

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS
ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA
SUYO-PATASUYO-CAPILLANI-SICUANI-CANCHIS-CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. MILTON JHONY TINTA MONTESINOS

PARA OPTAR AL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO

DE MINAS

ASESOR:

Mg. TOMAS ACHANCCARAY PUMA

CUSCO – PERÚ

2020



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor TOMAS ACHANCCARAY PUMA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES
DE MACIZOS ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA
CARRETERA SUYO - POTASUYO - CAPILLANI - SICUANI - CANCHIS
- CUSCO.

Presentado por: MILTON JHONY TINTA MONTESINOS DNI N° 47267789;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 05 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 10 de JUNIO de 2026

Firma

Post firma TOMAS ACHANCCARAY PUMA

Nro. de DNI 23991386

ORCID del Asesor 0000-0002-5316-1452

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:598993443

MILTON JHONY TINTA MONTESINOS

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA SUYO-P...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:598993443

133 páginas

Fecha de entrega

10 jun 2026, 10:34 a.m. GMT-5

14.471 palabras

93.097 caracteres

Fecha de descarga

10 jun 2026, 10:46 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CAR....pdf

Tamaño del archivo

12.6 MB

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Texto oculto

55 caracteres sospechosos en N.º de página

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Con mucha voluntad y esmero

Dedico esta tesis a mis padres

Leonidas Tinta Puma, Alejandrina Montesinos Quispe (†) y Clorinda Rucoba Valer

Por ser la razón de mi ser y el motivo para seguir creciendo como persona

A mi familia

Yolinda y Magdyel

Por ser el engranaje de mi vida para seguir caminando en la vida superando

obstaculos

A mis hermanos

Leonel, Albert y Flor de Thays

Por ser la razón para hacer las cosas bien y en su momento

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mis más profundos y sinceros agradecimientos a:

A Dios nuestro señor, por ser la guía de la sabiduría y la fortaleza para seguir adelante en cada momento a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi Alma Mater que me ha acogido durante mi formación académica profesional y personal, donde aprendí a saber como es la vida de un estudiante universitario y también el camino de la formación humana.

A toda la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que me han impartido sus conocimientos, experiencias, orientaciones y que estuvieron siempre dispuestos a aclarar mis dudas y dar respuesta a todas las interrogantes, especialmente al Ing. Ruben Llamocca Vivanco, Ing. Leonardo Peralta Zanabria, Ing. Juan Francisco Melendez Nina, Ing. Noe Cornejo Cereceda; a todos ellos una gratitud inmensa.

Al Ing. Tomas Achanccaray Puma, por su apoyo, paciencia y comprensión durante todo el proceso de elaboración de esta investigación.

A mis padres, hermanos y Familiares, que en cada momento que compartimos siempre me apoyaron y fortalecieron el lazo académico con la familia.

INTRODUCCION

La seguridad y permanencia de las carreteras dependen, en gran medida, de las condiciones geológicas y geotécnicas presentes en el terreno donde se desarrollan. En zonas montañosas del territorio peruano, los cortes realizados en roca suelen estar expuestos a procesos de meteorización, fracturamiento y erosión, factores que pueden alterar su comportamiento mecánico y favorecer la ocurrencia de movimientos de material que comprometan la transitabilidad de las vías.

El tramo vial SuYO–Patasuyo–Capillani, localizado en la provincia de Canchis, región Cusco, atraviesa sectores caracterizados por la presencia de areniscas arcóscas pertenecientes a la Formación Muñani. Estas unidades litológicas presentan diferentes grados de discontinuidad y alteración superficial, condiciones que influyen directamente en la respuesta del terreno frente a las cargas naturales y antrópicas a las que se encuentra sometido.

Ante esta situación, resulta necesario desarrollar investigaciones que permitan conocer las características geológicas, estructurales y resistentes del medio rocoso, con la finalidad de determinar su comportamiento y nivel de seguridad. En ese contexto, el presente estudio analiza las condiciones de los cortes de carretera mediante la aplicación de índices geomecánicos, evaluaciones cinemáticas y procedimientos de equilibrio límite ampliamente utilizados en ingeniería geológica.

La información obtenida permitió reconocer la calidad del material rocoso, identificar posibles mecanismos de inestabilidad y determinar las condiciones de seguridad

predominantes en cada sector evaluado. Los resultados constituyen un aporte técnico para la planificación de medidas preventivas y correctivas orientadas a minimizar riesgos asociados a procesos de remoción en masa y a mejorar la gestión de la infraestructura vial de la zona.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar las condiciones de seguridad de los cortes en roca localizados a lo largo de la carretera Suyo–Patasuyo–Capillani, ubicada en la provincia de Canchis, departamento del Cusco. Se realizó una caracterización geológica, estructural y geomecánica de los afloramientos presentes en el área de estudio, complementada con análisis especializados para evaluar su comportamiento frente a diferentes escenarios de carga.

Durante las actividades de campo se efectuó el levantamiento de información relacionada con la geometría de los taludes, orientación de discontinuidades y condiciones del material rocoso. Posteriormente, se determinaron parámetros mediante los sistemas RQD, RMR y GSI, los cuales permitieron establecer el grado de calidad geomecánica de las unidades evaluadas; se desarrollaron análisis cinemáticos para reconocer posibles mecanismos de falla y se aplicaron los métodos de Bishop, Janbu y Morgenstern–Price para la obtención de factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Los resultados evidenciaron que las areniscas arcósicas de la Formación Muñani presentan condiciones geomecánicas comprendidas entre regulares y buenas, además de distintos niveles de fracturamiento. Asimismo, se identificaron mecanismos potenciales de falla planar y en cuña en determinados sectores, factores de seguridad obtenidos indican que la mayoría de los taludes presentan un comportamiento aceptable.

Se concluye que las características estructurales y resistentes del medio geológico constituyen factores determinantes en el comportamiento de los taludes evaluados y deben ser consideradas en la implementación de medidas destinadas a la reducción de riesgos geotécnicos.

Palabras clave: Geomecánica, Análisis cinemático, Factores de seguridad, Discontinuidades, Estabilidad de taludes.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the safety conditions of the rock cuts located along the Suyo–Patasuyo–Capillani highway, located in the province of Canchis, department of Cusco. A geological, structural, and geomechanical characterization of the outcrops present in the study area was carried out, complemented by specialized analyses to evaluate their behavior under different loading scenarios. During the field activities, data collection was carried out regarding slope geometry, discontinuity orientation, and rock material conditions. Subsequently, parameters were determined using the RQD, RMR, and GSI systems, which allowed establishing the geomechanical quality grade of the evaluated units; kinematic analyses were developed to identify potential failure mechanisms, and the Bishop, Janbu, and Morgenstern–Price methods were applied to obtain safety factors under static and pseudo-static conditions. The results showed that the arkosic sandstones of the Muñani Formation present geomechanical conditions ranging from fair to good, in addition to different levels of fracturing. Likewise, potential planar and wedge failure mechanisms were identified in certain sectors, and the safety factors obtained indicate that most of the slopes exhibit acceptable behavior. It is concluded that the structural and strength characteristics of the geological medium constitute determining factors in the behavior of the evaluated slopes and must be considered in the implementation of measures aimed at reducing geotechnical risks.

Keywords: Geomechanics, Kinematic analysis, Factors of safety, Discontinuities, Slope stability.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INTRODUCCION.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xx
CAPITULO I.....	21
INTRODUCCION.....	21
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	21
1.1.1. Planteamiento del problema.....	21
1.1.2. Formulación del problema.....	22
CAPITULO II.....	23
MARCO TEORICO.....	23
2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	24
2.1.3. Antecedentes Locales.....	25
2.2. Bases Teóricas.....	26
2.2.1. Talud.....	26

2.2.3. Mecánica de rocas	29
2.2.4. Clasificación Geomecánica	30
2.2.5. Teoría de esfuerzos.....	39
.....	42
2.3. Estabilidad de taludes.	42
2.3.1. Factor de seguridad	42
2.3.2. Métodos de análisis de estabilidad de taludes	43
2.3. Sismicidad.	45
CAPITULO III	47
MATERIALES Y METODOS.....	47
3.1. Ubicación y Accesibilidad	47
3.1.1. Ubicación Política.	47
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	47
3.1.3. Accesibilidad.	47
3.2. Procedimiento	49
3.2.1. Etapa de gabinete o precampo.....	49
3.2.2. Etapa de Campo	49
3.2.3. Etapa de análisis o postcampo.....	50
3.3. Metodología de la investigación	50
3.3.1. Tipo de investigación	50

3.3.2. Nivel de investigación.....	50
3.3.3. Diseño de investigación	51
3.3.4. Hipótesis.....	51
3.3.5. Variables.....	51
3.3.6. Población.....	51
3.3.7. Muestra.....	51
3.4. Técnicas y recolección de datos.....	52
3.4.1. Técnicas.....	52
3.4.2. Recolección de datos.....	52
CAPITULO IV	53
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1 . Geología Local.....	53
4.1.1. Formación Muñani.	53
.....	54
4.1.2. Climatología.....	54
4.1.3. Unidades Morfogenéticas.....	55
4.1.4. Estaciones Geomecánicas	56
4.2. Discusión	114
CAPITULO V	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119

5.1. CONCLUSIONES.....	119
5.2. RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	121
ANEXOS	124

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Taludes artificiales y laderas naturales.	27
Figura 2: Tipos de mecanismos de fallas	29
Figura 3: Determinación del RQD en un testigo.....	34
Figura 4: GSI a partir de observación visual estricta	35
Figura 5: Escala de rugosidad establecida a partir de perfiles con una longitud de 10cm	37
Figura 6: Grafica de criterio de Mohr- Coulumb	40
Figura 7: Envolvente de rotura del criterio de Hoek & Brown.....	42
Figura 8: Método de Bishop simplificado.....	43
Figura 9: Método de Janbu.....	45
Figura 10: Peligrosidad sísmica del territorio peruano.	46
Figura 11: Accesibilidad a la carretera Suyo-Patasuyo.....	48
Figura 12: Areniscas arcoscicas de la Formación Muñani	54
Figura 13: Unidades morfogénicas	55
Figura 14: Estacion geomecánica 01	56
Figura 15: Valor del RMR -Estacion geomecánica 01	57
Figura 16: Valor del Gsi- Estacion Geomecánica 01	58
Figura 17: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 01	59
Figura 18: Probabilidad de falla planar- E.G.01	61
Figura 19: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.01.....	61
Figura 20: F.S. en condiciones estáticas -Metodología de Bishop-E,G,01	62

Figura 21: F.S. en condiciones pseudoestáticas por la metodología de Bishop-E.G.01	62
Figura 22: F.S. en condiciones estáticas saturadas - Metdologia de Bishop-E.G.01	63
Figura 23: F.s. en condiciones pseudoestaticas saturadas -Metdologia de Bishop-E.G.01	63
Figura 24: F.S. en condiciones estáticas - Metodología de Janbu-E.G.01	64
Figura 25: F.S. en condiciones pseudoestáticas -Metodología de Janbu-E.G.01	64
Figura 26: F.S. en condiciones estáticas saturadas - Metodología de Janbu-E.G.01	65
Figura 27: F.s. en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.01	65
Figura 28: F.S. en condiciones estáticas -Metodologia Morgenstern Price-E.G.01	66
Figura 29: F.S. en condiciones pseudoestáticas - Metodología de Morgenstern Price-E.G.01	66
Figura 30: Estacion Geomecánica 02.....	67
Figura 31: Valor del RMR -Estacion geomecánica 02	68
Figura 32: Valor del Gsi- Estacion Geomecánica 02.....	69
Figura 33: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 02	70
Figura 34: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.02.....	71
Figura 35: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.02	72
Figura 36: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.02	72

Figura 37: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.02	73
Figura 38: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.02	73
Figura 39: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.02	74
Figura 40: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.02	74
Figura 41: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.02	75
Figura 42: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.02	75
Figura 43: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.02.....	76
Figura 44: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.02	76
Figura 45: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.02	77
Figura 46: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.02.....	77
Figura 47: Estacion geomecánica 03.....	78
Figura 48: Valor del RMR -Estacion geomecánica 03	80
Figura 49: Valor del Gsi- Estacion Geomecánica 03.....	81

Figura 50: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 03	82
Figura 51: Probabilidad de falla planar-E.G.03	83
Figura 52: Probabilidad de falla tipo cuñar-E.G.03	84
Figura 53: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.03	84
Figura 54: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.03	85
Figura 55: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.03	85
Figura 56: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.03	86
Figura 57: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.03	86
Figura 58: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.03	87
Figura 59: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.03	87
Figura 60: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.03	88
Figura 61: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.03	88
Figura 62: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.03	89

Figura 63: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.03	89
Figura 64: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.03	90
Figura 65: Estación geomecánica 04.....	91
Figura 66: Valor del RMR -Estacion geomecánica 04	92
Figura 67: Valor del GSI- Estacion Geomecánica 04	93
Figura 68: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 04	94
Figura 69: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.04.....	95
Figura 70: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.04	96
Figura 71: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.04	96
Figura 72: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.04	97
Figura 73: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.04	97
Figura 74: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.04	98
Figura 75: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.04	98
Figura 76: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.04	99

Figura 77: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.04	99
Figura 78: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.04.....	100
Figura 79: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.04	100
Figura 80: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.04	101
Figura 81: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.04.....	101
Figura 82: Estación geomecánica 05.....	102
Figura 83: Valor del RMR -Estacion geomecánica 05.....	103
Figura 84: Valor del GSI -Estacion geomecánica 05.....	104
Figura 85: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 05	105
Figura 86: Probabilidad de falla planar-E.G.05	106
Figura 87: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.05.....	107
Figura 88: Probabilidad de falla por vuelco-E.G.05	107
Figura 89: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.05	108
Figura 90: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.05	108
Figura 91: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.05	109

Figura 92: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.05	109
Figura 93: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.05	110
Figura 94: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.05	110
Figura 95: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.05	111
Figura 96: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.05	111
Figura 97: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.05	112
Figura 98: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.05	112
Figura 99: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.05	113
Figura 100: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.05	113
Figura 101: Extracción de muestra en laboratorio	131
Figura 102: Ensayo de compresión uniaxial	131
Figura 103: Ensayo de carga puntual	132
Figura 104: Medición e identificación de las características de discontinuidades	132
Figura 105: Medición con brújula Brunton	133
Figura 106: Resultados de parámetros de resistencia	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calidad de macizos rocosos en relación al índice de RMR	31
Tabla 2: Valores y parámetros para determinar el RMR.....	32
Tabla 3: Interpretación de valores de RQD.....	33
Tabla 4: Clasificación de los espaciamientos de discontinuidades propuesta por la International Society for Rock Mechanics (SIMR)	36
Tabla 5: Clasificación de la persistencia	37
Tabla 6: Clasificación de la abertura de discontinuidades	38
Tabla 7: Coordenadas del tramo de la carretera Suyo- Patasuyo-Sicuani.....	47
Tabla 8: Vías de acceso y tiempo de llegada a la carretera Suyo- Patasuyo	48
Tabla 9: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-01.....	60
Tabla 10: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-02.....	71
Tabla 11: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-03.....	83
Tabla 12: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-04.....	95
Tabla 13: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-05.....	106

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema.

Las carreteras en las zonas altoandinas del Peru, específicamente en la región del Cusco hay presencia de taludes con diferentes condiciones de estabilidad, debido principalmente a las características de las discontinuidades, grado de meteorización y propiedades geomecánicas de la roca. Estas condiciones son de vital importancia, ya que pueden ocasionar desprendimiento de roca, fallas estructurales y por ende interrupciones en la transitabilidad vehicular

En la carretera Suy- Pata suyo, ubicada en la provincia de Canchis. región del Cusco se puede observar taludes con alta pendiente con presencias de diaclasas, fracturas; las cuales pueden influir en la estabilidad de taludes en la zona de estudio. Sin embargo, no hay un estudio detallado que permita identificar el grado de estabilidad de dichos taludes y su mecanismo de falla.

Asimismo, tanto el análisis geomecánico y estructural posibilitan analizar la respuesta del talud frente a diferentes condiciones ya sea estáticas y pseudoestáticas.

La identificación de mecanismos de falla como deslizamientos planares, cuña o vuelco, permitirá comprender las condiciones de estabilidad de talud y establecer criterios técnicos para futuras evaluaciones geotécnicas

Por ello, la presente investigación busca evaluar las condiciones geotécnicas de los taludes en el tramo de la carretera Suyo- Patasuyo, mediante un análisis geo-estructural y geotécnico con la finalidad de conocer su condición y comportamiento para así aportar información técnica que sirva de base para futuras obras civiles y/ o evaluaciones geotécnicas en la zona de estudio.

1.1.2. Formulación del problema

Problema General.

- ✓ ¿Cómo las características geo-estructurales y geomecánicas del macizo rocoso influyen en la estabilidad de taludes en la carretera Suyo -Patasuyo- provincia de Sicuani – Cusco?

Problemas específicos.

- ✓ Cual es la calidad geomecánica que presentan los macizos rocosos en la zona de estudio
- ✓ ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas del macizo rocoso presentes en los taludes evaluados?
- ✓ ¿Cuál es el nivel de estabilidad de los taludes rocosos mediante métodos de análisis geomecánico y equilibrio límite?

Objetivos

General.

- ✓ Evaluar la estabilidad de taludes de la carretera Suyo Patasuyo – provincia de Canchis – Cusco

Específicos

- ✓ Determinar la calidad geomecánica presentes en la zona de estudio
- ✓ Identificar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en los taludes de la zona de estudio
- ✓ Analizar el nivel de estabilidad de los taludes mediante análisis geomecánico y de equilibrio limite

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

TESIS: “Análisis de la inestabilidad de la ladera en la carrera NN-4 en el tramo San Lucas-Las Sabanas km 233-2235, Departamento de Madriz”

Cuevas et al. (2019), su objetivo fue evaluar las condiciones de inestabilidad en la zona de estudio mediante un análisis geológico-geotécnico. Se realizó un muestreo de ricas y la determinación de parámetros físico-mecánicos que fueron analizados a través del software GeoStudio. Se determinó roca ignimbrita con alta fracturación y presencia de pequeños deslizamientos y caída de rocas. Asimismo, como resultado se determinó factores de seguridad inferiores a 1.5, clasificándolo como moderadamente inestables. Se concluyó que mediante la modificación con criterios técnicos-civiles de la geometría del talud y la

implementación de técnicas de estabilización representan alternativas adecuadas para reducir la inestabilidad.

TESIS:” Caracterización geomecánica del macizo rocoso para su aplicación en geotecnia en el sector Lucarqui, Loja -Ecuador”.

(González, 2018), Se determino las características físico-mecánicas y geomecánicas del macizo rocoso en el sector Lucarqui para estudios geotécnicos. Se realizo ensayos de campo y laboratorio, entre ellos esclerometría, compresión simple, determinación de densidad y Till Test, para evaluar el comportamiento mecánico del macizo rocoso. El análisis se realizó mediante clasificaciones geomecánicas como RQD, RMR, SMR, Q de Barton y GSI, determinando sectores con calidad geomecánica regular a buena.

TESIS: “Evaluación geomecánica y análisis de estabilidad de taludes rocosos en la vía Cuenca – Molleturo-El Empalme – Ecuador”

(Méndez & Torres, 2021), tuvieron como objetivo evaluar tanto las condiciones geomecánicas como el factor de seguridad en la zona de estudio. La investigación se desarrolló mediante mapeo geológico -geomecánico en campo, mediante la identificación de discontinuidades, análisis estructural y aplicación de clasificaciones geomecánicas como RMR y GSI. Los resultados permitieron identificar macizos rocosos de calidad regular a mala en sectores altamente fracturados, donde predominan fallas planares y de cuña.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

TESIS:” Determinación de inestabilidad geotécnica de taludes entre el km 34+700 y km 42+200 de la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca”

(Díaz, 2023), Su objetivo fue evaluar las condiciones geomecánicas y la estabilidad de los taludes en distintos sectores del tramo Ciudad de Dios- Cajamarca. El trabajo de investigación se realizó mediante trabajos de campo, levantamiento estructural y la aplicación de clasificación geomecánica como RQD, RMR y GSI, permitiendo determinar la calidad del macizo rocoso y procesos que causen inestabilidad. Se identificaron sectores con roca de calidad regular a mala, los cuales presentaban condiciones favorables para deslizamiento y caída de rocas. Finalmente, se concluyó que las características geomecánicas y estructurales del macizo rocoso influyen directamente en la estabilidad de dichos taludes.

TESIS:” Caracterización geomecánica y análisis de estabilidad de taludes rocosos en la carretera Huánuco – La Unión”

(Ramirez, 2022), determinó las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y evaluar la estabilidad de los taludes presentes en la carretera Huánuco – La Unión. La investigación se desarrolló mediante mapeo geológico y estructural, identificación de discontinuidades y aplicación de clasificaciones geomecánicas como RMR y SMR. Los resultados permitieron identificar macizos rocosos de calidad regular a mala en sectores con alto fracturamiento y presencia de planos de debilidad, asociados principalmente a fallas planares y caída de rocas.

2.1.3. Antecedentes Locales

TESIS:” Análisis de estabilidad de taludes en el macizo rocoso Qelloco mediante el método de elementos finitos, equilibrio limite, probabilístico y propuesta de estabilización- Puno 2023”

(Cuentas, 2023), evaluó la estabilidad de taludes rocosos mediante un análisis geomecánico y modelamiento numérico, con la finalidad de identificar sectores críticos de inestabilidad.

Haciendo uso del RMR Y GIS, determino que las discontinuidades estructurales y el grado de fracturamiento moderado a alto, clasificándose como roca regular a mala en algunos sectores. Asimismo, mediante el análisis por equilibrio limite y elementos finitos (MEF), identifico factores de seguridad bajo por debajo de 1 asociados a discontinuidades estructurales y condiciones desfavorables del talud.

TESIS: “Modificación del sistema GSI en función de la escala de análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos”.

(**Pozo, 2023**), analizó la influencia de la caracterización geomecánica en la estabilidad de taludes rocosos mediante la aplicación de la técnica GSI. La investigación considero parámetros geomecánicos como RQD, espaciamiento de discontinuidades, rugosidad y grado de alteración, permitiendo así determinar variaciones en la calidad del macizo rocoso.

TESIS:” Análisis y estabilización de taludes de macizos rocosos y depósitos sedimentarios de la carretera Huallanca- Caraz”

(**Gálvez, 2025**), evaluó las condiciones geológicas y geomecánicas de taludes a través de un análisis estructural y cinemático. La investigación incluyo la aplicación de criterios como el RMR y SMR identificando macizo de calidad regular a malas en sectores con alta presencia de discontinuidades.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Talud.

Según (**Suárez, 1998**) un talud o ladera es una superficie del terreno, la cual presenta una determinada inclinación o desnivel respecto al plano horizontal. En términos

geotécnicos, se denomina ladera cuando su formación se da por procesos naturales, mientras que el término de talud se emplea para aquellos pendientes intervenidos por el ser humano, como excavaciones o cortes realizados en obras civiles y mineras.

Asimismo, según **Tomás et al. (2021)**, la estabilidad de un talud depende de las propiedades mecánicas del terreno, la pendiente y condiciones externas que influyen en el comportamiento del macizo rocoso o del suelo.

- Un talud presenta las siguientes partes:
- La altura es la separación vertical existente entre la parte superior y la base
- La cabeza es el sector superior en el cual se produce una variación marcada en la inclinación del terreno .

La pendiente se define como la inclinación de una superficie natural o artificial ($^\circ$ o %) (**Das, 2013**).

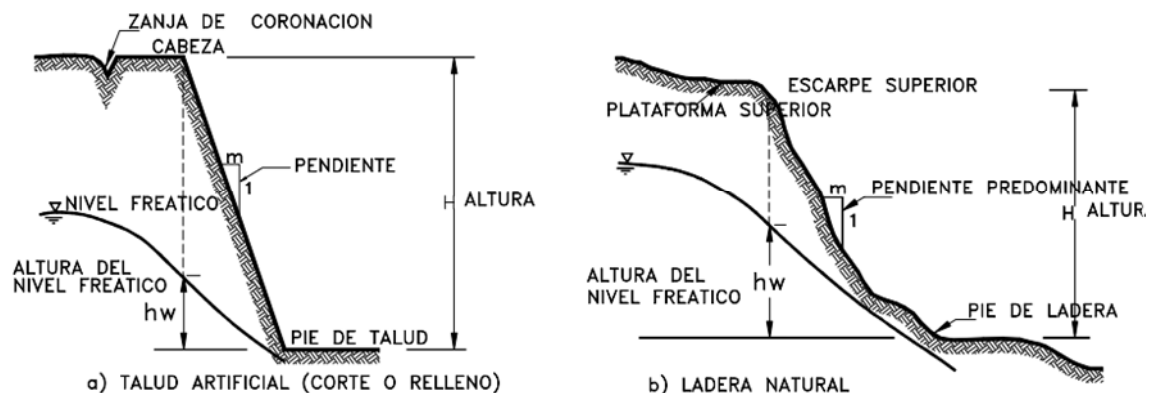


Figura 1: Taludes artificiales y laderas naturales.

Nota: Tomado de (**Suárez, 1998**)

Entre los principales tipos de fallas o roturas tenemos:

Rotura Planar:

La rotura planar se da cuando el deslizamiento de la masa deslizante rocosa se desarrolla a lo largo de una discontinuidad la cual presenta una orientación semejante a la inclinación del talud, aunque con un buzamiento ligeramente menor, lo cual provoca que un bloque de roca quede sin soporte y pueda desplazarse.

Rotura cuña:

La rotura en cuña se da debido a la interacción de dos planos de discontinuidad; cuando la línea formada por dicha intersección se corta o aflora en la cara libre del talud o excavación.

Rotura tipo vuelco:

La rotura por vuelco ocurre cuando existe un conjunto de discontinuidades con mucha continuidad y con poca abertura entre sí, orientadas de manera casi paralela al talud, pero inclinadas en sentido contrario con un ángulo elevado, lo cual favorece a que los bloques rocosos pierdan estabilidad y roten hacia adelante. **(Ramirez & Alejano, 2004).**

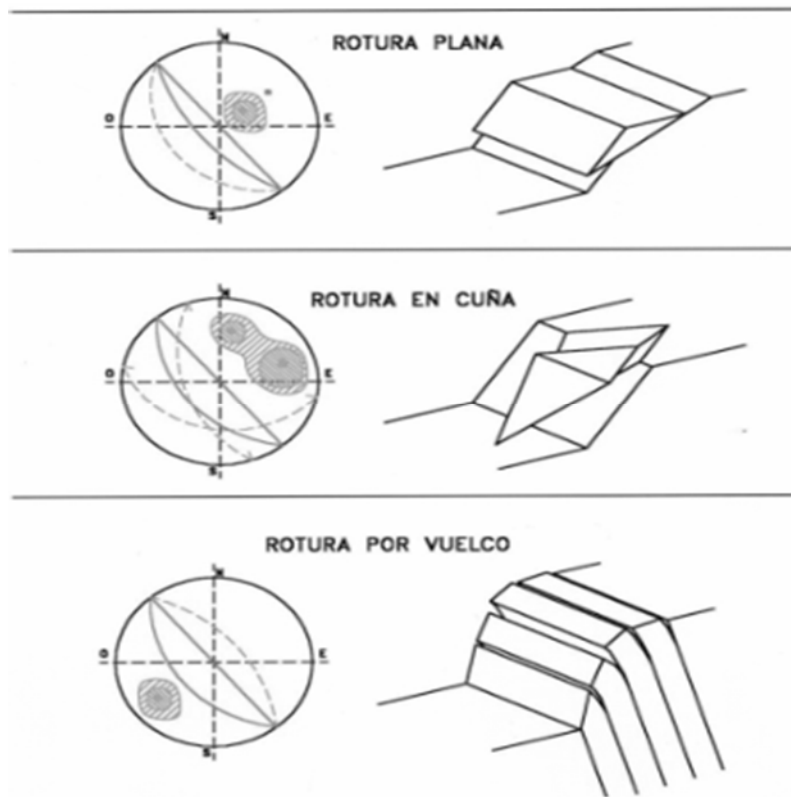


Figura 2:Tipos de mecanismos de fallas

Nota: Tomado de (Ramirez & Alejano, 2004)

2.2.3. Mecánica de rocas

Esta ciencia tiene como factor de estudio al macizo rocoso, la cual presentan fracturas o planos de discontinuidades, que pueden originarse por distintos procesos geológicos como la estratificación, foliación, esquistosidad y fallas tectónicas.

El comportamiento mecánico depende en gran medida de las discontinuidades y de los esfuerzos internos o externos que actúan sobre el (López, 2020)

2.2.3.1. Macizo rocoso

Es la roca constituida por diversas estructuras geológicas que condicionan su comportamiento geomecánico. La respuesta de la roca frente a los esfuerzos depende principalmente de sus propiedades físicas -mecánicas. En rocas masivas, rígidas y de alta resistencia a la acumulación de esfuerzos naturales o inducidos pueden generar estallidos de rocas debido a la liberación repentina de energía. Pero en las rocas blandas y con alta deformabilidad suelen tener un comportamiento elastoplástico. (OSINERGMIN, 2017)

2.2.4. Clasificación Geomecánica

La clasificación geomecánica tiene como función analizar las propiedades de los macizos rocosos para así determinar de manera técnica su calidad y comportamiento frente a diferentes condiciones de trabajo. Para llevar a cabo una adecuada caracterización geomecánica, se evalúa aspecto como la resistencia del macizo rocoso, distribución y orientación de las fracturas, espaciamiento entre discontinuidades, y las condiciones superficiales de estas, considerando factores como rugosidad, apertura, relleno y grado de alteración. Asimismo, se debe analizar las condiciones hidrogeológicas, los esfuerzos tanto naturales como inducidos que pueden modificar el comportamiento del macizo rocoso.

En el cual tenemos 3 clasificaciones principales las cuales son las siguientes

RMR 89 de Bieniawski.

El sistema de clasificación geomecánica denominado Rock Mass Rating (RMR), propuesto por Zdzisław Bieniawski, permite evaluar la calidad de los macizos rocosos mediante una escala de puntuación que varía entre 0 y 100. En esta clasificación, los valores

más bajos corresponden a macizos rocosos de muy mala calidad, mientras que los valores altos representan rocas con mejores condiciones geomecánicas. (OSINERGMIN, 2017)

Según (Bieniawski, 1989) el RMR se consideran parámetros principales para evaluar la calidad geomecánica del macizo rocoso, la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, índice calidad de roca (RQD), espaciamiento entre discontinuidades, y condiciones de agua subterránea en el macizo rocoso, en el cual la valoración final se obtiene mediante la suma de las puntuaciones asignadas a cada uno de estos parámetros evaluados

$$RMR_{89} = I + II + III + IV + V$$

En donde:

I: Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)

II: RQD (%)

III: Espaciamiento entre discontinuidades

IV: Condiciones de las discontinuidades

V: Condiciones hidrogeológicas.

Tabla 1: Calidad de macizos rocosos en relación al índice de RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	1 kg/cm ²	<15°

Nota: Tomado de (Bieniawski, 1989)

Tabla 2: Valores y parámetros para determinar el RMR

PARAMETROS DE CLASIFICACION						
1	Resistencia de la roca intacta (Mpa)					
	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	Rangos para Ens.	
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5 5-1 <1
	Puntuacion	15	12	7	4	2 1 0
	ROD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25
2	Puntuacion	20	17	13	6	3
	Separacion de diaclasas	>2 m.	0.6-2m.	0.2-0.6m.	0.06-0.2m.	<0.06m.
3	Puntuacion	20	15	10	8	5
	Estado de discontinuidades:					
4	Longitud	< 1m.	1 - 3m.	3 - 10m.	10 - 20m.	> 20m.
	Puntuacion	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0.1mm.	0.1 - 1.0mm.	1 - 5mm.	> 5mm.
	Puntuacion	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug.	Lisa o plana	Pulida
	Puntuacion	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	< 5mm. (duro)	> 5mm. (duro)	< 5mm. (blando)	> 5mm. (blando)
	Puntuacion	6	4	2	2	0
	Alteracion	Inalterada	Liger. Alterada	Moder. Alterada	Muy alterada	déscompuesta
	Puntuacion	6	5	3	1	0
5	Agu a subterranea					
	Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min.	10-25 Lts/min.	25-125 Lts/min.	>125 Lts/min.
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando	Fluyendo
	Puntuacion	15	10	7	4	0
CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES						
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60
CLASIFICACION						
C	Clase	I	II	III	IV	V
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Malta	Muy mala
	Puntuacion	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS						
D	Clase	I	II	III	IV	V
	Tiempo de mantenimiento	10 años	6 meses	1 semana	10 horas	30 minutos
	Longitud	15 m.	8 m.	5 m.	2.5 m.	1 m.
	Cohesion	> 4 Kp/cm2	3 - 4 Kp/cm2	2 - 3 Kp/cm2	1 - 2 Kp/cm2	< 1 Kp/cm2
	Angulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°
EFECTO DE LA ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
E	Direccion perpendicular al eje del tunel			Direccion paralela		Buzamiento
	Avance con buzamiento		Avance contra el buzamiento	Al eje del tunel		0° - 20°
	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°
	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	Cualquier direccion
	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy favorable	Media

Nota: Tomado de (Bineniawski, 1989) y adaptada por Hoek, E., & Marinos, P.

(2000).

RQD.

Este parámetro propuesto por Deere en 1964, tiene como finalidad estimar la calidad del macizo rocoso

El sistema RQD se expresa mediante un valor porcentual (0% y 100%). Los valores de alto porcentaje representan macizos rocosos de alta resistencia, mientras que los valores menores indican materiales altamente fracturados o con comportamiento similar a un suelo (OSINERGMIN, 2017).

Tabla 3: Interpretación de valores de RQD

Descripción del índice de calidad de roca	Valor de RQD(%)
Muy pobre	0-25
Pobre	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Excelente	90-100

Nota: Tomado de (Deere, 1964)

Se calcula con la siguiente ecuación de Palstrom(1998):

$$RQD = 110 - 3jv$$

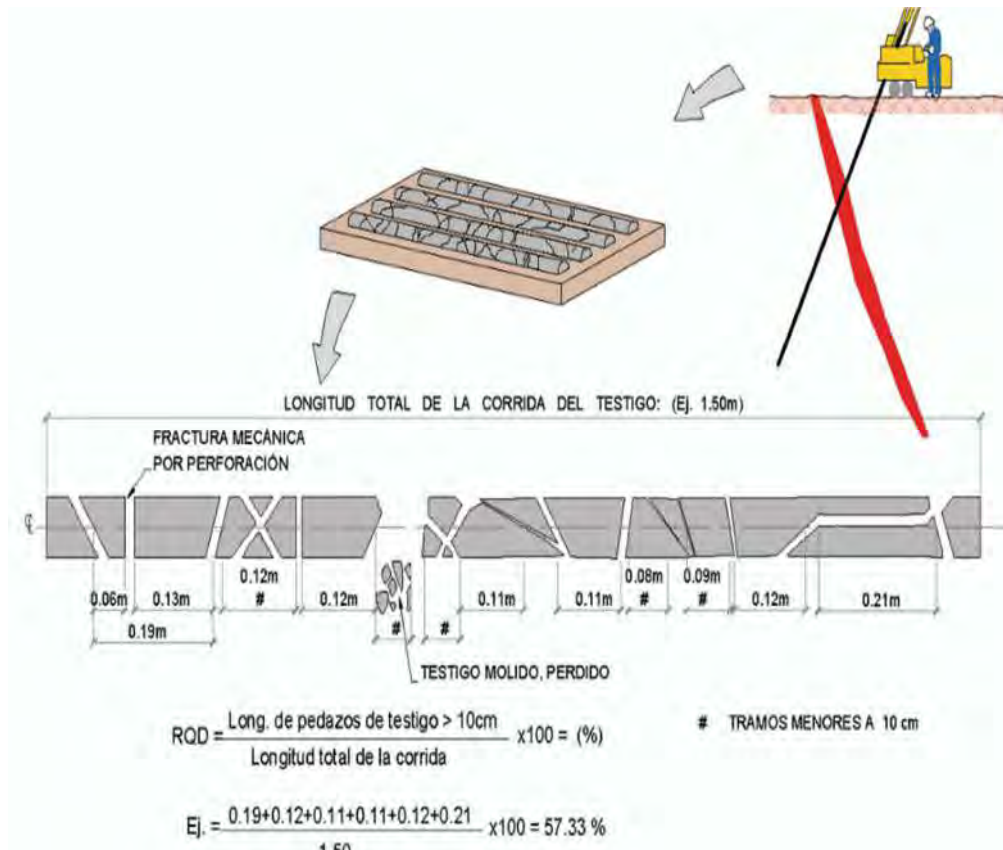


Figura 3: Determinación del RQD en un testigo

Nota: Tomado de (ACG,2003)

GSI (Geological Strenght Index).

El GSI es un sistema para clasificación geomecánica cuya función es evaluar la calidad y el comportamiento de los macizos rocosos a partir de sus características geológicas-estructurales, el cual considera el grado de fracturamiento del macizo rocoso y las condiciones superficiales de las discontinuidades permitiendo estimar de manera más realista la resistencia del macizo rocoso. (Hoek & Marinos, 2000)

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>) A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del Índice GSI.		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de óxido muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de óxido muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 4: GSI a partir de observación visual estricta

Nota: Tomado de Evert Hoek y Edward T. Brown (1997).

Discontinuidades.

Son aquellas que controlan en gran medida su comportamiento mecánico y estabilidad. Entre los parámetros más importantes para su evaluación destacan:

Orientación: Corresponde a la posición que presenta una discontinuidad dentro del espacio respecto al plano horizontal. Esta característica se define mediante el rumbo y el buzamiento de la superficie discontinuada, siendo comúnmente medida con ayuda de una brújula geológica.

- **Espaciamiento:** Hace referencia a la distancia existente entre discontinuidades pertenecientes a una misma familia estructural.

Tabla 4: Clasificación de los espaciamientos de discontinuidades propuesta por la International Society for Rock Mechanics (SIMR) .

Espaciado de las discontinuidades	
Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	<2 cm
Muy junto	2-6 cm
Junto	6-20 cm
Moderadamente junto	20-60 cm
Separado	60-200 cm
Muy separado	2-6 m

- **Persistencia:** Se relaciona con la extensión o longitud visible que presenta una discontinuidad dentro del macizo rocoso. Una mayor persistencia favorece la interconexión entre fracturas, lo que puede incrementar las condiciones de inestabilidad y facilitar el flujo de agua a través del macizo.

Tabla 5: Clasificación de la persistencia

Continuidad o persistencia	Longitud
Muy baja continuidad	<1m
Baja continuidad	1 - 3m
Continuidad media	3 - 10m
Alta continuidad	10 - 20m
Muy alta continuidad	>20m

Nota: Tomado de (Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)

- **Rugosidad:** Describe el nivel de irregularidad presente en las superficies de las discontinuidades. Las superficies más rugosas ofrecen mayor resistencia al desplazamiento de los bloques rocosos, mientras que las superficies lisas favorecen el movimiento y reducen la estabilidad del macizo.

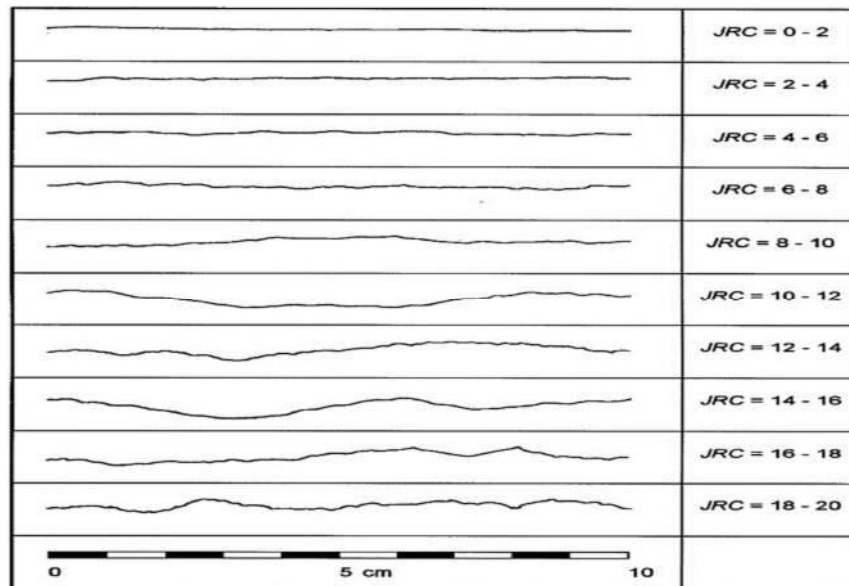


Figura 5: Escala de rugosidad establecida a partir de perfiles con una longitud de 10cm

Nota: Tomado de (Ramírez Oyanguren y Alejano Monge ,2004).

