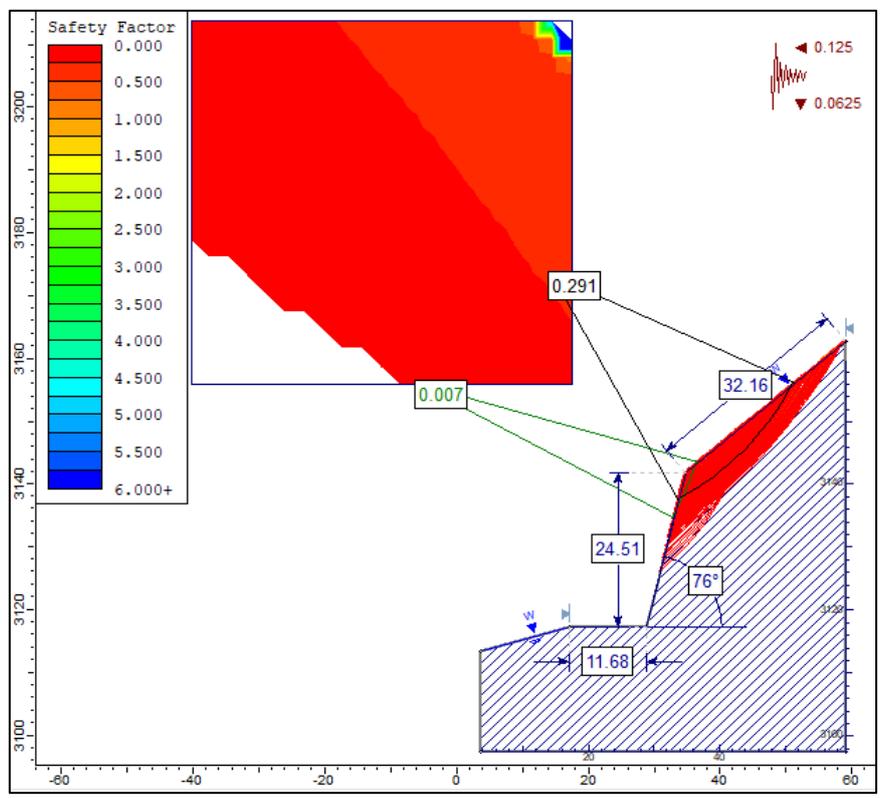


Figura 3.64 Factor de seguridad TC-06 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

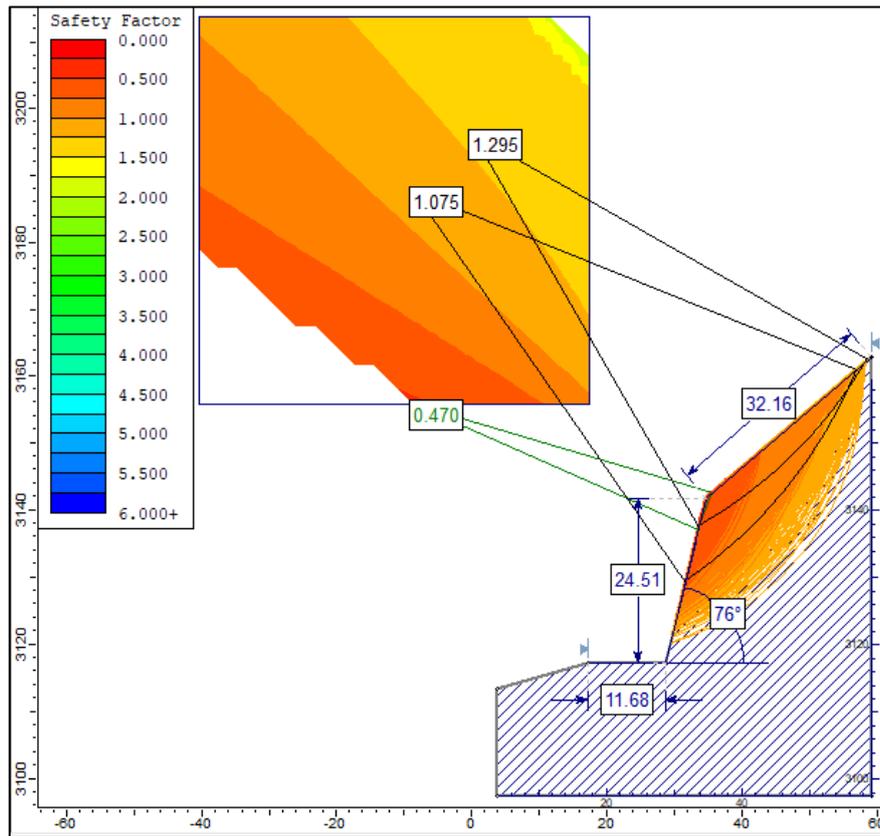


Figura 3.65 Factor de seguridad TC-06 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales

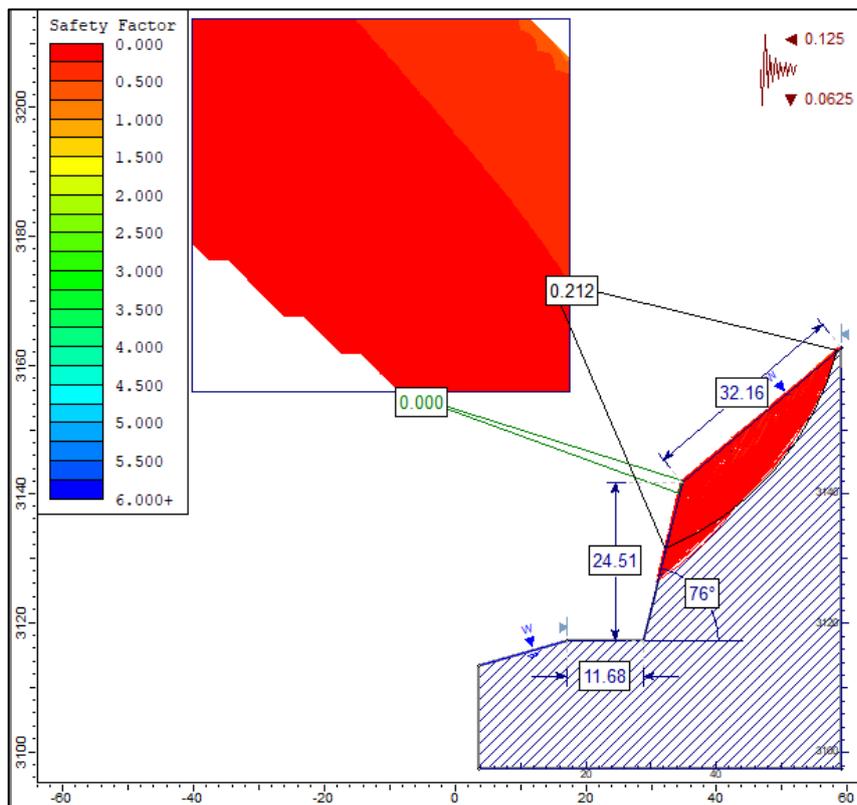


Figura 3.66 Factor de seguridad TC-06 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

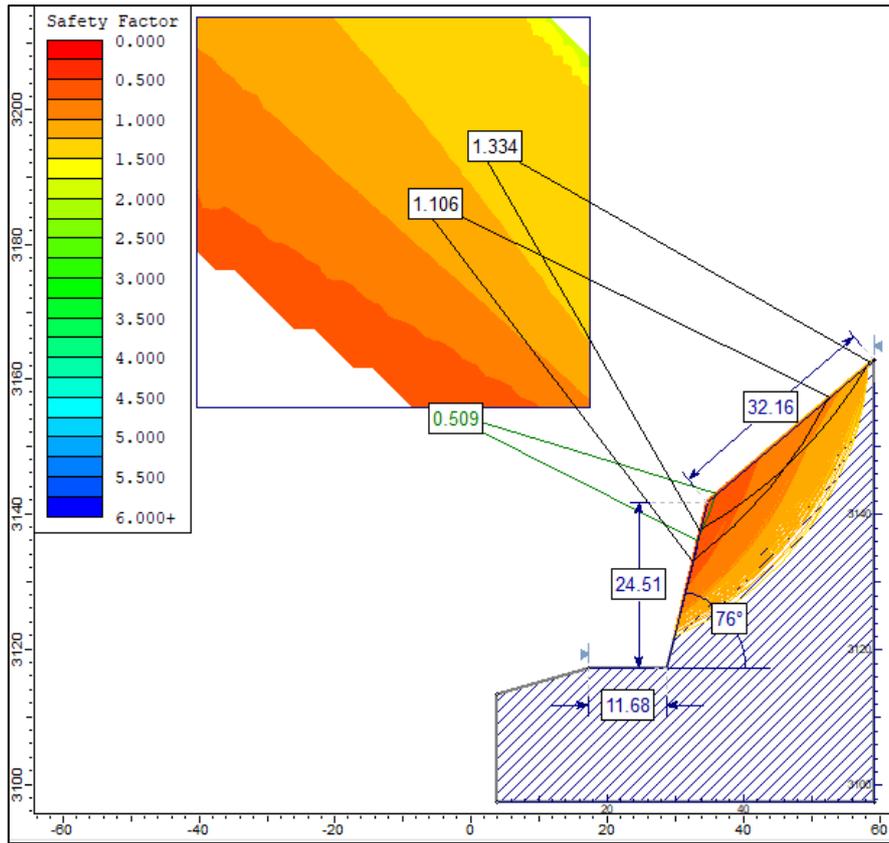


Figura 3.67 Factor de seguridad TC-06 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

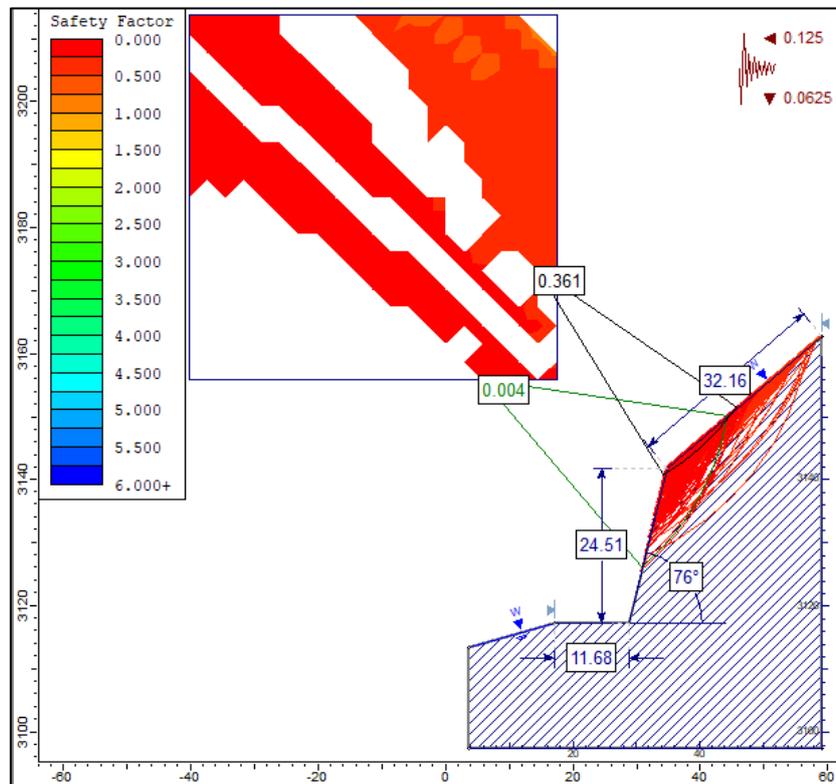


Figura 3.68 Factor de seguridad TC-06 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