- **Abertura:** Corresponde al espacio entre las superficies de discontinuidad que separa dos bloques del macizo rocoso siempre que dicho espacio no se encuentre ocupado por materiales de relleno.

Tabla 6: Clasificación de la abertura de discontinuidades

Abertura de las discontinuidades	Descripción
<0,1 mm	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
> 10mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1m	Cavernosa

Nota: Tomado de (Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)

- **Relleno:.** Generalmente, este material presenta menor resistencia y dureza en comparación con la roca intacta que conforma el macizo.
- **Flujo:** Distribución de agua en las discontinuidades del macizo rocoso, evaluándose el nivel de humedad o el caudal de agua existente entre los bloques rocosos.
- **Número de familias presentes:** Una familia de discontinuidades agrupa fracturas que poseen un origen común y una orientación semejante. Por lo general, un macizo presenta como mínimo tres familias de discontinuidades. Cada familia puede

diferenciarse por aspectos como dirección, espaciamiento, tipo de relleno, presencia de agua y condiciones geológicas asociadas a su formación.

- **Tamaño de bloques:** Se refiere a las dimensiones de los bloques generados por las discontinuidades. Los bloques de mayor tamaño suelen relacionarse con mejores condiciones de estabilidad.

2.2.5. Teoría de esfuerzos

2.2.5.1. Criterio de Mohr – Coulumb

Según (**González de Vallejo , 2002**) , describe la resistencia al corte respecto a un plano sometido a un estado triaxial de esfuerzos. Por ello, se establece la relación entre los esfuerzos normales y tangenciales que actúan sobre la superficie de falla en el instante en que ocurre la rotura, la cual se presenta a continuación:

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

Donde:

- τ y σ : Esfuerzo tangencial y normal.
- c y ϕ : Cohesión y ángulo de fricción.

Se expresa mediante la siguiente ecuación :

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

Con el fin de evaluar la resistencia a un plano se emplea la relación siguiente:

$$\sigma_1 = \frac{2c + \cos \theta + \sigma_3(1 + \sin \phi)}{(1 - \sin \phi)}$$

En donde $\sigma_3 = 0$, σ_1 : R.C.S

$$\sigma_1 = \sigma_c = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi}$$

Considerando a su vez el valor a la tracción:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \phi}{1 + \sin \phi}$$

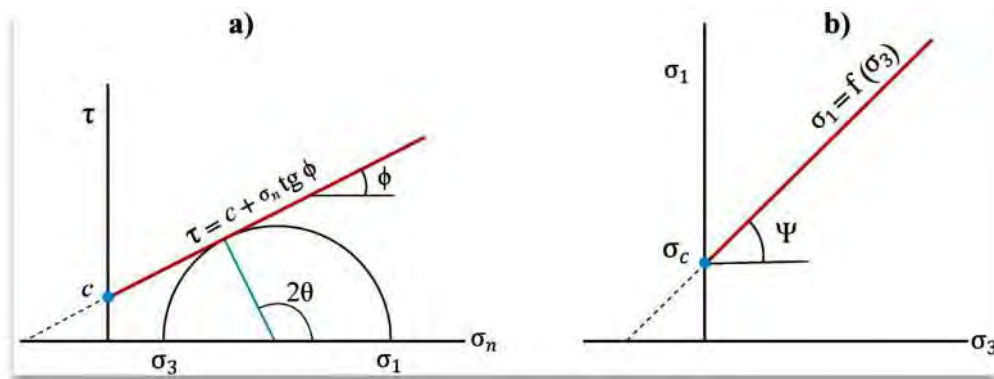


Figura 6: Grafica de criterio de Mohr- Coulumb

Nota: Tomado de (González de Vallejo , 2002)

2.2.5.2 Criterio de Hoek- Brown

Se aplica al análisis de macizos isotrópicos y consideran diversos factores que influyen en el comportamiento mecánico de la roca a gran escala. Entre los criterios más importantes se encuentra la respuesta no lineal frente a distintos niveles de esfuerzo, sus propiedades litológicas y el grado de alteración del macizo, así como la relación existente entre la resistencia a la compresión y a la tracción. Asimismo, determina la reducción

progresiva del ángulo de fricción interna a medida que aumenta los esfuerzos de confinamiento. (González de Vallejo, 2002).

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

En esta expresión σ_1 & σ_3 representan los esfuerzos principales máximo y mínimo al momento de falla de la roca

σ_{ci} : Resistencia a la compresión simple de la roca intacta

m_i : Constante relacionada con las características y propiedades mecánicas de la matriz rocosa

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + \sqrt{m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1}$$

La resistencia de la roca a compresión simple esta determina en la anterior ecuación, en el cual sustituyendo $\sigma_3 = 0$, y la resistencia a tracción se obtiene resolviendo para $\sigma_1 = 0$ y $\sigma_1 = \sigma_t$.

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \sigma_{ci} (m_i - \sqrt{m_i^2 + 4})$$

La formulación del criterio de rotura expresada en términos de esfuerzos normales y tangenciales se representa mediante la siguiente relación:

$$\tau = A \sigma_{ci} \left(\frac{\sigma_n - \sigma_t}{\sigma_{ci}} \right)^B$$

Donde σ_t es la resistencia a tracción y A, B son constantes dependientes del valor de m_i .

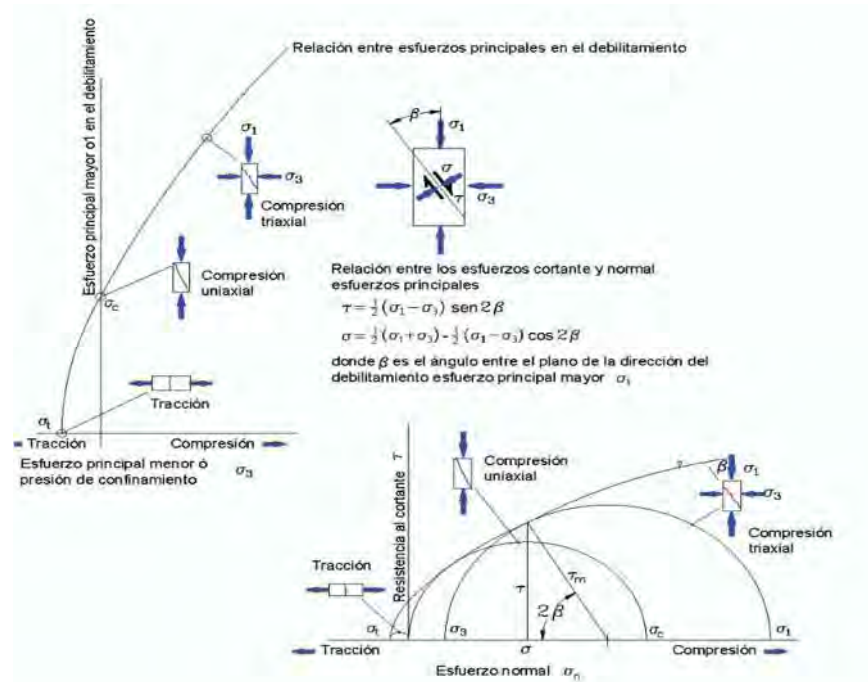


Figura 7:Envolvente de rotura del criterio de Hoek & Brown

2.3. Estabilidad de taludes.

2.3.1. Factor de seguridad

Es aquel parámetro utilizado para determinar el nivel de estabilidad de un talud y a su vez determinar la posibilidad de falla bajo las condiciones más críticas consideradas en el diseño.

Este parámetro está determinado por la siguiente ecuación

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

En donde:

c' : Cohesion

σ' : Esfuerzo normal sobre la superficie de falla

ϕ' : Angulo de fricción interna

2.3.2. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

2.3.2.1. Método de equilibrio limite

El método de equilibrio limite es una técnica empleada en geotecnia para analizar la estabilidad de taludes mediante la comparación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas que generan el deslizamiento. **(Duncan & Wright, 2005)**

Este método toma en cuenta que, al momento de producirse una falla, las fuerzas que generan el deslizamiento y las fuerzas que proporciona resistencia se encuentran en equilibrio a lo largo de la superficie de rotura, condición que corresponde a un factor de seguridad igual a 1 **(Suárez, 2009)**

2.3.2.2. Método de Bishop simplificado

Es un procedimiento de equilibrio límite ampliamente utilizado para el análisis de superficies de falla circulares. Este método considera el equilibrio de momentos de cada dovela y toma en cuenta las fuerzas normales entre ellas,

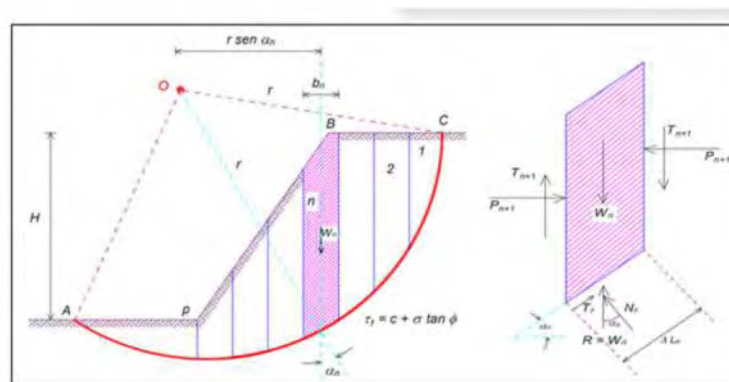


Figura 8:Método de Bishop simplificado

Nota: Tomado de (Suárez, 2009)

Para determinar el valor del factor de seguridad es necesario realizar un proceso iterativo, cuya convergencia generalmente se alcanza en poco tiempo. Una vez realizado el cálculo, se evalúa una nueva superficie circular y se obtiene otro valor de FS. Este procedimiento se repite sucesivamente hasta identificar la superficie que presenta el menor factor de seguridad. Habitualmente, las ecuaciones son procesadas mediante programas computacionales que analizan múltiples combinaciones de radios y centros de círculos de falla, con el objetivo de encontrar la condición más crítica de estabilidad del talud.

$$FS = \frac{\sum \left(\frac{c \Delta l \cos \alpha + (W - u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F} \right)}{\sum W \sin \alpha}$$

Donde:

- **W:** representa el peso correspondiente a cada dovela.
- **u:** corresponde a la presión de poros presente en el material.
- **FS:** indica el valor del factor de seguridad.
- **c:** hace referencia a la cohesión efectiva del suelo o macizo.
- **φ:** representa el ángulo de fricción efectiva del material.
- **α:** corresponde al ángulo formado entre la tangente de la base de la dovela y el plano horizontal.
- **Δl:** indica la longitud de la base de la dovela.

2.3.2.3. Método de Janbu.

Es una técnica de análisis de estabilidad que puede aplicarse en superficies de falla circulares y no circulares. Su formulación se basa en el equilibrio de fuerzas y resulta útil para evaluar taludes con geometrías complejas y condiciones geológicas variables. (Janbu, 1973)

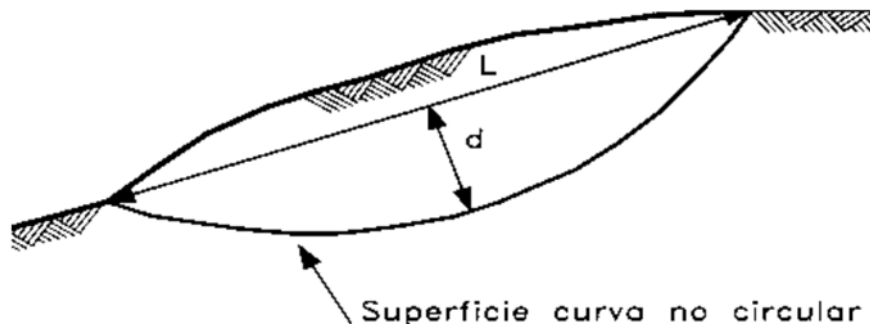


Figura 9: Método de Janbu

2.3.2.4. Método de Morgenstern Price

El método de Morgenstern–Price es considerado uno de los procedimientos más completos dentro de los métodos de equilibrio límite, ya que satisface simultáneamente las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos. Además, permite analizar diferentes formas de superficies de falla y distribuciones de fuerzas entre dovelas, proporcionando resultados de alta precisión.

2.3. Sismicidad.

Las condiciones sísmicas consideradas en el estudio fueron establecidas teniendo en cuenta la Norma Técnica E.30 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de

Edificaciones, divide el territorio peruano en cuatro zonas sísmicas, considerando la actividad sísmica en diferentes zonas, la actividad telúrica, su atenuación con respecto a la distancia epicentral y la información geotectónica disponible. **Rodríguez (2016).**

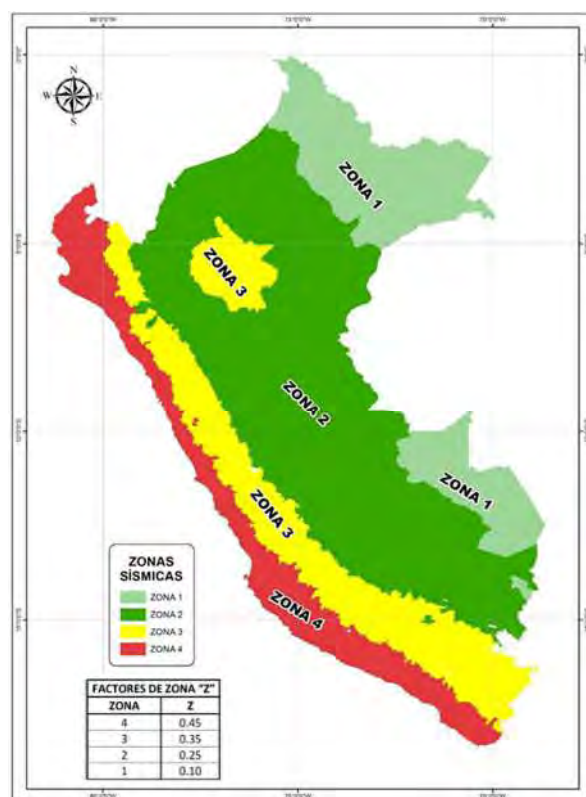


Figura 10: Peligrosidad sísmica del territorio peruano.

Nota: Tomado de (Norma E 030, 2016)

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación y Accesibilidad

3.1.1. Ubicación Política.

El área de estudio se ubica en sector sur del Perú, en el departamento del Cusco, provincia de Canchis. El tramo de carretera comprendido entre Suyo- Patasuyo-Capillani-Sicuani presenta sectores de relieve montañosos que forman parte de la red interprovincial de la región. La zona presenta características netas de a sierra sur del Perú, con laderas pronunciadas, afloramientos rocosos y procesos geodinámicos.

3.1.2. Ubicación Geográfica

En el aspecto geográfico su ubicación específica es:

Región : Cusco
Provincia : Canchis
Distrito : Sicuani
Comunidades : Suyo, Patasuyo, Capillani

Tabla 7: Coordenadas del tramo de la carretera Suyo- Patasuyo-Sicuani

Carretera	Norte	Este
Km 00+000	841818492.594	253445.906
Km 1+940	8417375.646	251119.355

Nota: Elaboración propia

3.1.3. Accesibilidad.

Para llegar a la zona de estudio se realiza desde la ciudad del Cusco a través de la vía Cusco – Sicuani, la cual constituye una de las principales rutas de comunicación del sur del país.

Desde la ciudad de Sicuani se continúa por carreteras afirmadas y trochas carrozables que conducen hacia los sectores de Suyo, Patasuyo y Capillani, donde se desarrolla el tramo evaluad.

Tabla 8: Vías de acceso y tiempo de llegada a la carretera Suyo- Patasuyo

De	A	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Frecuencia	Transporte
Cusco	Sicuani	141 Km.	3 hrs 16 min	Carretera	Diario	Empresas
Sicuani	Pata suyo	5 Km.	30 min.	trocha	Inter diario	Combi

Nota: Elaboración propia

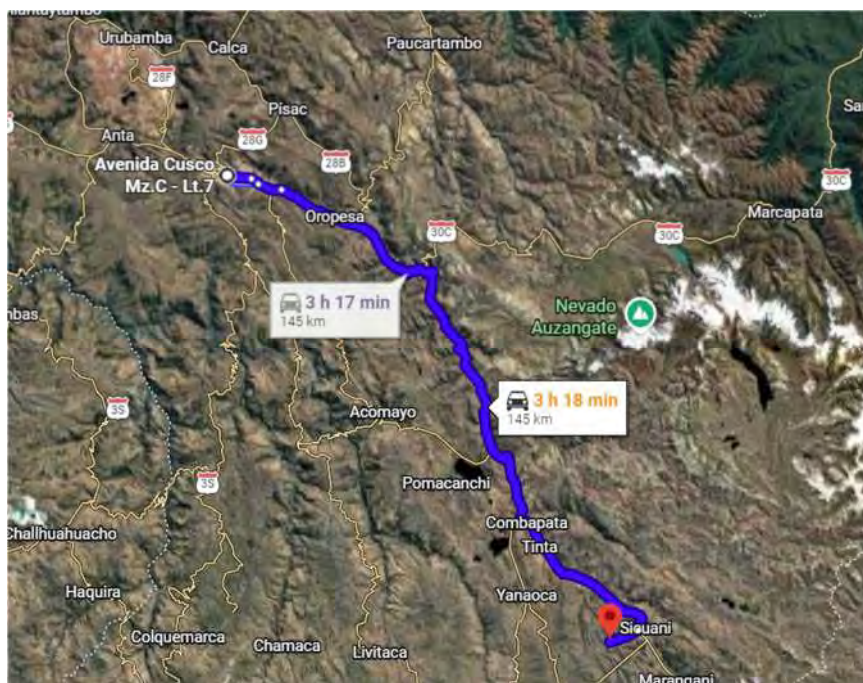


Figura 11: Accesibilidad a la carretera Suyo-Patasuyo

3.2. Procedimiento

3.2.1. Etapa de gabinete o precampo

En esta etapa, se recopiló mucha información sobre la zona de estudio en la cerreta Suyo – Apatasuyo- Capillani. Se busco recopilación bibliográfica, mapas y estudios geológicos. A su vez se revisó investigaciones previas sobre estabilidad de taludes

Se realizó la planificación de las actividades a realizar en campo, como la ubicación de estaciones geomecánicas, rutas de acceso y equipos necesarios. Además, se analizaron imágenes satelitales y mapas topográficos para identificar áreas críticas y posibles problemas de inestabilidad

También se prepararon formato para el registro de información geológica -estructural que se recopilarían en campo, considerando factores como la orientación de las rocas, espaciamiento, persistencia, rugosidad y estado de alteración

3.2.2. Etapa de Campo

En esta etapa se realizó el mapeo geológico-geotécnico de los taludes en la carretera Suyo- Patasuyo-Capillani haciendo uso de una brújula geológica, una cinta métrica, y formatos de registro para recopilar información estructural. Se identificaron las características geomecánicas del macizo rocoso.

Se realizo una caracterización geomecánica utilizando criterios y la clasificación como RQD, RMR y GSI, evaluando parámetros como grado de fracturamiento, calidad de roca, condición de agua y estado superficial de las discontinuidades. Se tomaron fotografías de los sectores evaluados u delimitar sectores con problemas de inestabilidad.

Se reconocieron las características geométricas de los taludes como la altura, la pendiente e inclinación. Además, se realizó la medición del Dip Y Dip Direction de las estructuras; lo cual permitió en conjunto obtener información necesaria para analizar la estabilidad de taludes.

3.2.3. Etapa de análisis o postcampo

Se organizó y procesó toda la información recopilada en campo. Tanto los datos geomecánicos y estructurales se sistematizaron en tablas y diagramas para determinar la calidad del macizo rocoso y las condiciones en los taludes.

También se realizó un análisis geomecánico utilizando clasificaciones como RMR, RQD y GSI y análisis cinemático para identificar posibles mecanismos de falla. Se analizaron los métodos de estabilidad de taludes para estimar el factor de seguridad y determinar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso. Por lo cual, los resultados obtenidos sirvieron como base para la interpretación técnica y la elaboración de conclusiones de la investigación

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es aplicada, porque busca evaluar la estabilidad de los taludes rocosos para tener información útil para futuras obras de ingeniería en la zona de estudio.

3.3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo y analítico, porque se describen las características de las rocas.

3.3.3. Diseño de investigación

Ea no experimental, porque se estudió la zona de estudio sin cambiar nada. Se recopiló la información en un momento determinado.

3.3.4. Hipótesis

General.

Las características de las rocas y las grietas influyen directamente en la estabilidad de los taludes de la carretera Suyo–Patasuyo–Capillani–Sicuani–Canchis–Cusco.

Específicas.

La calidad de las rocas condiciona la estabilidad de los taludes.

Las grietas y las propiedades de las rocas influyen en la ocurrencia de problemas en los taludes.

Los métodos de análisis permiten determinar que tan estable es el talud.

3.3.5. Variables.

Dependiente.

Estabilidad de los taludes

Independiente.

Características geoesstructurales y geomecánicas del macizo rocoso

3.3.6. Población

Taludes de la carretera Suyo – Patasuyo desde el Km. 0+390 al km.1 +940

3.3.7. Muestra

Puntos de estaciones geomecánicas.

3.4. Técnicas y recolección de datos.

3.4.1. Técnicas.

Para llevar a cabo la investigación, se utilizaron varias técnicas. Estas incluyen la observación directa, describir el macizo rocoso, y analizar información que ya esta documentada. El estudio se dividirá en tres etapas principales:

En primer lugar, se hará un trabajo de investigación en la oficina para recopilar información bibliográfica. Luego un trabajo en el campo para recopilar datos y caracterizar los macizos rocosos. Finalmente se hará un trabajo en gabinete para el procesamiento de la data.

3.4.2. Recolección de datos

Para la recolección de datos se hizo uso de diferentes instrumentos como:

Brújula Tipo Brunton: Se utilizo para determinar el Dip y Dip Direction de las estructuras geológicas, así como de los taludes.

Picota: Se utilizo para la extracción de muestras de mano

Flexómetro. Se utilizó para la medición lineal de discontinuidades, y de la geometría del talud

GPS: Importante para la ubicación en coordenadas UTM de los taludes estudiados

Ácido Clorhídrico: Se uso para indicar si la roca presenta acidez

Camara fotográfica -Sony: Su uso fue importante para la toma de fotos de buena resolución en la zona de estudio

Planos geológico-topográfico a escala 1/20000: Para la identificación de los taludes, análisis de las estructuras presentes en las zonas de estudio así como de su relieve

Imagen Satelital 1/ 20000: Para la ubicación y contrastación de las estaciones geomecánicas estudiadas

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 . Geología Local

4.1.1. Formación Muñani.

En la zona de estudio se pueden observar afloramientos rocosos con tonalidades rojizas a violáceas, con alto grado de fracturamiento y cierta meteorización superficial, en el cual se distinguió estratos compactos y masivos, afectados por diaclasas verticales que favorecen al desprendimiento de algunos bloques.

Las rocas son del tipo areniscas arcósicas con una textura resistente y disposición casi subvertical. A su vez se aprecia acumulación de detritos en la base del talud producto de la erosión, típicos de ambientes sedimentarios antiguos sometidos a deformación y erosión continua



Figura 12: Areniscas arcósicas de la Formación Muñani

4.1.2. Climatología.

Las Comunidades Suyo, Pata Suyo y Capillani, están ubicadas al Oeste del distrito, de Sicuani encontrándose a 3,750.00 m.s.n.m. (promedio); las coordenadas UTM WGS84 N8418492.594 y E 253445.906, el punto de inicio de este proyecto, 3,680.00 m.s.n.m. (BM punto de inicio); las coordenadas UTM WGS84 N8417375.646 y E 251119.355 el punto final y las características climatológicas en esta zona, es frígido seco; presentando temperaturas fluctuantes entre 5 °C bajo cero

y 23.00 °C, con una temperatura media de 15.00 °C. La precipitación varía según la temporada, siendo más intensa en los meses de Octubre a Marzo.

4.1.3. Unidades Morfogenéticas

Las unidades morfogenéticas que se encuentran a lo largo de la carretera Suyo-Patasuyo están muy influenciadas por la litología de la Formación Muñani. Esta formación está dominada por areniscas arcósicas.

El paisaje predominante en la zona son laderas estructurales con pendientes moderadas a fuertes. Estas laderas han sido esculpidas por la erosión hídrica y la meteorización.

En varios tramos de la carretera, se pueden ver taludes rocosos escarpados junto con depósitos de material suelto. Estos depósitos se han originado por la degradación del macizo rocoso.



Figura 13: Unidades morfogenéticas

4.1.4. Estaciones Geomecánicas

. Estacion Geomecánica N°01

El talud evaluado para esta estación pertenece a la Formación Muñani con rocas arenisca arcósica de tonalidad rojiza, grado moderado de fracturamiento, con presencia de discontinuidades que condicionan su comportamiento estructural con una moderada meteorización. El talud presente una altura de 7.2 m con una inclinación de 85° y un ancho de vía de 3.5 m.

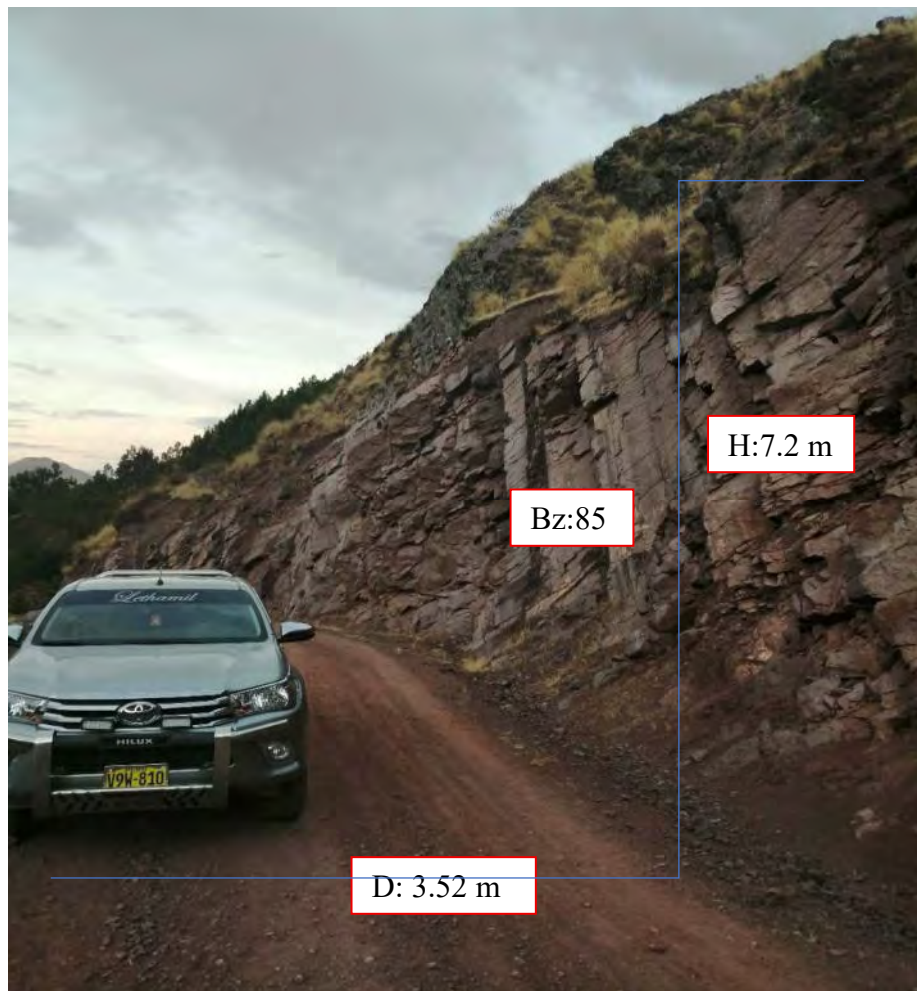


Figura 14: Estacion geomecánica 01

Cálculo de RQD

Para el cálculo del RQD se utiliza la formula empírica realizado por Palstrom(1998), el cual se basa en el número volumétrico de discontuidades

En donde:

$$RQD = 115 - 3.3.J_v$$

Por lo tanto, se tiene:

$$RQD = 115 - 3.3 * 15$$

$$RQD = 65.5\% \cong 66\%$$

Cálculo del RMR 89 -Bieniawaski

Para la clasificación de RMR se consideró las características geomecánicas observadas en campo, incluyendo la resistencia a la compresión uniaxial con un valor de 102 Mpa, RQD, espaciamiento y condiciones discontinuidades, además de las condiciones de presencia de agua, dando un valor de 64 con una roca tipo II- Calidad Buena

PARAMETROS DE CLASIFICACION					
Resistencia de la roca intacta (Mpa)					
1	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25
	Puntuacion	15	12	7	4
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25
	Puntuacion	20	17	13	6
3	Separación de diaclasas	>2 m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m
	Puntuacion	20	15	10	8
Estado de discontinuidades					
	Longitud	< 1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 20m
	Puntuacion	6	4	2	1
	Abertura	Nada	< 0.1mm	0.1 - 1mm	1 - 5mm
	Puntuacion	8	5	3	1
4	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug.	Lisa o plana
	Puntuacion	6	5	3	1
	Relleno	Ninguno	< 5mm (duro)	> 5mm (duro)	< 5mm (blando)
	Puntuacion	6	4	2	0
	Alteracion	Inalterada	Liger. Alterada	Modor. Alterada	Muy alterada
	Puntuacion	6	5	3	1
Agua subteranea					
5	Flujo por 10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min	10-25 Lts/min	>25 Lts/min
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando
	Puntuacion	15	10	7	4
CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES					
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Modo	Destrovable
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15
	Taludes	0	-2	-25	-50
CLASIFICACION					
C	Clase	I	II	III	IV
	Calidad	Muy buena	Buena	Moda	Malta
	Puntuacion	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS					
D	Clase	I	II	III	IV
	Tiempo de mantenimiento	10 años	6 meses	1 semana	10 horas
	Longitud	15 m.	8 m.	5 m.	2.5 m.
	Coesion	> 4 Kp/cm2	3 - 4 Kp/cm2	2 - 3 Kp/cm2	1 - 2 Kp/cm2
	Angulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°

Figura 15: Valor del RMR -Estacion geomecánica 01

Cálculo del GSI.

Para el cálculo del GSI(Geological Strenght Index) se realizó mediante una estimulación visual de la estructura del macizo rocoso y la condición superficial de las discontinuidades. En el cual es macizo presenta un grado moderado de fracturamiento , bloques angulares y superficies ligeramente rugosas con meteorización moderada.

La ecuación empleada fue:

$$GSI \cong RMR - 5$$

Por lo cual tenemos que:

$$GSI \cong 59$$

Determinando así que el macizo rocoso presenta una estructura moderamente fracturada con grandes bloques de roca y detritos en la parte inferior del talud

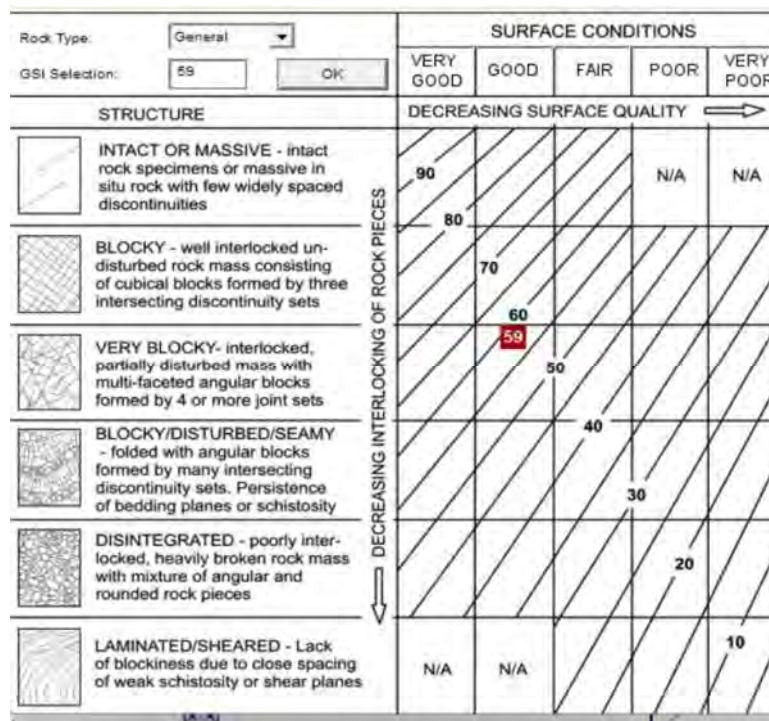


Figura 16: Valor del Gsi- Estacion Geomecánica 01

Analisis del software Rock Data

El análisis en el software Rock data V 4.0 teniendo como criterio de Hoek- Brown, nos indica que el macizo rocoso presenta una resistencia a la compresión moderada y un comportamiento mecánico no lineal con respecto a los esfuerzos aplicados. Los parámetros obtenidos (**mb= 0.909, s= 0.0011 y a= 0.503**) evidencian un macizo fracturado con un índice de GSI igual a 59. Asimismo, la equivalencia con respecto al criterio de Mor Coulumb permitió identificar la cohesión de 4.096 Mpa y un ángulo de fricción de 25.58° indicando así una resistencia al corte de nivel medio. Se puede observar que la resistencia alcanza 3.279 Mpa, valor inferior respecto a la roca intacta de 102 Mpa debido al efecto de las discontinuidades. Finalmente, las curvas obtenidas muestran un aumento gradual de los esfuerzos principales y cortantes conforme se incrementa el confinamiento, evidenciando un comportamiento con cierta estabilidad del macizo rocoso bajo condiciones moderadas de carga.

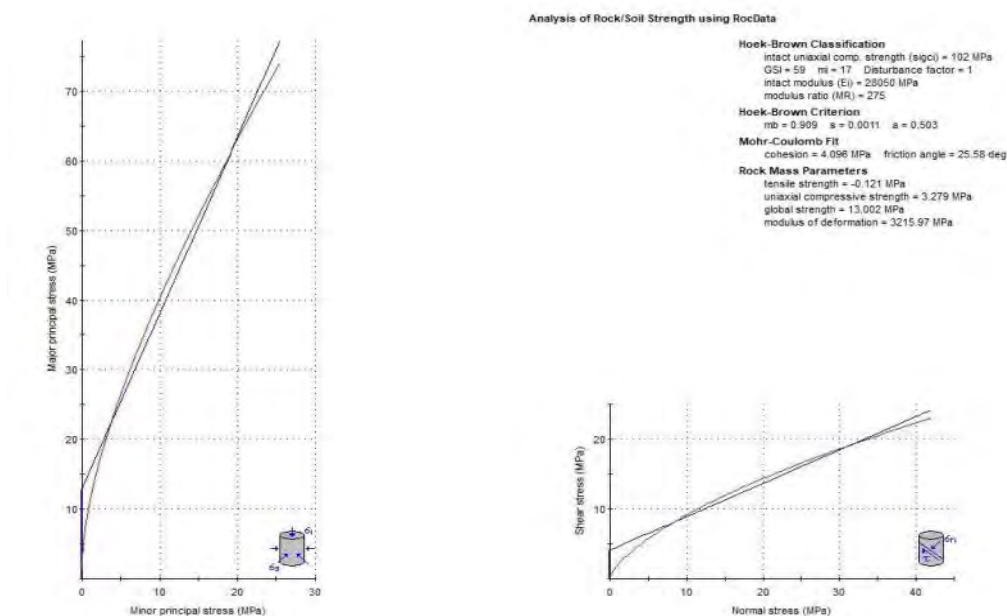


Figura 17: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 01

Tabla 9: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-01

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	102MPa	mb	0.909	Cohesión - c	4.096 MPa
		s	0.0011	Angulo de Fricción - phi	25.58
		a	0.503		
GSI	59	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.121 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		3.279 MPa	
Modulo intacto - Ei	28050	Resistencia Global – sigcm (MPa)		13.1002 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		3215.97 MPa	

Nota: Elaboración propia

Análisis cinemático en el Talud 1.

Para determinar el análisis cinemático se realizo las mediciones en campo del Dip y Dip Direction tanto del talud como de las discontinuidades con el uso de la brújula geológica para así poder identificar los mecanismos de falla y su porcentaje de probabilidad.

Mediante este análisis se puede determinar dos mecanismos de falla: Un mecanismo de rotura planar con probabilidad de 57.14 % y una rotura en cuña con probabilidad de 14.29%

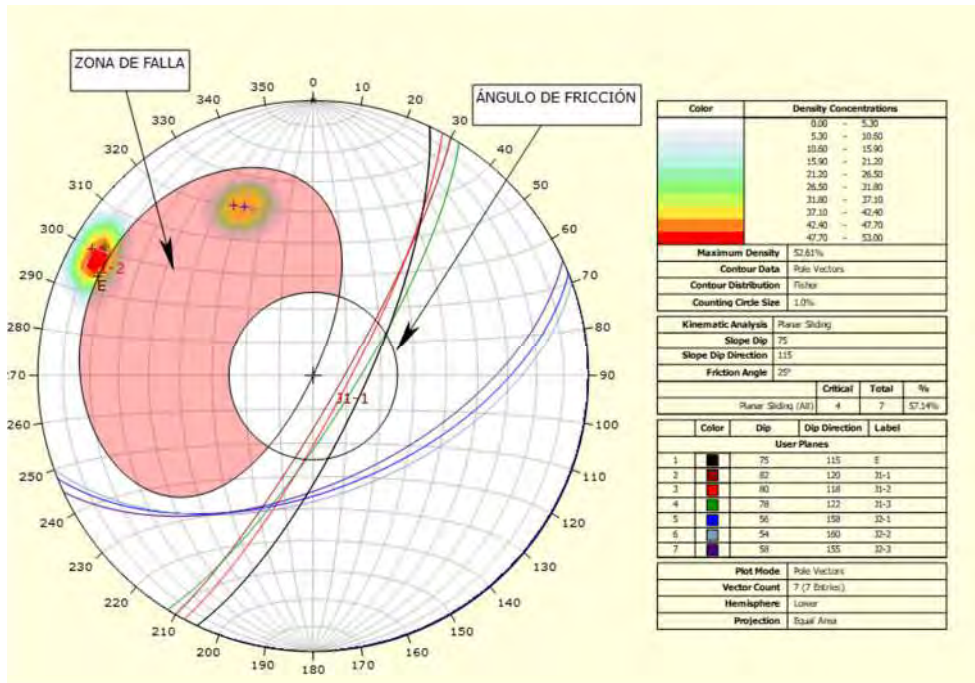


Figura 18: Probabilidad de falla planar- E.G.01

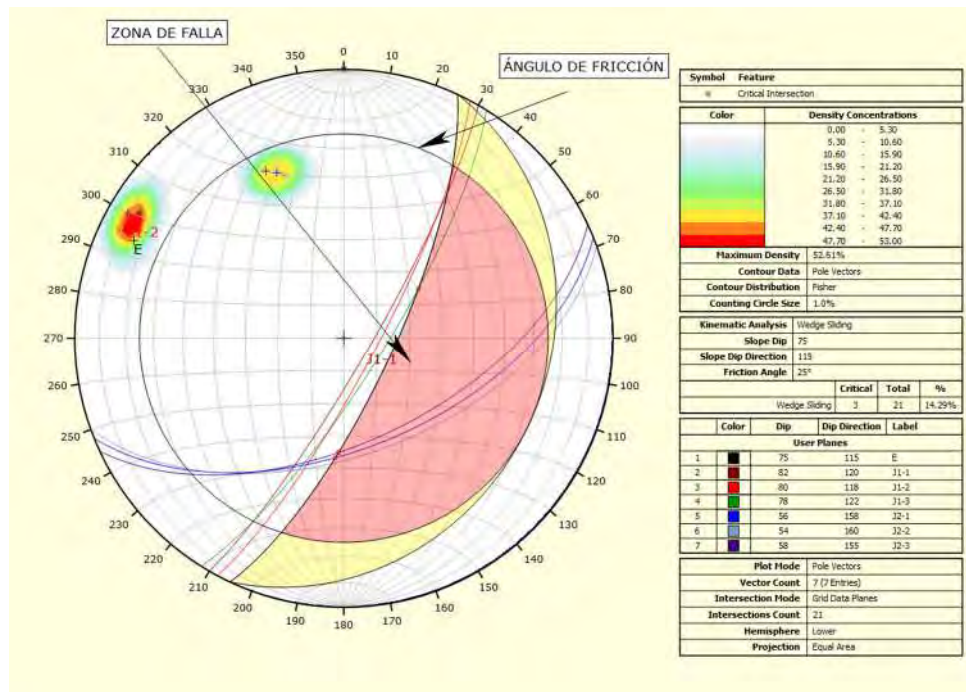


Figura 19: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.01

Identificación del factor de seguridad.