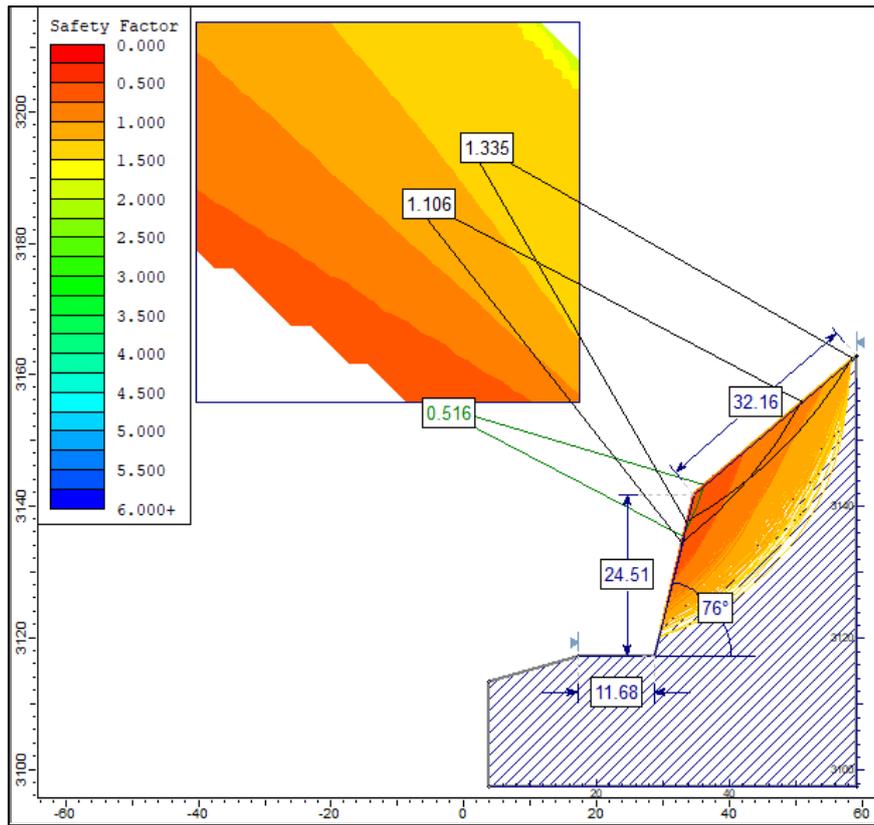


Figura 3.69 Factor de seguridad TC-06 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales

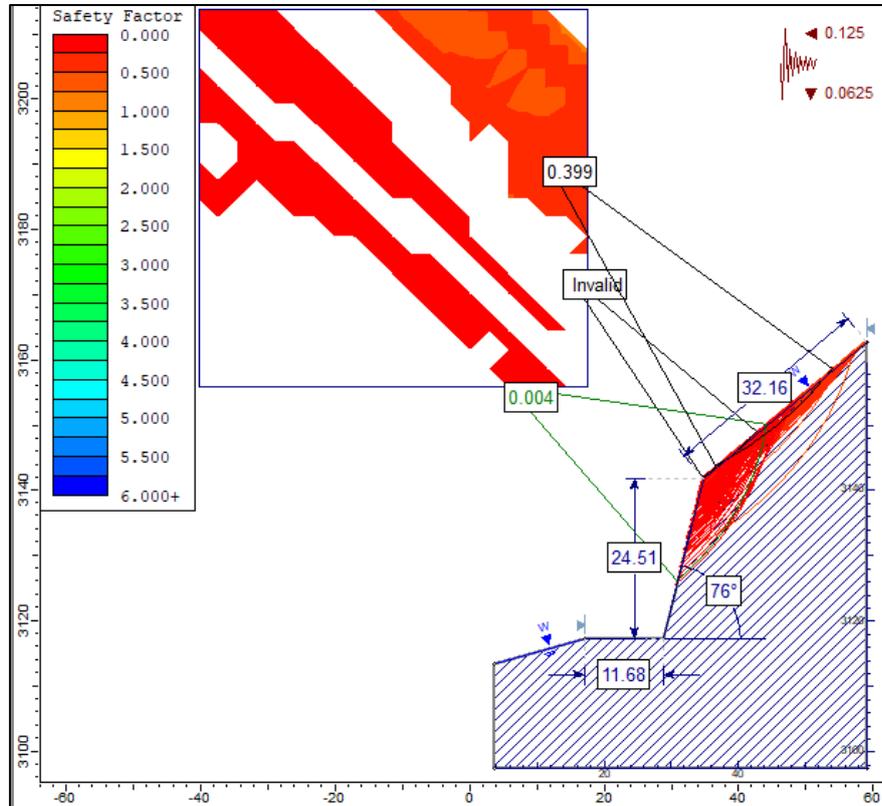


Figura 3.70 Factor de seguridad TC-06 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

3.10.7 ESTACIÓN TC-07 PROGRESIVA (20 +208 – 20 +218.5)

Calizas limo arcillosas color marrón oscuro intercaladas con calizas gris a negras, que pertenecen a la formación Aramachay; presenta menor resistencia con planos de estratificación intercalados (5/40 cm) como se muestra en la Tabla 3.32, conformando dos familias principales de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento alto.

COORDENADAS	
NORTE	9241879
ESTE	193065
COTA	3147
GEOMETRÍA DEL TALUD	
ALTURA	18.15m
PIE	8 m
DIP	58
DD	222



Foto 3.26 Talud TC-07 calizas limo arcillosas de la formación Aramachay (Ji-a) en las progresivas 20+208– 20 +218.5

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-07, haciendo uso de los de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.32 se presenta el resumen de los datos tomados.

Tabla 3.32 Registro Geológico-Geotécnico tomado en campo, Estación TC-07

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica																							
REGISTRO N° 07 : Datos de Discontinuidades				TESIS : ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS																							
RESPONSABLE : Trinidad Sánchez																											
SISTEMA : WGS 84																											
CODIGO : 07		FECHA : 2020																									
DIS. Nro.	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZ		GRADO DE FRACT.	RQD	GSI	TIPOS	RESIST.CO MP.UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIAD O (m)	PERSIS (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC- METEOR	AGUA	LECTURA					
					1=Fresco	2=Lev						1 = Alto	λ					1 = Bloq-regular	2 = Bloq -irregular				3 = Bloq y capas	4 = Fract- intenso	5 = > 2	1 = < 1	1 = Nada
3 = Mod	4 = Alt	5 = Compl	6 = Suelo	3 = Bajo	ND/m	4 = Fract- intenso	SE = Sobrees.	C = Contacto	ori (Mpa)	ORIENTACIÓN	DIP	DD	4 = 0,2 - 0,06	4 = 10-20	4 = 1,0-5,0	4 = Ond. - Lisa	4 = Oxidos	4 = Suave < 5mm	4 = Muy Alt	4 = Goteo	2 = Duro < 5mm	2 = Lig. Alt	2 = Duro > 5mm	3 = Mod. Alt	3 = Mojado	3 = Lec Proy	
7	193064	9241879	3147	Calizas / Fm. Aramachay	3	2	ND = 40	3		60	55	36	E = 0.10 m	P = 5 m	A = 3mm	2	1	4	2	2	1						
							L = 2.30	40-50	E				54	34	4	3	4	2	1	4	2	2	1				
							λ = 16						58	31	4	3	4	2	1	4	2	2	1				
							RQD=52.49						57	33	4	3	4	2	1	4	2	2	1				
													56	40	4	3	4	2	1	4	2	2	1				
													63	126	E = 0.20 m	P = 0.4 m	A = 1 mm	2	1	4	3	2	1				
													58	126	2	3	4	2	1	4	3	2	1				
													51	125	2	3	4	2	1	4	3	2	1				
													50	124	2	3	4	2	1	4	3	2	1				
													58	127	2	3	4	2	1	4	3	2	1				
													54	130	E = 0.4 m	P = 10 m	A = 1 mm	2	1	4	3	2	1				
													53	127	2	2	3	2	1	4	3	2	1				
													50	129	2	2	3	2	1	4	3	2	1				
													53	131	2	2	3	2	1	4	3	2	1				
													55	129	2	2	3	2	1	4	3	2	1				
													58	225													1
												57	222														
												60	221														
												56	220														
												57	222														

Fuente: Rodriguez, 2016

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-07, tal como se muestra en la Figura 3.71. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.33.

Tabla 3.33 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-07

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 07				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	60MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.349
			S	0.0003
			a	0.509
GSI	43	parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	c	0.191 MPa
			phi	46.89 degrees
mi	8	Parámetros del Macizo Rocosó	sigt	-0.0444 MPa
			sigc	0.893 MPa
			sigcm	4.539 MPa
			Erm	2910.93 MPa
D	07	Rango de Envolvente de Falla	Datos del Talud	
Ei	42000		sig3max	0.3698MPa
MR	700		Unit Weight	0.023 MN/m3
			Slope Height	18.15 m

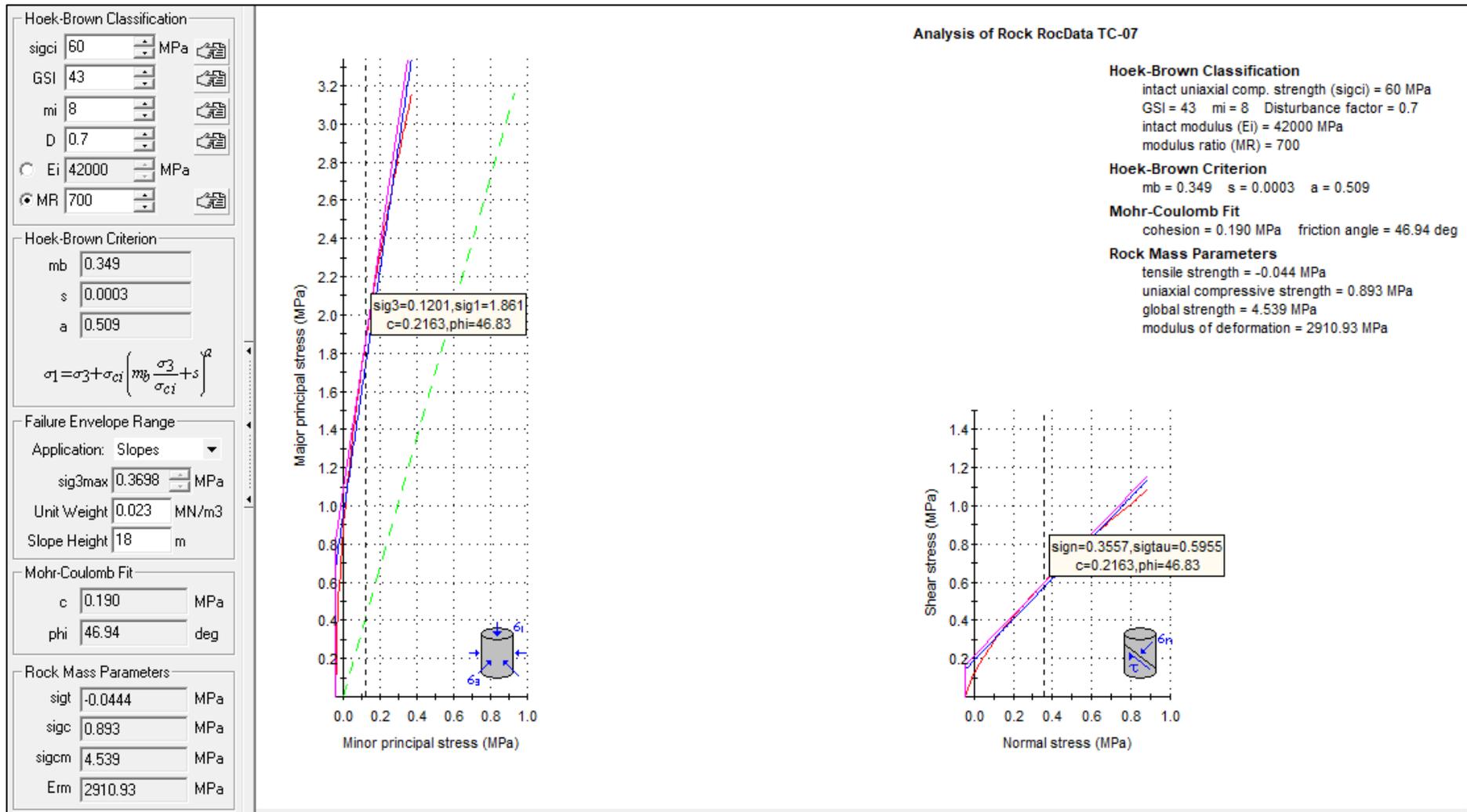


Figura 3.71 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-07

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 16$

ND = 40 y L= 2.3m

Se obtiene **RQD= 48.12**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.32, se calculó el RMR89 del macizo rocoso de la estación TC-07 obteniendo como resultado el valor de **46** dando una clasificación geomecánica Tipo III – Calidad Regular (ver Tabla 2.9).

Tabla 3.34 Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 07.

PARÁMETRO			RANGO DE VALORES				
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 1 – 5 < 1 MPa MPa MPa
	VALOR	15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%	
	VALOR	20	17	12	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm	
	VALOR	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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm
		VALOR	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		VALOR	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		VALOR	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
VALOR	6	5	3	1	0		
VALOR	30	23	13	6	0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
	VALOR	15	10	7	4	0	
VALOR TOTAL RMR			RMR= 7+8+10+2+4+3+2+3+7=46				

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

En el macizo rocoso de la estación TC-07, según los resultados del Dips v6.0, muestra una probabilidad de 25.00% de rotura planar (Ver Figura 3.72 (a)); probabilidad de 12.11% de rotura tipo cuña al S intersecciones de la familia de discontinuidades 1 con la familia con la familia de discontinuidades 2 (Ver Figura 3.72 (b)).