Para determinar el factor de seguridad se realizó con tres criterios principales: El criterio de Bishop, Janbu y Morgenstern Price, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas.

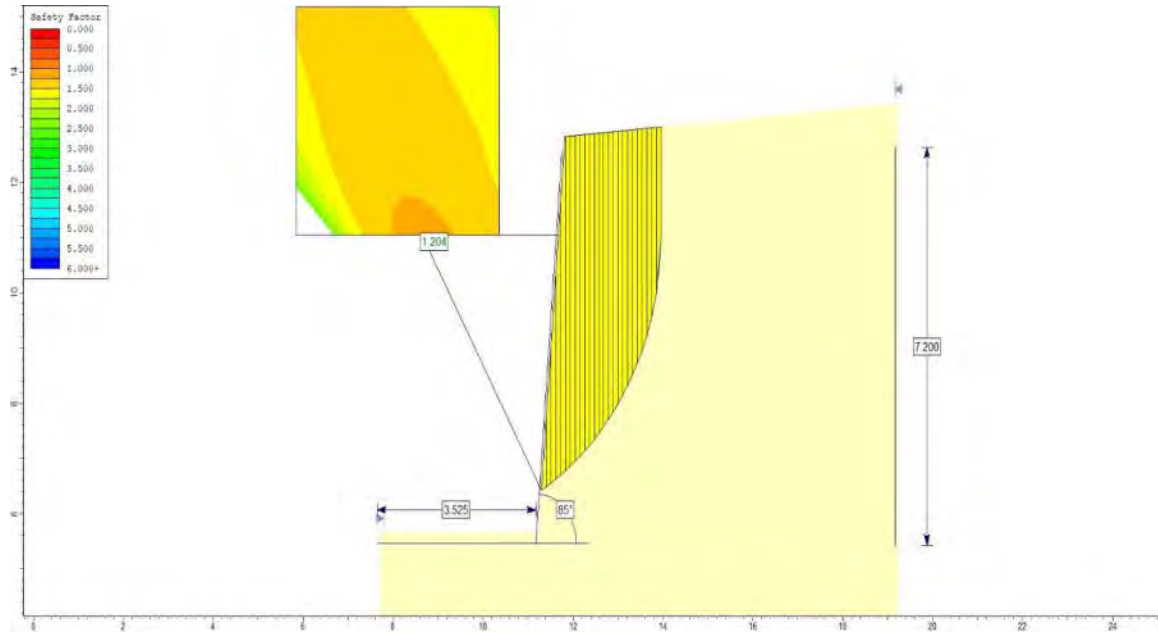


Figura 20: F.S. en condiciones estáticas -Metodología de Bishop-E,G,01

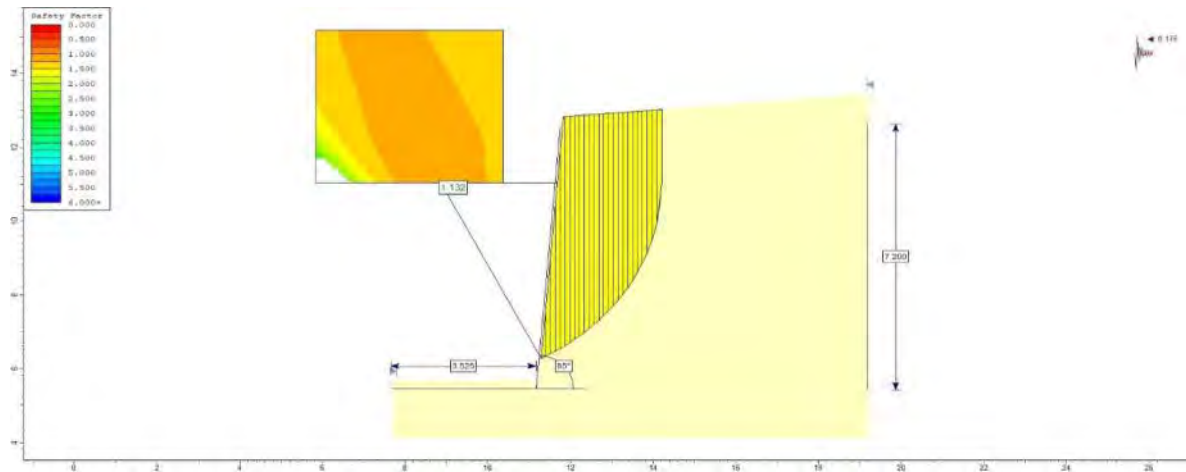


Figura 21: F.S. en condiciones pseudoestáticas por la metodología de Bishop-E.G.01

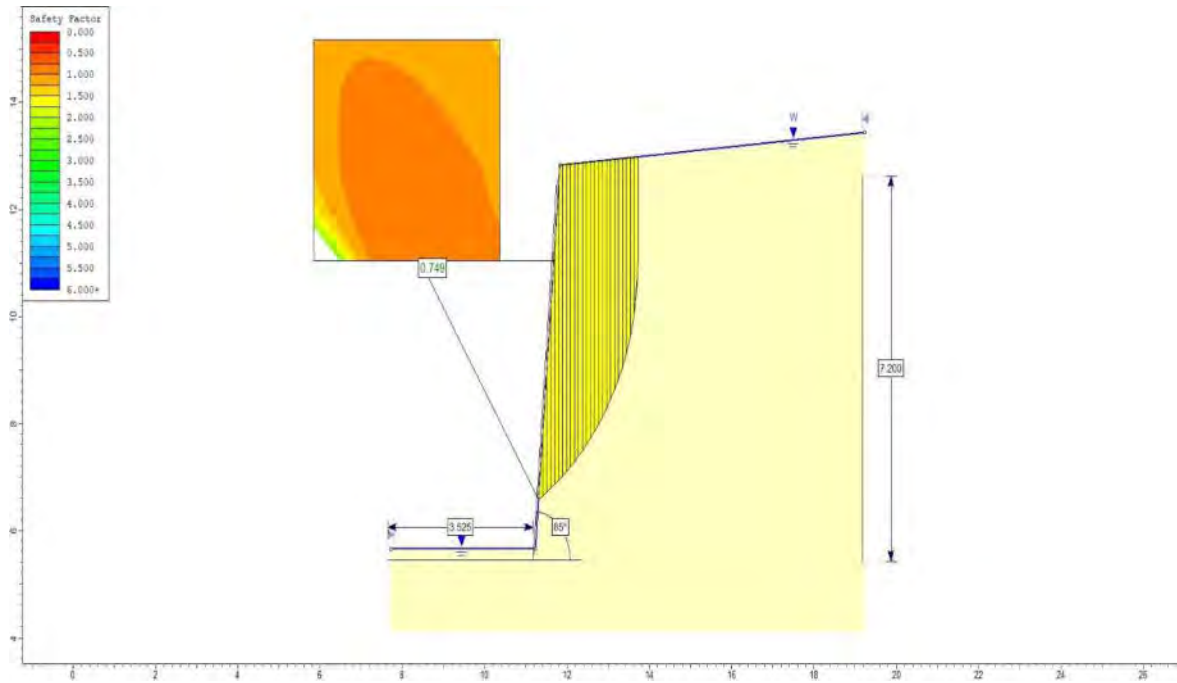


Figura 22:F.S. en condiciones estáticas saturadas - Metdologia de Bishop-E.G.01

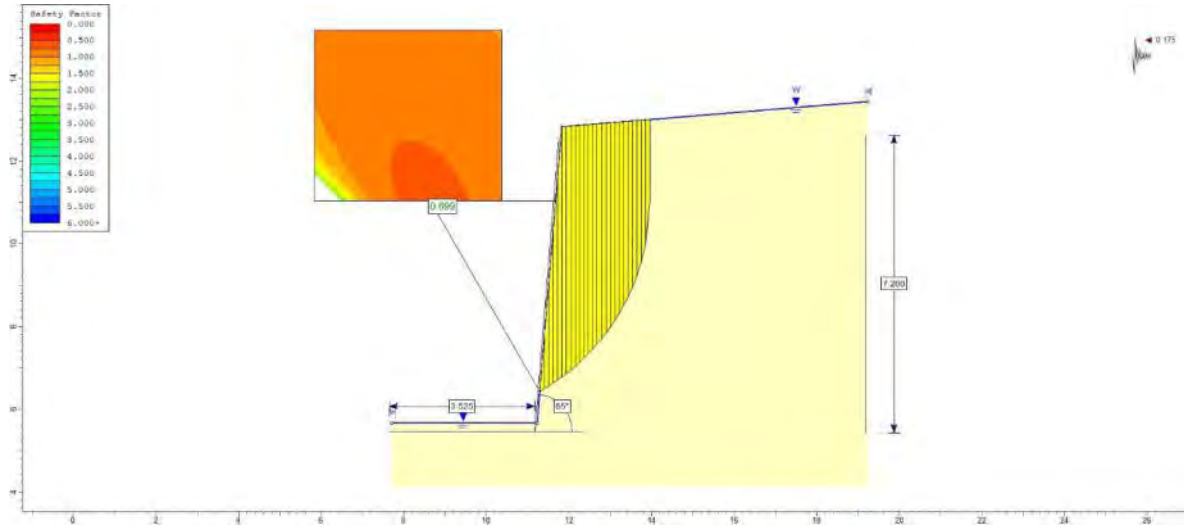


Figura 23: F.s. en condiciones pseudoestaticas saturadas -Metdologia de Bishop-E.G.01

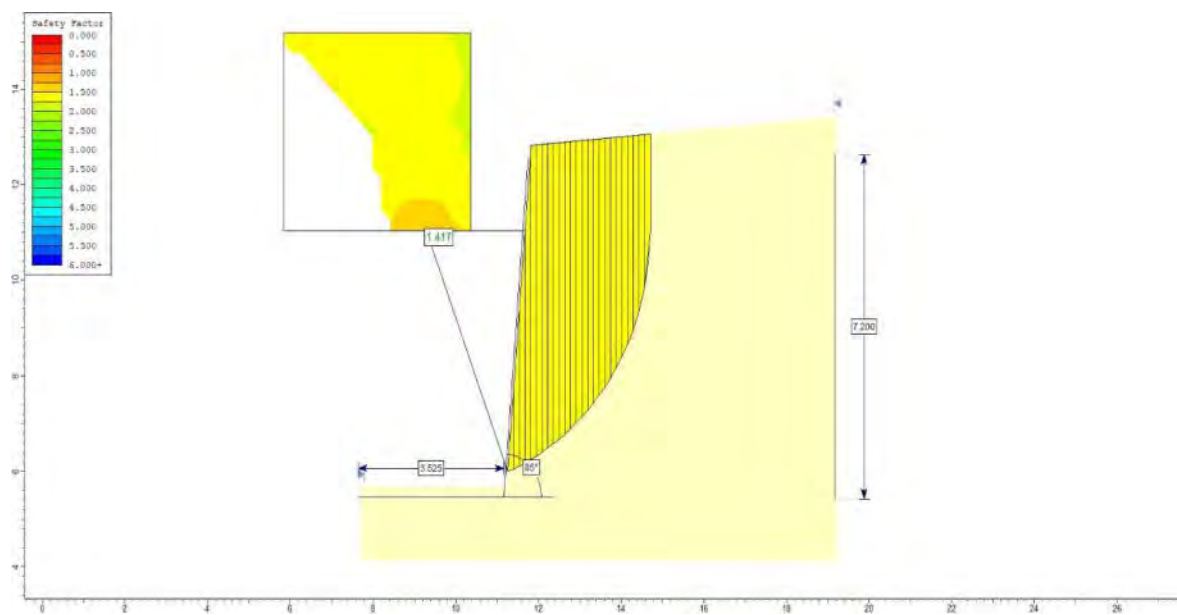


Figura 24:F.S. en condiciones estáticas - Metodología de Janbu-E.G.01

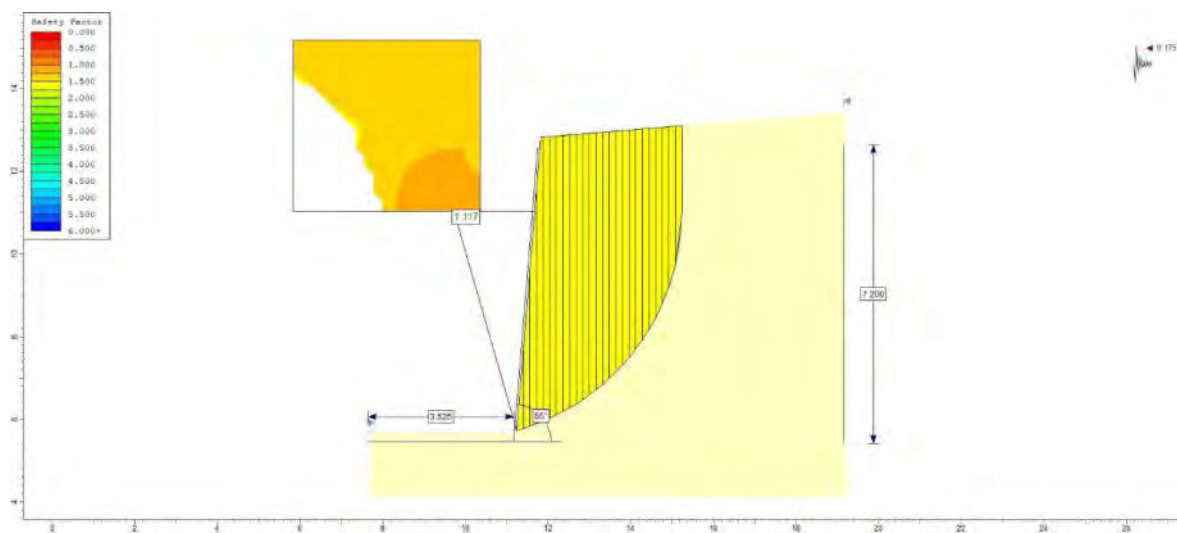


Figura 25:F.S. en condiciones pseudoestáticas -Metodología de Janbu-E.G.01

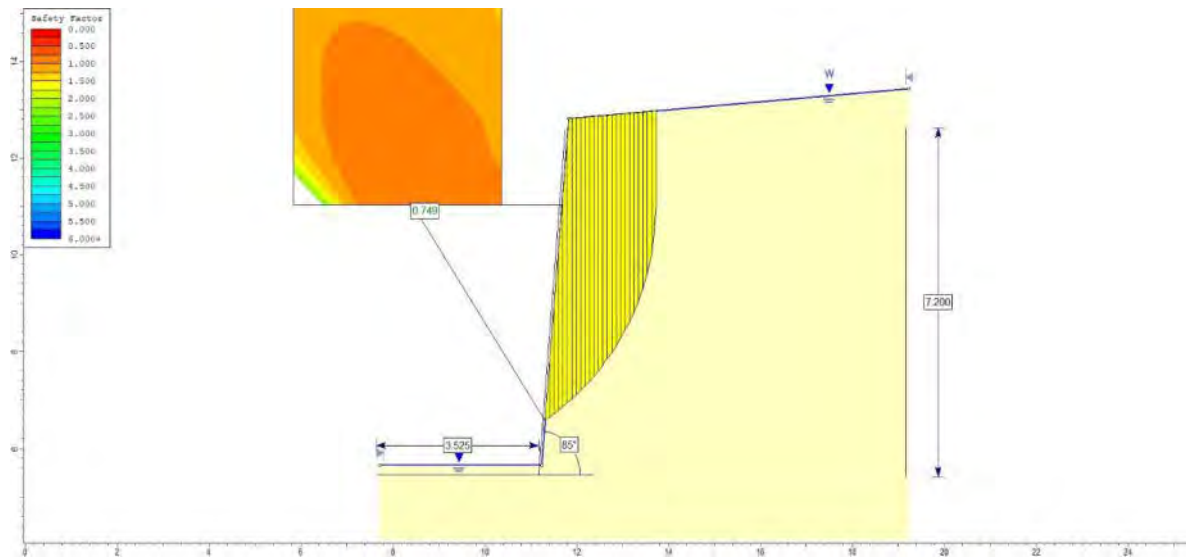


Figura 26:F.S. en condiciones estáticas saturadas - Metodología de Janbu-E.G.01

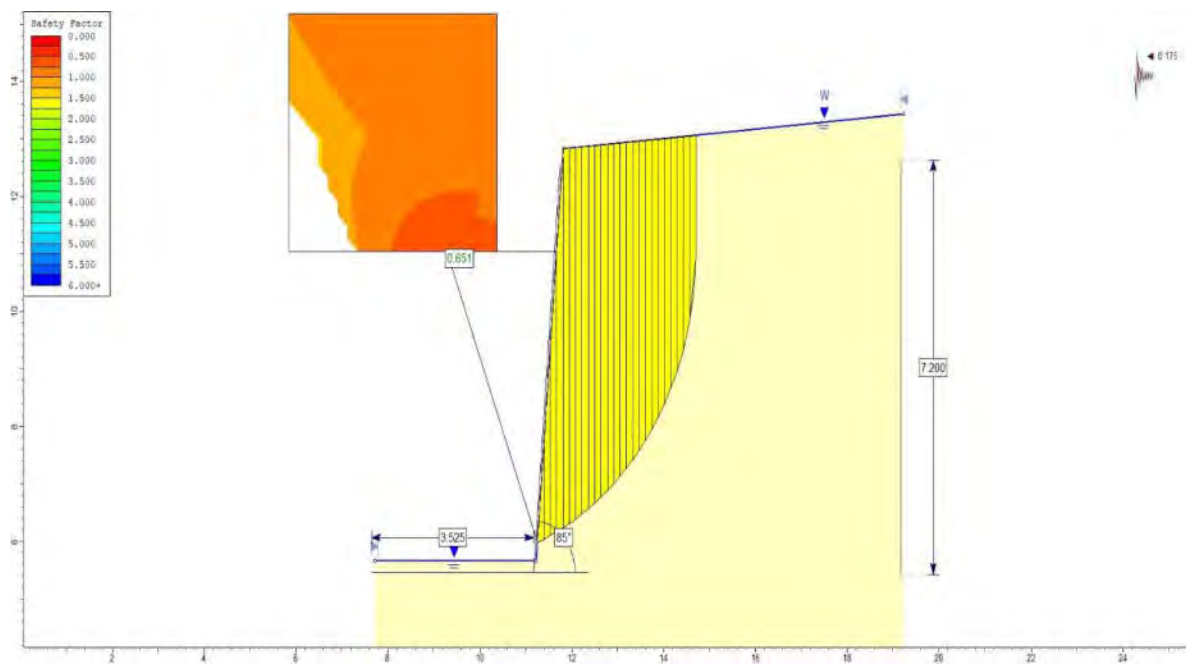


Figura 27: F.s. en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.01

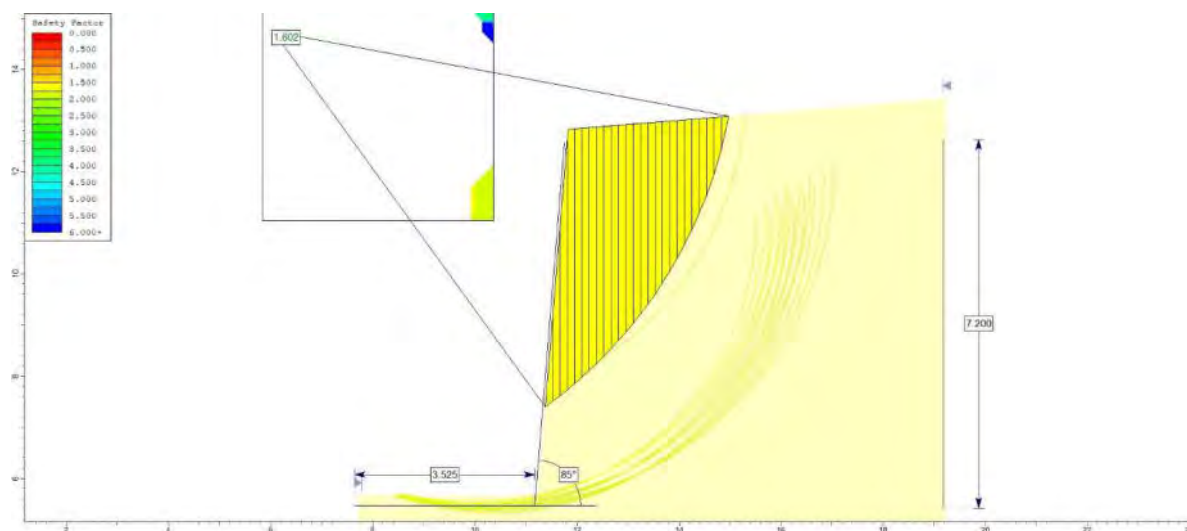


Figura 28:F.S. en condiciones estáticas -Metodología Morgenstern Price-E.G.01

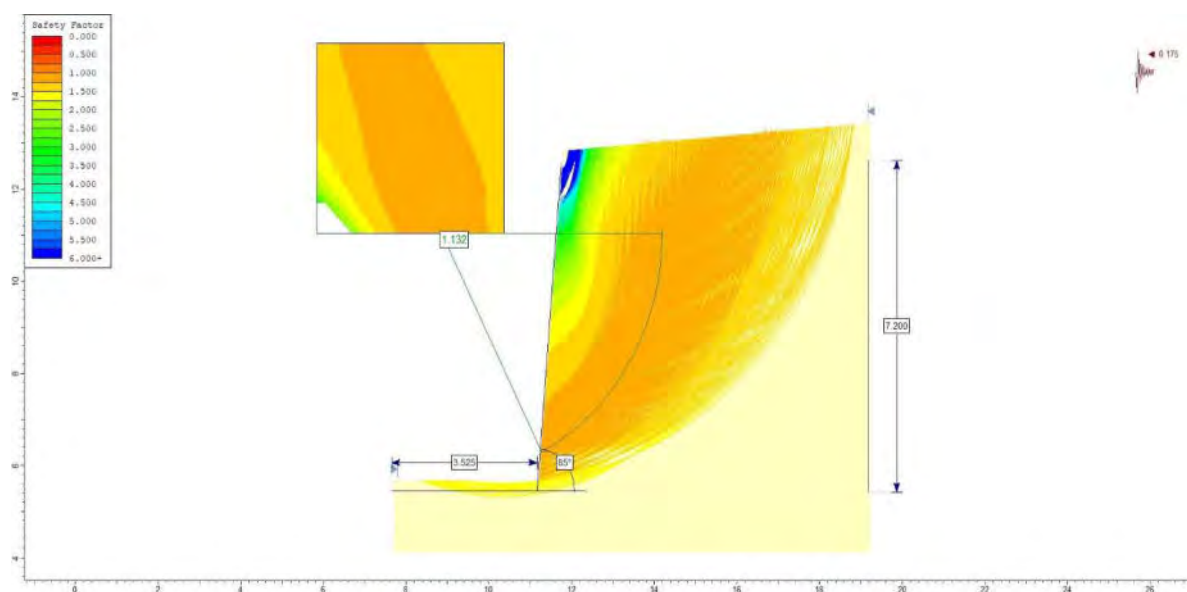


Figura 29: F.S. en condiciones pseudoestáticas - Metodología de Morgenstern Price-E.G.01

Estacion Geomecánica N°02.

En este talud que a su vez corresponde también a la Formación Muñañi , conformado por arenisca arcósicas de coloración grisácea. Presenta un grado moderado de fracturamiento y cuyas discontinuidades influyen su comportamiento estructural, presentando una baja meteorización. La geometría de talud presenta una altura de 6.5 m, inclinación de 81° y ancho de carretera de 3.5 m.

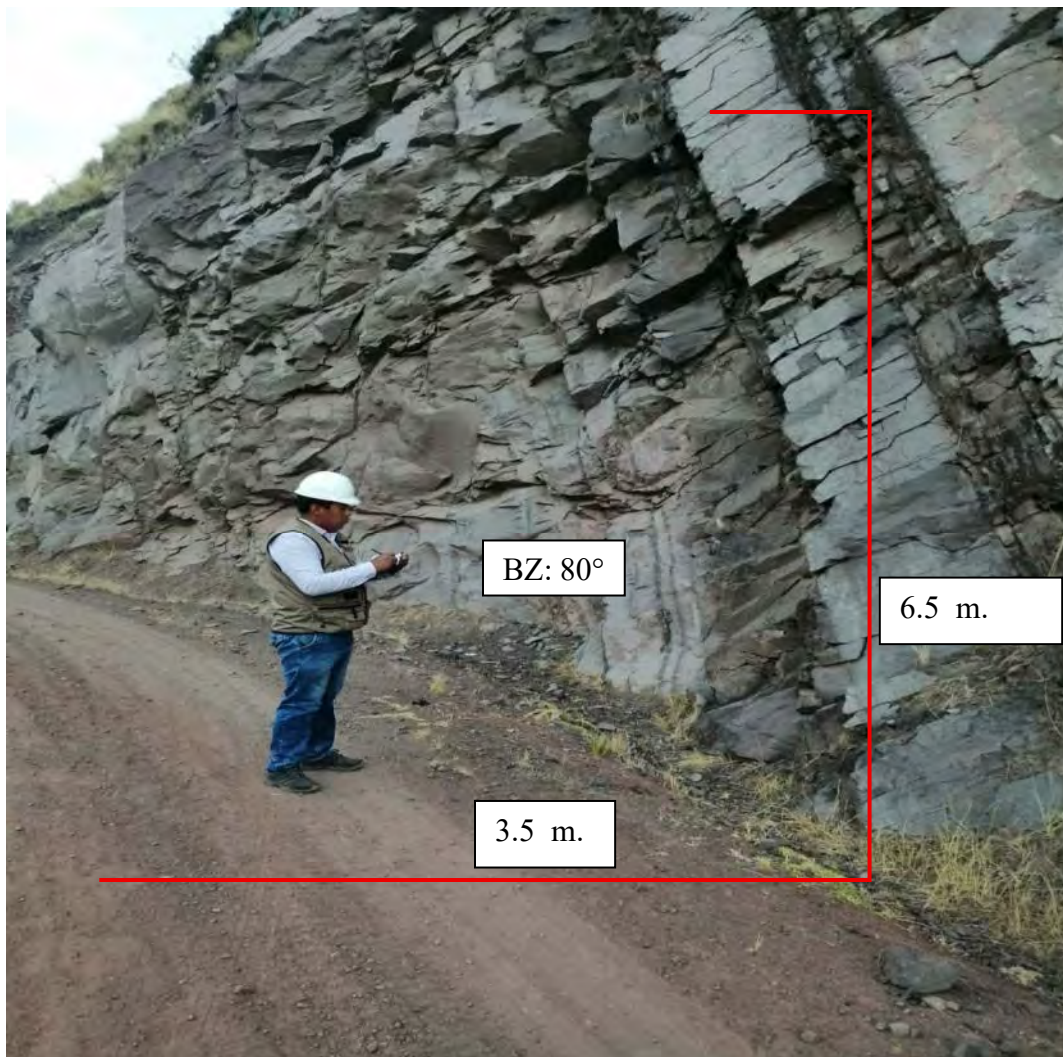


Figura 30: Estacion Geomecánica 02

Cálculo de RQD

Para el cálculo del RQD se utiliza la formula empírica realizado por Palstrom(1998), el cual se basa en el número volumétrico de discontuidades presentes en el macizo rocoso.

En donde:

$$RQD = 115 - 3.3.J_v$$

Por lo tanto, se tiene:

$$RQD = 115 - 3.3 * 14$$

$$RQD = 68.8\% \cong 69\%$$

Cálculo del RMR-89

Para la clasificación de RMR se consideró las características geomecánicas observadas en campo, como la resistencia a la compresión uniaxial con un valor de 110 Mpa, RQD, espaciamiento y condiciones discontinuidades, además de las condiciones de presencia de agua, dando un valor de 66 con una roca tipo II- Calidad Buena.

A. PARAMETROS DE CLASIFICACION					
Resistencia de la roca intacta (Mpa)					
1	Ensayo de carga puntual	> 10	10.4	4.2	2-1
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25
	Puntuacion	15	12	7	4
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25
	Puntuacion	20	17	13	6
3	Separacion de diaclasas	>2 m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m
	Puntuacion	20	15	10	8
Estado de discontinuidades:					
	Longitud	< 1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 20m
	Puntuacion	0	4	2	1
	Abertura	Nada	< 0.1mm	0.1 - 1.0mm	1 - 5mm
	Puntuacion	0	4	3	1
4	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug	Lisa o plana
	Puntuacion	6	5	3	0
	Relleno	Ninguno	< 5mm (duro)	> 5mm (duro)	< 5mm (blando)
	Puntuacion	6	4	2	0
	Alteracion	Inalterada	Liger. Alterada	Moder. Alterada	Muy alterada
	Puntuacion	5	5	3	1
Agua subteranea					
5	Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min	10-26 Lts/min	26-126 Lts/min
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando
	Puntuacion	15	10	7	4
CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES:					
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Meda	Dest favorable
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15
	Taludes	0	-2	-25	-50
CLASIFICACION					
C	Clase	I	II	III	IV
	Calidad	Muy buena	Buena	Meda	Malta
	Puntuacion	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS					
D	Clase	I	II	III	IV
	Tiempo de mantenimiento	10 años	6 meses	1 semana	10 horas
	Longitud	15 m.	8 m.	5 m.	2.5 m.
	Cohesion	> 4 Kp/cm2	3 - 4 Kp/cm2	2 - 3 Kp/cm2	1 - 2 Kp/cm2
	Angulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°

Figura 31: Valor del RMR -Estacion geomecánica 02

Cálculo del GSI.

Para la estimación del GSI (Geological Strength Index) se efectuó una evaluación visual de la estructura del macizo rocoso y la condición superficial de las discontinuidades. En el cual es macizo presenta un grado moderado de fracturamiento, bloques angulares y superficies ligeramente rugosas con meteorización moderada.

La ecuación empleada fue:

$$GSI \cong RMR - 5$$

Por lo cual tenemos que:

$$GSI \cong 66 - 5 = 61$$

Determinando así que el macizo rocoso presenta una estructura moderadamente fracturada con grandes bloques de roca y detritos en la parte inferior del talud.

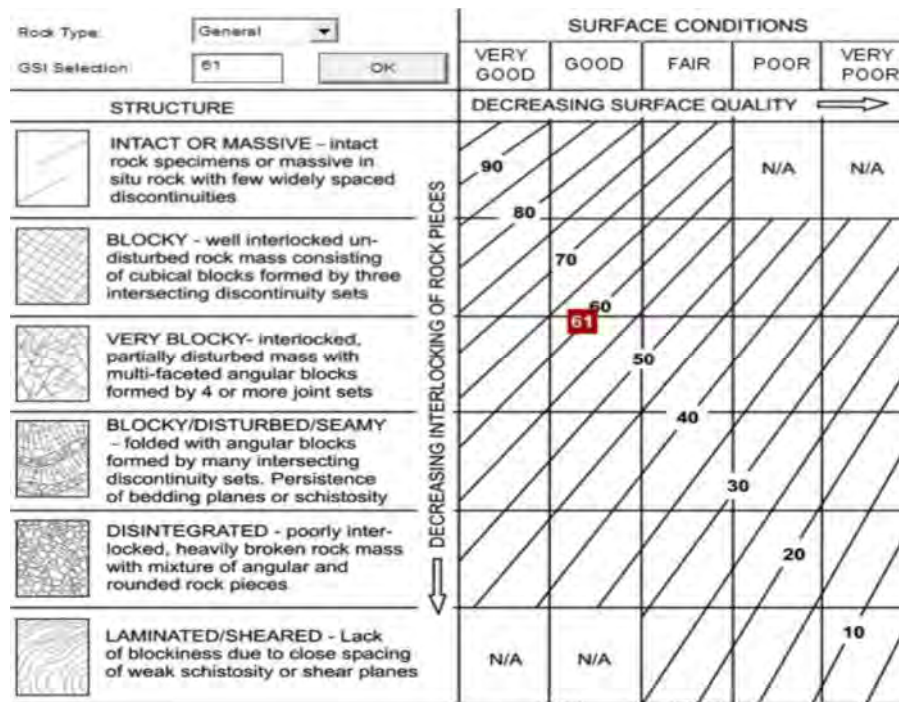


Figura 32: Valor del Gsi- Estacion Geomecánica 02

Analisis del software Rock Data

El análisis en el software Rock data V 4.0 utilizando el criterio de Hoek- Brown, nos indica que el macizo rocoso presenta una resistencia a la compresión moderadamente buena y un comportamiento mecánico no lineal frente a los esfuerzos aplicados. Los parámetros obtenidos (**mb= 1.049, s= 0.0015 y a= 0.503**) evidencian un macizo fracturado con un índice de GSI igual a 61. Asimismo, la equivalencia con respecto al criterio de Mor Coulumb permitió determinar la cohesión de 4.668 Mpa y un ángulo de fricción de 26.70° indicando así una resistencia al corte de nivel medio. Se puede observar que la resistencia alcanza 4.192 Mpa, valor inferior respecto a la roca intacta de 110 Mpa debido al efecto de las discontinuidades. Finalmente, las curvas obtenidas muestran un aumento gradual de los esfuerzos principales y cortantes conforme se incrementa el confinamiento, evidenciando un comportamiento con cierta estabilidad del macizo rocoso bajo condiciones moderadas de carga.

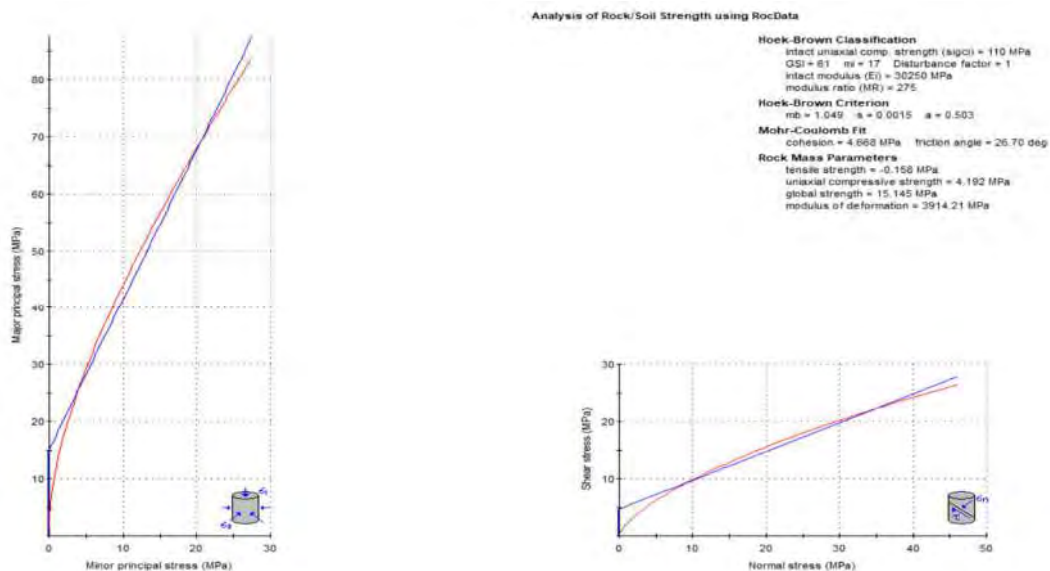


Figura 33: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion

geomecánica 02

Tabla 10: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-02

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	110MPa	mb	1.049	Cohesión - c	4.688 MPa
		s	0.0015	Angulo de Fricción - phi	26.70
		a	0.503		
GSI	61	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.158 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		4.192 MPa	
Modulo intacto - Ei	30250	Resistencia Global – sigcm (MPa)		15.145 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		3914.21 MPa	

Nota: Elaboración propia

Análisis cinemático del talud 2

En laE.G.2 se determino una probabilidad de falla de cuña de 10%

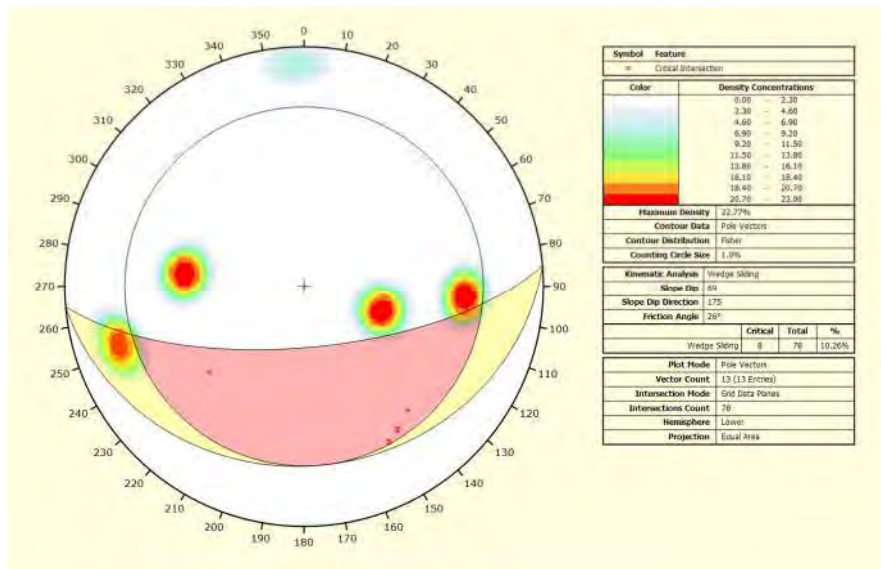


Figura 34: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.02

Identificación del factor de seguridad.

Para determinar el factor de seguridad se realizó con tres criterios principales: El criterio de Bishop, Janbu y Morgenstern Price, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas, como saturadas y no saturadas.

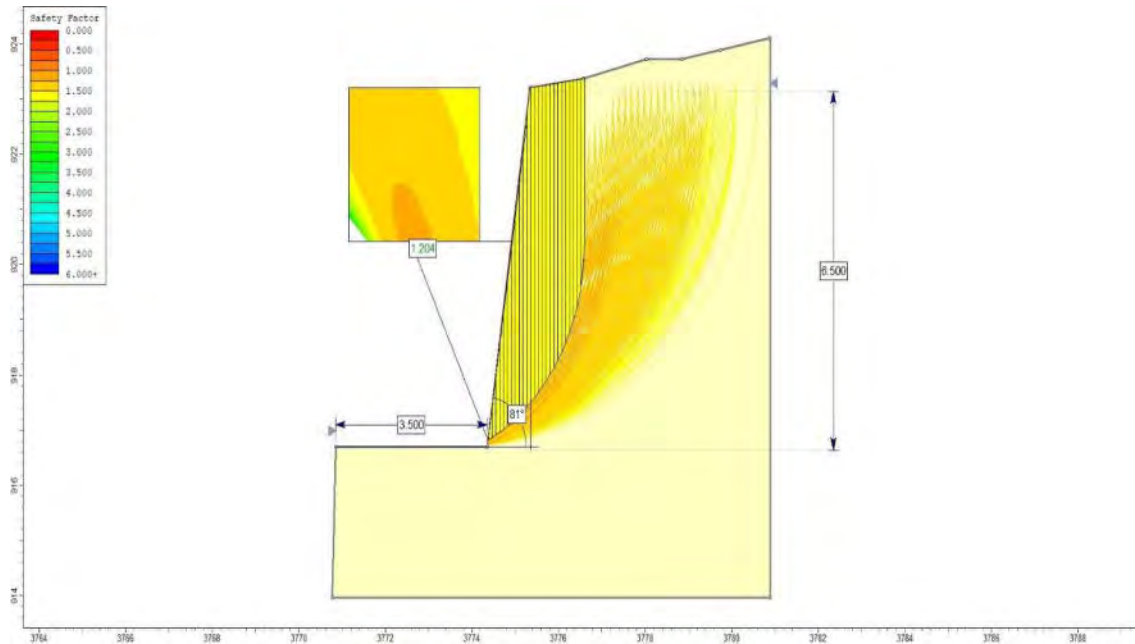


Figura 35: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.02

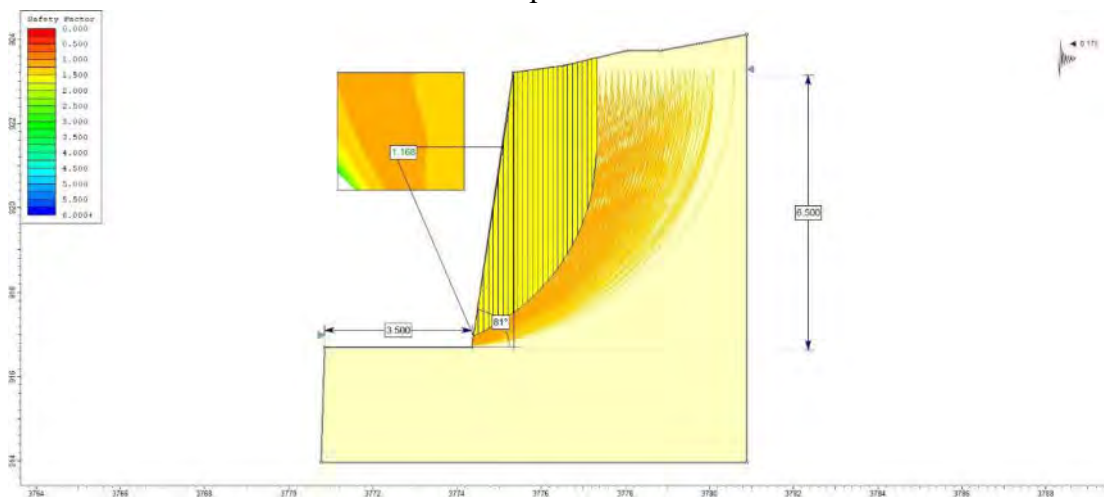


Figura 36. Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.02

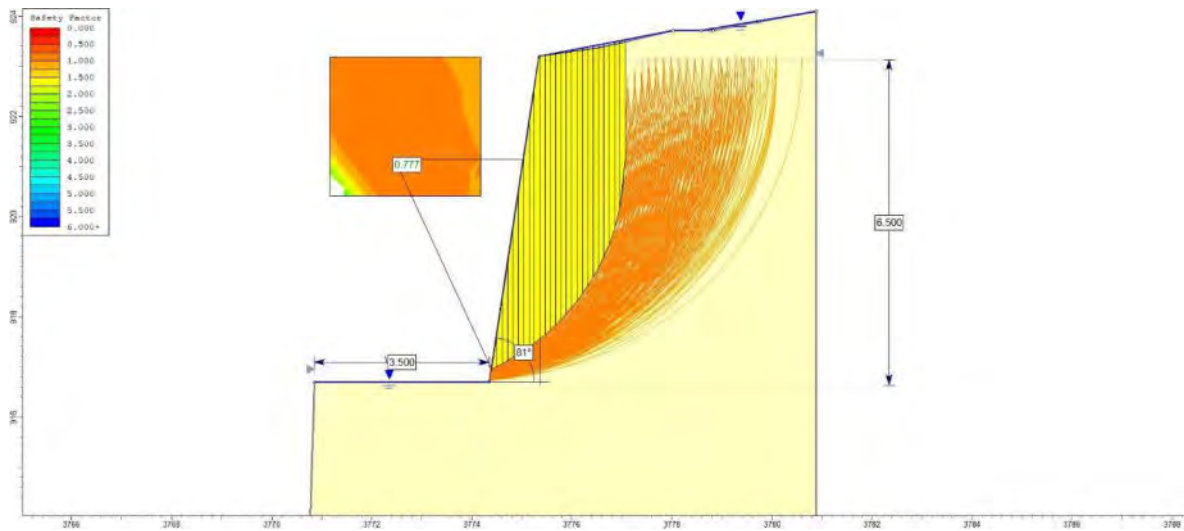


Figura 37: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.02

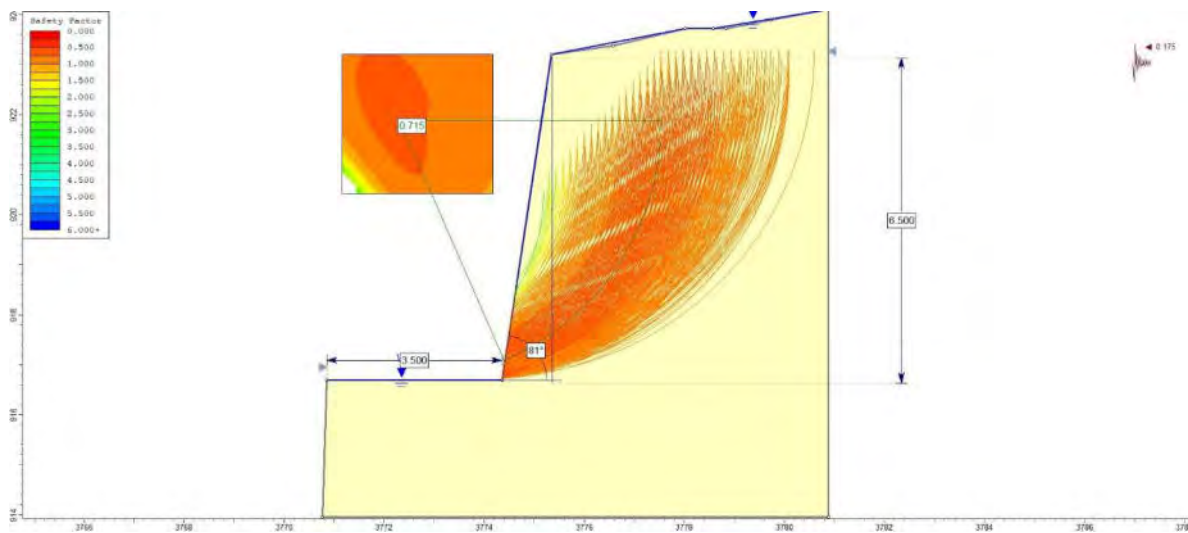


Figura 38: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.02

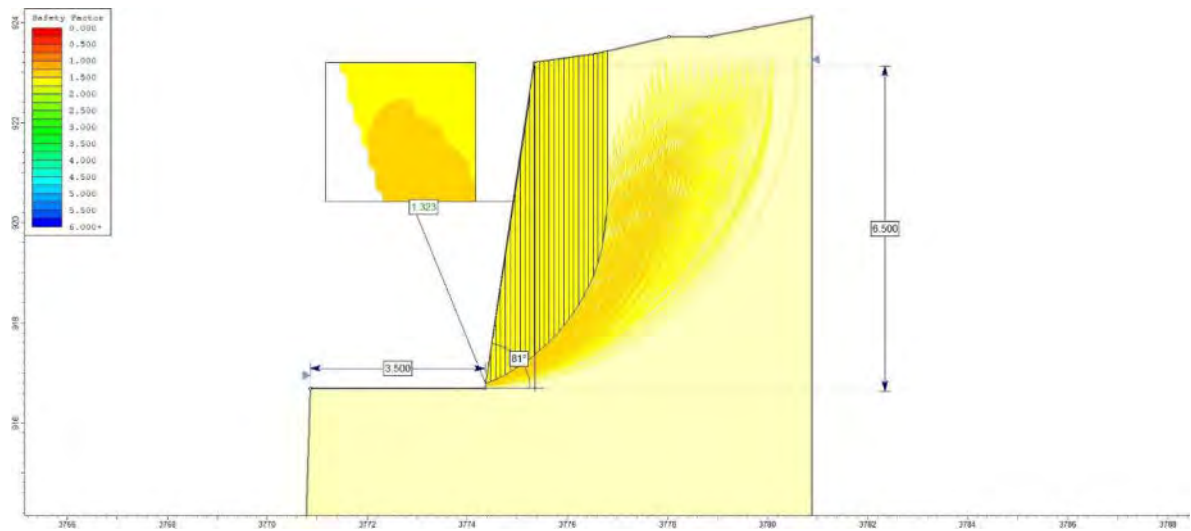


Figura 39: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.02

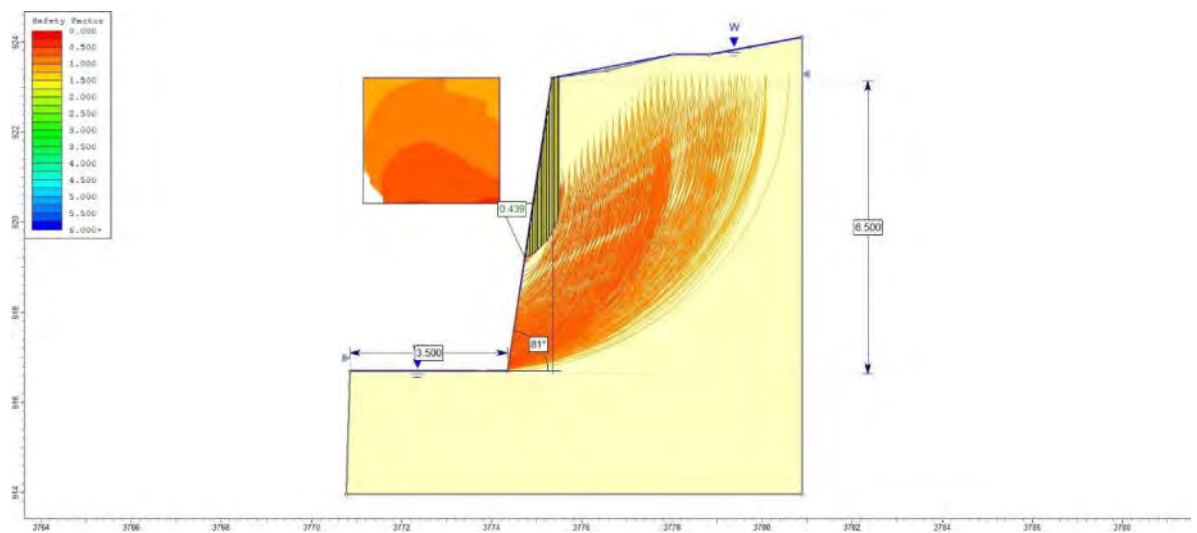


Figura 40: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.02

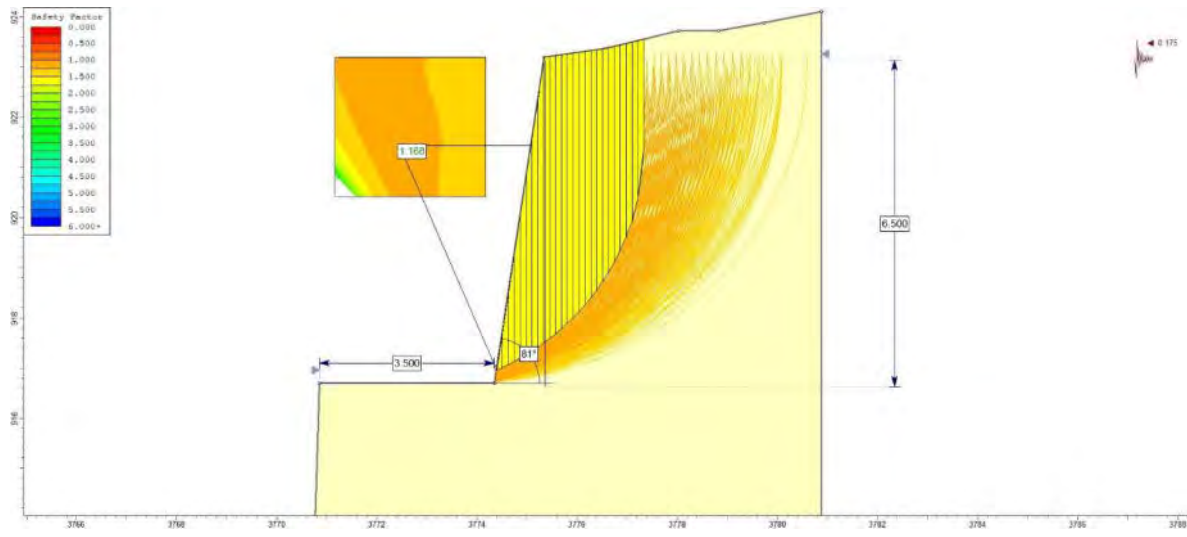


Figura 41:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.02

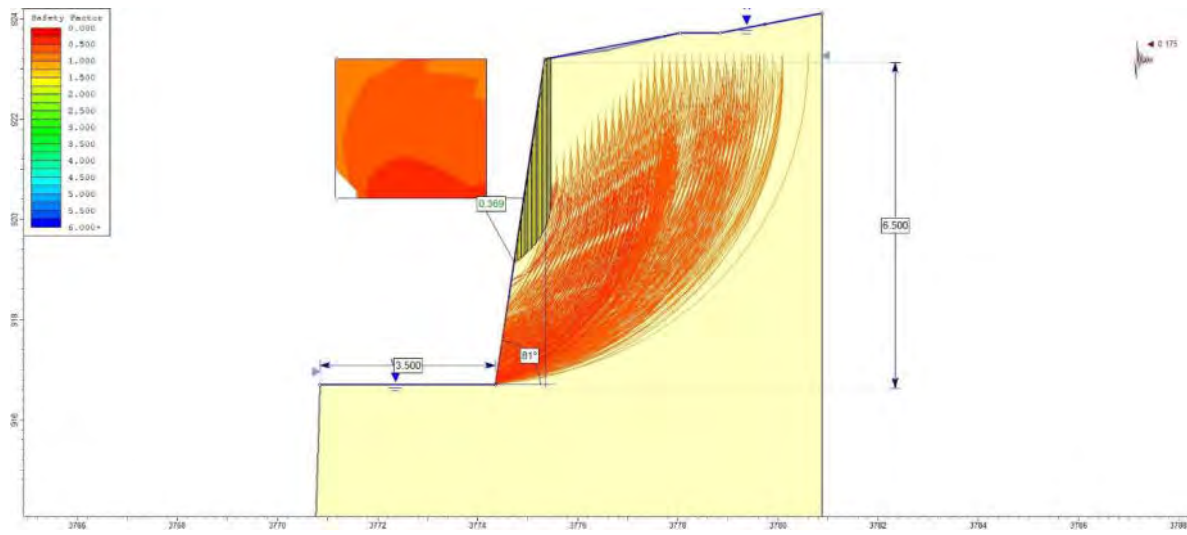


Figura 42:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.02

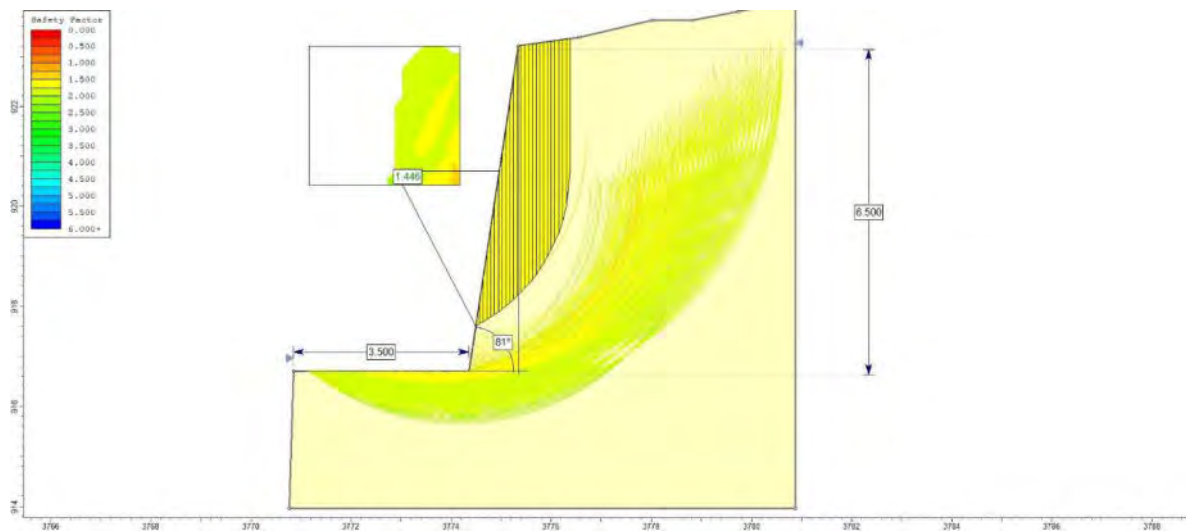


Figura 43: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.02

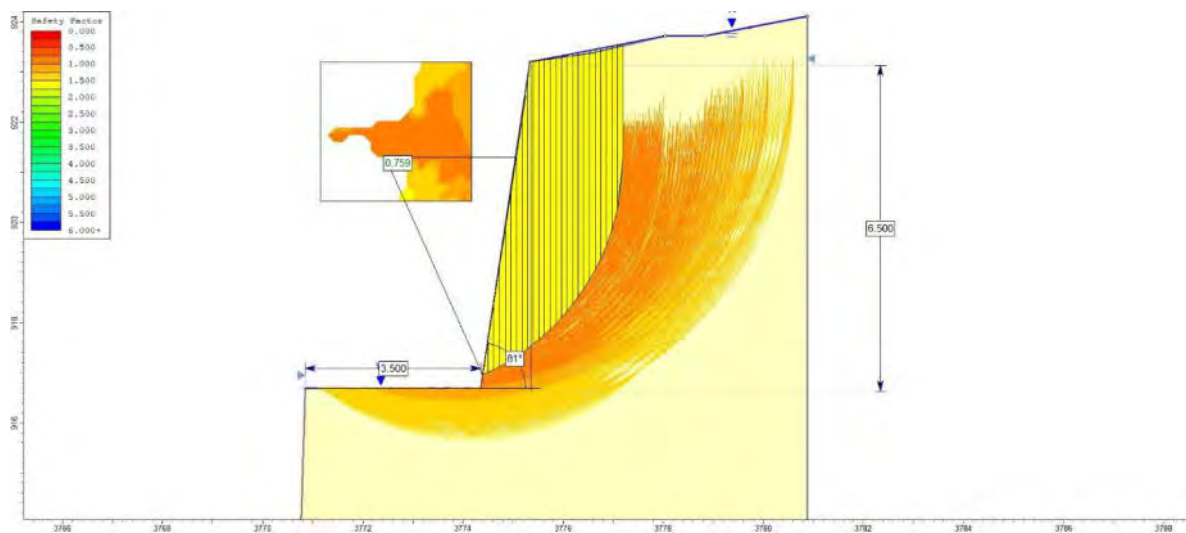


Figura 44: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.02

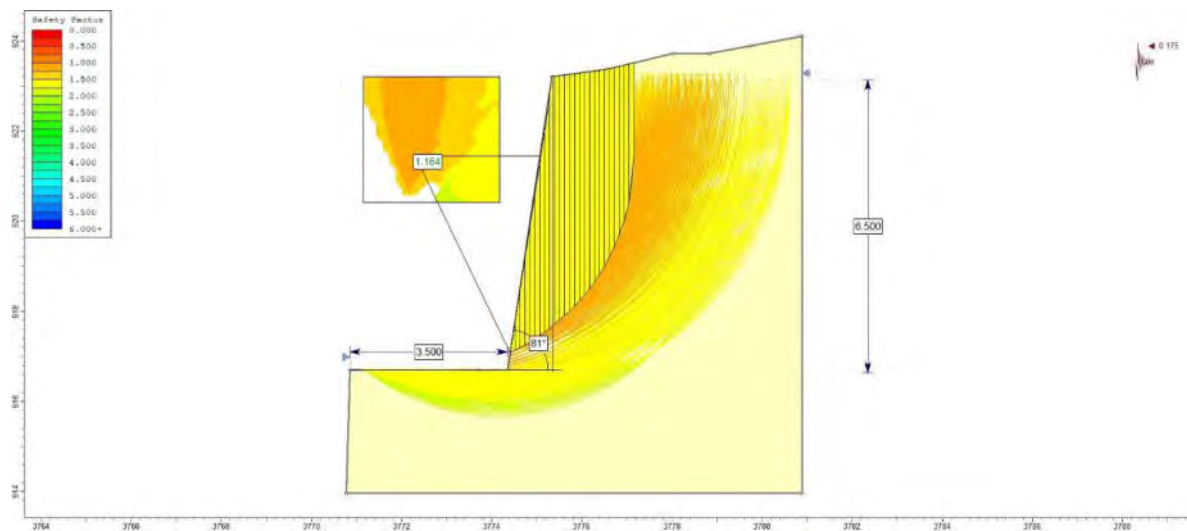


Figura 45: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.02

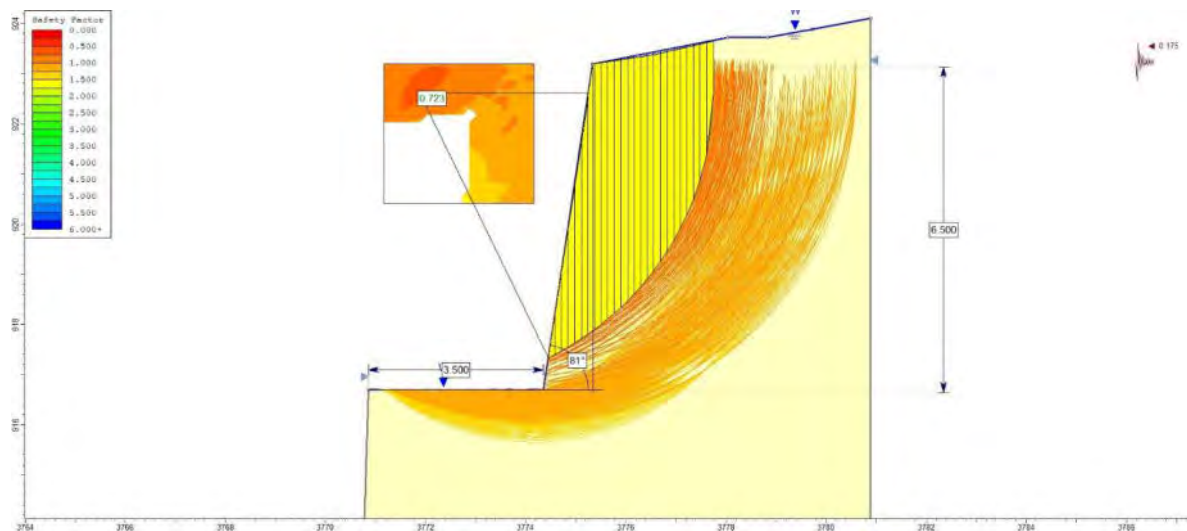


Figura 46: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.02

Estacion Geomecánica N°03

El talud evaluado corresponde a la Formación Muñañi y está constituido por areniscas arcósicas de tonalidad grisácea. Se observa un grado moderado de fracturamiento, donde las discontinuidades presentes condicionan el comportamiento estructural del macizo rocoso, además de evidenciar una baja meteorización. La geometría del talud presenta una altura aproximada de 8 m, una inclinación de 83° y un ancho de carretera de 3.5 m

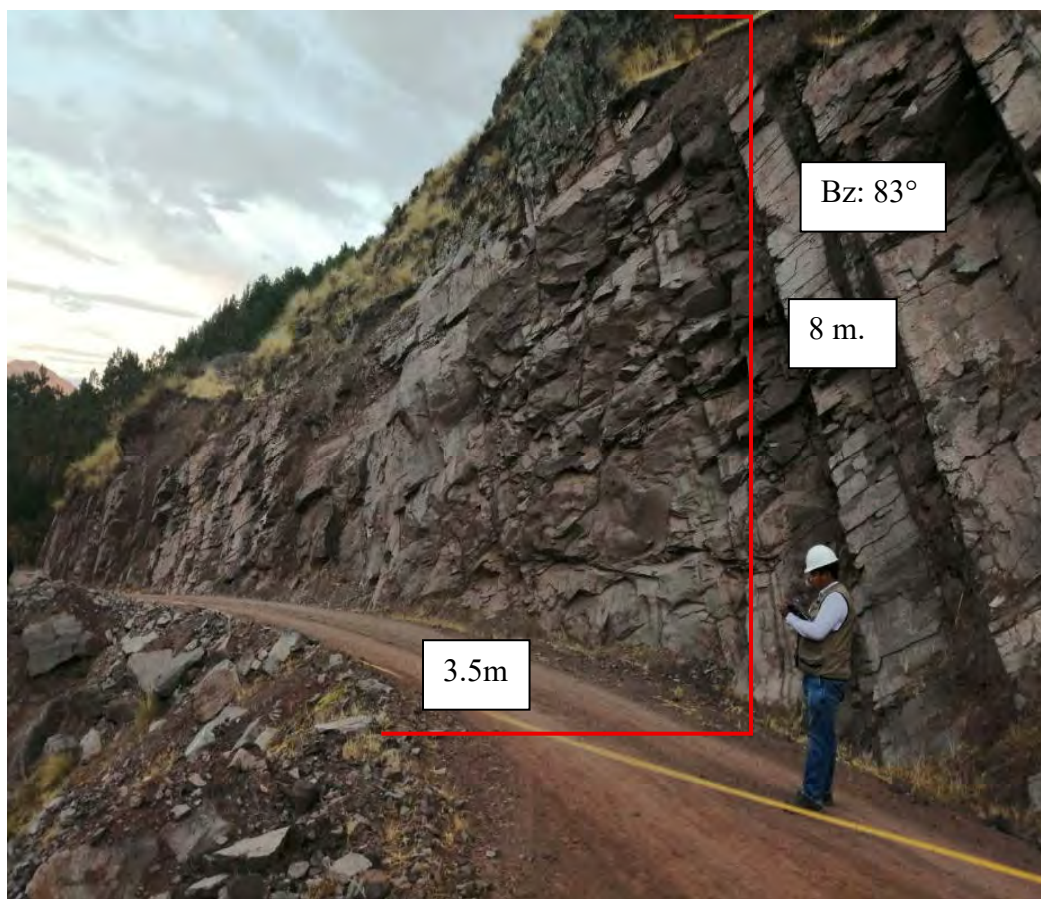


Figura 47: Estacion geomecánica 03

Cálculo de RQD

Para el cálculo del RQD se hizo uso de la formula empírica realizado por Palstrom(1998), el cual se basa en el número volumétrico de discontuidades presentes en el macizo rocoso.

En donde:

$$RQD = 115 - 3.3.J_v$$

Por lo tanto, se tiene:

$$RQD = 115 - 3.3 * 13$$

$$RQD = 71\%$$

Cálculo del RMR-89.

La clasificación geomecánica se realizó considerando las características estructurales observadas en campo, como la resistencia a la compresión uniaxial con un valor de 105 Mpa, RQD, espaciamiento y condiciones discontinuidades, además de las condiciones de presencia de agua, dando un valor de 60 con una roca tipo III- Calidad Media.

A	PARAMETROS DE CLASIFICACION						
	Resistencia de la roca intacta (Mpa)						
1	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Rangos para Ens.	
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1
	Puntuacion	15	12	7	4	2	1
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25	
	Puntuacion	20	17	13	6	3	
	Separacion de diaclasas	>2 m.	0.6-2m.	0.2-0.6m.	0.06-0.2m.	<0.06m.	
3	Puntuacion	20	15	10	8	5	
	Estado de discontinuidades.						
4	Longitud	< 1m.	1 - 3m.	3 - 10m.	10 - 20m.	> 20m.	
	Puntuacion	6	4	2	1	0	
	Abertura	Nada	< 0.1mm.	0.1 - 1.0mm.	1 - 5mm.	> 5mm.	
	Puntuacion	6	5	3	1	0	
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug.	Lisa o plana	Pulida	
	Puntuacion	6	5	3	1	0	
	Relleno	Ninguno	< 5mm. (duro)	> 5mm. (duro)	< 5mm. (blando)	> 5mm. (blando)	
	Puntuacion	6	4	2	2	0	
	Alteracion	Inalterada	Liger. Alterada	Moder. Alterada	Muy alterada	descompuesta	
	Puntuacion	6	5	3	1	0	
	Agua subterranea						
5	Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min.	10-25 Lts/min.	25-125 Lts/min.	>125 Lts/min.	
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando	Fluyendo	
	Puntuacion	15	10	7	4	0	
	CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES						
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60	
	CLASIFICACION						
C	Clase	I	II	III	IV	V	
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Malta	Muy mala	
	Puntuacion	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20	

Figura 48: Valor del RMR -Estacion geomecánica 03

Cálculo del GSI.

La estimación de Índice GSI (Geological Strength Index), Se llevo a cabo mediante una evaluación visual de la estructura del macizo rocoso y del estado superficial de las discontinuidades. El macizo presenta fuerte fracturamiento, con bloques de gran tamaño y superficies ligeramente rugoso evidencia una moderada meteorización

La ecuación empleada fue:

$$GSI \cong RMR - 5$$

Por lo cual tenemos que:

$$GSI \cong 60 - 5 = 55$$

Determinando así que el macizo rocoso presenta una estructura moderamente fracturada con grandes bloques de roca y detritos en la parte inferior del talud.

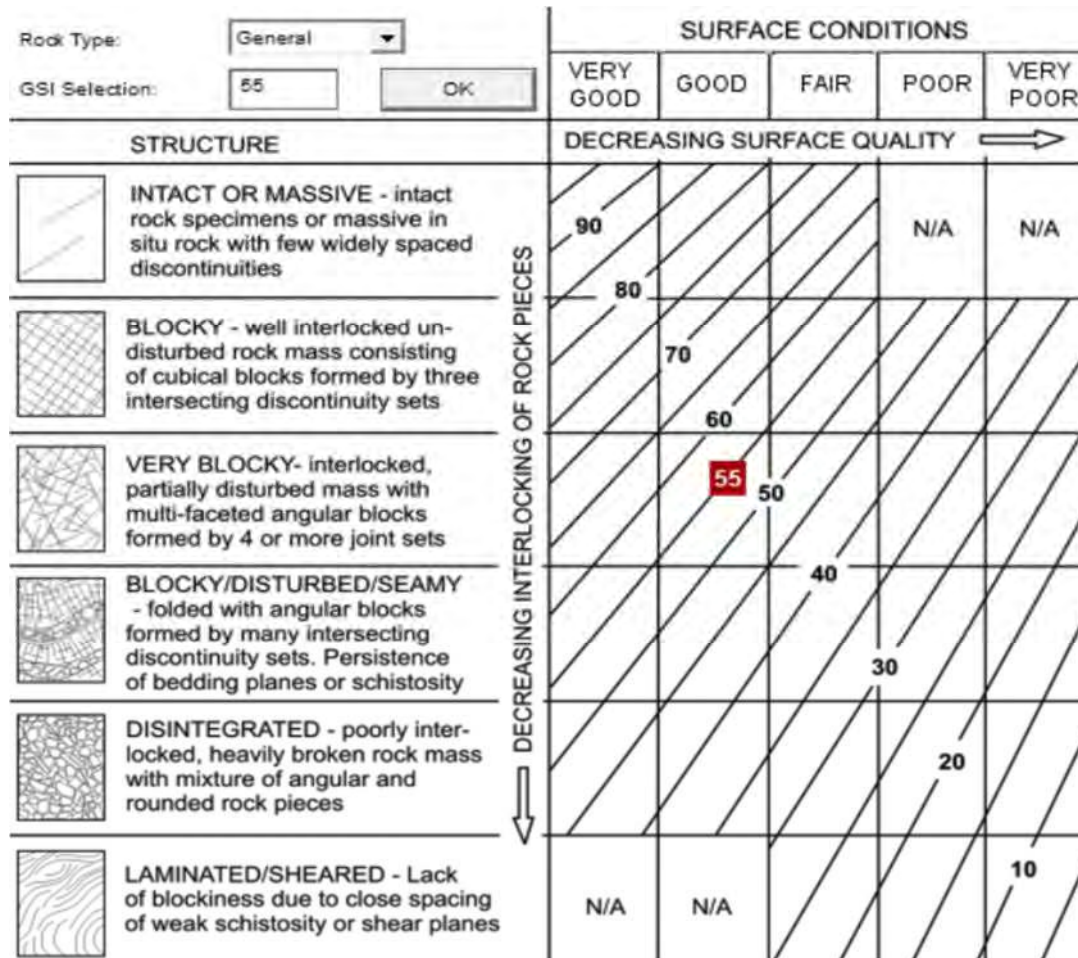


Figura 49: Valor del Gsi- Estacion Geomecánica 03

Analisis del software Rock Data

El análisis en el software Roc Data V4.0 mediante el criterio de Hoek- Brown se determina que el macizo roco posee una resistencia a la compresión moderada y un comportamiento mecánico no lo lineal frente a esfuerzos aplicados. Los parámetros obtenidos ($m_b = 0.683$), $s = 0.0006$ y $a = 0.504$) junto con GSI de 55, demuestran un macizo con presencia de fracturamiento y discontinuidades que influyen en su comportamiento geomecánico. De acuerdo con la equivalencia de Mohr Coulumb, se determinó una cohesión de 3.771 Mpa y un ángulo de fricción de 23.38° , indicando una resistencia a la corte intermedia. Asimismo, la resistencia de compresión del macizo alcanza aproximadamente 2.396 Mpa, valor considerado considerablemente menor al de la roca intacta de 105 MPa debido al efecto de las discontinuidades y el grado de alteración presente.

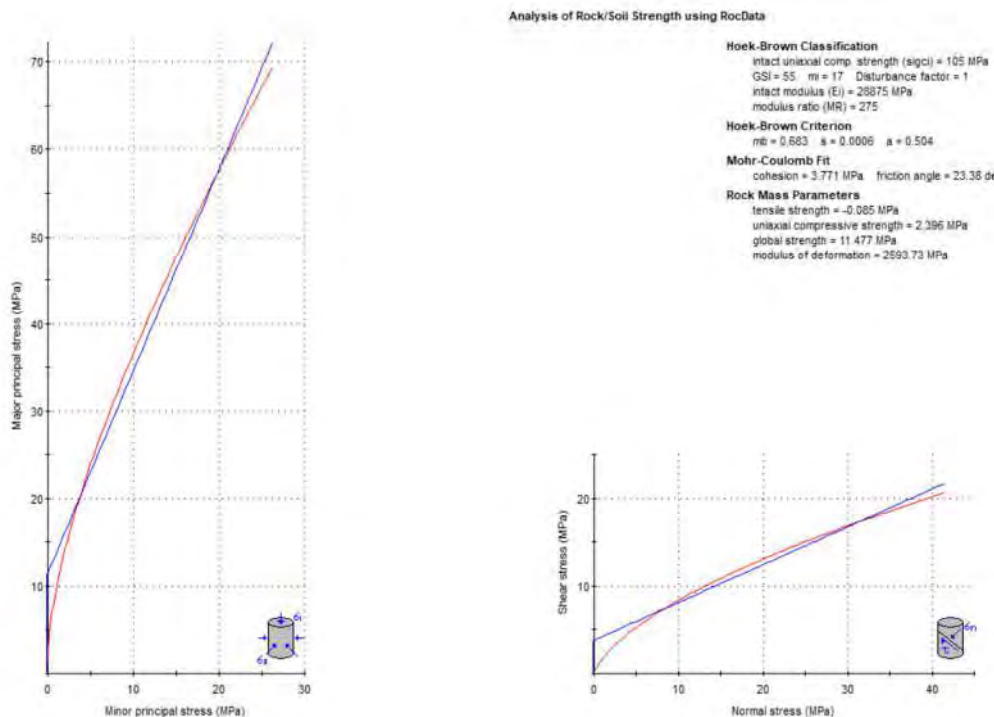


Figura 50: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04-

Estacion geomecánica 03

Tabla 11:Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-03

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	105 MPa	mb	0.683	Cohesión - c	3.771 MPa
		s	0.0006	Angulo de Fricción - phi	23.38
		a	0.504		
GSI	55	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.085 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		2.396 MPa	
Modulo intacto - Ei	28875	Resistencia Global – sigcm (MPa)		11.477 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		2593.73 MPa	

Nota: Elaboración propia

Análisis cinemático del talud 3

En esta estación geomecánica se determina una probabilidad de falla planar 23% y tipo cuña de 29.49%

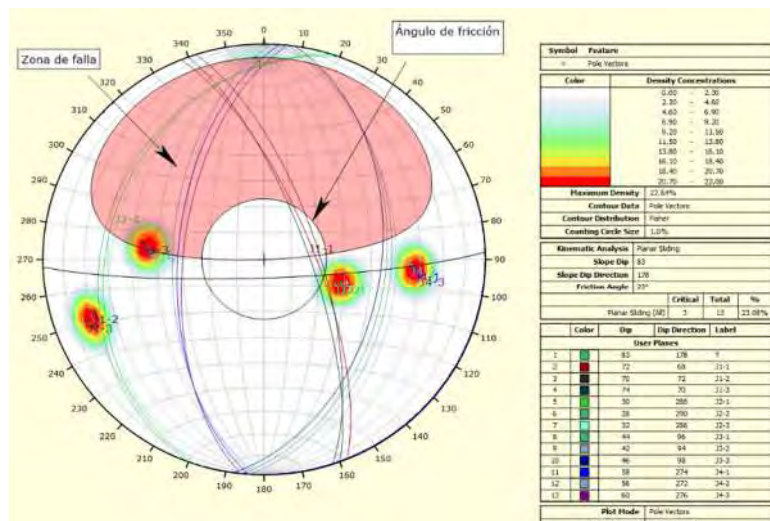


Figura 51:Probabilidad de falla planar-E.G.03

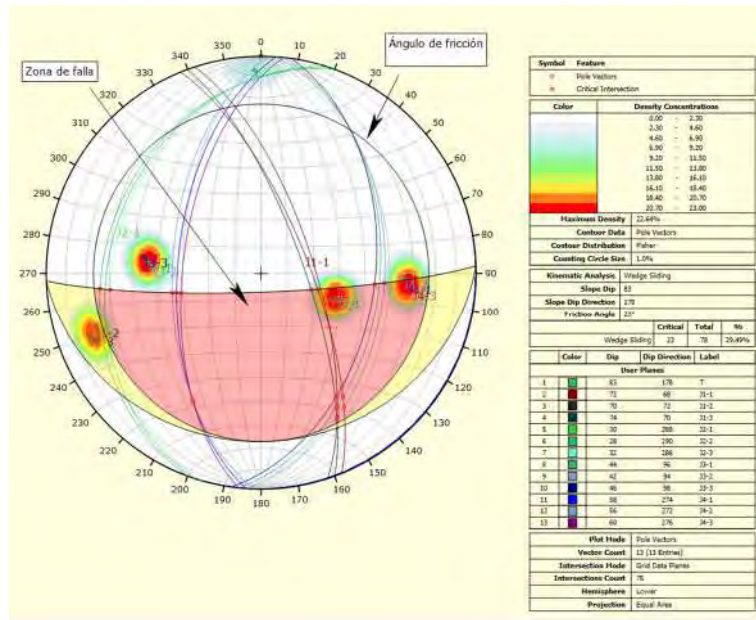


Figura 52: Probabilidad de falla tipo cuñar-E.G.03

Identificación de factor de seguridad.