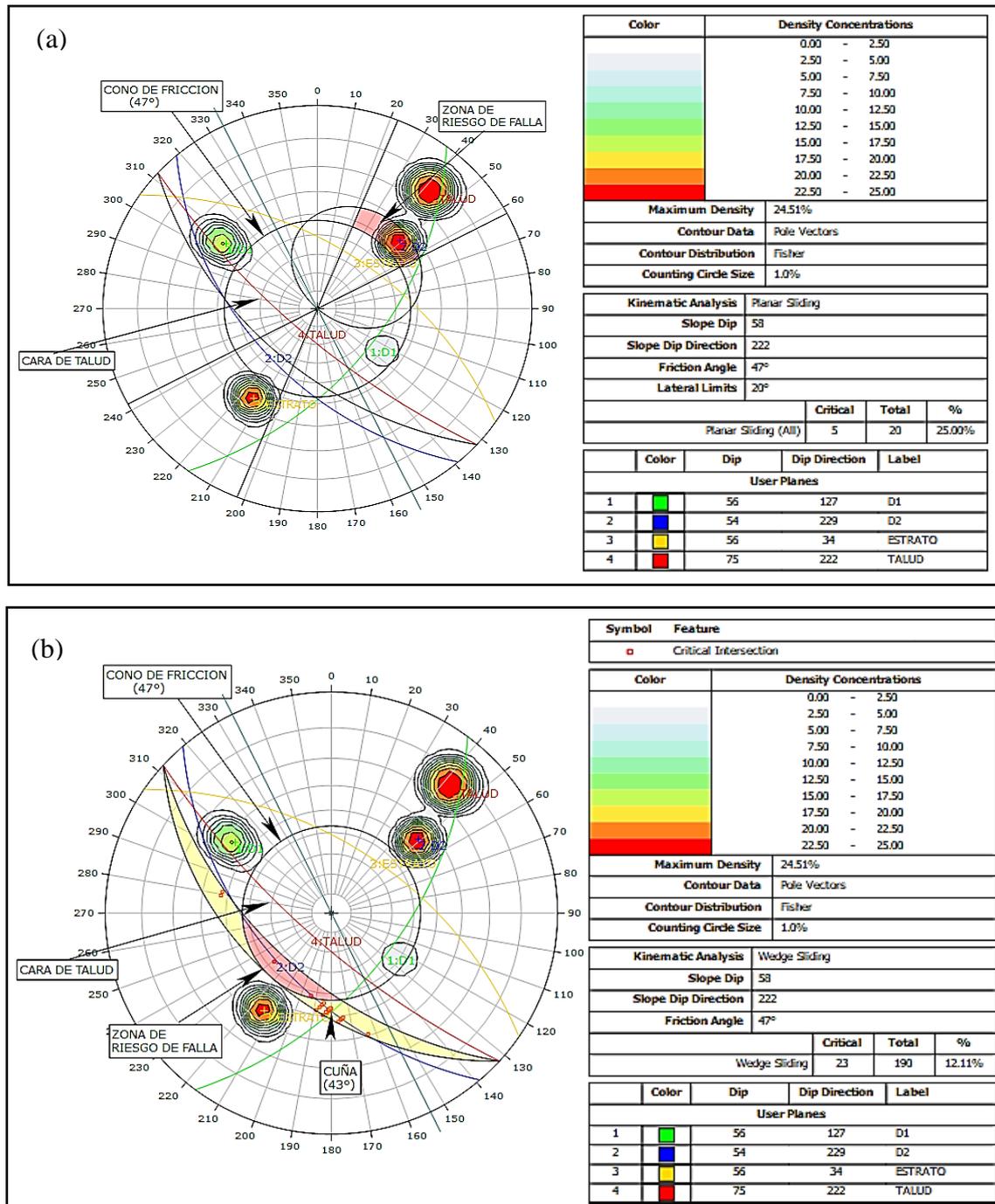


Figura 3.72 Estación TC-07, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b).

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante El Software - Slide v6.0

Para el cálculo del FS de la estación TC-07, se usó los cuatro métodos: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Gle/Morgenstern-Price, y Spencer, tal como se hizo en las estaciones anteriores. El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.35, donde se determina que el Talud de la estación TC-07 es inestable con los 4 métodos; en condiciones normales y en condiciones efectivas más sismicidad.

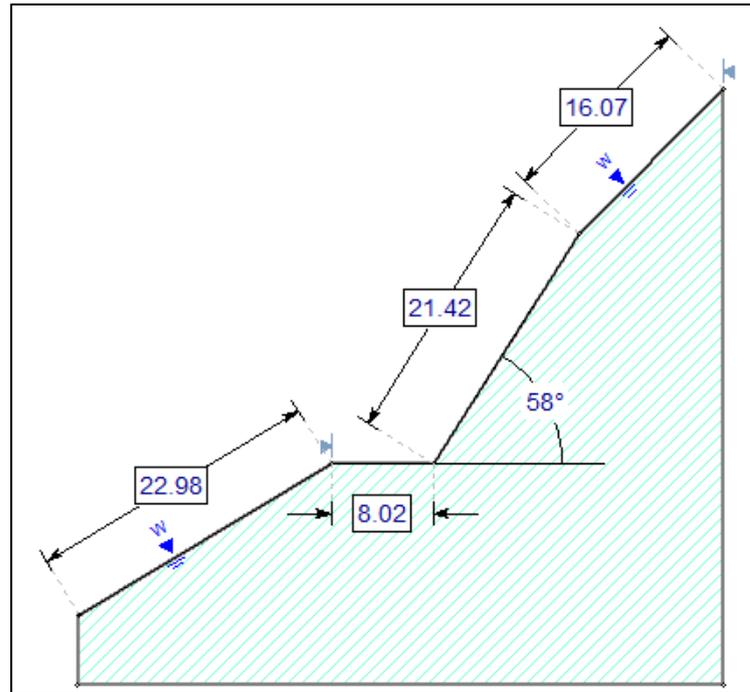


Figura 3.73 Estación TC-067 dimensiones del Talud

Tabla 3.35 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-07

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Normales	0.731	Inestable
	Condiciones de Tensiones Normales	1.013	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.009	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.075	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Normales	0.716	Inestable
	Condiciones de Tensiones Normales	1.002	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.00	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.045	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Normales	0.73	Inestable
	Condiciones de Tensiones Normales	1.016	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.099	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Normales	0.732	Inestable
	Condiciones de Tensiones Normales	1.016	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.004	Inestable
	Condiciones de Tensiones Efectivas + Sismicidad	0.099	Inestable

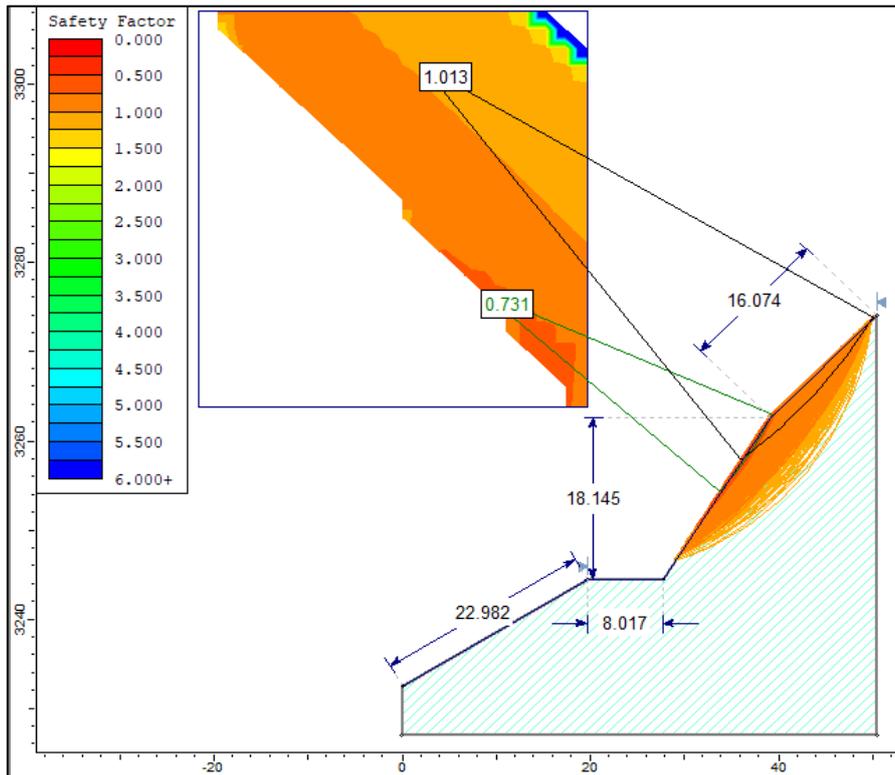


Figura 3.74 Factor de seguridad TC-07 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales

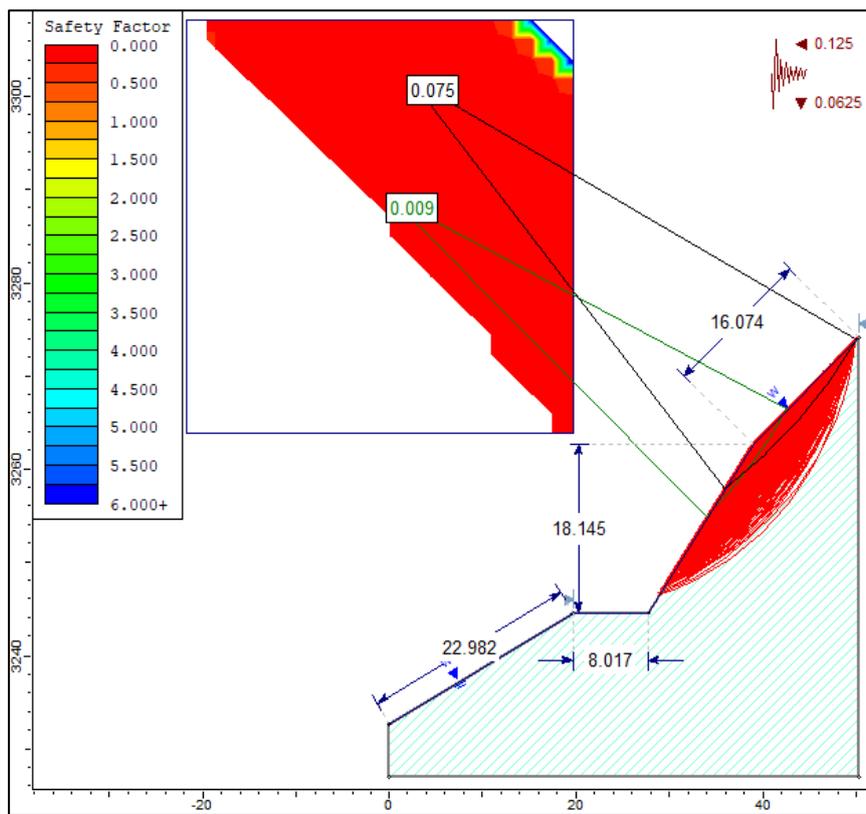


Figura 3.75 Factor de seguridad TC-07 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

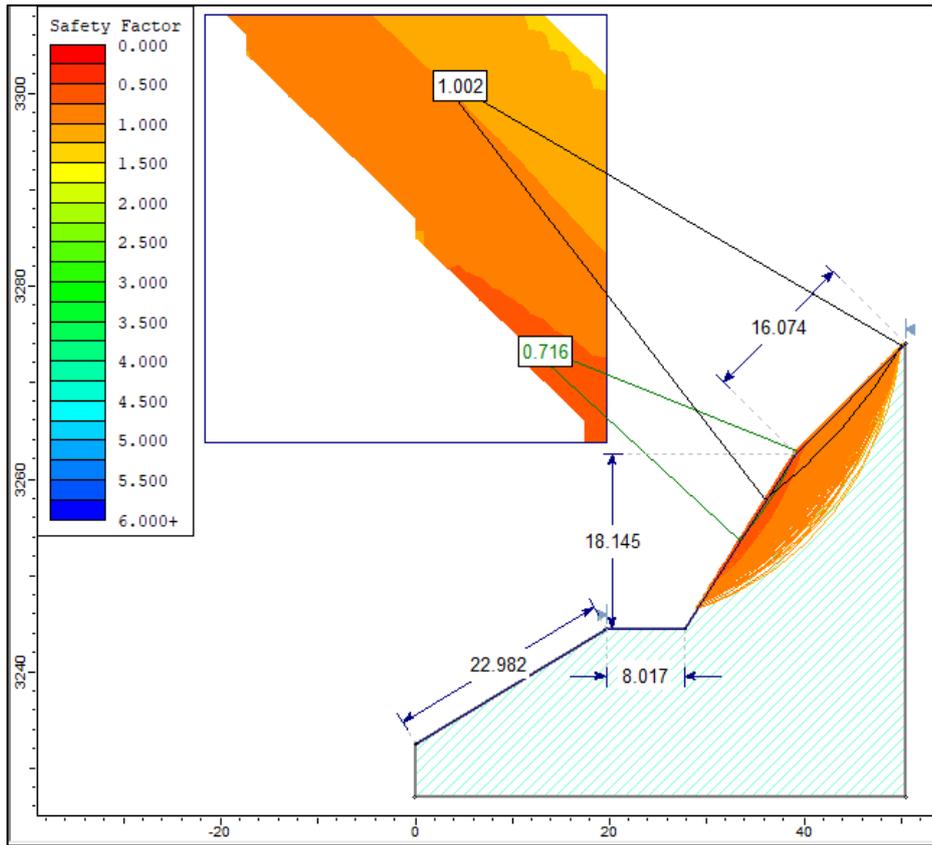


Figura 3.76 Factor de seguridad TC-07 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales