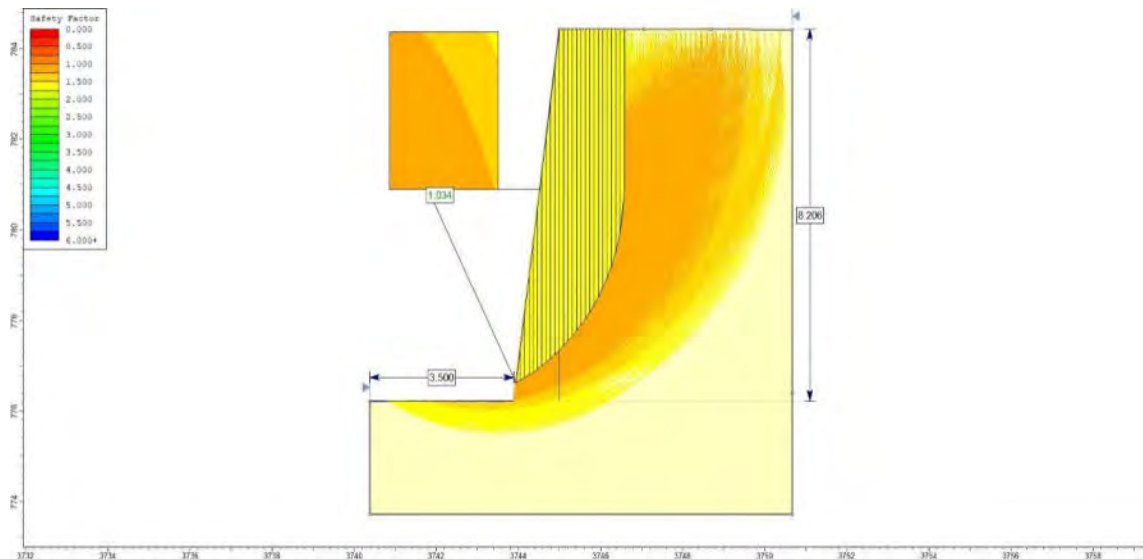


Figura 53: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de

Bishop-E.G.03

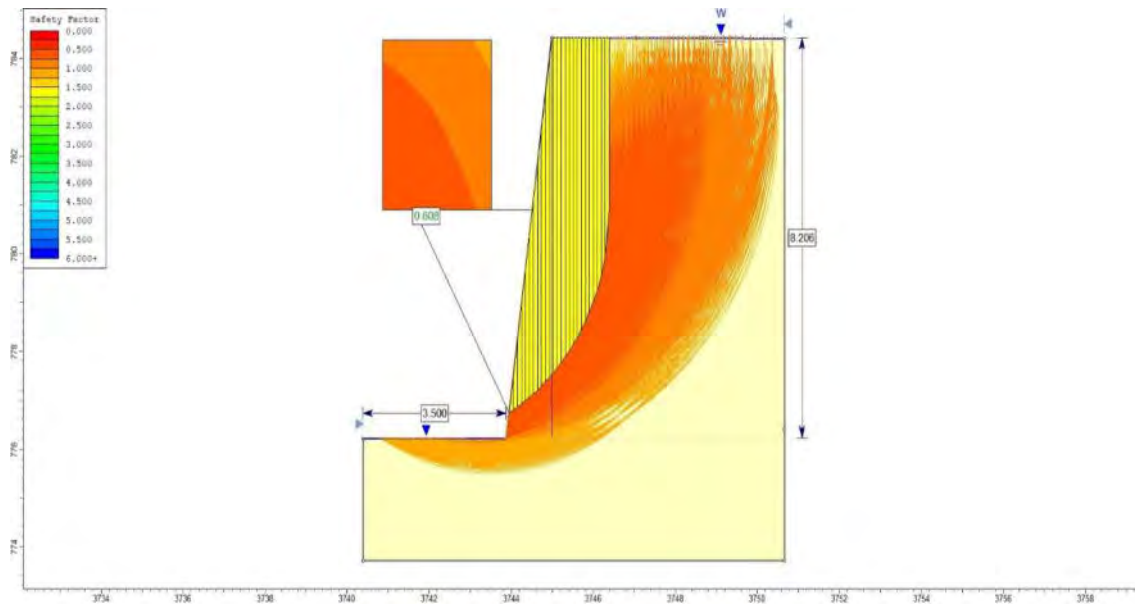


Figura 54:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.03

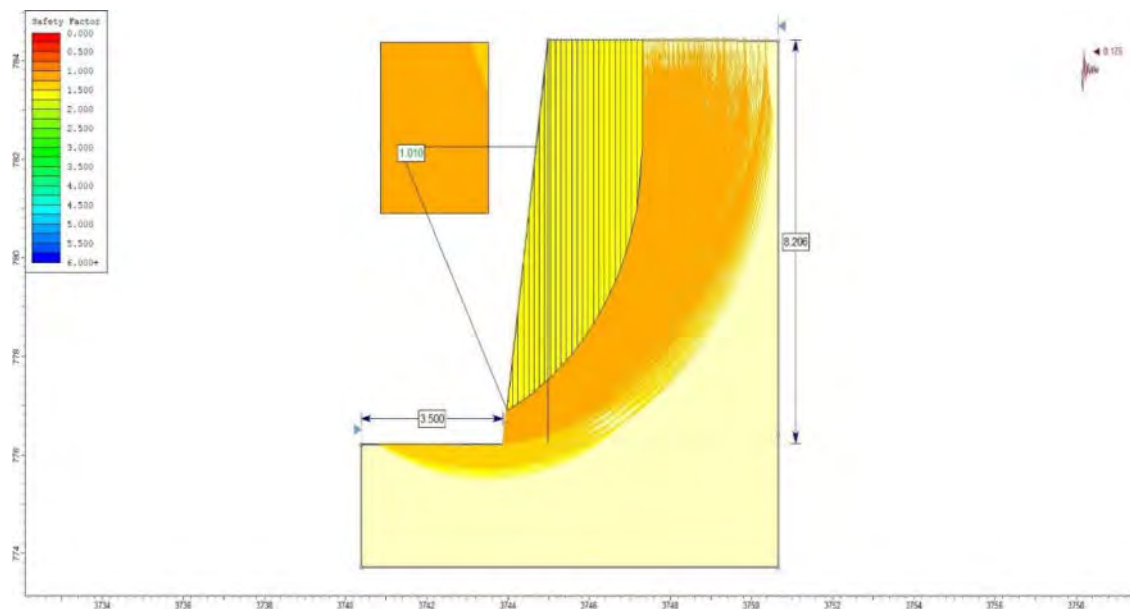


Figura 55:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.03

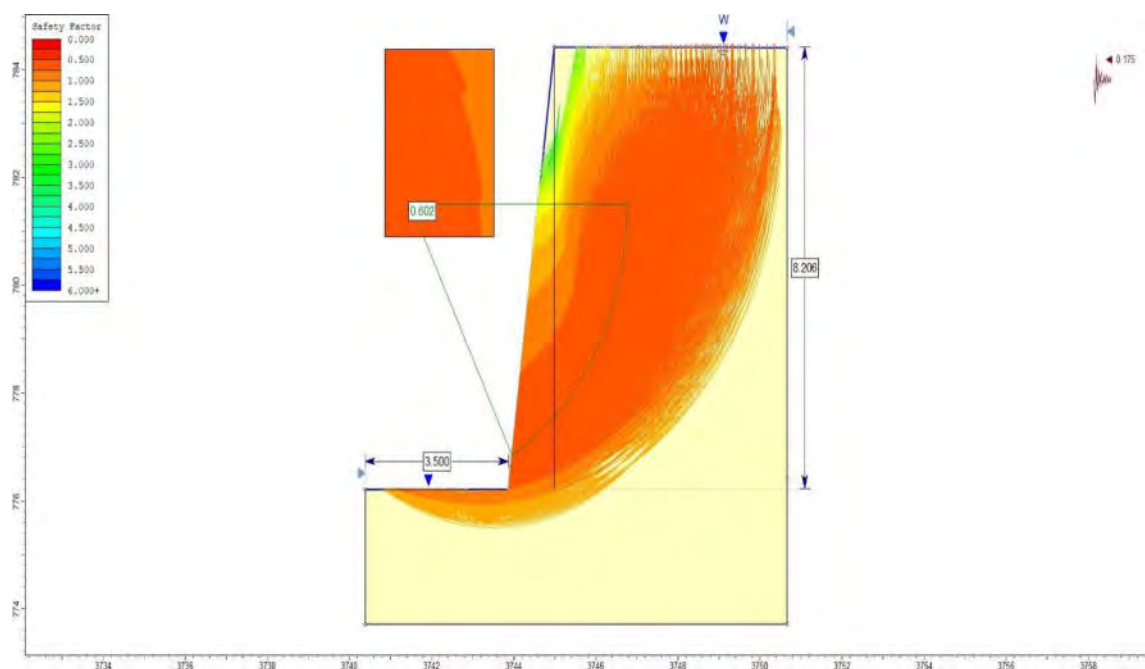


Figura 56:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.03

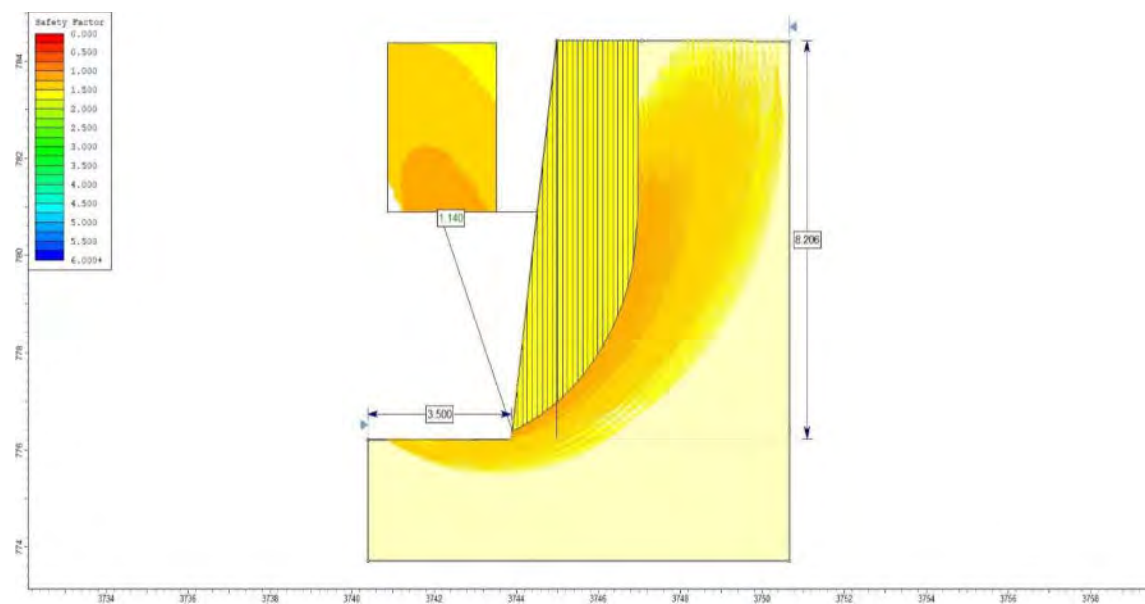


Figura 57:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.03

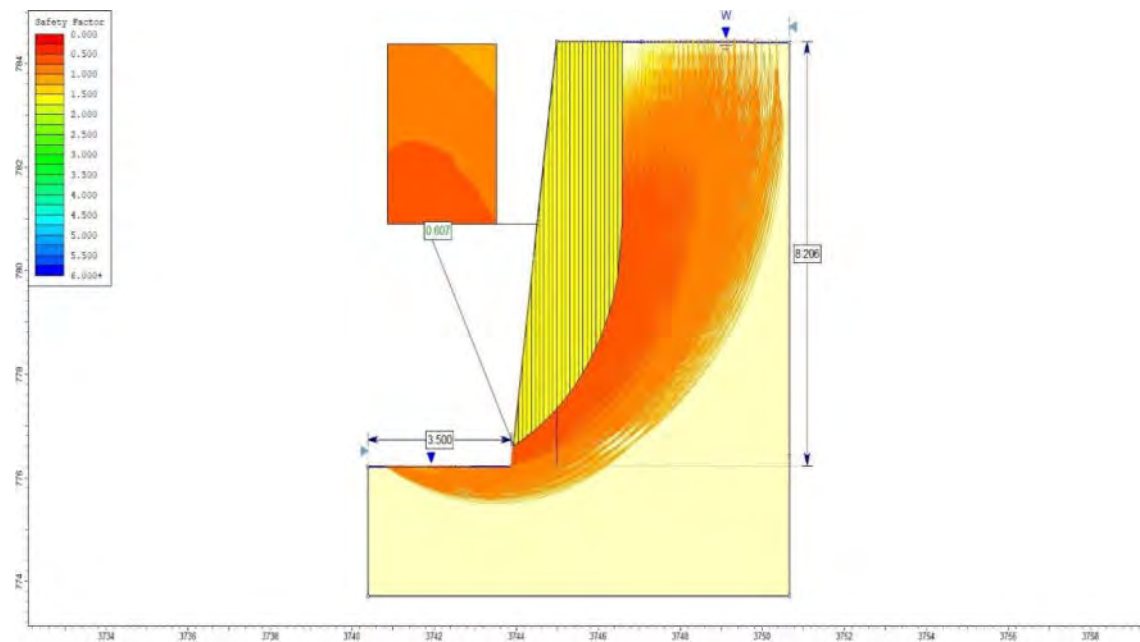


Figura 58:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.03

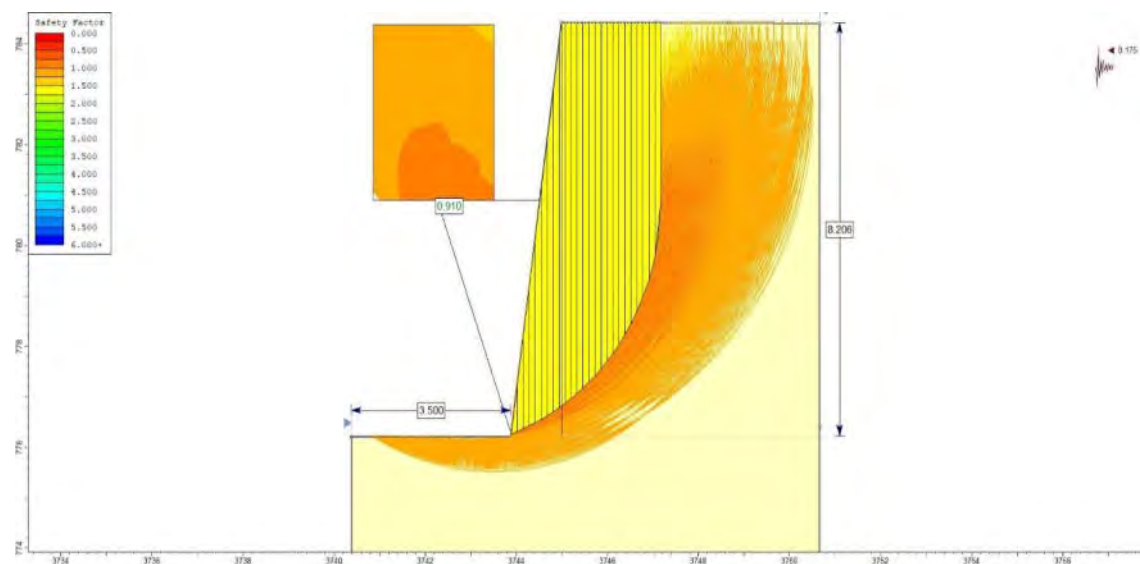


Figura 59:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.03

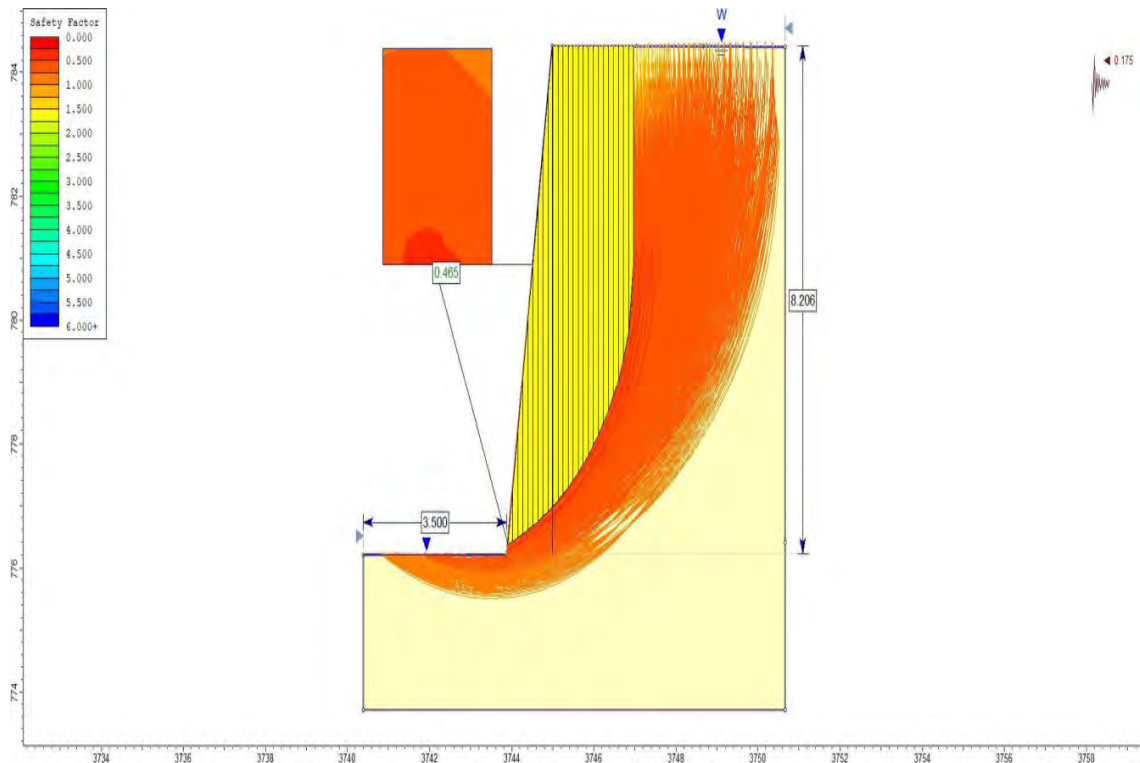


Figura 60:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.03

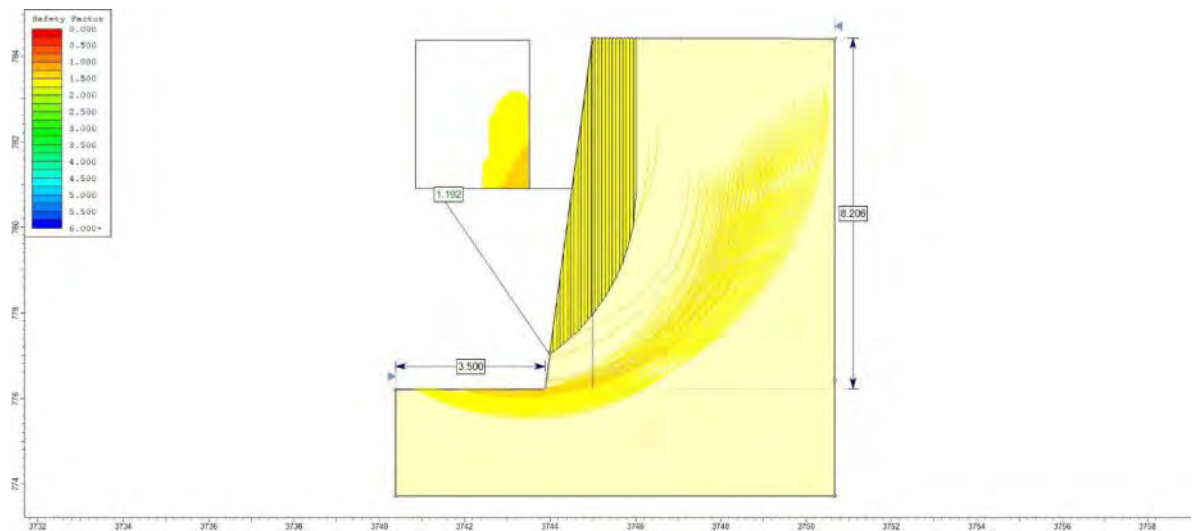


Figura 61:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.03

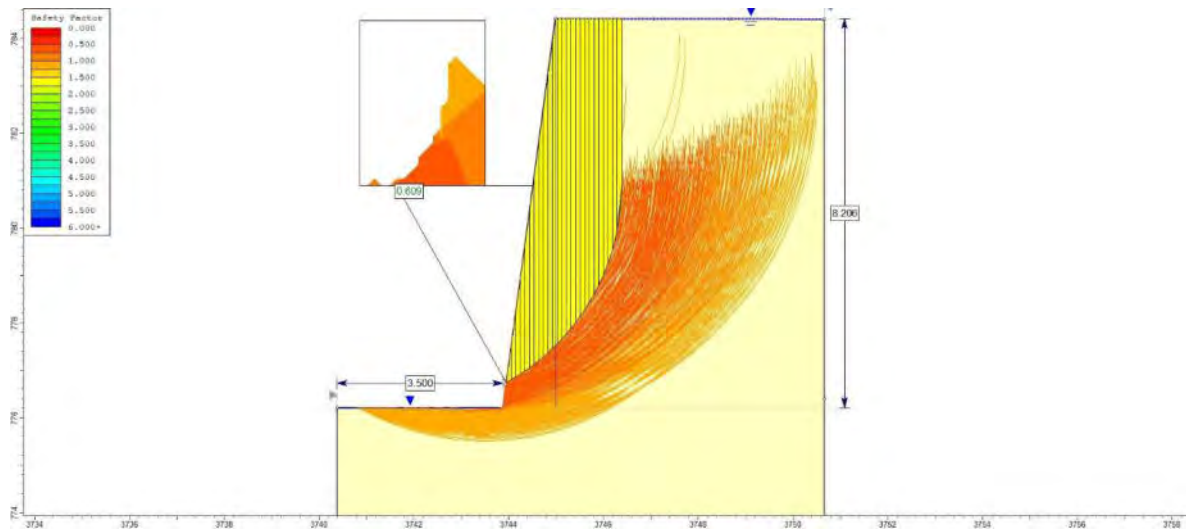


Figura 62:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.03

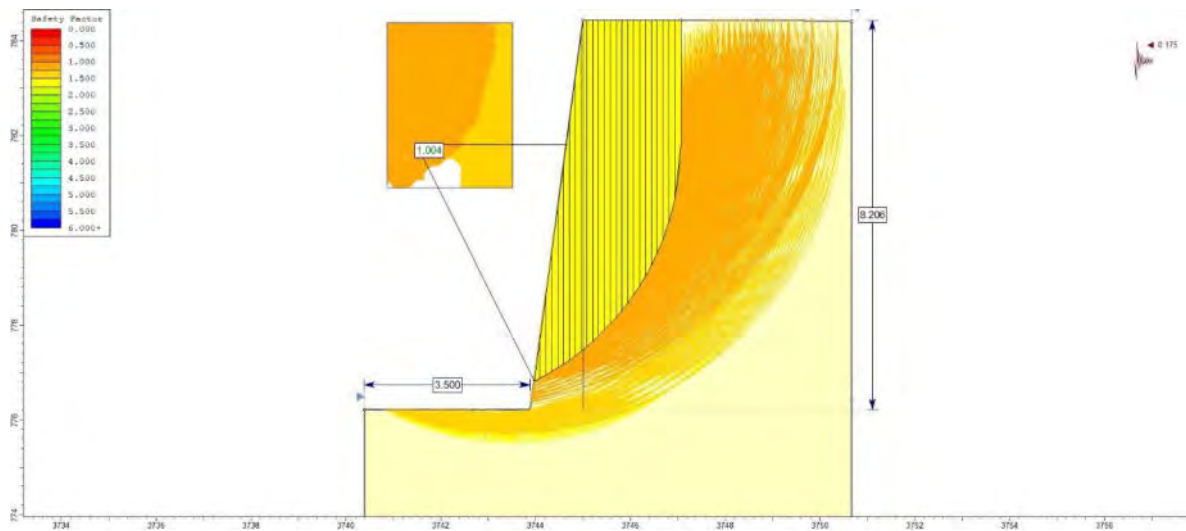


Figura 63:Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.03

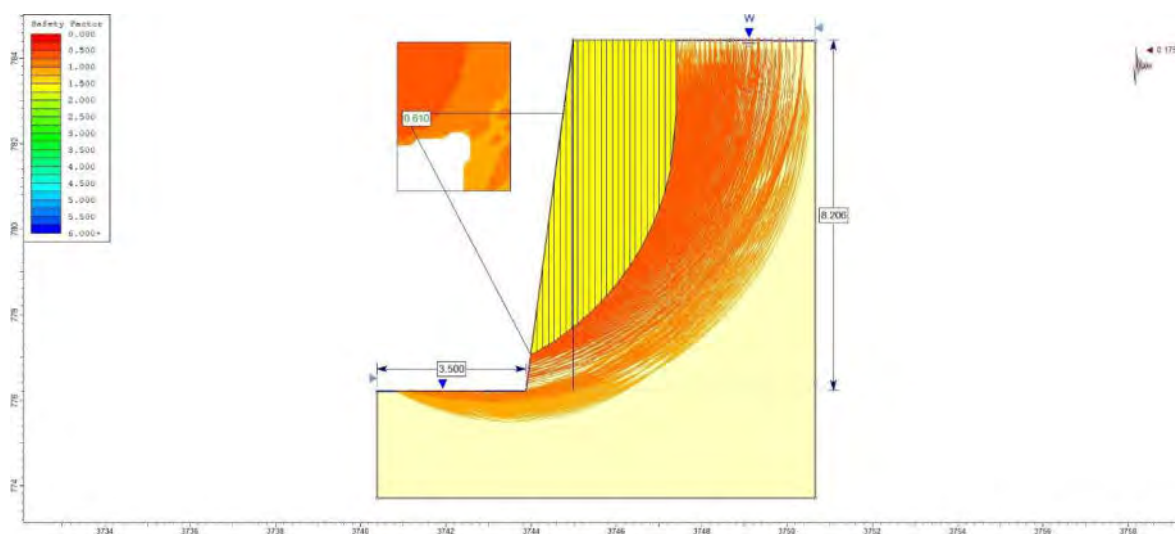


Figura 64: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.03

Estacion Geomecánica N°04

El talud analizado pertenece a la Formación Muñani y está conformado areniscas arcósicas de color grisáceo. El macizo rocoso presenta un moderado fracturamiento, con dominio estructural por las discontinuidades con una meteorización moderada. La geometría del talud presenta una altura de 5.5 m, una inclinación de talud de 75° y un ancho de carretera de 3.5 m.

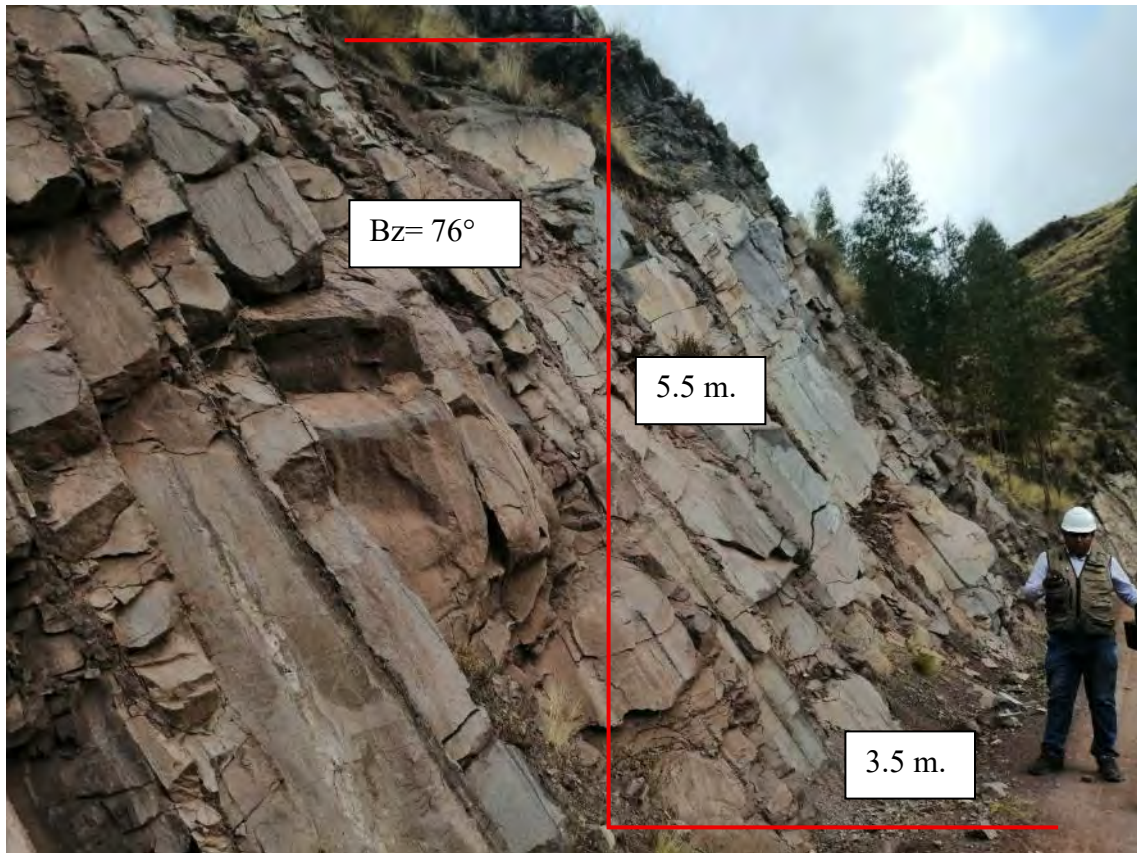


Figura 65: Estación geomecánica 04

Cálculo de RQD

Para el cálculo del RQD se hizo uso de la formula empírica realizado por Palstrom(1998), el cual se basa en el número volumétrico de discontuidades presentes en el macizo rocoso.

En donde:

$$RQD = 115 - 3.3.J_v$$

Por lo tanto, se tiene:

$$RQD = 115 - 3.3 * 14$$

$$RQD = 66\%$$

Cálculo del RMR-89

La clasificación geomecánica se realizó considerando las características estructurales observadas en campo, como la resistencia a la compresión uniaxial con un valor de 98 Mpa, RQD, espaciamiento y condiciones discontinuidades, además de las condiciones de presencia de agua, dando un valor de 62 con una roca tipo II- Calidad Buena.

A PARAMETROS DE CLASIFICACION						
Resistencia de la roca intacta (Mpa)						
1	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Rangos para Ens.
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5 5-1 <1
	Puntuacion	15	12	7	4	2 1 0
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25
	Puntuacion	20	17	15	6	3
3	Separacion de diaclasas	>2 m.	0.6-2m.	0.2-0.6m.	0.06-0.2m.	<0.06m.
	Puntuacion	20	15	10	8	5
Estado de discontinuidades:						
4	Longitud	< 1m.	1 - 3m.	3 - 10m.	10 - 20m.	> 20m.
	Puntuacion	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0.1mm.	0.1 - 1.0mm.	1 - 5mm.	> 5mm.
	Puntuacion	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug.	Lisa o plana	Pulida
	Puntuacion	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	< 5mm (dura)	> 5mm (dura)	< 5mm (blanda)	> 5mm (blanda)
	Puntuacion	6	4	2	2	0
	Alteracion	Inalterada	Liger. Alterada	Medio. Alterada	Muy alterada	descompuesta
	Puntuacion	6	5	3	1	0
Agua subteranea						
5	Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min.	10-25 Lts/min.	25-125 Lts/min.	>125 Lts/min.
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando	Fluyendo
	Puntuacion	15	10	7	4	0
CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES						
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60
CLASIFICACION						
C	Clase	I	II	III	IV	V
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Malta	Muy mala
	Puntuacion	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS						
D	Clase	I	II	III	IV	V
	Tiempo de mantenimiento	10 años	6 meses	1 semana	10 horas	30 minutos
	Longitud	15 m.	8 m.	5 m.	2.5 m.	1 m.
	Cohesion	> 4 Kp/cm2	3 - 4 Kp/cm2	2 - 3 Kp/cm2	1 - 2 Kp/cm2	< 1 Kp/cm2
	Angulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°
EFECTO DE LA ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						
E	Direccion perpendicular al eje del tunel			Direccion paralela		Buzamiento
	Avance con buzamiento			Al eje del tunel		0° - 20°
	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	45° - 90°	20° - 45°	Cualquier direccion
	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy favorable	Media

Figura 66: Valor del RMR -Estacion geomecánica 04

Cálculo del GSI.

La estimación de Índice GSI (Geological Strength Index), Se llevo a cabo mediante una evaluación visual de la estructura del macizo rocoso y del estado superficial de las discontinuidades. El macizo presenta fuerte fracturamiento, con bloques de gran tamaño y superficies ligeramente rugoso evidencia una moderada meteorización

La ecuación empleada fue:

$$GSI \cong RMR - 5$$

Por lo cual tenemos que:

$$GSI \cong 62 - 5 = 57$$

Determinando así que el macizo rocoso presenta una estructura moderadamente fracturada con grandes bloques de roca y detritos en la parte inferior del talud.

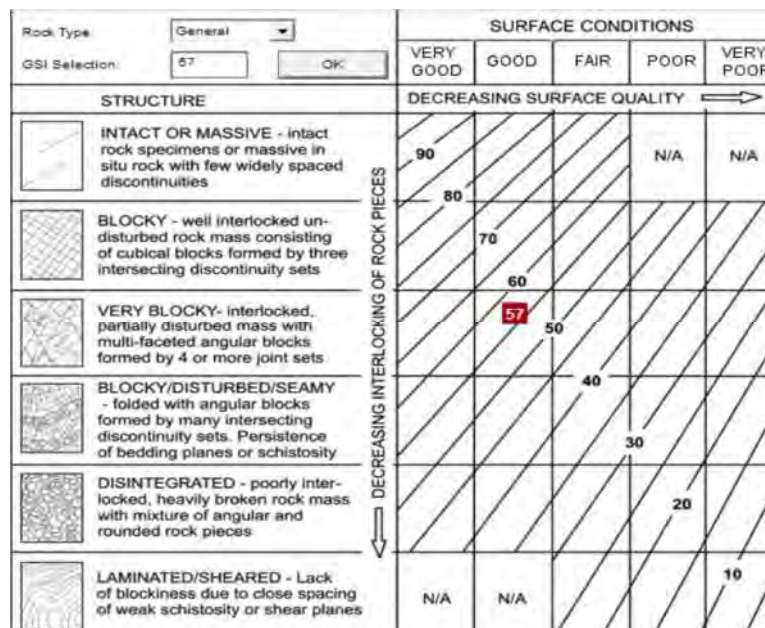


Figura 67: Valor del GSI- Estacion Geomecánica 04

Analisis del software Rock Data

El análisis en el software Roc Data V4.0 mediante el criterio de Hoek- Brown se determina que el macizo roco posee una resistencia a la compresión moderada y un comportamiento mecánico no lo lineal frente a esfuerzos aplicados. Los parámetros obtenidos ($m_b = 0.788$), $s = 0.0008$ y $a = 0.504$) junto con GSI de 57, demuestran un macizo con presencia de fracturamiento y discontinuidades que influyen en su comportamiento geomecánico. De acuerdo con la equivalencia de Mohr Coulumb, se determinó una cohesión de 3.723 Mpa y un ángulo de fricción de 24.47° , indicando una resistencia a la corte intermedia.

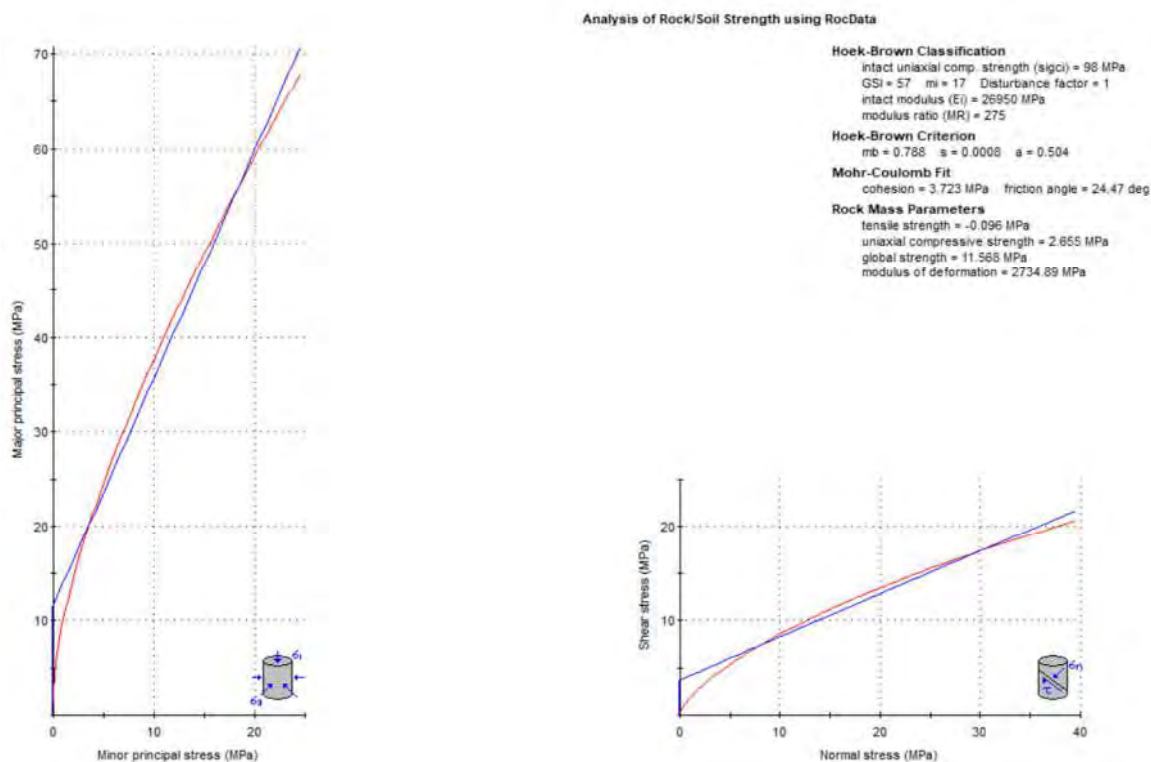


Figura 68: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion geomecánica 04

Tabla 12:Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-04

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	98 MPa	mb	0.788	Cohesión - c	3.723 MPa
		s	0.0008	Angulo de Fricción - phi	24.47
		a	0.504		
GSI	57	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.096 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		2.655 MPa	
Modulo intacto - Ei	26950	Resistencia Global – sigcm (MPa)		11.568 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		2734.89 MPa	

Nota: Elaboración propia

Análisis cinemático del talud 2

Para la presente estación geomecánica se determina un fallamiento tipo cuña de 9-52%

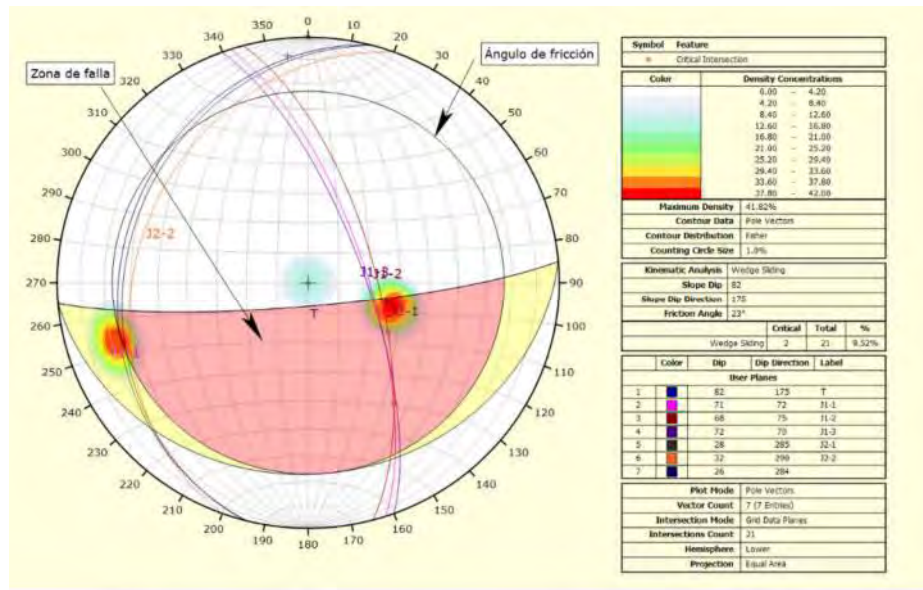


Figura 69:Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.04

Identificación de factor de seguridad.