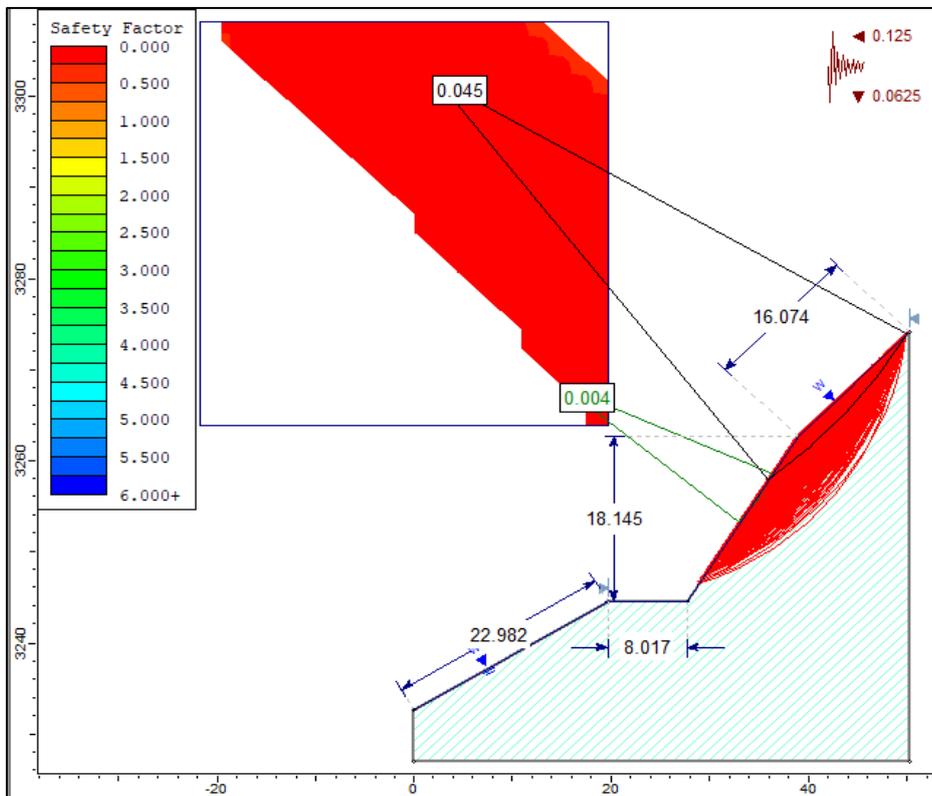


Figura 3.77 Factor de seguridad TC-07 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

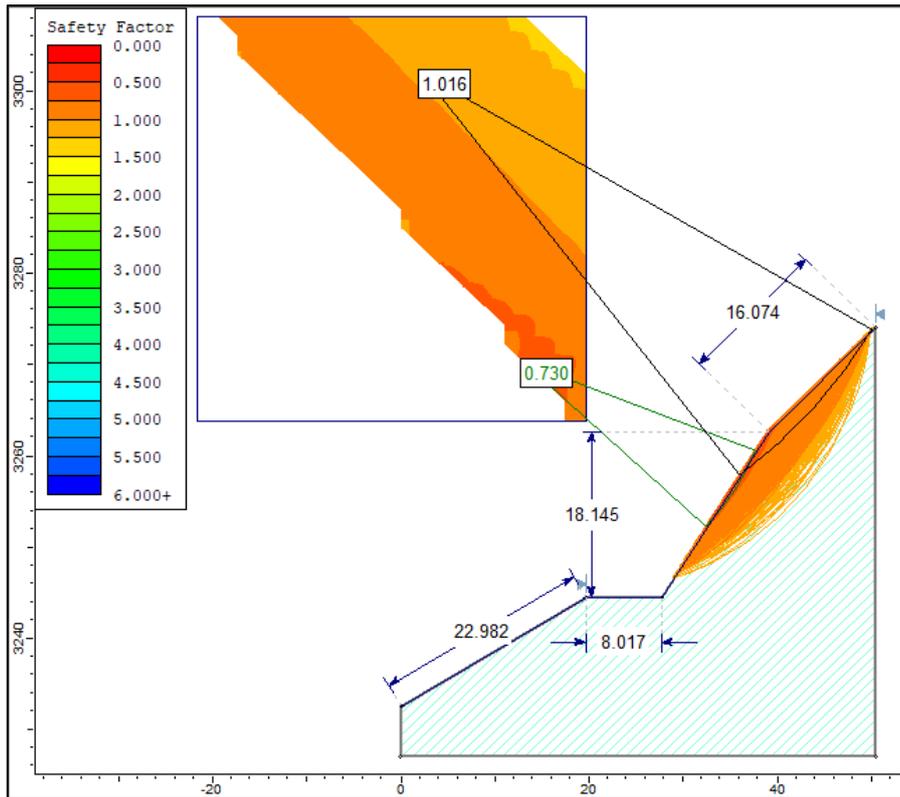


Figura 3.78 Factor de seguridad TC-07 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

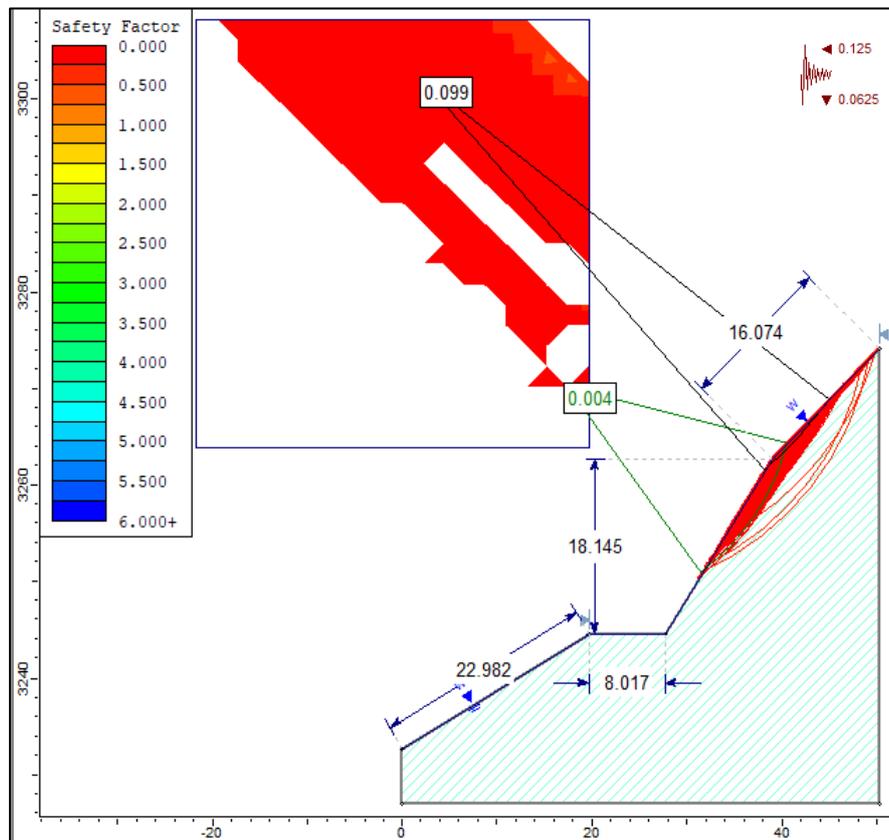


Figura 3.79 Factor de seguridad TC-07 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad.

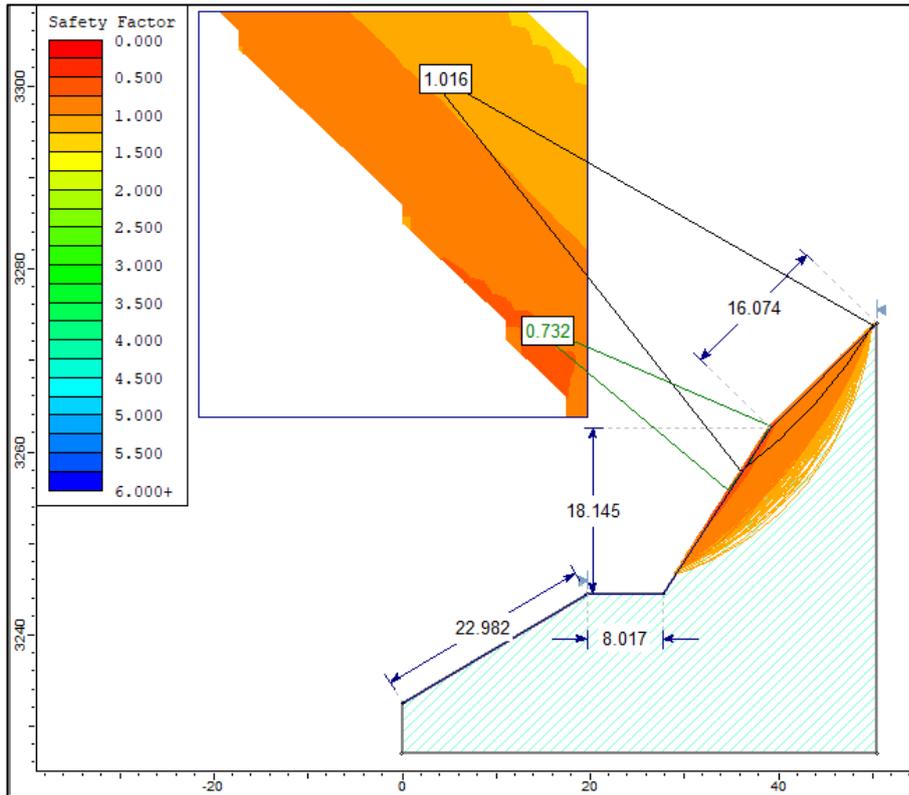


Figura 3.80 Factor de seguridad TC-07 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales

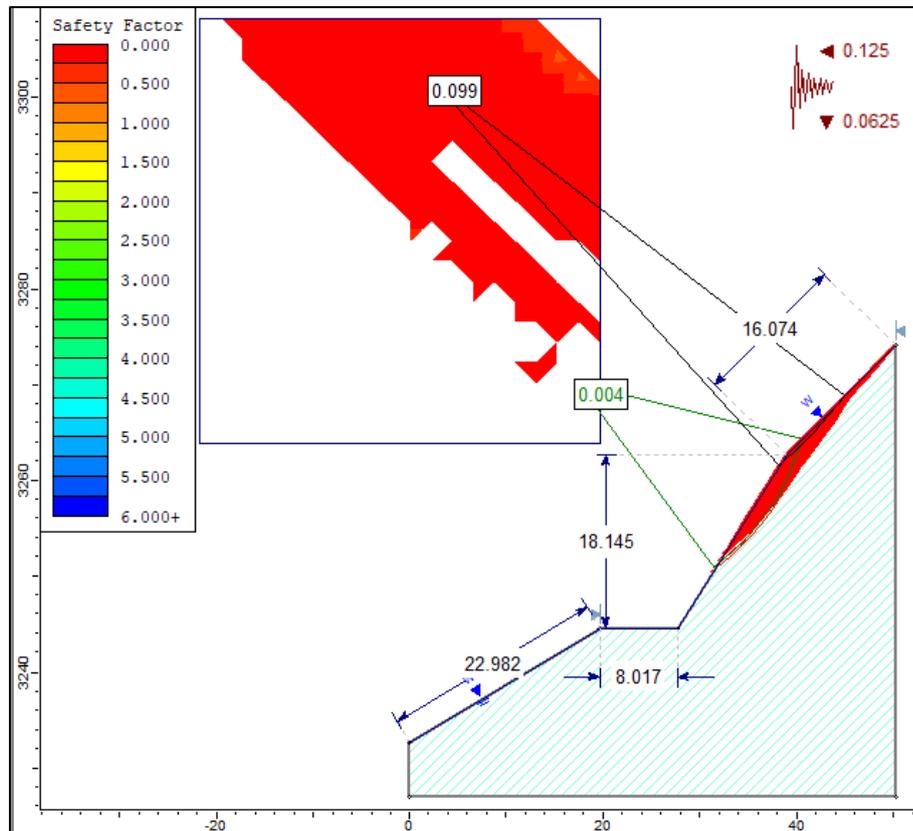


Figura 3.81 Factor de seguridad TC-07 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Efectivas más Sismicidad

3.10.8 ESTACIÓN TC-08 PROGRESIVA (21+068.5 – 21 +108.5)

Calizas limo arcillosas amarillentas a grises intercaladas con calizas gris, presenta menor resistencia con planos de estratificación intercalados (10/60 cm) como se muestra en la Tabla 3.36, conformando 3 familias principales de discontinuidades; moderadamente meteorizados y grado de fracturamiento alto.