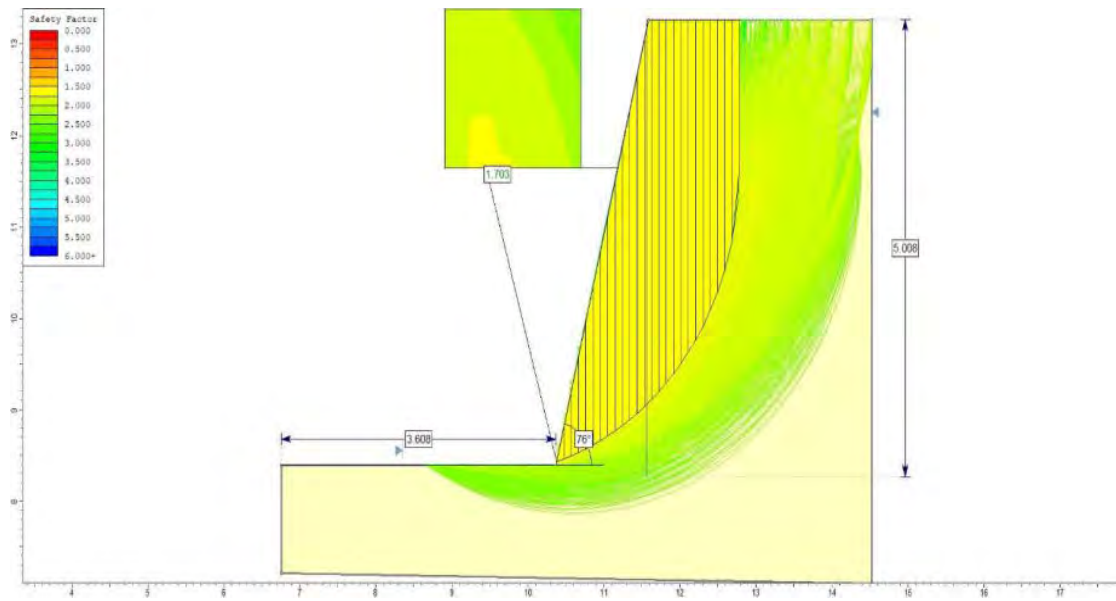


Figura 70:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.04

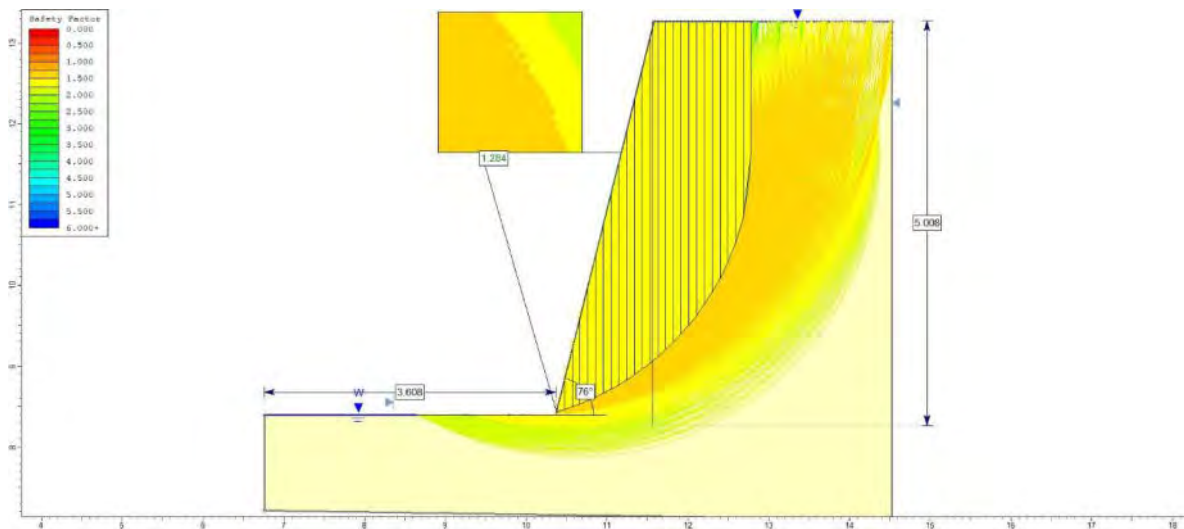


Figura 71:Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.04

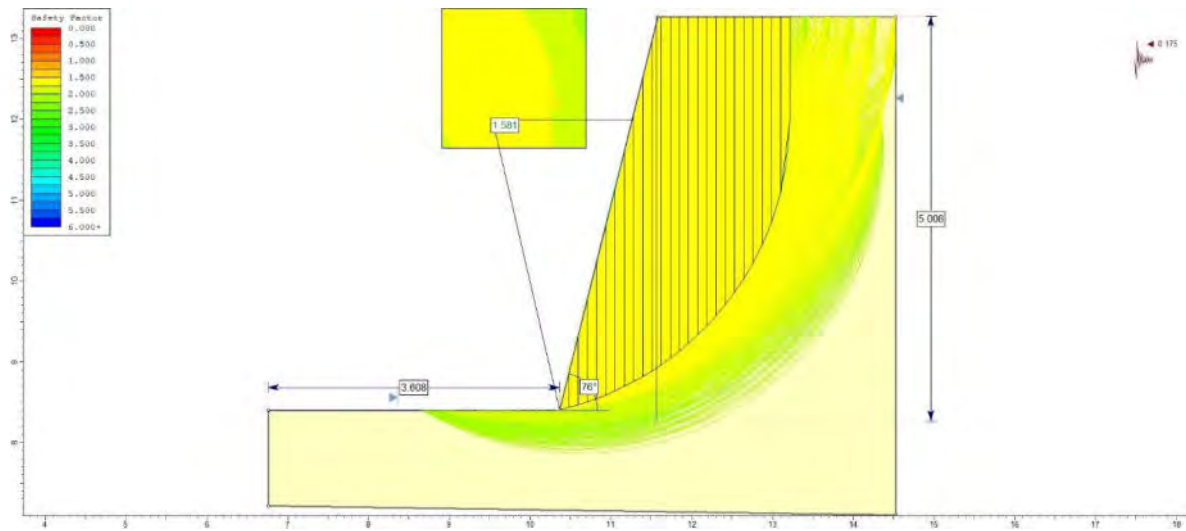


Figura 72: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.04

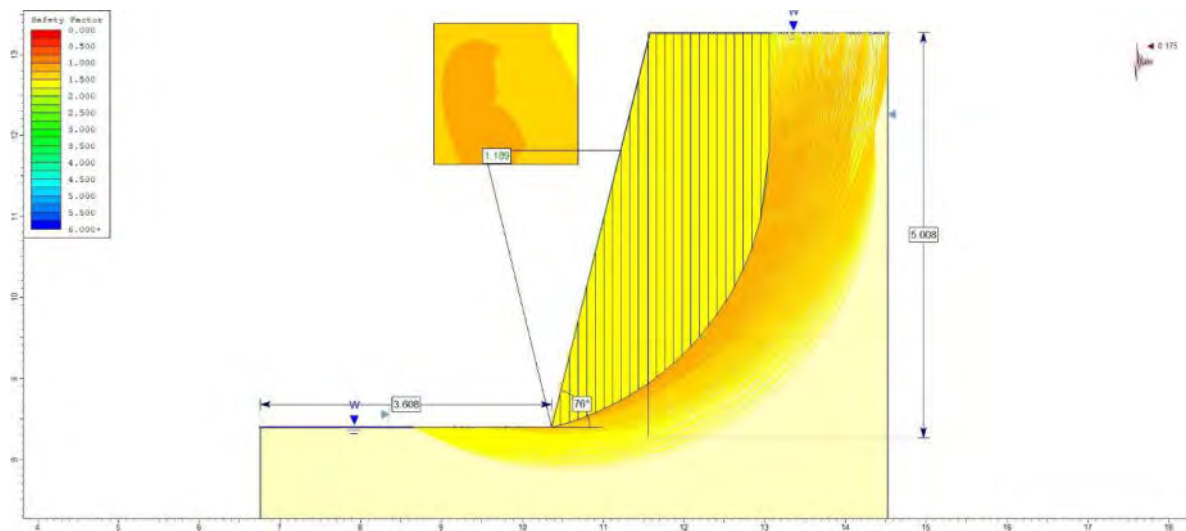


Figura 73: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.04

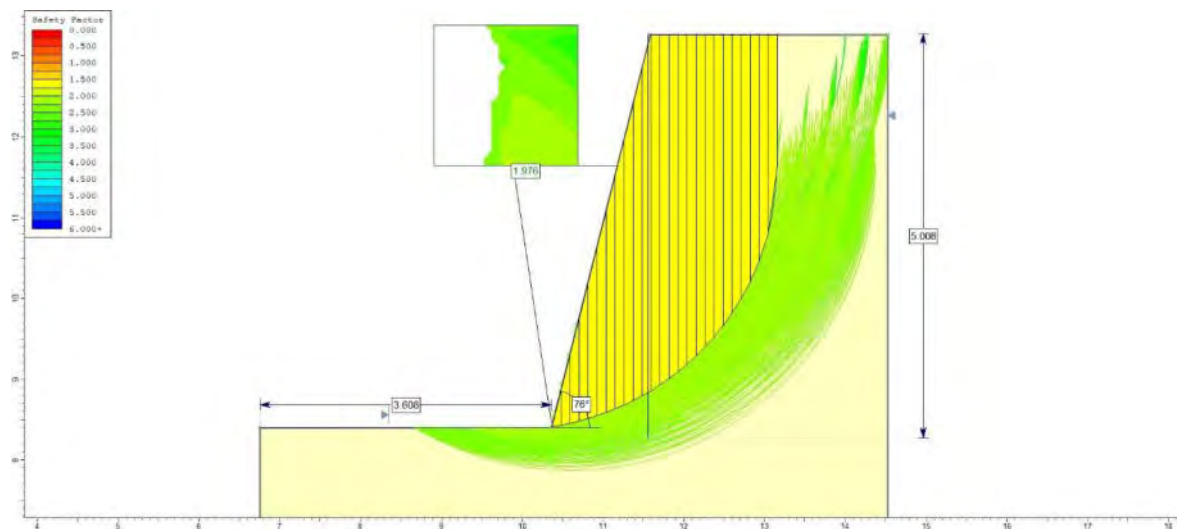


Figura 74: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.04

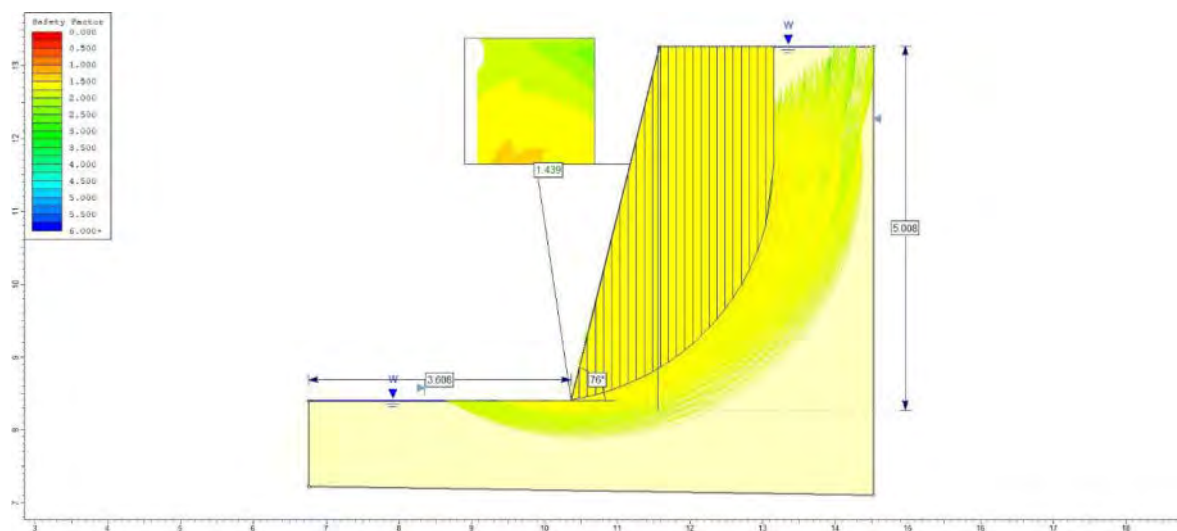


Figura 75: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.04

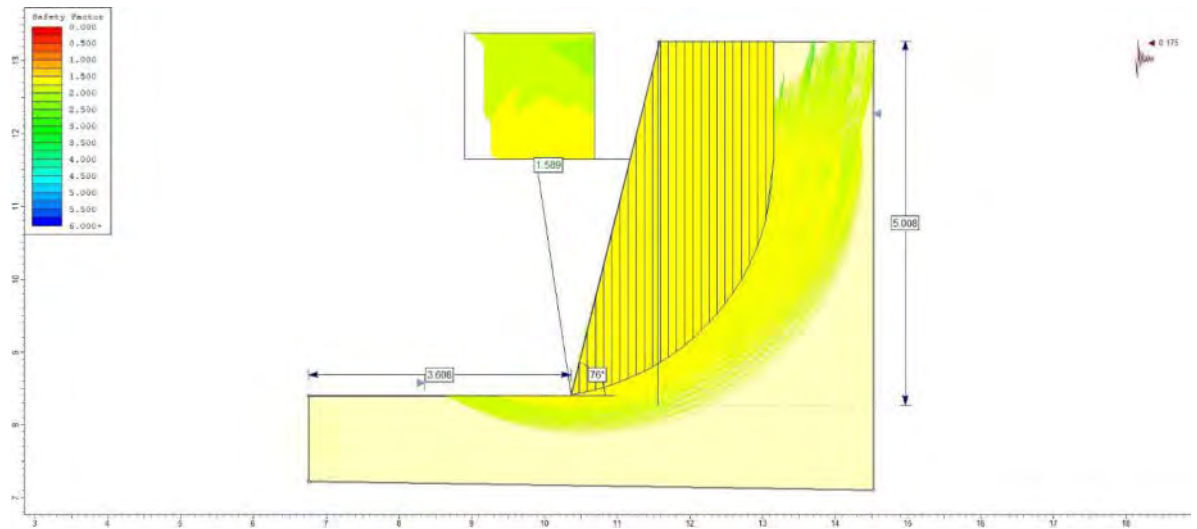


Figura 76: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.04

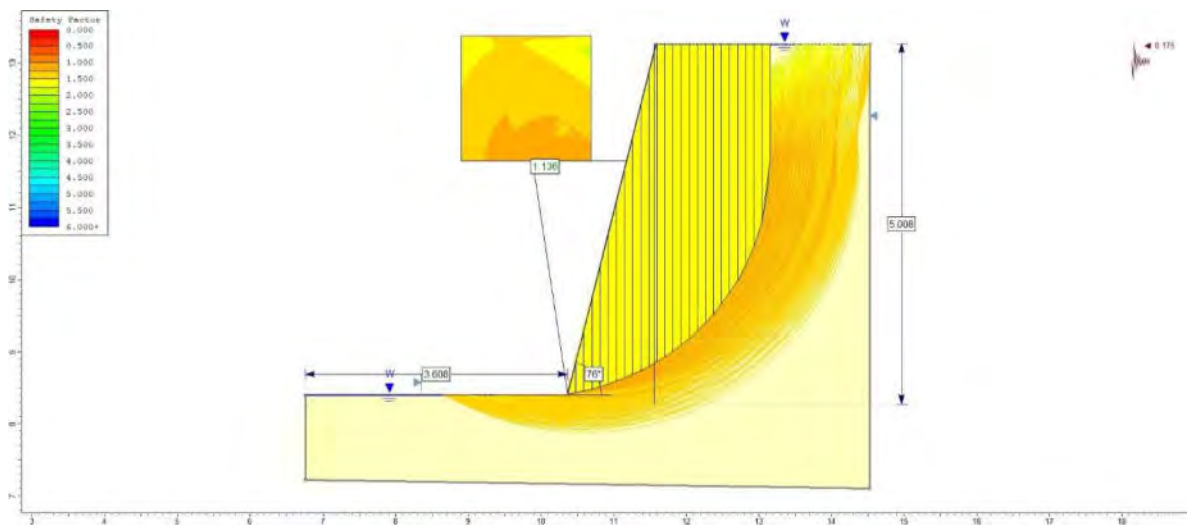


Figura 77: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.04

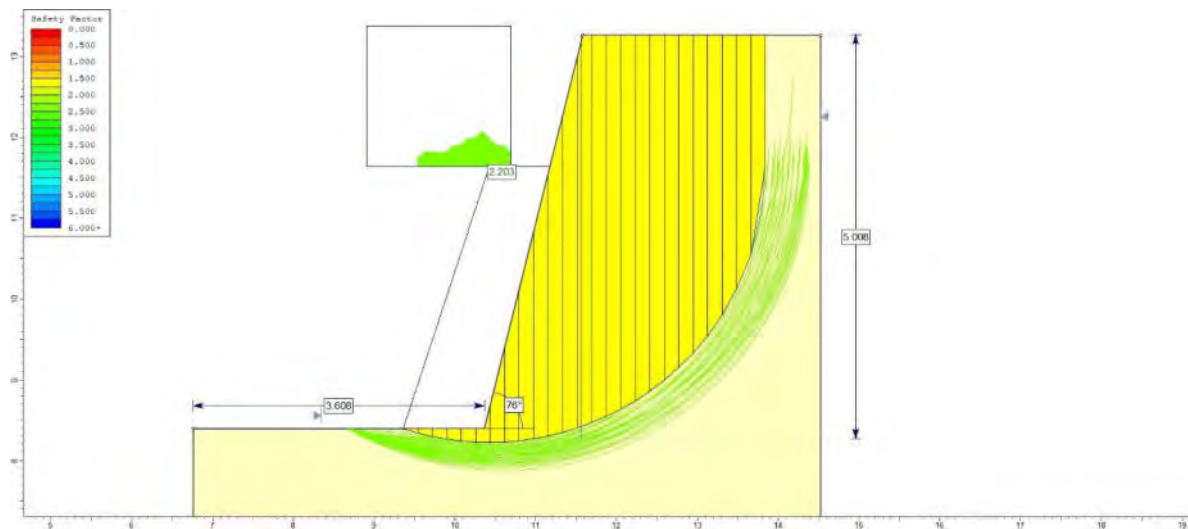


Figura 78: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.04

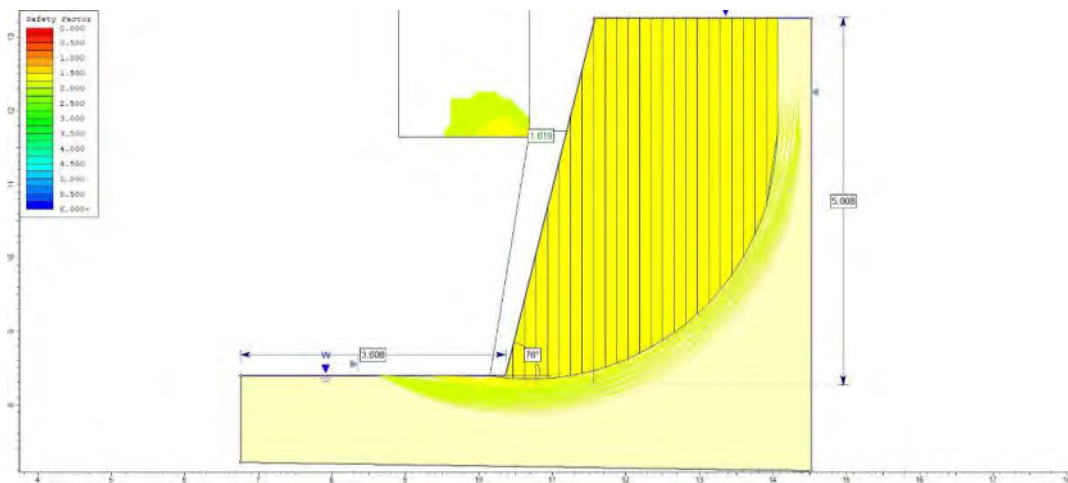


Figura 79: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.04

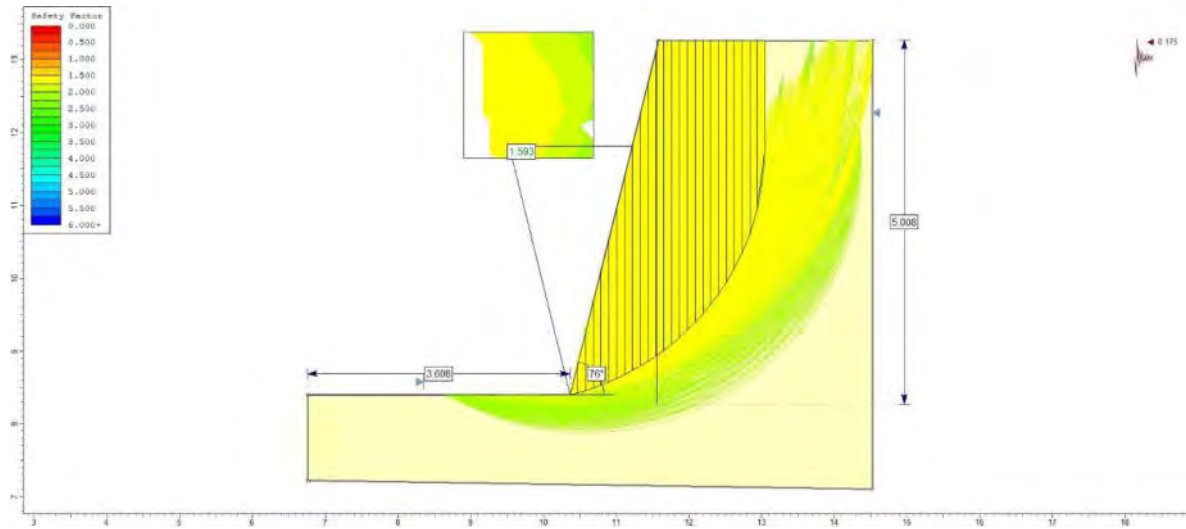


Figura 80: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.04

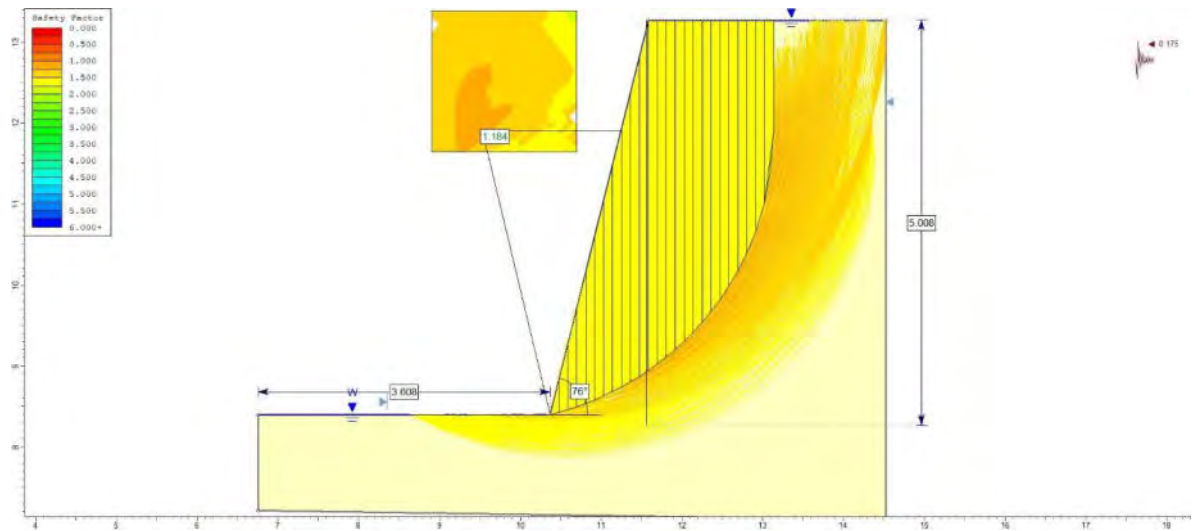


Figura 81: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.04

Estacion Geomecanica N°05

El talud evaluado corresponde a la Formación Muñani y está constituido por areniscas arcósicas de tonalidad grisácea. El macizo rocoso presenta un grado moderado de fracturamiento, donde las discontinuidades ejercen un control importante sobre su comportamiento estructural. Asimismo, se observa una ligera meteorización que afecta parcialmente las características de la roca. La geometría del talud está definida por una altura aproximada de 5 m, una inclinación de 80° y un ancho de vía de 3.5 m.

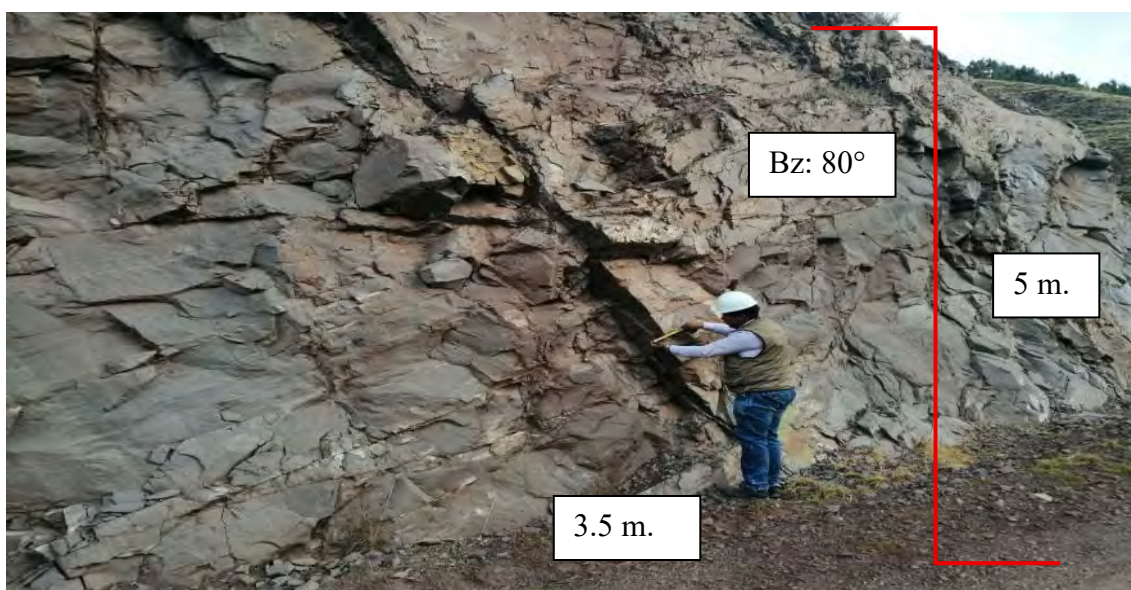


Figura 82: Estación geomecánica 05

Cálculo de RQD

Para el cálculo del RQD se hizo uso de la formula empírica realizado por Palstrom(1998), el cual se basa en el número volumétrico de discontinuidades presentes en el macizo rocoso.

En donde:

$$RQD = 115 - 3.3.J_v$$

Por lo tanto, se tiene:

$$RQD = 115 - 3.3 * 14$$

$$RQD = 66\%$$

Cálculo del RMR-89

La clasificación geomecánica se realizó considerando las características estructurales observadas en campo, como la resistencia a la compresión uniaxial con un valor de 113 Mpa, RQD, espaciamiento y condiciones discontinuidades, además de las condiciones de presencia de agua, dando un valor de 67 con una roca tipo II- Calidad Buena

A PARAMETROS DE CLASIFICACION						
Resistencia de la roca intacta (Mpa)						
1	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Rangos para Ens.
	Compresion simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5 5-1 <1
	Puntuacion	15	12	7	4	2 1 0
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25
	Puntuacion	20	17	13	6	3
3	Separacion de diaclasas	> 2 m.	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m.
	Puntuacion	20	15	10	8	5
Estado de discontinuidades:						
	Longitud	< 1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 20m.	> 20m
	Puntuacion	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0.1mm.	0.1 - 1.0mm.	1 - 5mm.	> 5mm.
	Puntuacion	6	5	3	1	0
4	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rug.	Lisa o plana	Pulida
	Puntuacion	6	5	3	1	0
	Reliëno	Ninguno	< 5mm (duro)	> 5mm (duro)	< 5mm (blando)	> 5mm (blando)
	Puntuacion	6	4	2	2	0
	Alteracion	Inalterada	Liger. Alterada	Moder. Alterada	Muy alterada	descompuesta
	Puntuacion	6	5	3	1	0
Agua subterranea						
5	Flujo por C/10 m. de labor	Nulo	<10 Lts/min.	10-25 Lts/min.	25-125 Lts/min.	>125 Lts/min.
	Presion de agua/tension principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Humedo	Mojado	Goteando	Fluyendo
	Puntuacion	15	10	7	4	0
CORRECCION POR LA ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES						
B	Direccion y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable
	Tuneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60
CLASIFICACION						
C	Clase	I	II	III	IV	V
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Malas	Muy mala
	Puntuacion	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS						
D	Clase	I	II	III	IV	V
	Tiempo de mantenimiento	10 años	6 meses	1 semana	10 horas	30 minutos
	Longitud	15 m.	8 m.	5 m.	2.5 m.	1 m.
	Cohesion	> 4 Kp/cm2	3 - 4 Kp/cm2	2 - 3 Kp/cm2	1 - 2 Kp/cm2	< 1 Kp/cm2
	Angulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Figura 83: Valor del RMR -Estacion geomecánica 05

Cálculo del GSI.

La estimación del Índice de Resistencia Geológica (GSI) se realizó a partir de una inspección visual de las características estructurales del macizo rocoso y de las condiciones superficiales de las discontinuidades. El macizo presenta un grado elevado de fracturamiento, conformado por bloques de dimensiones considerables, cuyas superficies muestran una ligera rugosidad. Asimismo, se evidencia un nivel moderado de meteorización que influye en las propiedades geomecánicas del macizo. La ecuación empleada fue:

$$GSI \cong RMR - 5$$

Por lo cual tenemos que:

$$GSI \cong 65 - 5 = 60$$

Determinando así que el macizo rocoso presenta una estructura moderadamente fracturada con grandes bloques de roca y detritos en la parte inferior del talud.

6

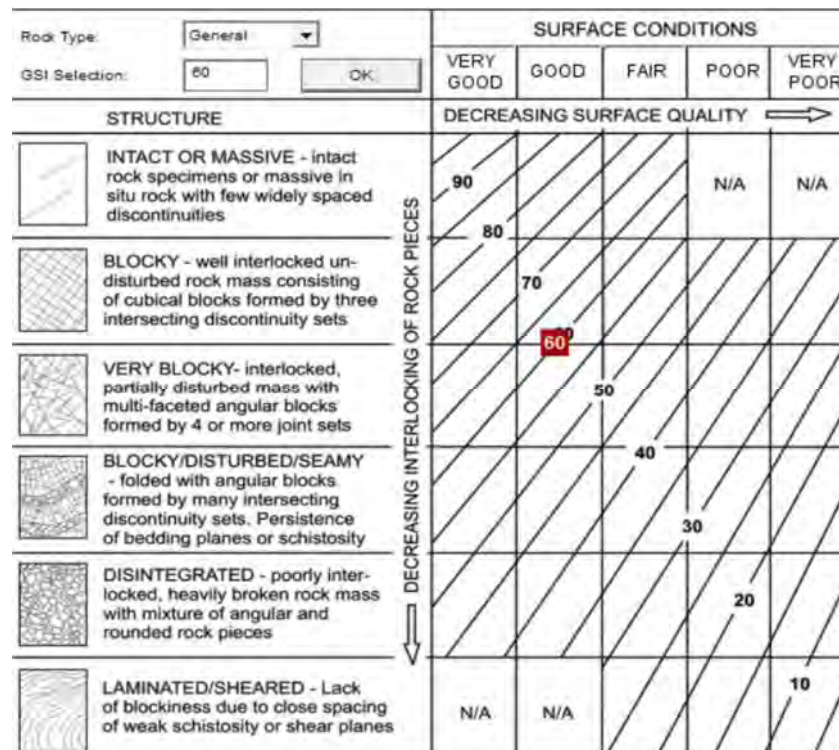


Figura 84: Valor del GSI -Estacion geomecánica 05

Analisis del software Rock Data

Según el análisis realizado en RocData V4.0 con el criterio de Hoek-Brown, el macizo rocoso presenta una resistencia a compresión moderada y un comportamiento mecánico claramente no lineal. Los parámetros obtenidos (**mb = 0.976, s = 0.0013, a = 0.503**), junto con un GSI de 60, reflejan un macizo fracturado donde las discontinuidades condicionan su respuesta geomecánica. A partir del ajuste de Mohr-Coulomb, se ha estimado una cohesión de aproximadamente 4.665 MPa y un ángulo de fricción interna de 26.14°, lo que indica una resistencia al corte de nivel intermedio. Por otro lado, la resistencia a compresión del macizo rocoso alcanza unos 3.956 MPa, valor notablemente inferior al de la roca intacta (113 MPa), como consecuencia del efecto de las discontinuidades y del factor de disturbancia (D=1). Finalmente, las curvas esfuerzo-deformaciones obtenidas muestran un incremento progresivo de la resistencia con el confinamiento, evidenciando una estabilidad moderada del conjunto rocoso.

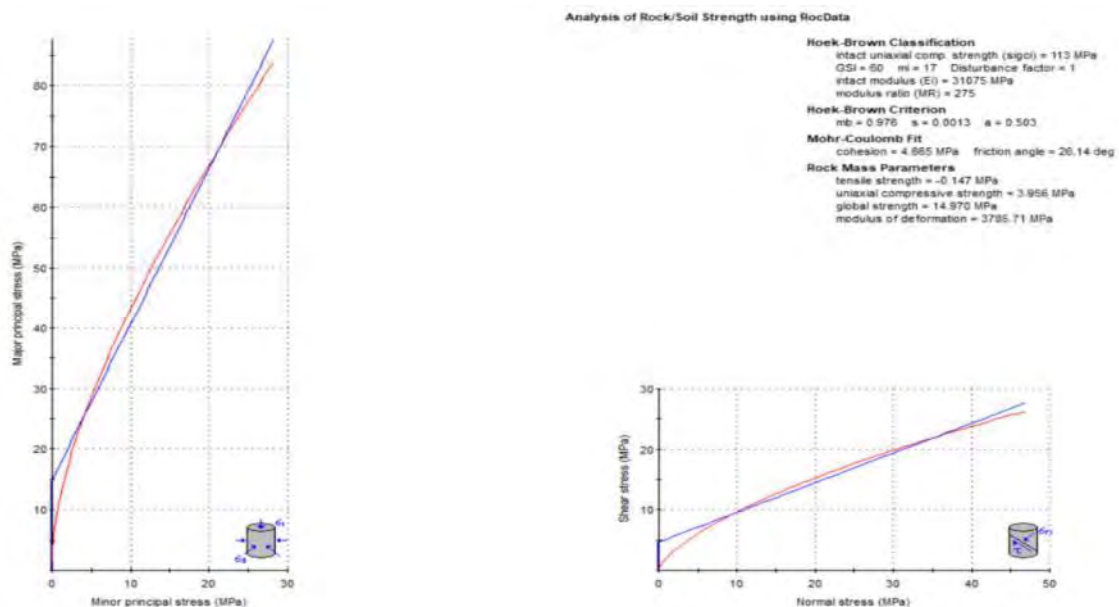


Figura 85: Análisis de esfuerzos principales en el software Rockdata v04- Estacion

Tabla 13: Resumen de los principales parámetros geomecánicos- E.G-05

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	113 MPa	mb	0.976	Cohesión - c	4.665 MPa
		s	0.0013	Angulo de Fricción - phi	26.14
		a	0.503		
GSI	60	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.147 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		3.956 MPa	
Modulo intacto - Ei	31075	Resistencia Global – sigcm (MPa)		14.970 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		3785.71 MPa	

Nota: Elaboración propia

Análisis cinemático de talud 5

En la última estación geomecánica se determinó un fallamiento tipo planar de 14% .
cuña, 23.91% y por vuelco de 42.82%

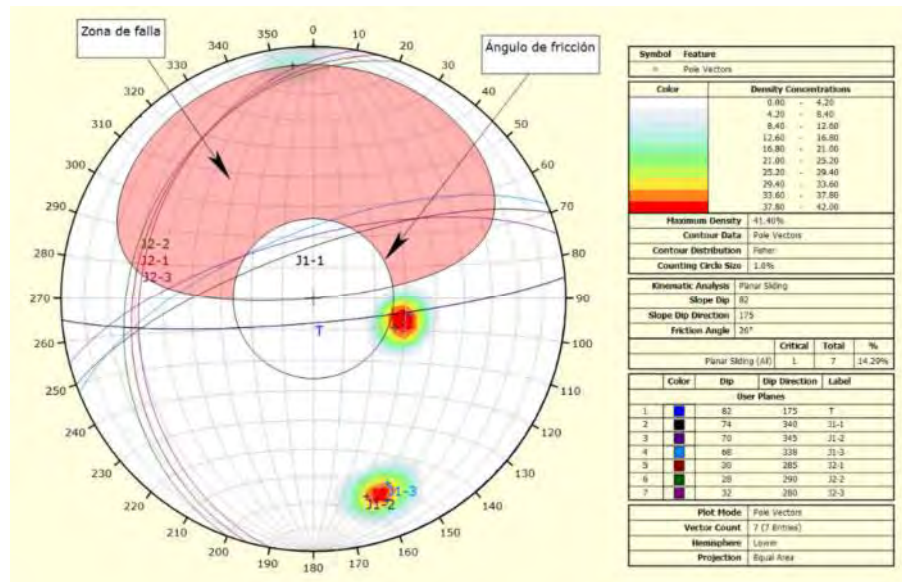


Figura 86:Probabilidad de falla planar-E.G.05

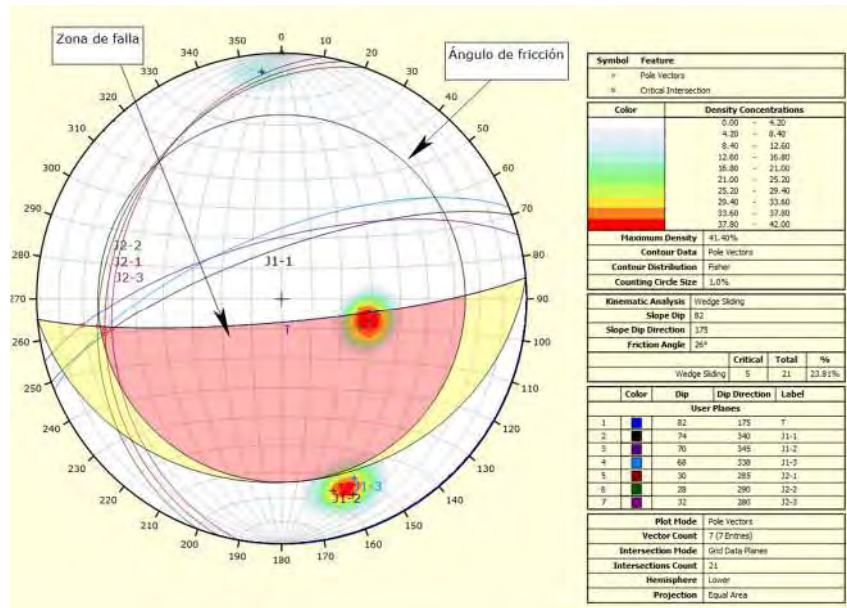


Figura 87: Probabilidad de falla tipo cuña-E.G.05

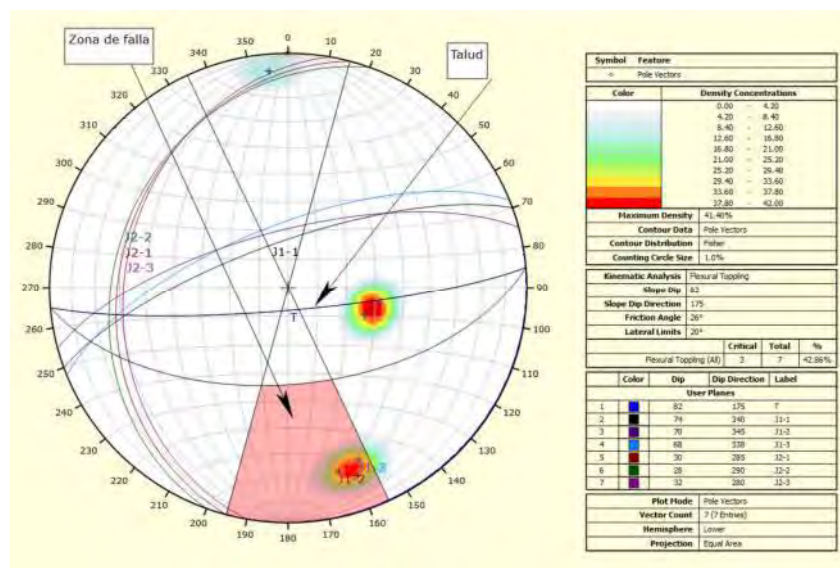


Figura 88: Probabilidad de falla por vuelco-E.G.05

Identificación de factor de seguridad.