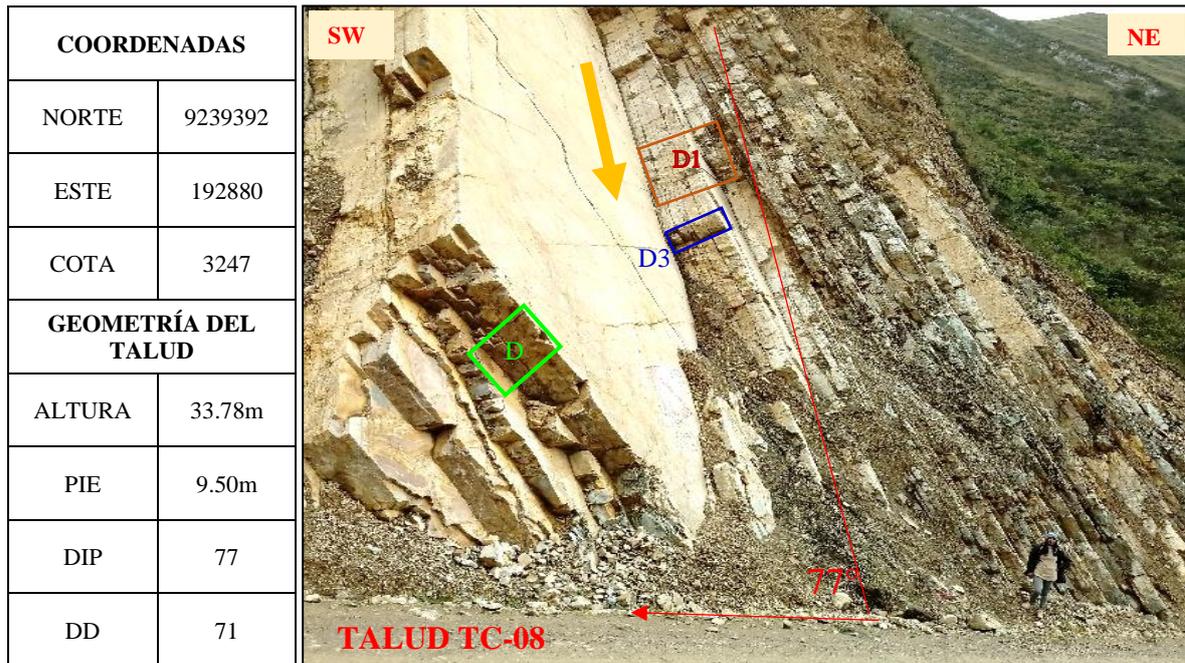


Foto 3.27 Talud TC-08 calizas limo arcillosas de la formación Aramachay (Ji-a) en las progresivas 21+068.5– 21 +108.5

➤ Recopilación de datos en el formato Registro Geológico-Geotécnico

Se tomó datos en campo de las características y parámetros geológicos-geotécnicos del macizo rocoso de la Estación TC-08, haciendo uso de los de los instrumentos y equipos de recopilación. A continuación, en la Tabla 3.36 se presenta el resumen de los datos tomados.

➤ Cálculos en el software RocData

Se hizo uso del software RocData, para obtener las propiedades y parámetros geomecánicos del macizo rocoso de la estación TC-08, tal como se muestra en la Figura 3.82. Los resultados de la aplicación de este software se muestran en la Tabla 3.37.

Tabla 3.37 Propiedades geomecánicas de la Estación TC-08

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE TC- 07				
PARÁMETROS DE ENTRADA (Clasificación de Hook—Brown)			PARÁMETROS DE SALIDA	
sigci	55 MPa	Criterio de Hoek-Brown	mb	0.115
			S	3.84e-5
			a	0.512
GSI	39	Parámetros de Mohr-Coulomb Equivalentes	c	0.142 Mpa
			phi	32.76degrees
mi	9	Parámetros del Macizo Rocosos	sigt	-0.0183 MPa
			sigc	0.301 MPa
			sigcm	2.309 MPa
			Erm	1262.56 MPa
D	1	Rango de Envolvente de Falla	Datos del Talud	
Ei	33000		sig3max	0.6170 MPa
MR	600		Unit Weight	0.023 MN/m3
			Slope Height	33.78m

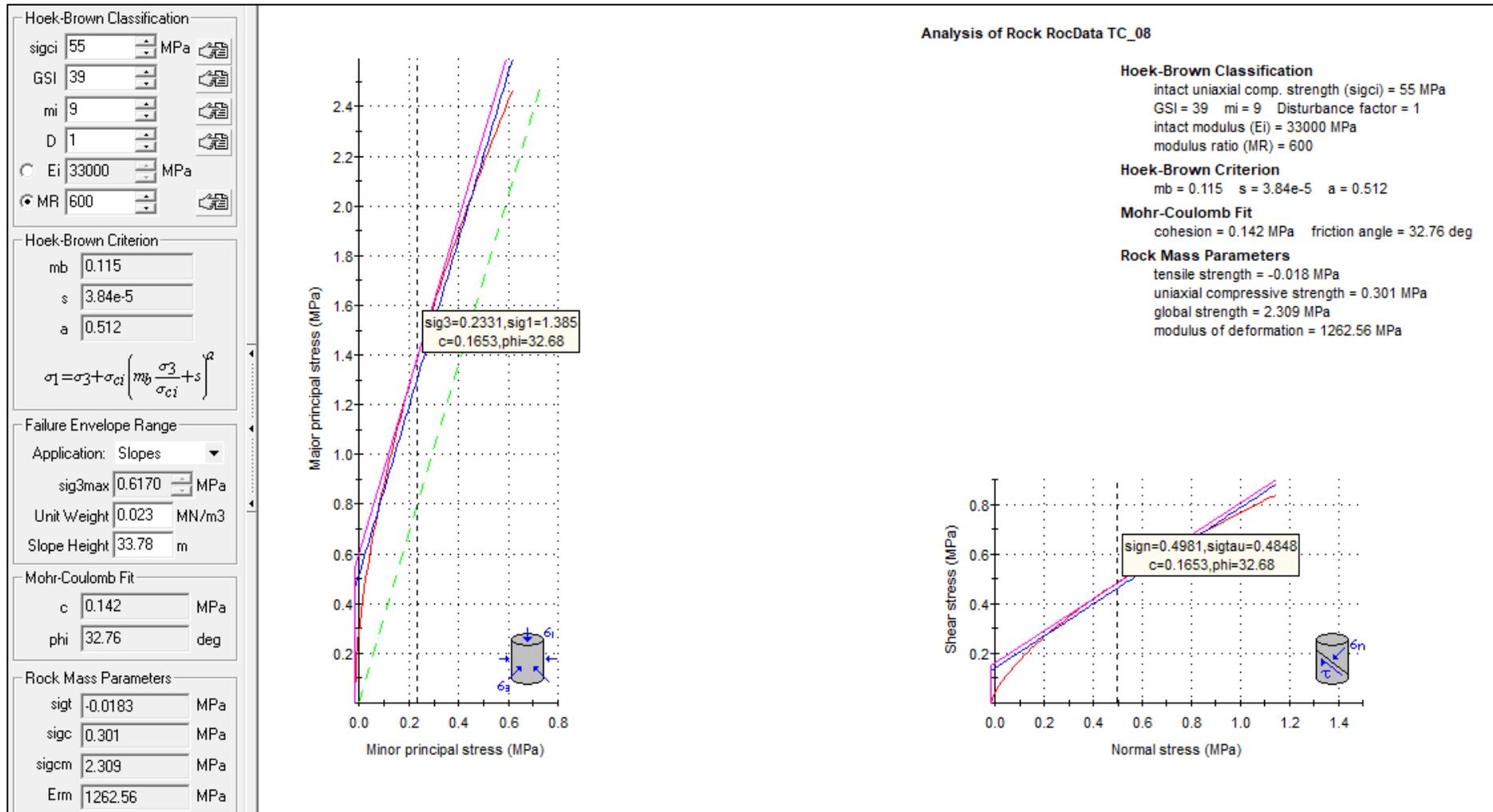


Figura 3.82 Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la Estación TC-08

➤ Cálculo del RQD

Se realizó mediante la ecuación: $RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

Donde: $\lambda = ND/L = 16.67$

ND = 80 y L=4.80m

Se obtiene **RQD= 50.35**

➤ Cálculo del RMR89

Tomando la base de datos de la Tabla 3.36, se calculó el RMR89 del macizo rocoso de la estación TC-08 obteniendo como resultado el valor de **40** dando una clasificación geomecánica Tipo IV – Calidad Mala (Ver Tabla 2.9).

Tabla 3.38 Valores asignados en función de las discontinuidades, TC- 08

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de Roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 –10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa) 5 – 25 MPa 1 – 5 MPa < 1 MPa	
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa		
VALOR			15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50%	< 25%	
	VALOR			20	17	12	8	3
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6cm	
	VALOR			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 – 1.0mm	1 – 5 mm	> 5 mm	
		VALOR		6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		VALOR		6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
		VALOR		6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
VALOR			6	5	3	1	0	
VALOR			30	23	13	6	0	
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación presión agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	>0.5	
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo	
	VALOR			15	10	7	4	0
VALOR TOTAL RMR		RMR= 7+17+15+2+1+3+2+3+7= 40						

➤ Diseño en el Software Dips v6.0

En el macizo rocoso de la estación TC-08, según los resultados del Dips v6.0, muestra una probabilidad de 25.00% de rotura planar (Ver Figura 3.83 (a)); probabilidad de 38.10% de rotura tipo cuña en las intersecciones de las 3 familias de discontinuidades principales NE, (Ver Figura 3.83 (b)).

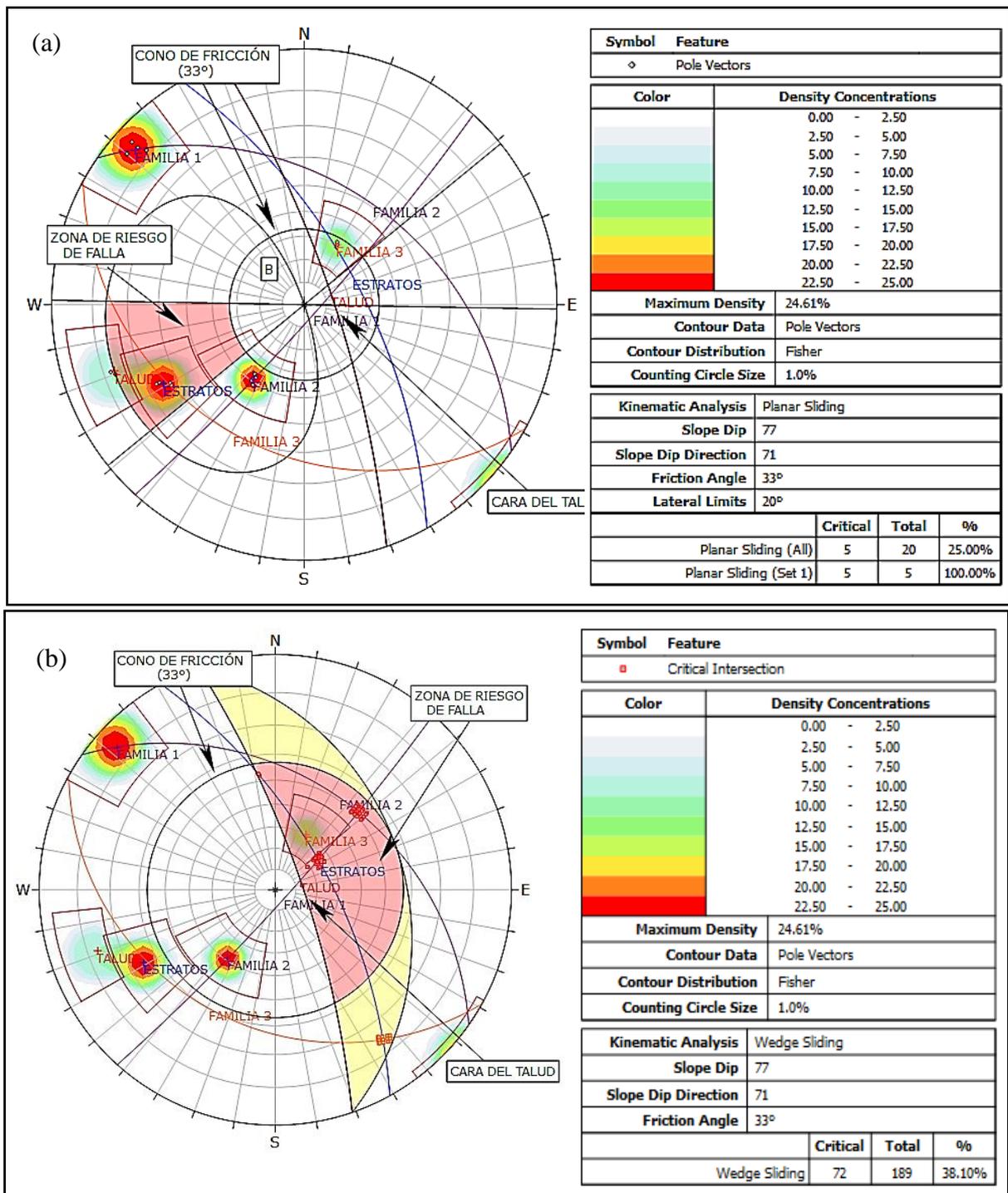


Figura 3.83 Estación TC-08, análisis cinemático de rotura planar (a) y rotura tipo cuña (b)

➤ Cálculo del Factor de Seguridad (FS) mediante el Software - Slide v6.0

Para el cálculo del FS de la estación TC-08, se usó los cuatro métodos: Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Gle/Morgenstern-Price, y Spencer, tal como se hizo en las estacione anteriores. El resultado del Análisis se muestra en la Tabla 3.39, donde se determina que el Talud de la estación TC-08 es inestable con los cuatro métodos, en condiciones normales. No se consideró necesario hacer el análisis en condiciones efectivas más sismicidad debido al bajo FS obtenido en condiciones normales.