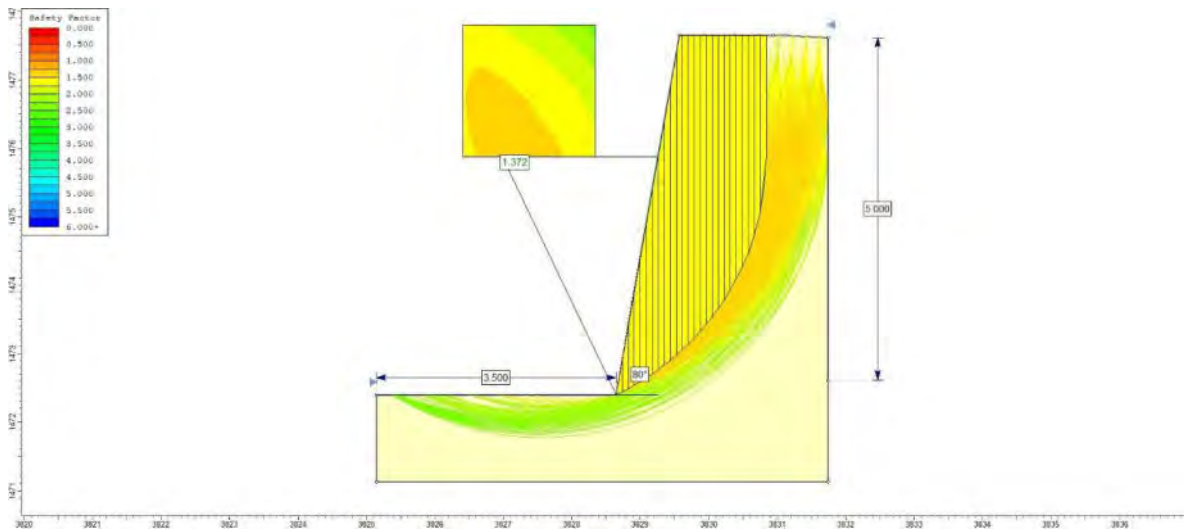


Figura 89: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Bishop-E.G.05

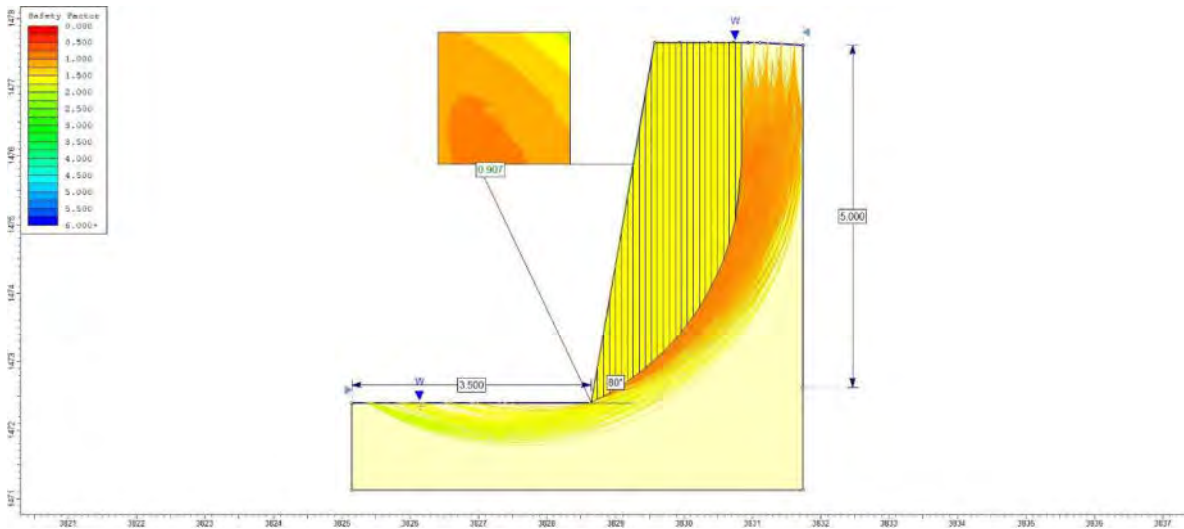


Figura 90: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Bishop-E.G.05

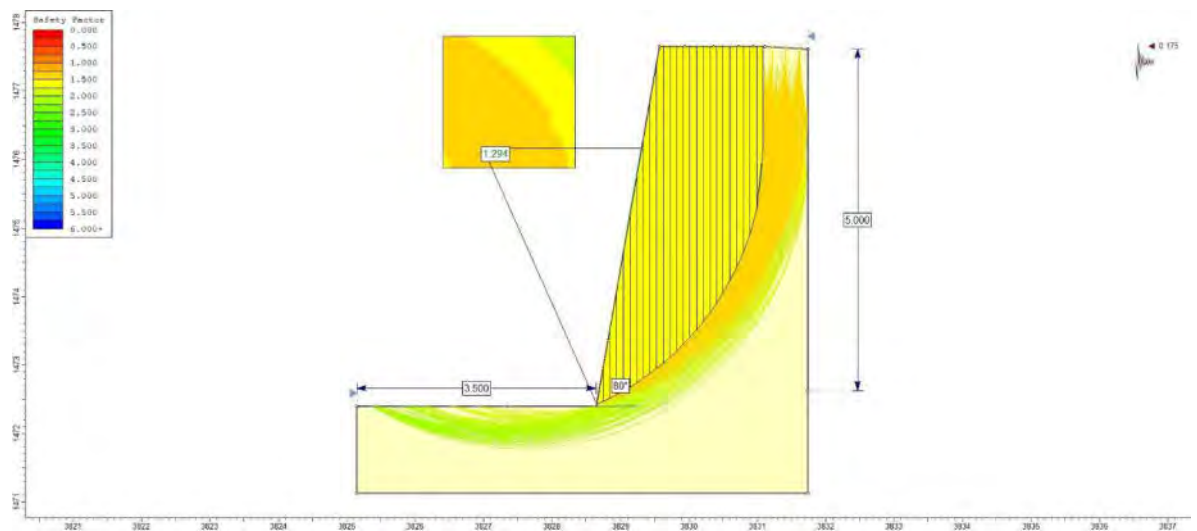


Figura 91: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.05

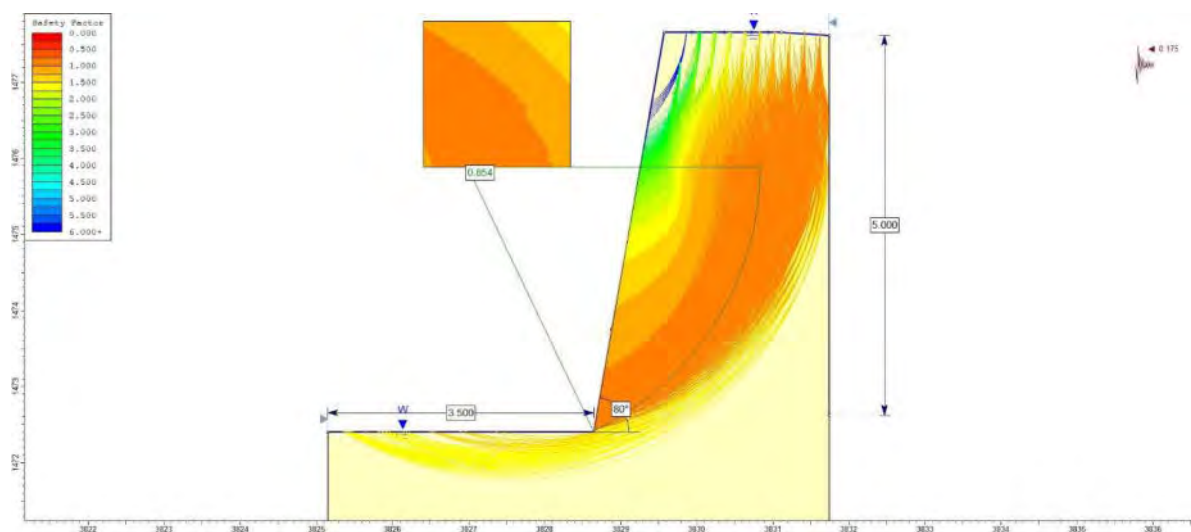


Figura 92: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Bishop-E.G.05

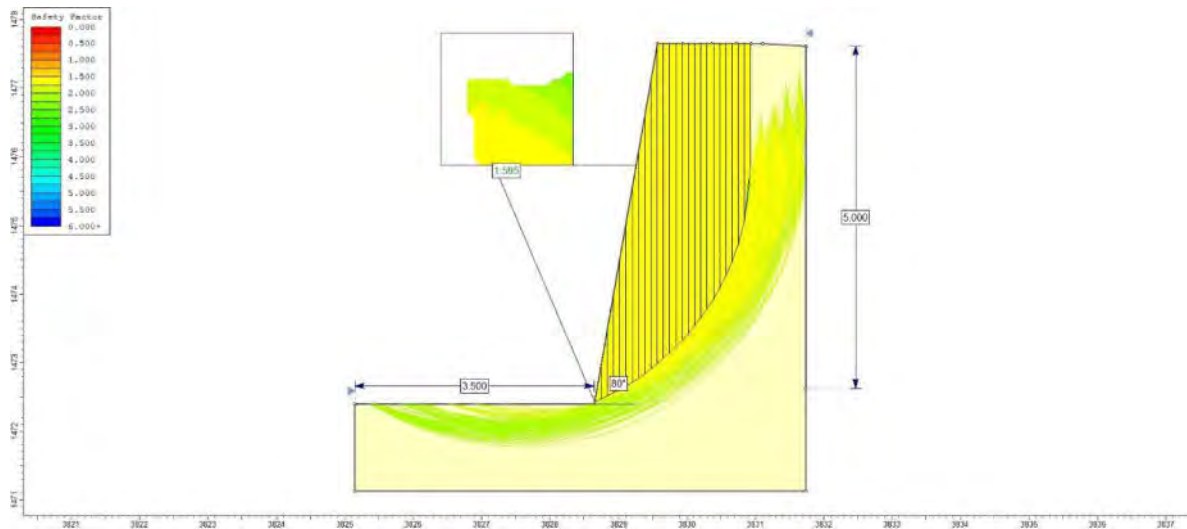


Figura 93: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Janbu-E.G.05

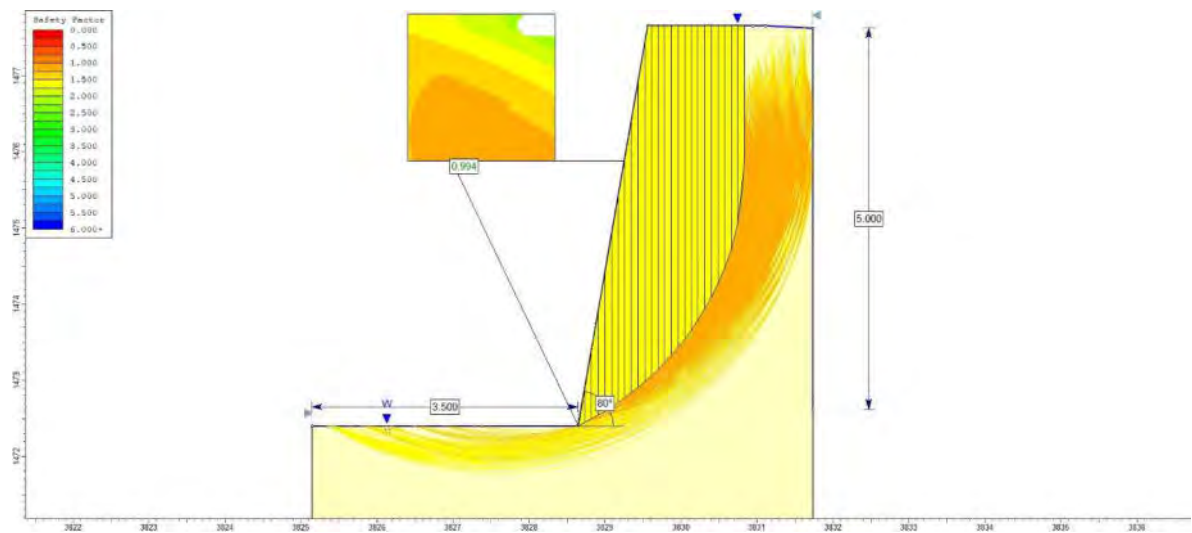


Figura 94: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.05

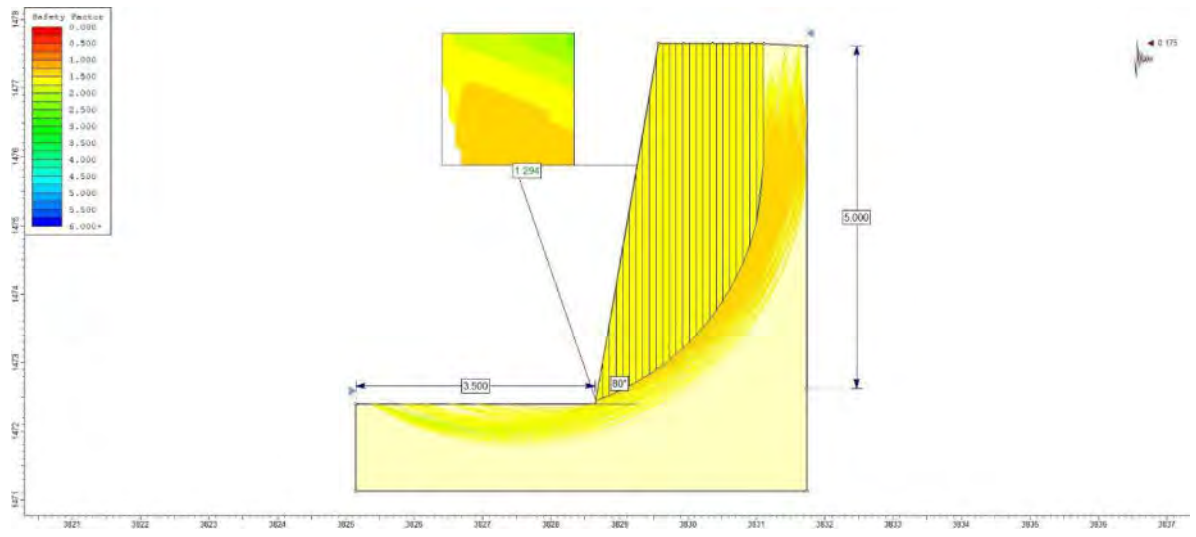


Figura 95: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Janbu-E.G.05

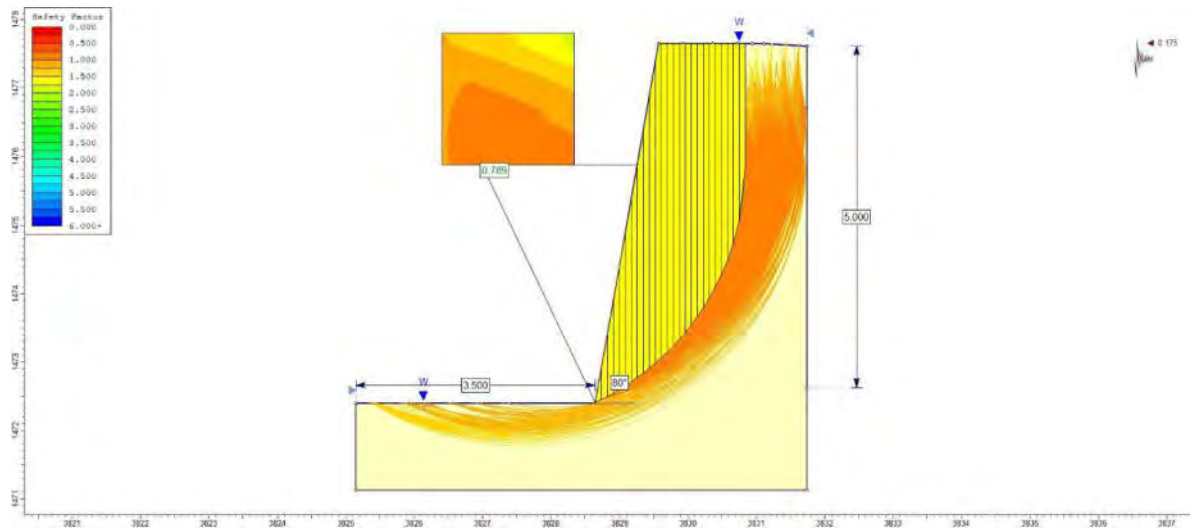


Figura 96: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Janbu-E.G.05

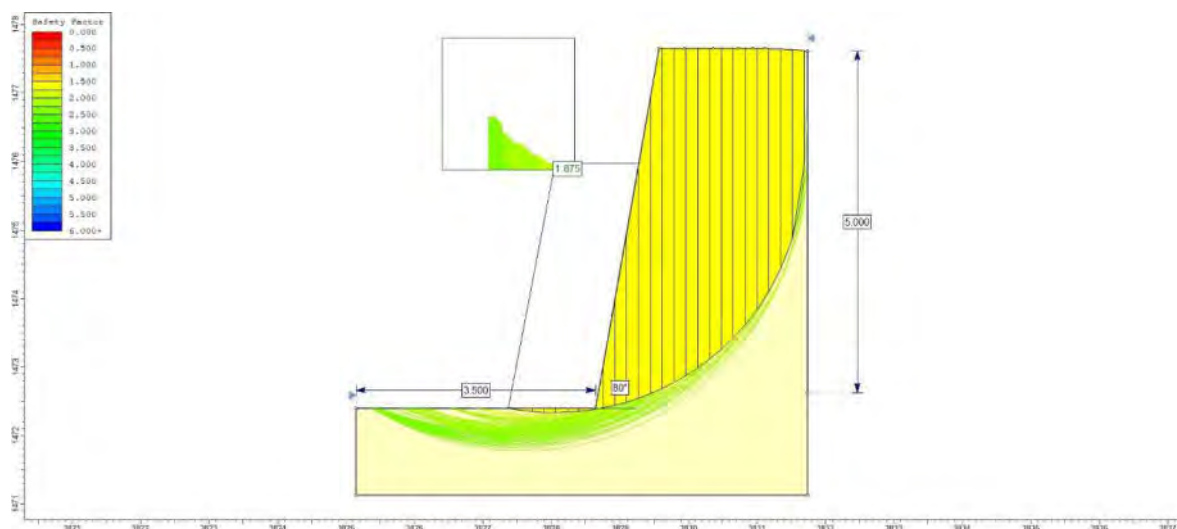


Figura 97: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.05

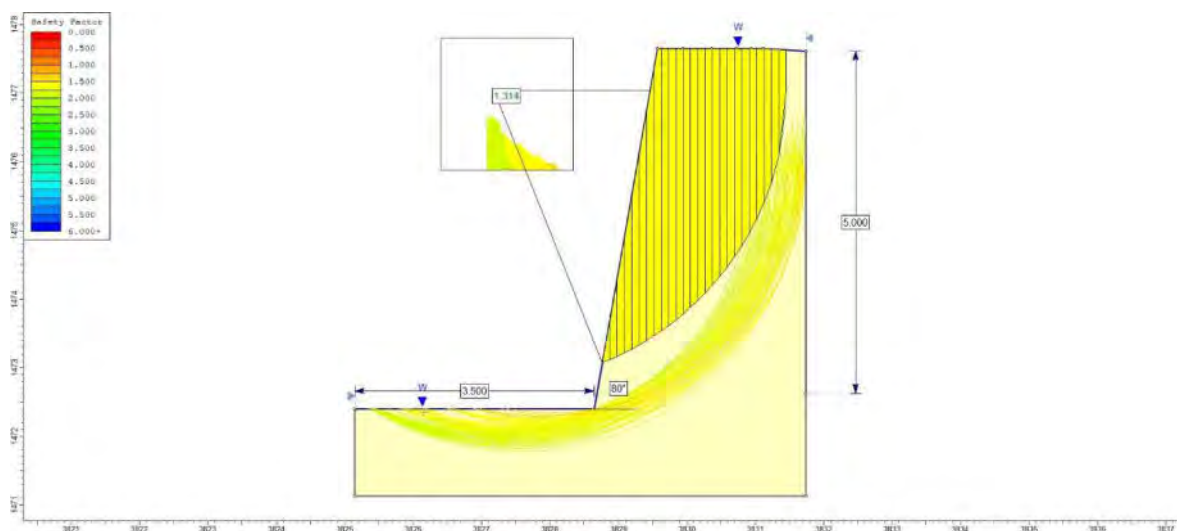


Figura 98: Cálculo de factor de seguridad en condiciones estáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.05

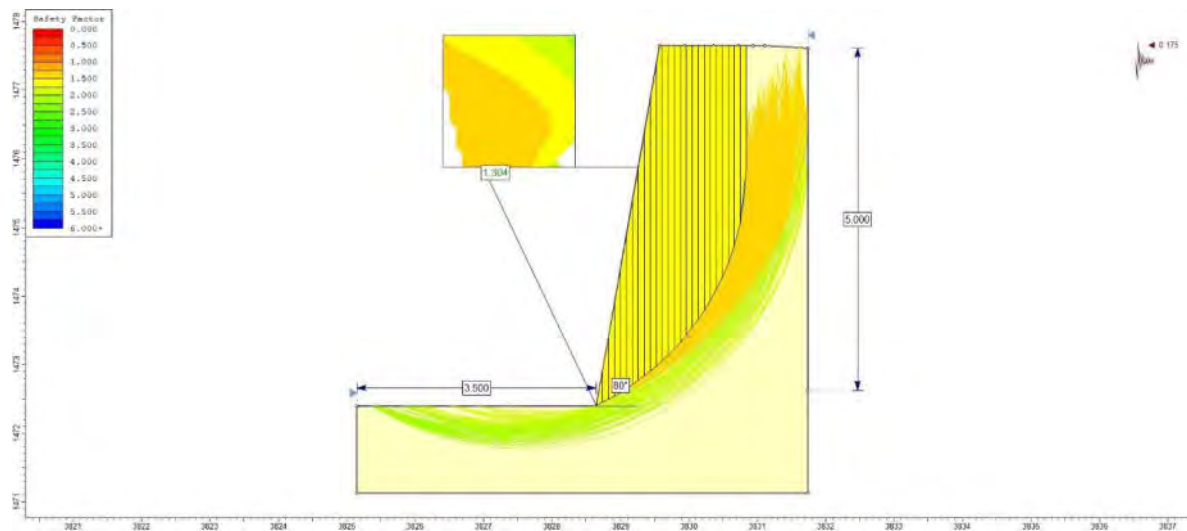


Figura 99: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas por el método de Morgenstern Price-E.G.05

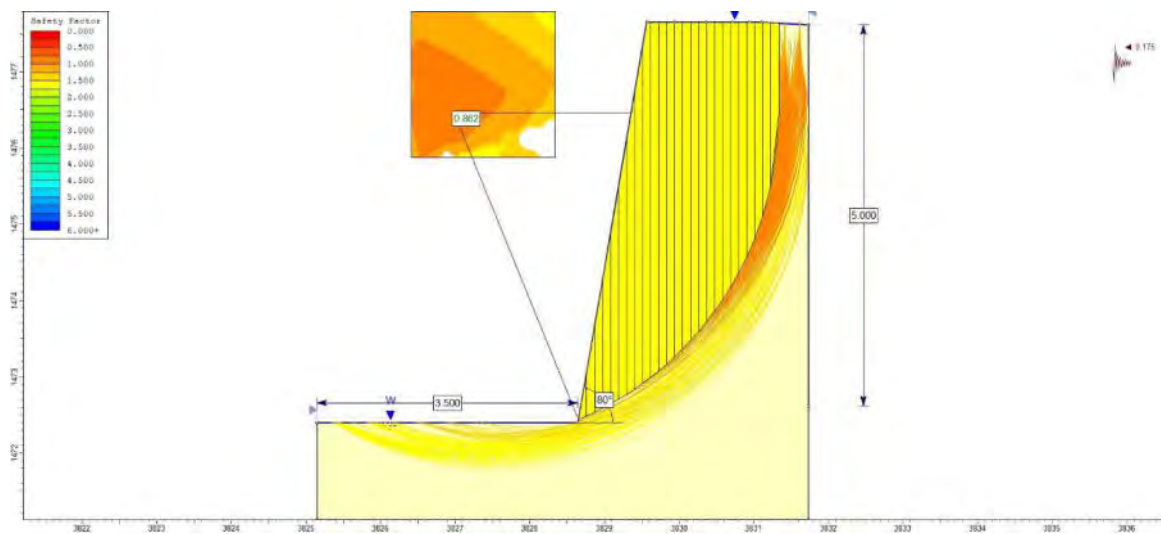


Figura 100: Cálculo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas saturadas por el método de Morgenstern Price-E.G.05

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en la evaluación geomecánica de los taludes ubicados a lo largo de la carretera Suyo–Patasuyo–Capillani permitieron establecer la influencia que ejercen las características estructurales y mecánicas del macizo rocoso sobre su estabilidad. La zona de estudio se encuentra desarrollada principalmente sobre areniscas arcóscas pertenecientes a la Formación Muñani, unidad geológica que presenta diferentes grados de fracturamiento, meteorización y desarrollo de discontinuidades, factores que condicionan directamente el comportamiento de los taludes evaluados.

Los valores de clasificación geomecánica obtenidos mediante el sistema RMR muestran que la mayoría de estaciones presentan macizos rocosos de calidad buena, con valores comprendidos entre 62 y 67, mientras que la estación geomecánica 03 alcanzó un valor de 60, clasificándose como roca de calidad media. Estos resultados indican que, aunque la roca intacta posee resistencias relativamente elevadas, la presencia de discontinuidades reduce considerablemente el comportamiento global del macizo. Esta situación coincide con lo señalado por Bieniawski, quien establece que la calidad de un macizo rocoso no depende únicamente de la resistencia de la roca intacta, sino también de la frecuencia, orientación y condición de las discontinuidades presentes.

De manera complementaria, los valores de GSI obtenidos oscilaron entre 55 y 61, reflejando macizos moderadamente fracturados conformados por bloques de tamaño medio a grande. Estos resultados muestran una correspondencia adecuada con las clasificaciones RMR obtenidas, debido a que ambos sistemas consideran aspectos relacionados con la estructura del macizo y el estado superficial de las discontinuidades. La estación geomecánica 02 presentó el mayor valor de GSI (61), mientras que la estación 03 registró el menor valor (55), evidenciando un mayor grado de afectación estructural y una menor competencia geomecánica.

Los análisis desarrollados mediante el software RocData empleando el criterio de Hoek-Brown permitieron determinar parámetros representativos del comportamiento mecánico del macizo rocoso. Aunque las areniscas arcóscas presentan resistencias a compresión uniaxial de roca intacta entre 98 MPa y 110 MPa, la resistencia equivalente del macizo disminuye considerablemente debido al efecto de las discontinuidades. En la estación geomecánica 01 se obtuvo una resistencia uniaxial del macizo de 3.279 MPa, mientras que en la estación 02 alcanzó 4.192 MPa. De manera similar, las estaciones 03 y 04 presentaron valores de 2.396 MPa y 2.655 MPa respectivamente.

Esta reducción significativa entre la resistencia de la roca intacta y la resistencia real del macizo confirma que el comportamiento geomecánico de los taludes está controlado principalmente por la presencia de fracturas, diaclasas y planos de debilidad. Dichos resultados son consistentes con la teoría propuesta por Hoek y Brown, quienes señalan que las discontinuidades generan una pérdida importante de resistencia y rigidez en los macizos rocosos, especialmente cuando se encuentran intensamente fracturados.

Respecto a los parámetros equivalentes del criterio de Mohr-Coulomb, los valores de cohesión obtenidos oscilaron entre 3.723 MPa y 4.688 MPa, mientras que los ángulos de fricción interna variaron entre 23.38° y 26.70° . Estos parámetros indican una resistencia al corte moderada, característica de macizos rocosos fracturados que conservan cierto grado de interbloqueo entre sus discontinuidades. La estación geomecánica 02 presentó los mejores parámetros resistentes, situación que se relaciona con los mayores valores de RMR y GSI obtenidos en dicha estación.

Por otro lado, el análisis cinemático permitió identificar los mecanismos potenciales de falla que podrían afectar la estabilidad de los taludes. En la estación geomecánica 01 se determinó una probabilidad de falla planar de 57.14 % y una probabilidad de falla en cuña de 14.29 %, representando el escenario más crítico dentro de las estaciones evaluadas. Este comportamiento evidencia una orientación desfavorable de algunas discontinuidades respecto a la cara del talud, favoreciendo el desarrollo de superficies potenciales de deslizamiento.

En la estación geomecánica 03 también se identificaron probabilidades significativas de falla, registrándose una probabilidad de falla planar de 23 % y una probabilidad de falla en cuña de 29.49 %. Estos resultados indican que las intersecciones entre familias de discontinuidades generan condiciones geométricas que pueden facilitar procesos de inestabilidad local, especialmente bajo la influencia de precipitaciones intensas o eventos sísmicos.

Por el contrario, las estaciones geomecánicas 02 y 04 presentaron únicamente probabilidades de falla tipo cuña de aproximadamente 10 % y 9.52 % respectivamente, lo que evidencia condiciones estructurales relativamente más favorables para la estabilidad. Sin embargo, la presencia de cualquier probabilidad de falla potencial demuestra que el control

estructural continúa siendo un factor importante dentro de la dinámica de los taludes estudiados.

Los análisis de estabilidad realizados mediante los métodos de Bishop Simplificado, Janbu y Morgenstern-Price permitieron evaluar el comportamiento de los taludes bajo diferentes escenarios de carga. Los resultados muestran que los factores de seguridad disminuyen progresivamente cuando se incorporan condiciones pseudoestáticas y estados de saturación. Este comportamiento resulta coherente con la teoría de estabilidad de taludes, debido a que la acción sísmica incrementa las fuerzas desestabilizadoras, mientras que la presencia de agua genera un aumento de las presiones de poros y una reducción de la resistencia efectiva del material.

La comparación entre los diferentes métodos de equilibrio límite evidencia una tendencia similar en los resultados obtenidos, lo que otorga confiabilidad a las estimaciones realizadas. El método de Morgenstern-Price, al satisfacer simultáneamente las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos, proporciona resultados más rigurosos; sin embargo, las diferencias observadas respecto a los métodos de Bishop y Janbu no son significativas, indicando una adecuada consistencia en el análisis desarrollado.

De manera general, los resultados permiten establecer que la estabilidad de los taludes estudiados depende principalmente de la interacción entre las características geomecánicas del macizo rocoso y la orientación de las discontinuidades presentes. Aunque las areniscas arcósicas de la Formación Muñani poseen una elevada resistencia en estado intacto, la presencia de fracturamiento moderado a intenso reduce considerablemente la resistencia global del macizo, generando condiciones favorables para el desarrollo de mecanismos de falla planar y en cuña.

Asimismo, se evidencia que las condiciones más críticas de estabilidad se presentan cuando se consideran escenarios de saturación y solicitaciones sísmicas, situación que adquiere especial importancia debido a que el área de estudio se ubica dentro de una región con actividad sísmica moderada a alta y con presencia de precipitaciones estacionales importantes. Por ello, resulta fundamental considerar medidas de drenaje, monitoreo geotécnico y mantenimiento periódico de los taludes para minimizar la ocurrencia de procesos de inestabilidad que puedan afectar la transitabilidad de la carretera.

En términos generales, los resultados obtenidos validan la hipótesis planteada en la investigación, demostrando que las características geoestructurales y geomecánicas del macizo rocoso influyen directamente en la estabilidad de los taludes evaluados. La calidad del macizo, el grado de fracturamiento, la orientación de las discontinuidades y las condiciones externas de saturación y sismicidad constituyen los principales factores que controlan el comportamiento geotécnico de los taludes desarrollados sobre la Formación Muñani en el tramo Suyo–Patasuyo–Capillani.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- La caracterización geomecánica realizada en los taludes del tramo Suyo–Patasuyo–Capillani permitió determinar que los macizos rocosos pertenecientes a la Formación Muñani presentan una calidad geomecánica entre media y buena, registrándose valores de RMR comprendidos entre 60 y 67 y valores de GSI entre 55 y 61, lo que evidencia condiciones estructurales moderadamente favorables para la estabilidad de los taludes.
- Los análisis efectuados mediante el criterio de rotura de Hoek-Brown demostraron que la resistencia del macizo rocoso es considerablemente menor que la resistencia de la roca intacta debido a la presencia de discontinuidades, fracturas y procesos de meteorización, los cuales influyen directamente en el comportamiento mecánico y estabilidad de los taludes evaluados.
- El análisis cinemático identificó que los mecanismos de falla predominantes corresponden a fallas planares y fallas en cuña, siendo la estación geomecánica E.G.01 la que presenta las condiciones más desfavorables debido a la orientación de las discontinuidades respecto a la cara del talud, incrementando la probabilidad de inestabilidad.
- Los análisis de estabilidad desarrollados mediante los métodos de Bishop Simplificado, Janbu y Morgenstern-Price permitieron verificar que los factores de seguridad disminuyen cuando se consideran condiciones pseudoestáticas y escenarios de saturación, demostrando

la influencia de las cargas sísmicas y la infiltración de agua en la reducción de la estabilidad de los taludes con valores mínimos de 0.7 hasta valores de 2.2,.

- Se determinó que la estabilidad de los taludes está controlada principalmente por las características geoestructurales del macizo rocoso, especialmente por la orientación, persistencia y espaciamiento de las discontinuidades, confirmando que estos factores constituyen los principales condicionantes de los procesos de inestabilidad en los taludes desarrollados sobre las areniscas arcóscicas de la Formación Muñani.

5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar sistemas de drenaje superficial y subdrenaje en los sectores donde se identificaron menores factores de seguridad, con la finalidad de reducir la infiltración de agua y minimizar el incremento de presiones que puedan afectar la estabilidad de los taludes.
- Realizar monitoreos geotécnicos periódicos de las discontinuidades, grietas y zonas de fracturamiento identificadas como críticas, especialmente durante temporadas de lluvias intensas o después de eventos sísmicos que puedan generar cambios en las condiciones de estabilidad.
- Considerar la ejecución de medidas de estabilización tales como el retiro de bloques inestables, instalación de pernos de roca, mallas metálicas o sistemas de protección contra caída de rocas en aquellos sectores donde el análisis cinemático evidenció potenciales mecanismos de falla planar y en cuña.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bieniawski , Z. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: ohn Wiley &.
- Cuentas, M. J. (2023). *Análisis de estabilidad de taludes en el macizo rocoso Quellorco mediante el método de elementos finitos, equilibrio límite, probabilístico y propuesta de estabilización – Puno, 2023*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Cuevas, J. M., Hernández, L. A., Martinez Rocha, A., & Rocha Pérez, D. P. (2019). *Análisis de la inestabilidad de la ladera en la carretera NN-4 en el tramo San Lucas – Las Sabanas km 233-235, Departamento de Madriz*. Nicaragua.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica (7.^a ed.)*. Cengage Learning.
- Díaz, C. J. (2023). *Determinación de inestabilidad geotécnica de taludes entre el km 34+700 y km 42+200 de la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Duncan, J., & Wright, S. (2005). *Soil strength and slope stability*.
- Gálvez, B. H. (2025). *Análisis y estabilización de taludes de macizos rocosos y depósitos sedimentarios de la carretera Huallanca – Caraz*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*.
- Gonzáles de Vallejo , L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Education.
- Gonzáles, L. F. (2018). *aracterización geomecánica del macizo rocoso para su aplicación en geotecnia en el sector Lucarqui, Loja – Ecuador*. Universidad Nacional de Loja,, Loja.

- Hoek, E., & Marinos, P. (2000). *GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Australia: . Proceedings of the GeoEng2000 Conference.
- Janbu, N. (1973). *Slope stability computations. Embankment-Dam Engineering*. John Wiley & Sons.
- López, J. S. (2020). *Apuntes complementarios de Mecánica de Rocas, Suelos y Clasificación Ingenieril de macizos rocosos*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Méndez, C. A., & Torres, J. S. (2021). *Evaluación geomecánica y análisis de estabilidad de taludes rocosos en la vía Cuenca – Molleturo – El Empalme, Ecuador*. Universidad de Cuenca.
- OSINERGMIN. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*.
- Pozo, G. R. (2023). *Modificación del sistema GSI en función de la escala de análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ramirez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *MECÁNICA DE ROCAS: FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE TALUDES*. Madrid.
- Ramirez, H. L. (2022). *Caracterización geomecánica y análisis de estabilidad de taludes rocosos en la carretera Huánuco – La Unión*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Ramirez, O. ,, & Alejano, M. ., (2004). *Mecanica de rocas: Fundamentos e Ingenieria de Taludes*.
- Suárez, D. J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos., Bucaramanga-Colombia.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: análisis geotécnico*. Universidad , Bucaramanga, Colombia.

Tomás, J. R. (2021). *Colección de ejercicios de geotecnia y cimientos: Estabilidad de taludes*. Servicios Editoriales Generales Costa Blanca S.L.