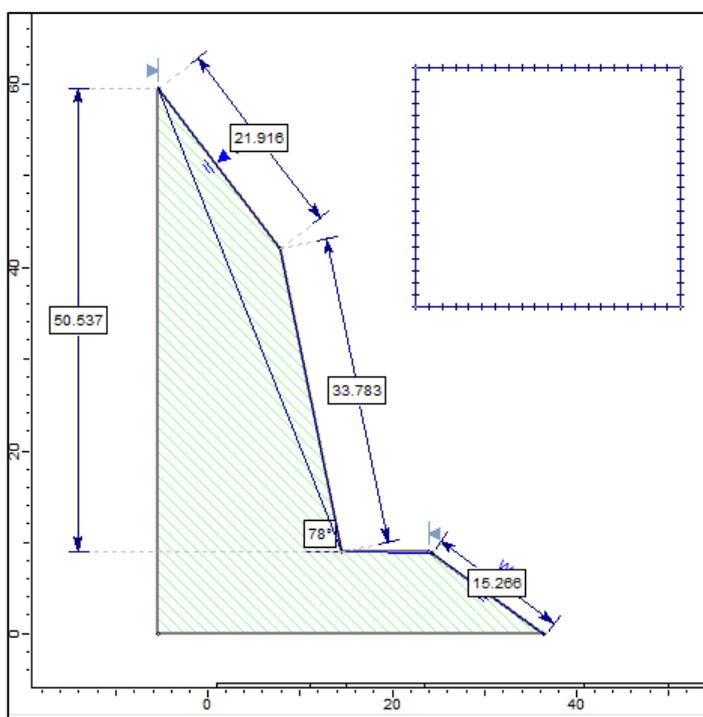


Figura 3.84 Estación TC-08 dimensiones del Talud

Tabla 3.39 Resultado de los cálculos del FS, Estación TC-08

MÉTODOS	CONDICIONES	FS	TALUD
Bishop simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.192	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.474	Inestable
Janbu Simplificado	Condiciones de Tensiones Totales	0.165	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.455	Inestable
Spencer	Condiciones de Tensiones Totales	0.19	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.469	Inestable
Gle/Morgenstern-Price	Condiciones de Tensiones Totales	0.202	Inestable
	Condiciones de Tensiones Totales	0.472	Inestable

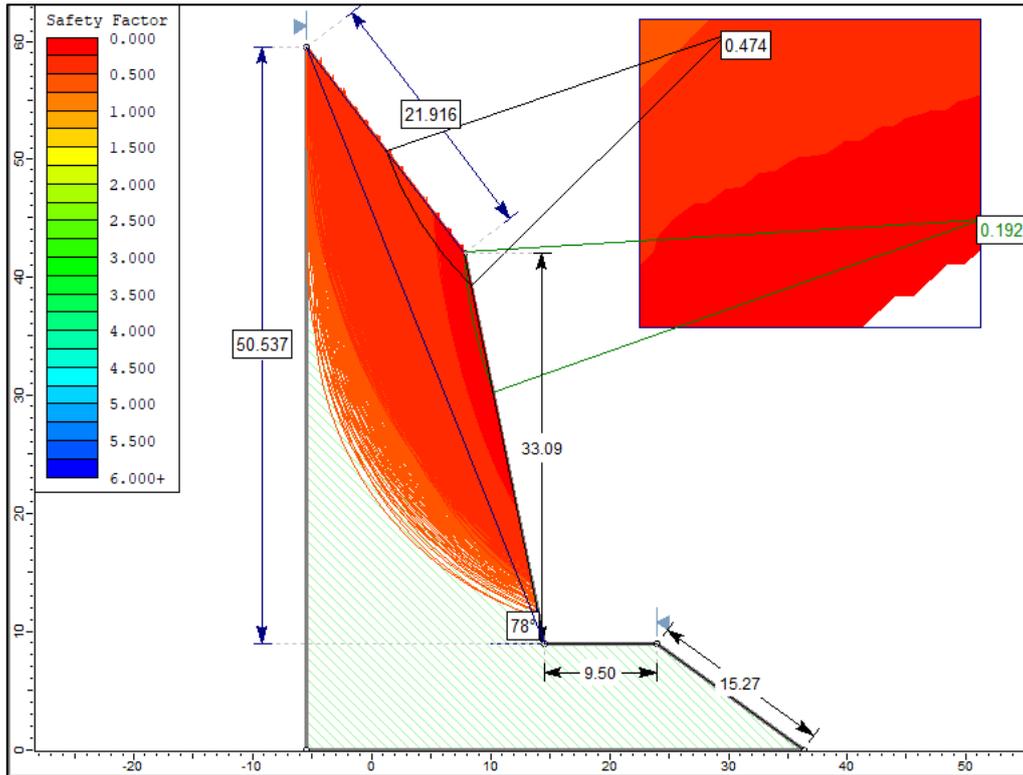


Figura 3.85 Factor de seguridad TC-08 por método de Bishop simplificado en condiciones de Tensiones Totales

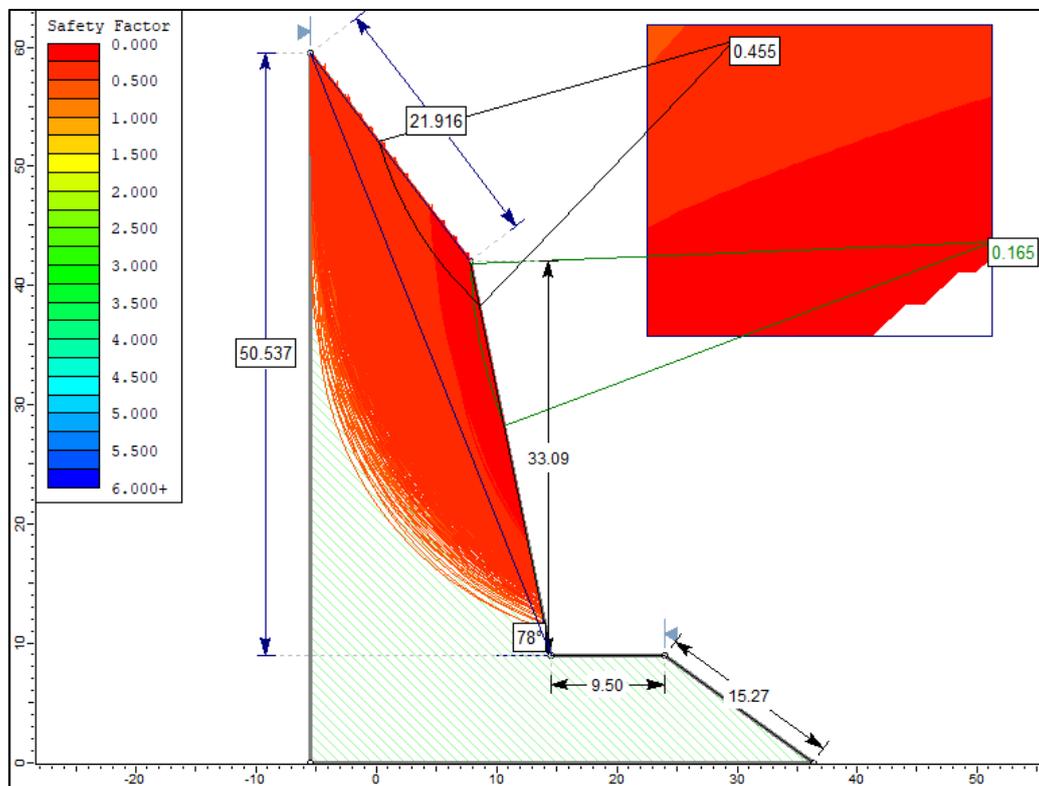


Figura 3.86 Factor de seguridad TC-08 por método de Janbu simplificado en condiciones de Tensiones Totales

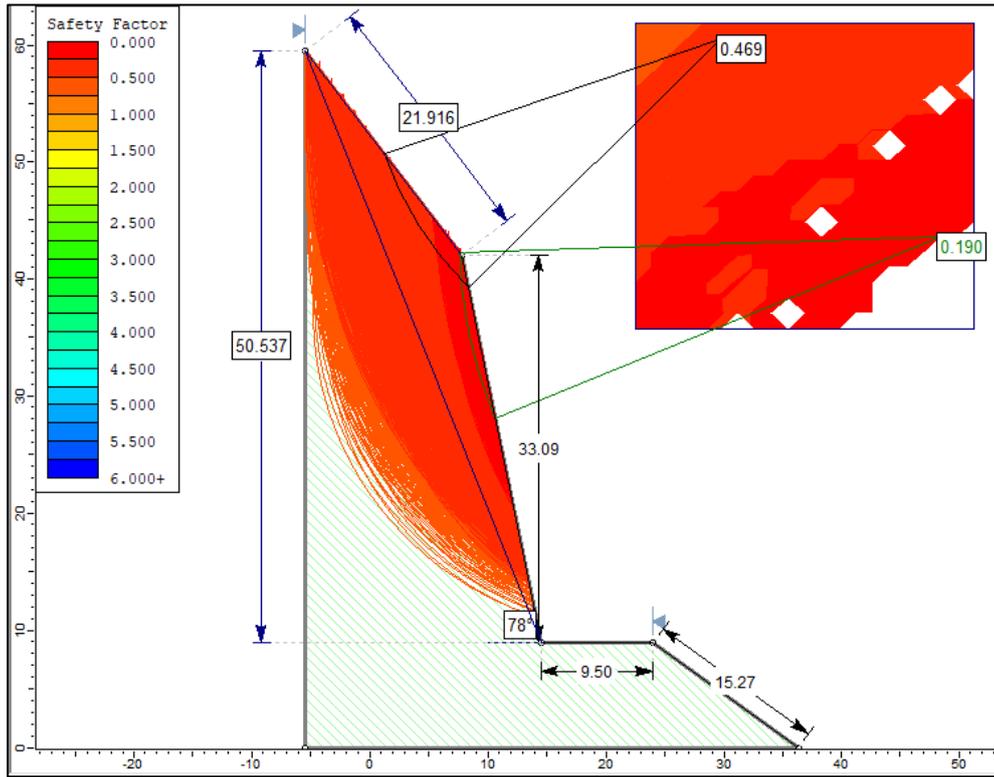


Figura 3.87 Factor de seguridad TC-08 por método de Spencer en condiciones de Tensiones Totales

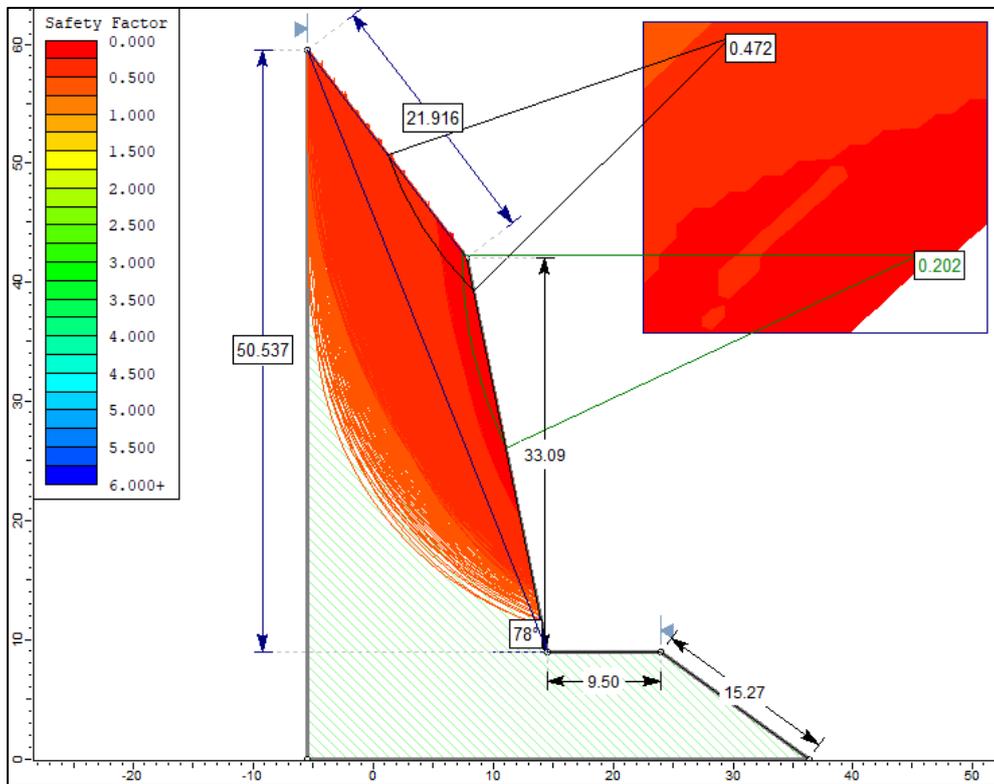
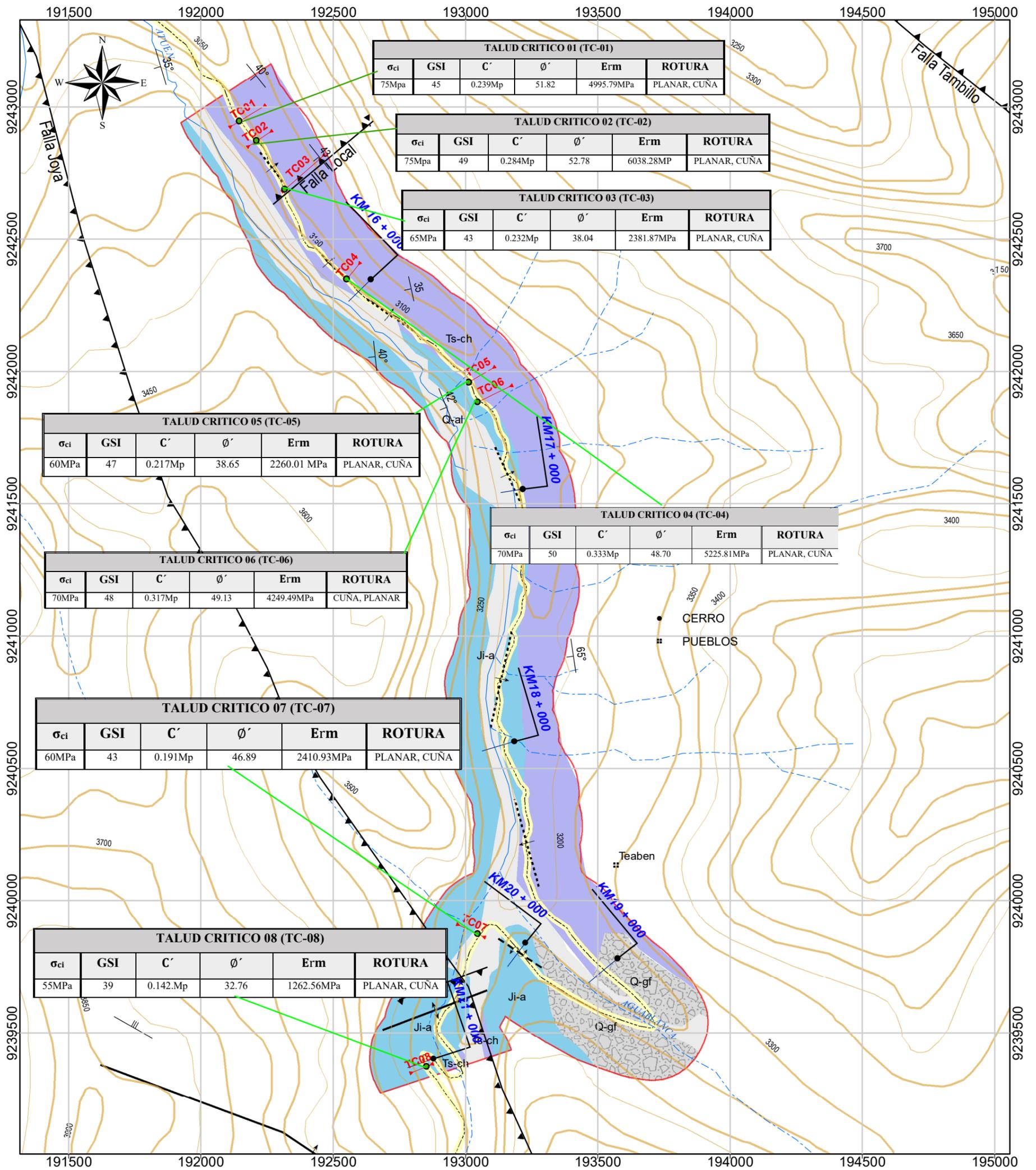
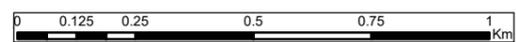


Figura 3.88 Factor de seguridad TC-08 por método de Gle/Morgenstern-Price en condiciones de Tensiones Totales



LEYENDA	
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
Q-al	Depósito Aluvial
Q-gf	Depósito Glaciofluvial
Discordancia Angular	
Ji-c	Formación Condorsinga
Ji-a	Formación Aramachay
Js-ch	Formación Chambará

SIMBOLOGÍA	
	AREA_INFLUENCIA
	CORTE_TALUDES
	ESTACIONES
	FALLA INVERSA
	ANTICLINAL
	SINCLINAL
	CHEVRON
	MICROPLIEGUES
	BUZAMIENTOS
	CARRETERA



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica			
	Tesis: ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS		
	Plano: GEOTECNICO	PLANO N°: 04	
	Tesista: Bach. Trinidad Emérita Sánchez Araujo	Asesor: Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado	
Datum: WGS-84	Zona: 18S	Fecha: Marzo-2022	Escala: 1:15,000

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La carretera Atuen – Leimebamba km 15+000 – km 22+00, corta litológicamente macizos rocosos de las formaciones Aramachay (Ji-a) y Chambará (Tr-Ch) pertenecientes al Grupo Pucará. El corte generó taludes cuyas pendientes son muy pronunciadas, por lo que en su gran mayoría presentan inestabilidad y están expuestos a deslizamientos y desprendimiento de rocas en cuñas, especialmente durante la época de mayor precipitación que abarca los meses de octubre a abril (Ver Tabla 3.5); por lo que, la inestabilidad se presenta de manera continua en toda el área de investigación.

Considerando las Unidades morfogénicas, la zona está conformada por laderas de moderada a fuerte pendiente, alineamiento montañoso compuesto por secuencias estratificadas plegadas y/o con buzamientos de las capas hasta 75° , los cuales controlan la pendiente de las laderas y taludes, conformando anticlinales y sinclinales, los que favorecen a los movimientos de masas, principalmente a los deslizamientos y desprendimientos de rocas en cuñas. Estructuralmente se evidencian plegamientos (anticlinal), fallas con dirección NW-SE (falla la Joya y Tambillo) y NE-SW (falla local) que cortan la carretera.

Para el análisis de la inestabilidad, se realizó 8 estaciones con secciones transversales al eje de carretera en los puntos considerados como los más críticos. 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 50° y 78° y la altura de 14m a 33m.

Para clasificación y análisis geomecánico de los macizos rocoso en las estaciones de taludes críticos, se hizo uso de parámetros como: RMR, RQD y GSI. Según el RMR89 se obtuvo como resultados una calidad de roca: Tipo III y IV (calidad Regular a mala) que varían en el rango de 40 – 58 en dicho RMR89; esto es debido a factores condicionantes tanto internos como externos, y variables de contorno tales como la litología, que varía desde calizas

compactas a calizas limo-arcillosas fracturadas, meteorización moderada, grado de fracturamiento de medio a alto y un GSI de bloques y capas.

4.1 ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO – CINEMÁTICO

En cada una de las estaciones se realizó el análisis cinemático mediante proyecciones estereográficas haciendo uso del software Dips v6.0, 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. Se analizó puntualmente para los casos de rotura planar y rotura tipo cuña, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 4.1, donde se demuestra la existencia de riesgo de falla planar y falla tipo cuña en las 8 estaciones.

Tabla 4.1 Análisis Estereográfico – Cinemático de los Taludes Críticos.

TALUD CRÍTICO	TIPO DE ROTURA	PORCENTAJE (%)
TC - 01	PLANAR	5.26
	CUÑA	8.82
TC - 02	PLANAR	4.35
	CUÑA	7.51
TC - 03	PLANAR	23.81
	CUÑA	44.76
TC - 04	PLANAR	15.79
	CUÑA	25.73
TC - 05	PLANAR	10.00
	CUÑA	3.16
TC - 06	PLANAR	15.00
	CUÑA	37.37
TC - 07	PLANAR	25.00
	CUÑA	12.11
TC - 08	PLANAR	25.00
	CUÑA	38.10

4.2 FACTOR DE SEGURIDAD - SOFTWARE SLIDE V. 6.0

El cálculo del Factor de Seguridad considerando la data obtenida de los taludes críticos se realizó mediante el software Slide v.6, y usamos el método de análisis de estrés de Mohr Coulomb, donde los datos fundamentales son la cohesión y ángulo de fricción de la roca; estos datos se obtuvieron mediante el software RocData.

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 para condiciones de tensiones totales o denominadas condiciones normales del terreno, y para condiciones de tensiones efectivas más la sismicidad. En el área de investigación se presenta precipitaciones abundantes la mayor parte del año, tal como se ve en la Tabla 3.5; obteniéndose promedios anuales de 95.7mm, 108.0mm, 116.1mm, 78.1mm y 82.0mm los cuales son las principales causas de inestabilidad geotécnica; por tal motivo se utilizó los cálculos del FS en condiciones de tensiones efectivas.

Para definir las condiciones sísmicas se tomó como referencia la norma técnica E.030 DISEÑO SISMOTERRESTRE – RNE 2016. Donde se muestra que el área de investigación corresponde la zona sísmica 2 con aceleración sísmica máxima de 0.25 y con coeficiente de aceleración máxima horizontal de 0.125 (Kh) y coeficiente de aceleración máximo vertical de 0.0625 (Kv), calculado con el software LoadCap.

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 críticos con probabilidad de deslizamiento planar y desprendimientos de cuña fueron analizados por el método de equilibrio límite de dos dimensiones con el software Slide v6.0 y se obtuvieron los siguientes resultados:

- El Talud Crítico 01 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.505 – 0.711; tanto en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de

Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña y planar se encuentran el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 01 (TC-01)					
σ_{cd}	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
75MPa	45	0.239Mp	51.82	4995.79MPa	PLANAR, CUÑA

➤ El Talud Crítico 02 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.005-0.996, tanto en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 02 (TC-02)					
σ_{cd}	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
75MPa	49	0.284Mp	52.78	6038.28MP	PLANAR, CUÑA

➤ El Talud Crítico 03 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.004 – 0+509, tanto en de Tensiones Totales, como en condiciones de Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 03 (TC-03)					
σ_{cd}	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
65MPa	43	0.232Mp	38.04	2381.87MPa	PLANAR, CUÑA

➤ El Talud Crítico 04 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 1.023 – 1.298, tanto en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 04 (TC-04)					
σ_{cd}	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
70MPa	50	0.333Mp	48.70	5225.81MPa	PLANAR, CUÑA

➤ El Talud Crítico 05 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.018 – 0+624, tanto en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de

Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran en el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 05 (TC-05)					
σ_d	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
60MPa	47	0.217Mp	38.65	2260.01 MPa	PLANAR, CUÑA

➤ El Talud Crítico 06 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.004 – 1.334, tanto en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran en el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 06 (TC-06)					
σ_d	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
70MPa	48	0.317Mp	49.13	4249.49MPa	CUÑA, PLANAR

➤ El Talud Crítico 07 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.004 – 0.732, tanto en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran en el cuadro siguiente.

TALUD CRITICO 07 (TC-07)					
σ_d	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
60MPa	43	0.191Mp	46.89	2410.93MPa	PLANAR, CUÑA

➤ El Talud Crítico 08 muestra estado inestable porque sus Factores de Seguridad están entre 0.165 – 0.474, tanto en condiciones en condiciones de Tensiones Totales, como en condiciones de Tensiones Efectivas más sismicidad cuyos valores hacia la rotura en cuña se encuentran en el cuadro siguiente.

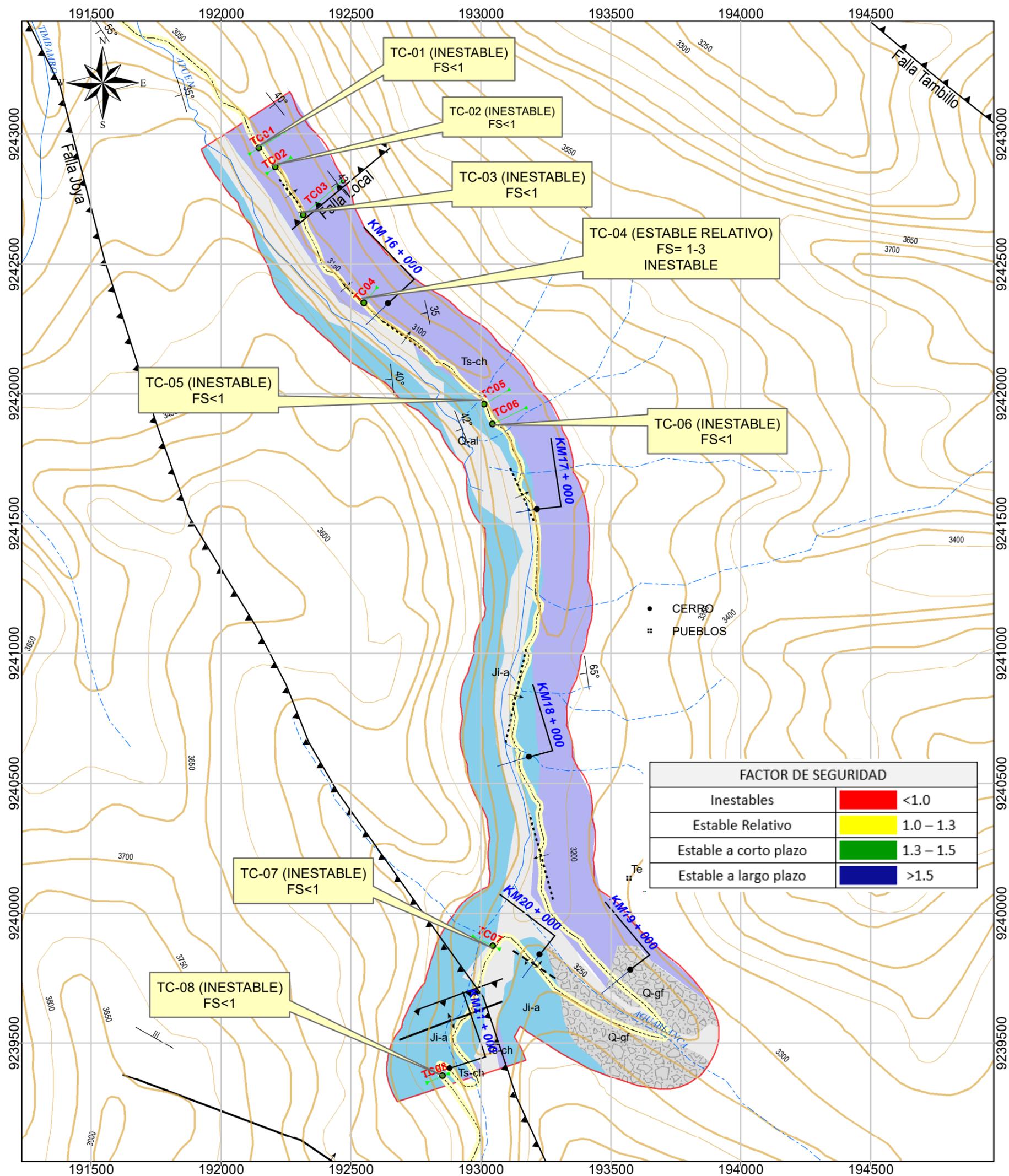
TALUD CRITICO 08 (TC-08)					
σ_d	GSI	C'	ϕ'	Erm	ROTURA
55MPa	39	0.142.Mp	32.76	1262.56MPa	PLANAR, CUÑA

Tabla 4.3 Factor de Seguridad de los Taludes críticos.

ESTACIONES (Taludes Críticos)	FACTOR DE SEGURIDAD / MÉTODOS							
	Bishop simplificado		Janbu Simplificado		Spencer		Gle/Morgenstern-Price	
	Condiciones Normales (TT)	Tensiones Efectivas más sismicidad (TE. + S)						
TC-01	0.711	0.538	0.687	0.505	0.705	0.539	0.706	0.54
TC-02	0.107	0.009	0.053	0.006	0.237	0.004	0.518	0.005
	0.675	0.429	0.668	0.412	0.506	0.467	0.237	0.503
	0.804	0.682	0.821	0.679	0.996	0.687	0.628	0.687
TC-03	0.509	0.009	0.497	0.004	0.505	0.004	0.505	0.005
TC-04	1.298	1.094	1.249	1.023	1.296	1.243	1.293	1.092
TC-05	0.624	0.026	0.617	0.02	0.621	0.018	0.621	0.076
TC-06	0.487	0.007	0.47	0	0.509	0.361	0.516	0.004
	1.107	0.291	1.076	0.212	1.106	0.004	1.106	0.399
	1.332	-	1.295	-	1.334	-	1.335	-
TC-07	0.731	0.009	0.716	0	0.73	0.004	0.732	0.004
	1.013	0.075	1.002	0.045	1.016	0.099	1.016	0.099
TC-08	0.192	-	0.165	-	0.19	-	0.202	-
	0.474	-	0.455	-	0.469	-	0.472	-

TT: Tensiones Totales

TE+S: Tensiones Efectivas + Sismicidad



FACTOR DE SEGURIDAD	
Inestables	<1.0
Estable Relativo	1.0 – 1.3
Estable a corto plazo	1.3 – 1.5
Estable a largo plazo	>1.5

LEYENDA	
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
Q-al	Depósito Aluvial
Q-gf	Depósito Glaciofluvial
Discordancia Angular	
Ji-c	Formación Condorsinga
Ji-a	Formación Aramachay
Js-ch	Formación Chambará

SIMBOLOGÍA	
[Red outline]	AREA_INFLUENCIA
[Red line]	CORTE_TALUDES
[Black dot]	ESTACIONES
[Black triangle]	FALLA INVERSA
[Black arrow]	ANTICLINAL
[Black line]	SINCLINAL
[Black dashed line]	CHEVRON
[Black dotted line]	MICROPLIEGUES
[Black wavy line]	BUZAMIENTOS
[Yellow dashed line]	CARRETERA

0 0.125 0.25 0.5 0.75 1 Km

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	Tesis: ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS CARRETERA LEIMEBAMBA - ATUEN, KM 15 + 000 - KM 22 + 000. DISTRITO CHUQUIBAMBA, PROVINCIA CHACHAPOYAS, DEPARTAMENTO AMAZONAS	
Plano: ZONIFICACIÓN	PLANO N°: 05	
Tesista: Bach. Trinidad Emérita Sánchez Araujo	Asesor: Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado	
Datum: WGS-84	Zona: 18S	Fecha: Marzo-2022
		Escala: 1:15,000

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante la investigación se encontró que la inestabilidad de taludes en el tramo km15 + 000 – km22 + 000 de la carretera Leimebamba – Atuen, es producto de la interacción de las litomorfoestructuras en las Formaciones Chambará y Aramachay las cuales muestran fuerte fracturamiento y que, según el RMR89, las rocas se encuentran entre los Tipos III y IV, definidas como de calidad regular a mala variando en el rango de RMR89 de 40-58; los factores geométricos como ángulo del talud, parámetros geomecánicos los que están afectados por fuertes precipitaciones e infiltración de aguas pluviales y la sismicidad de la zona; los que generan deslizamientos planares y cuñas, con lo cual se determinó que nos encontramos en una zona geotécnicamente inestable. Por todo lo indicado demostramos que nuestra hipótesis ha sido contrastada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En la carretera Leimebamba – Atuen desde el km 15+000 al km 22+00, tenemos las formaciones Aramachay (Ji-a) y Chambará (Tr-Ch) pertenecientes al Grupo Pucará. El corte generó taludes con pendientes muy pronunciadas, por lo que en su gran mayoría presentan inestabilidad y están expuestos a deslizamientos y desprendimiento de rocas en cuñas, especialmente en épocas de mayor precipitación que abarca los meses de octubre a abril.
- Considerando las Unidades morfogénicas, la zona está conformada por laderas de moderada a fuerte pendiente, constituidas por estructuras plegadas de anticlinales y sinclinales, con buzamientos hasta 75°, los que favorecen a los movimientos de masas, principalmente deslizamientos y desprendimientos de rocas en cuñas.
- El comportamiento litomorfoestructural de la carretera Atuen – Leimebamba es compleja por la presencia de estructuras como plegamientos fuertemente disturbados, que originan fallamientos y alto grado de fracturamiento en los macizos rocosos desestabilizando el talud.
- El análisis geomecánico de los macizos rocoso en las estaciones de taludes críticos, se realizó utilizando los parámetros: RMR, RQD y GSI. Según el RMR89 se obtuvo como resultados una calidad de roca: Tipo III y IV (calidad Regular a mala) que varían en el rango de 40 – 58 en dicho RMR89.

- El análisis cinemático – geotécnico de Software Dips v.6, de las discontinuidades críticas y el ángulo de fricción, nos determina probabilidad de rotura planar y rotura tipo cuña, en mayor proporción rotura tipo cuña.
- El comportamiento geotécnico de los taludes críticos se determinó mediante el software Slide v6.0 teniendo como resultados Factores de Seguridad de 0.053 – 1.298 en condiciones de TT; así mismo Factores de Seguridad en condiciones de TE+S 0.002 – 1.243; por lo tanto, todos los taludes analizados son inestables.

5.2. RECOMENDACIONES

Al Municipio Distrital de Chuquibamba y Leimebamba

- Realizar ensayos triaxiales para obtener mayor precisión en las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos y lograr un mejor cálculo de los Factores de Seguridad en las estaciones calculadas.
- Monitoreo constante entre los meses de octubre – abril debido a que las precipitaciones pluviales son mayores, con el fin de determinar y direccionar el drenaje del río Atuen para evitar deslizamientos y cuñas en rocas y por tanto colapso en la carretera.
- Realizar un estudio para la estabilización en todos los puntos críticos de la carretera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Medina Allcca, L; Vílchez Mata, M; Dueñas Bravo, S. 2009. Riesgo Geológico en la Región Amazonas: boletín N°39 serie C. Lima, Perú, Unidad de Relaciones Institucionales.
- Castro Medina, WF. 2010. Geomorfología, informe temático: proyecto de zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas. Iquitos, Perú, IIAP.
- Castro Medina, WF. 2010. Geología, informe temático: proyecto de zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas. Iquitos, Perú, IIAP.
- Domínguez Dávila, J. 2004. Investigación Geológica-Geotécnica de casos especiales de la carretera Corral Quemado-Pedro Ruiz, Dpto. Amazonas-Perú. Tesis. Lima, Perú, UNMSM. 100 p.
- Camargo Tinco, DD; Kana Huillca, RA. 2017. Estudio Geológico - Geotécnico de detalle del km. 484 y 496 de ONP (Oleoducto Nor peruano), para el diseño de obras de estabilización y/o mitigación a nivel de ingeniería básica, provincia de Bagua - departamento de Amazonas. Tesis. Cusco, Perú, UNSAAC.
- Suarez Díaz, J. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia, Ingeniería de Suelos Ltda.
- Gonzales de Vallejo, LI; Ferrer, M; Ortuño, L; Otero, C. 2002. Ingeniería Geológica. Capella, I (Ed.). Madrid, España, Pearson Educación.
- Ramírez Oyanguren, P; Alejano Monge, L. 2004. Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de taludes. s. n. t.
- Gavilanes J., H; Andrade Haro, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles: caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito, Ecuador, A.I.M.E.

- GEMMA (Grupo de Estándares para Movimientos en Masa, Canadá). 2007. Movimientos en Masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas: informe de 2007. Toronto, Canadá.
- Das, BM. 2001. Fundamentos de Ingeniería Geotectónica. 4 ed. de la Garza, P (Ed.). J. de la Cera, J. (Trad.). California.
- Duncan, CW; Mah, CW. 2004. Rock Slope Engineering. 4 ed. USA, Canadá, Taylor-Francis e-Library.
- Hoek, E. 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.
- Hoek, E., Carranza Torres, C., & Corkum, B. 2002. El criterio de rotura de Hoek - Brown - Edición 2002. Minnesota