ANEXOS

1. PLANOS

1.1. PLANO DE UBICACIÓN

1.2. PLANO TOPOGRAFICO

1.3. PLANO GEOMORFOLOGICO

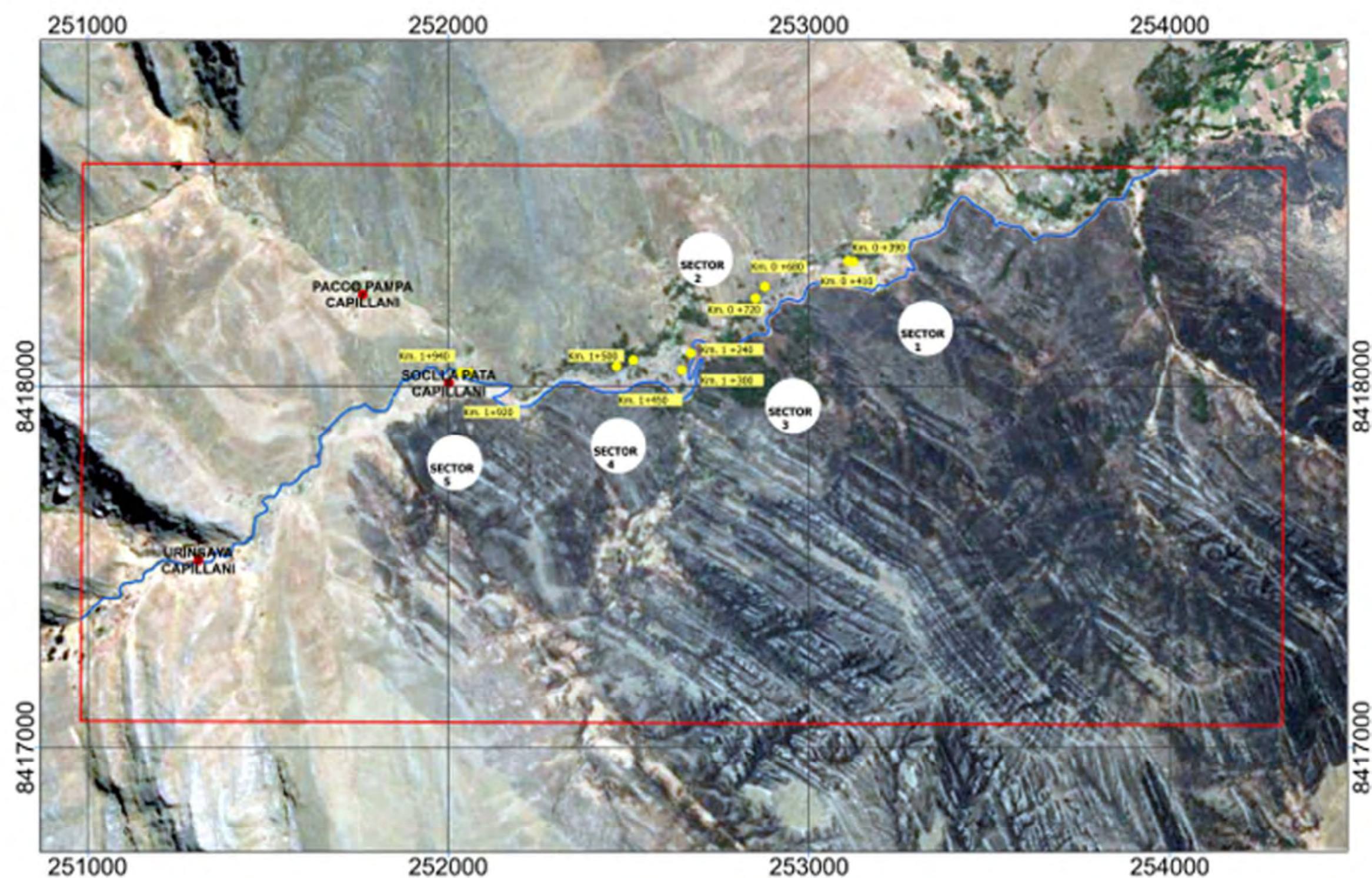
1.4. PLANO GEOLÓGICO

PLANO GEOMORFOLOGICO

PLANO GEOMECANICO-ESTRUCTURAL

PLANO GEOTECNICO

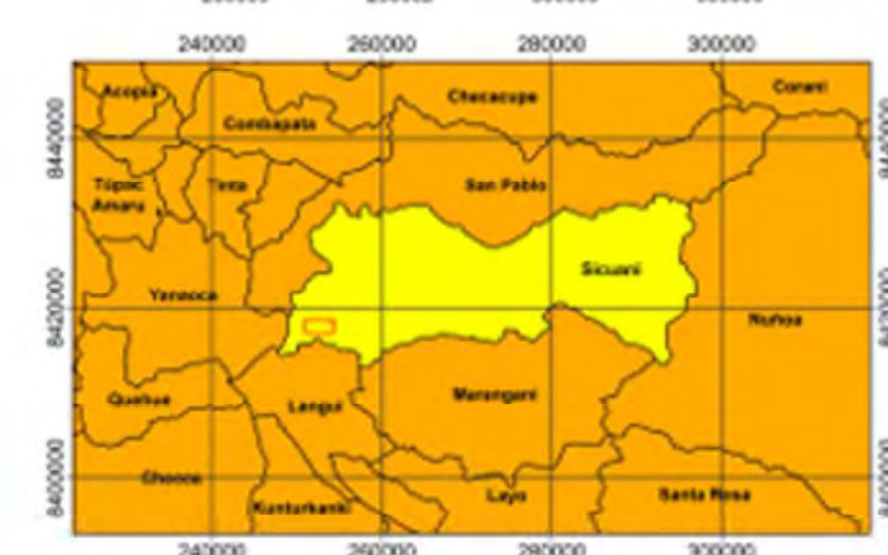
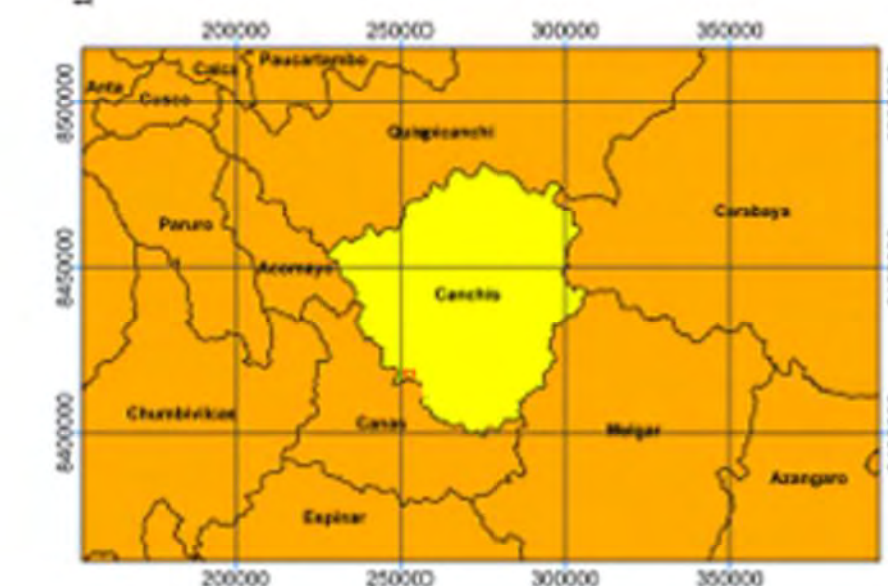
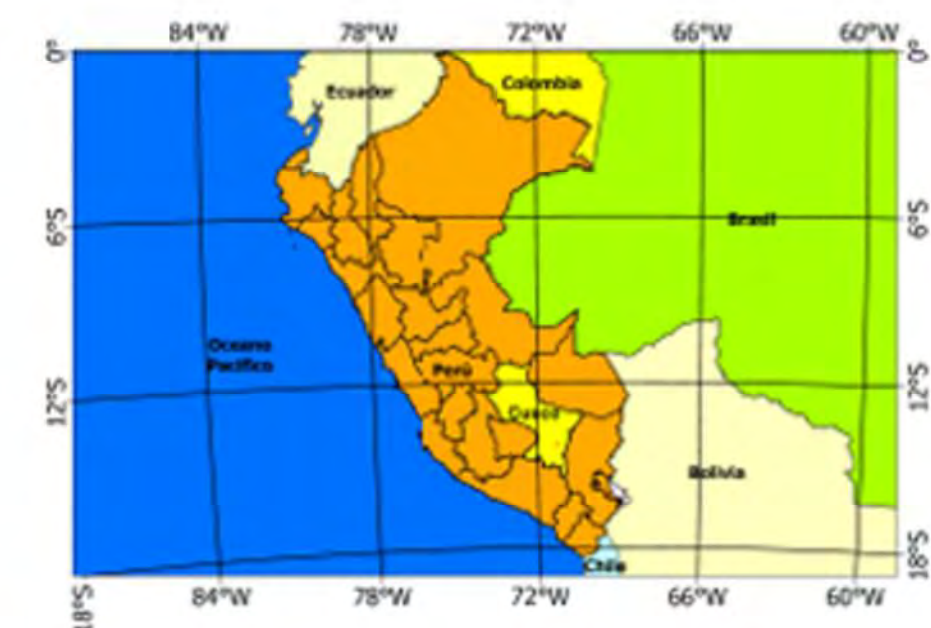
PANEL FOTOGRAFICO



LIMITE DEPARTAMENTAL

LIMITE PROVINCIAL

LIMITE DISTRITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS
ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA
SUYO-PATASUYO-CAPILLANI-SICUANI-CANCHIS-CUSCO

LEGENDA
Área de estudio
Centros poblados
Tramo de carretera
proyector

ESCALA:
NUMÉRICA 1/ 7800

SISTEMA:
WGS 84-19 S

PLANO DE UBICACIÓN DE LA
ZONA DE ESTUDIO

ELABORADO POR:
Bach. MILTON JHONY TINTA MONTESINOS

ASESOR:
Ing. Tomas Achanccaray Puma

ESCALA GRÁFICA:



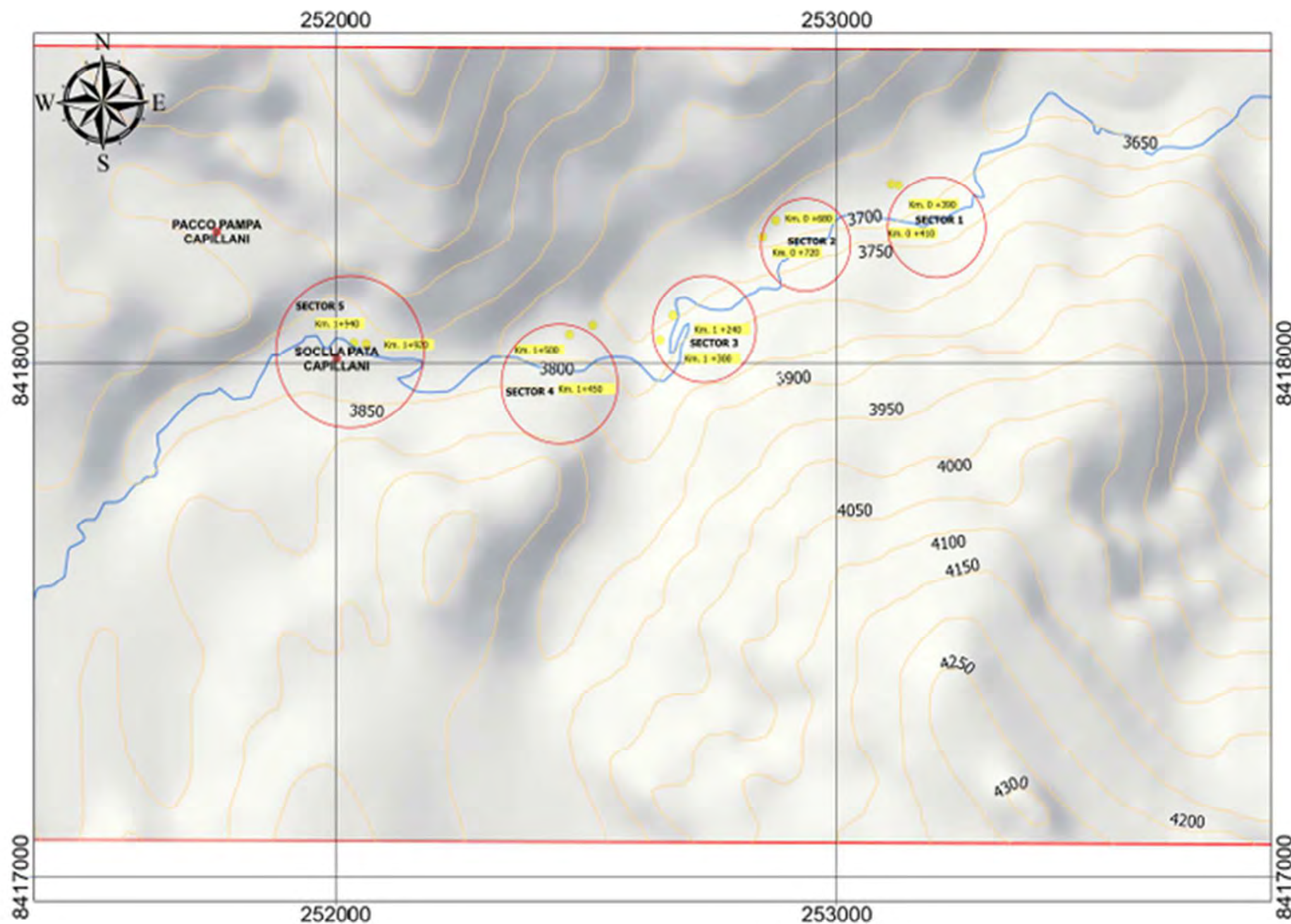
DEPARTAMENTO: CUSCO

PROVINCIA: CANCHIS

DISTRITO: SICUANI

LÁMINA:

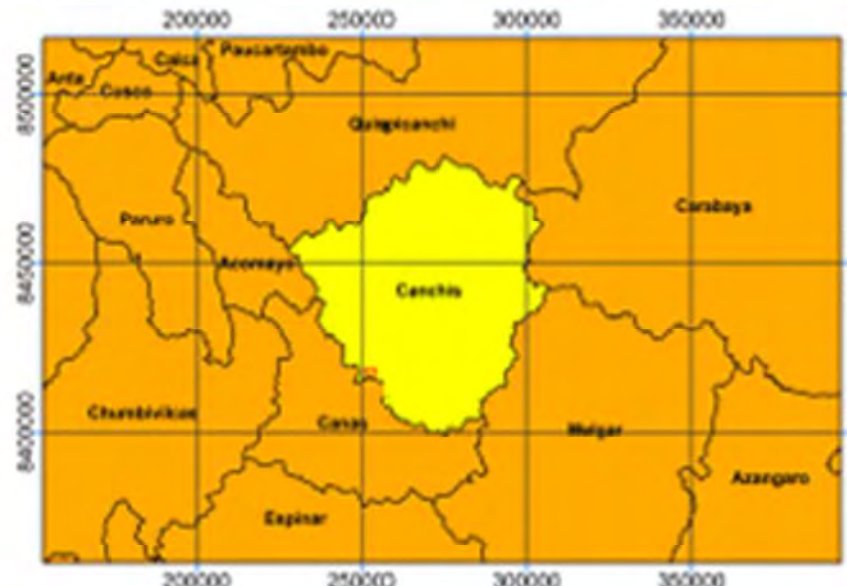
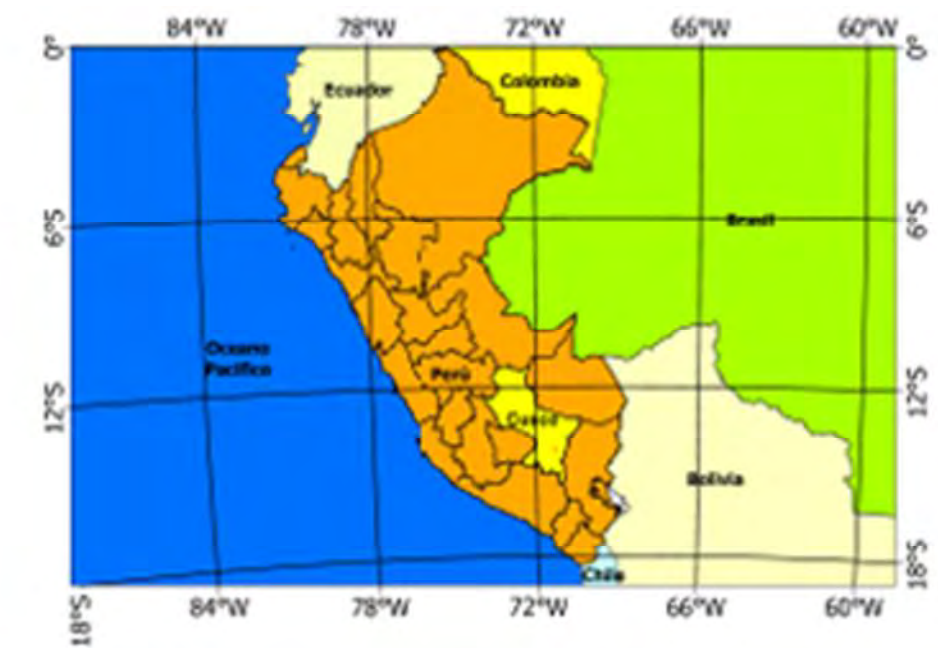
N° 01



LIMITE DEPARTAMENTAL

LIMITE PROVINCIAL

LIMITE DISTRITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS
ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA
SUYO-PATASUYO-CAPILLANI-SICUANI-CANCHIS-
CUSCO

SIMBOLOGIA
 Área de estudio
 Curvas de nivel
 Tramo de carretera
 Centros poblados
 progresivas

ESCALA: 1/5000

**PLANO TOPOGRÁFICO DE LA
ZONA DE ESTUDIO**

ELABORADO POR:
Bach. MILTON JHONY TINTA MONTESINOS

ASESOR:
Ing. Tomas Achanccaray Puma

DEPARTAMENTO: CUSCO

PROVINCIA: CANCHIS

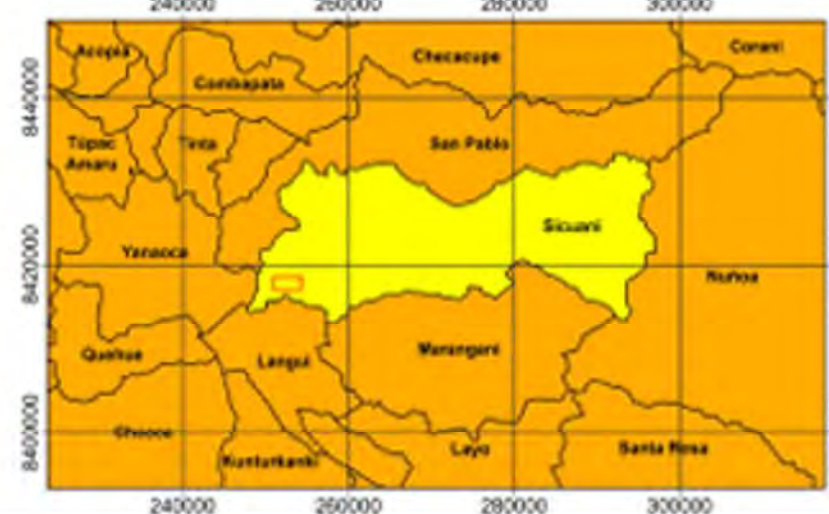
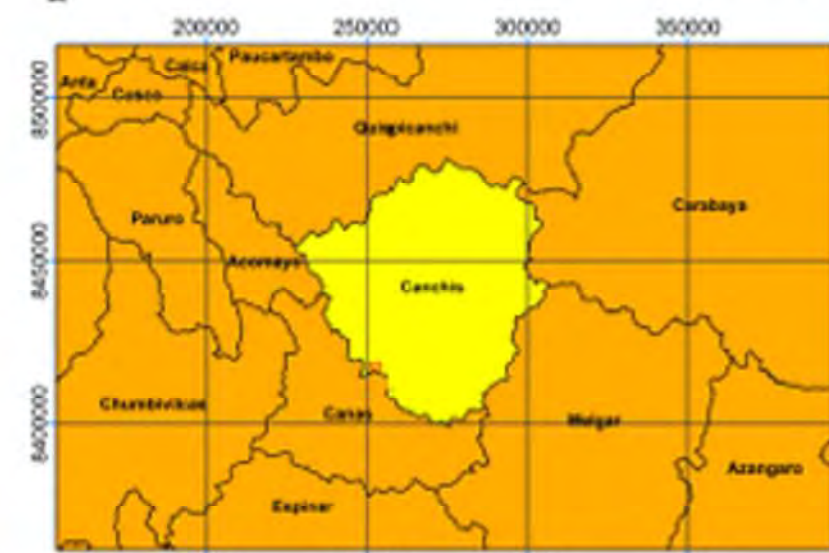
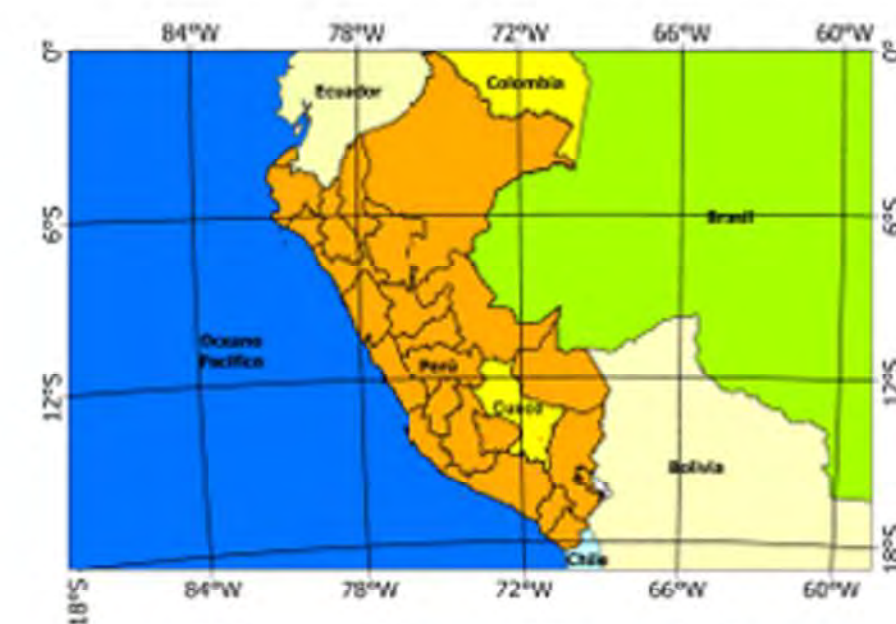
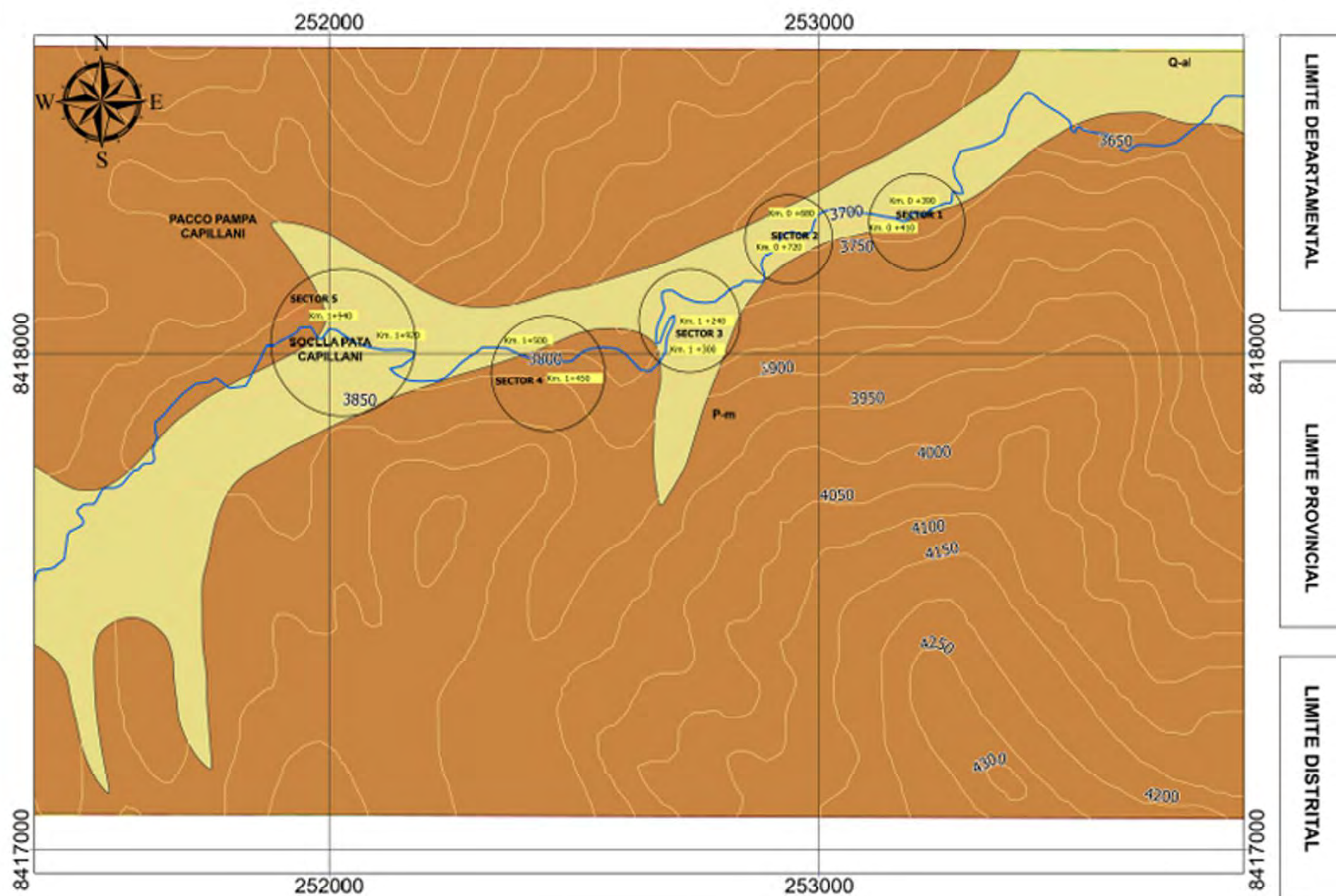
DISTRITO: SICUANI

LÁMINA:

N° 02

ESCALA GRÁFICA:





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS
ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA
SUYO-PATASUYO-CAPILLANI-SICUANI-CANCHIS-
CUSCO

ESCALA:
1/5000

SIMBOLOGIA
 Área de estudio
 Curvas de nivel
 Tramo de carretera
 Centros poblados
 progresivas

LEYENDA
 geomorfología
 Proclividad estructural en roca sedimentaria
 Sustrato o conglomerado antiguo

PLANO GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

ELABORADO POR:
Bach. MILTON JHONY TINTA MONTESINOS

ASESOR:
Ing. Tomas Achanccaray Puma

DEPARTAMENTO: CUSCO

PROVINCIA: CANCHIS

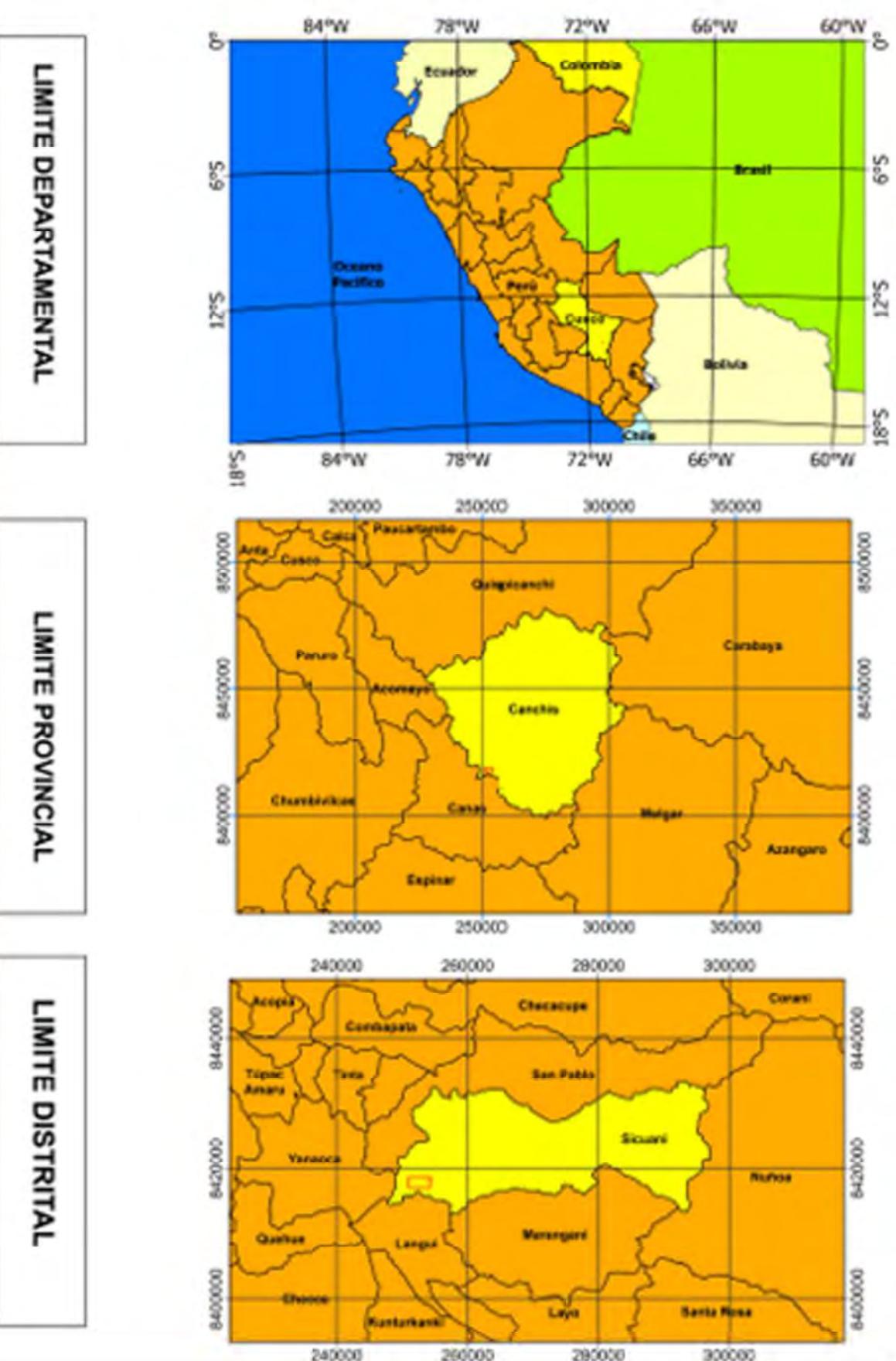
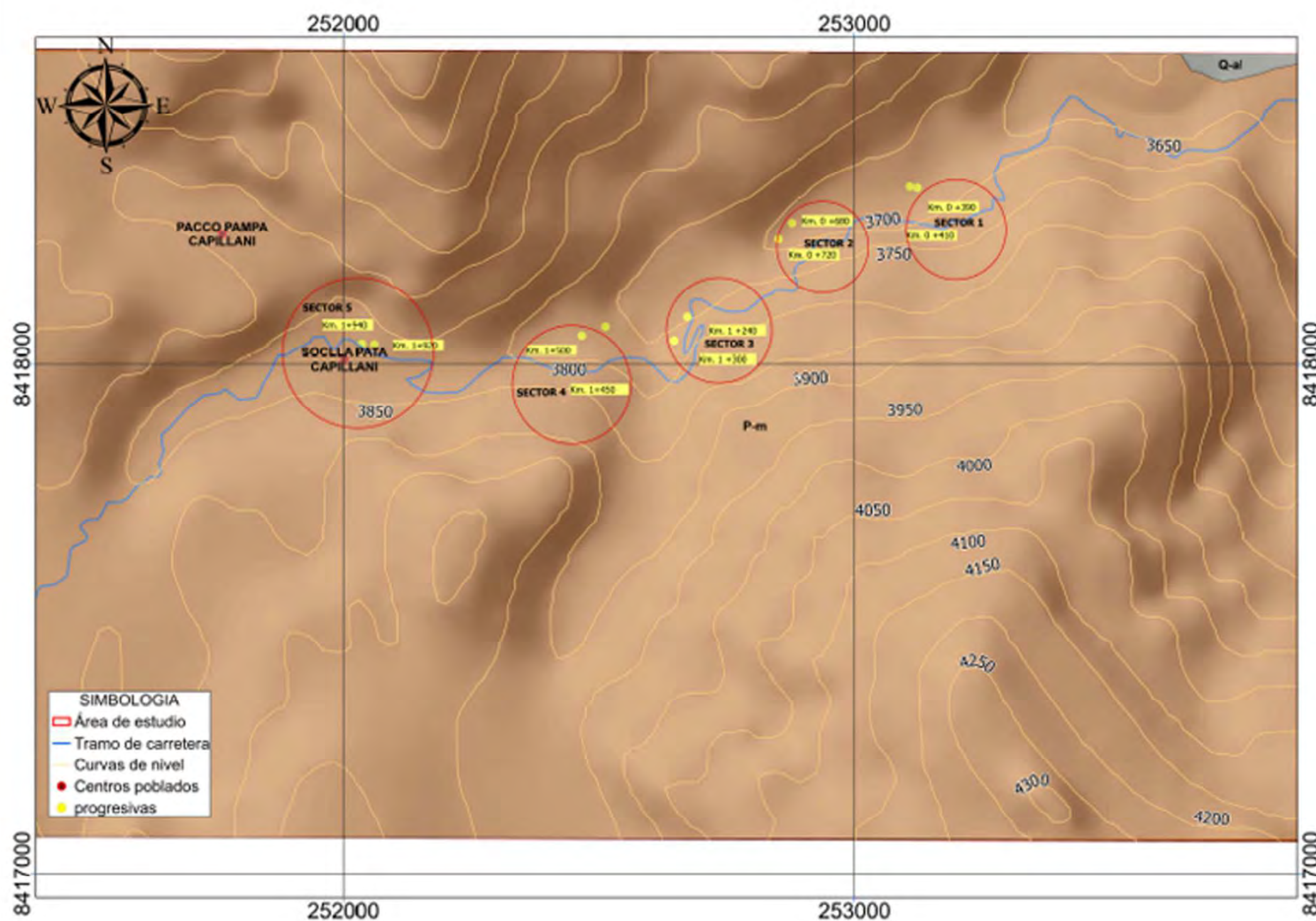
DISTRITO: SICUANI

LÁMINA:

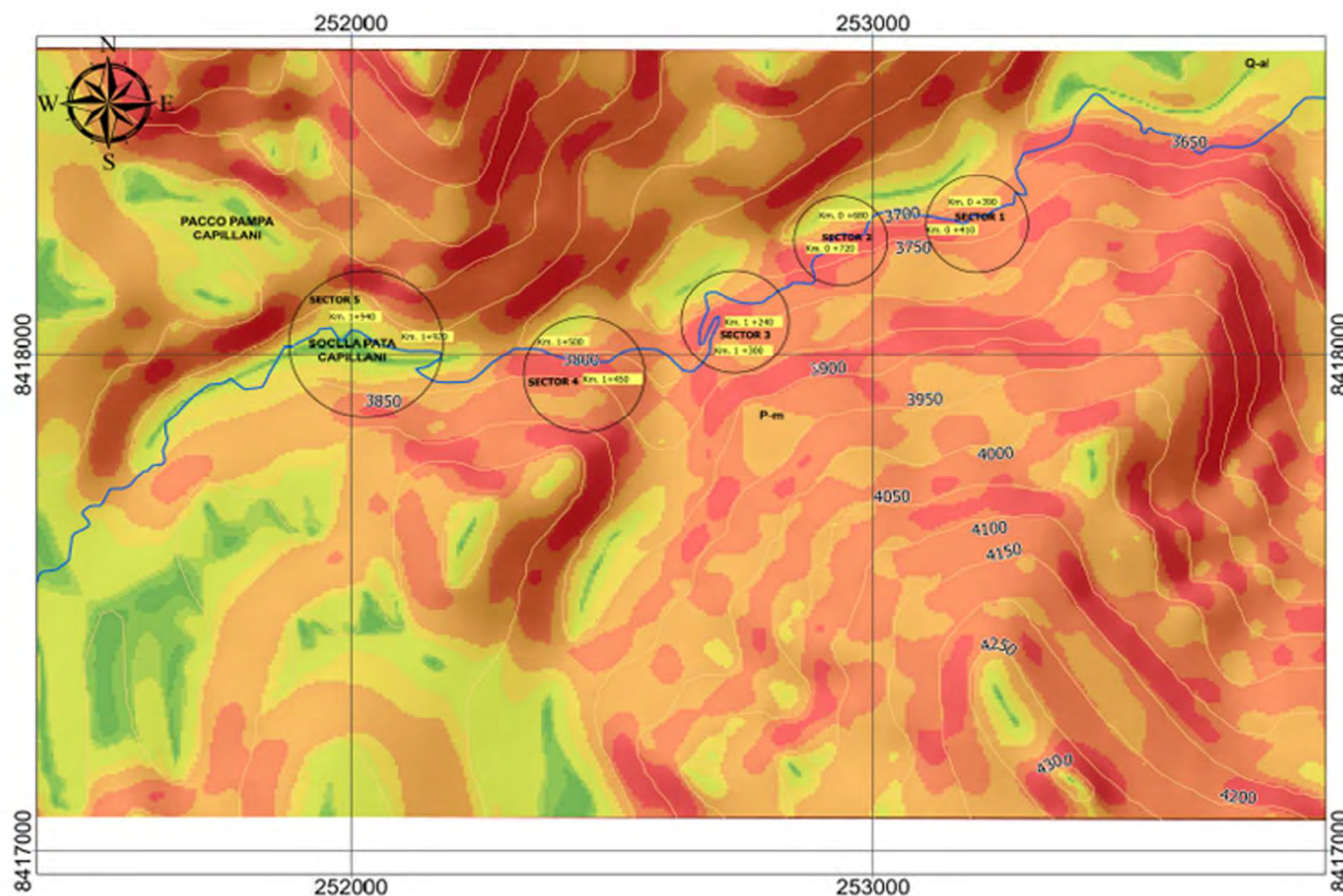
N° 03

ESCALA GRÁFICA:





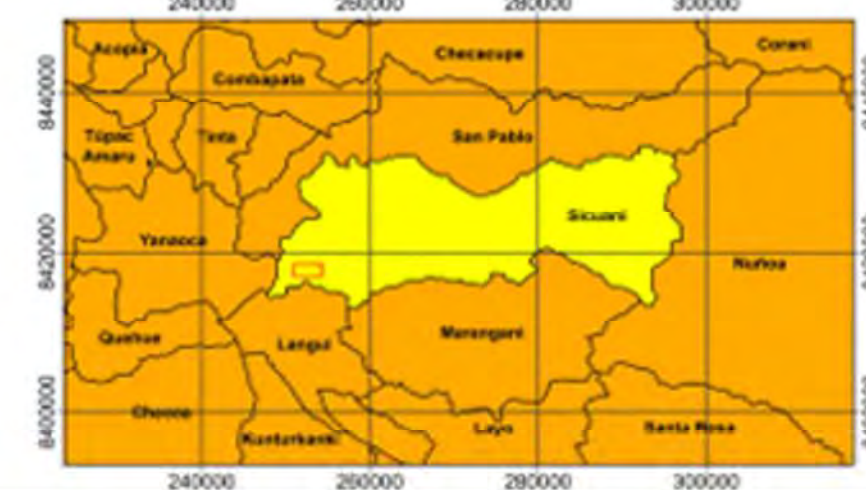
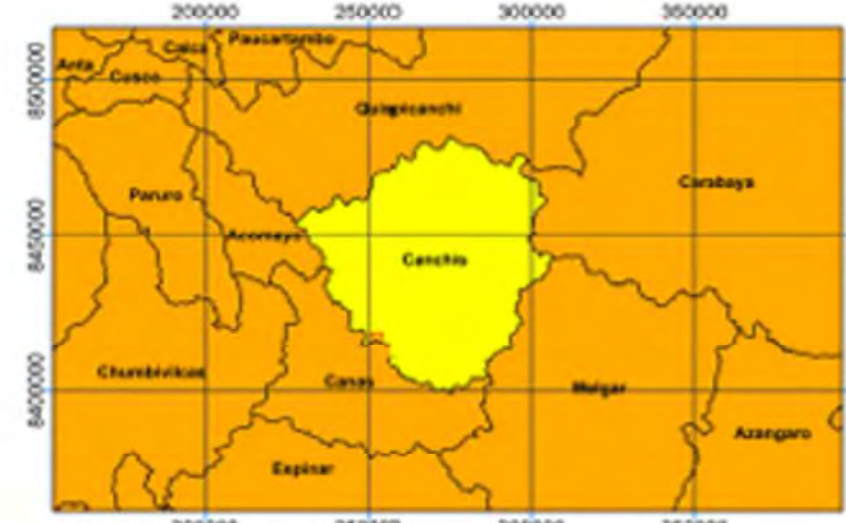
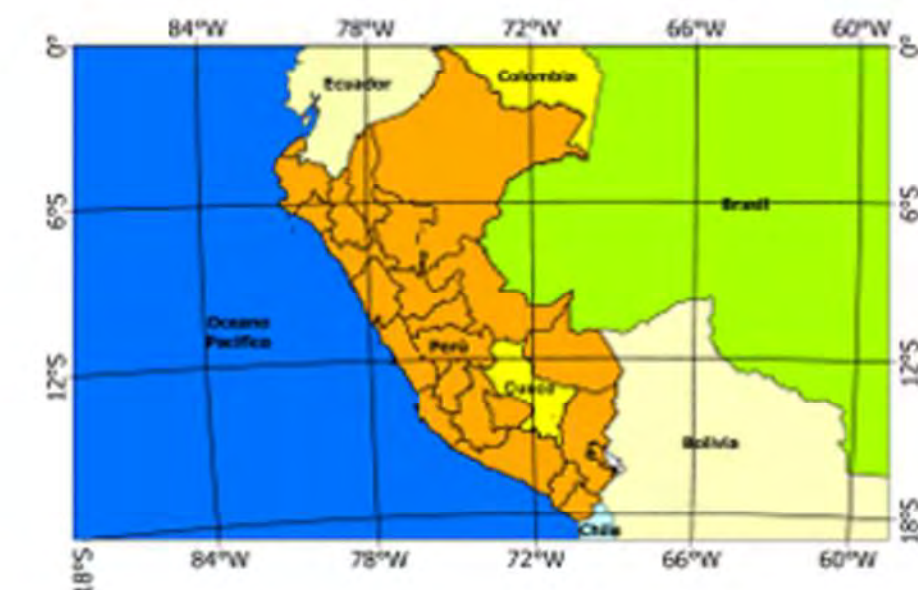
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS TESIS: ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA SUYO-PATASUYO-CAPILLANI-SICUANI-CANCHIS- CUSCO	Formaciones Geológicas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">Geología</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center;">Geología</td> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center;">Maciza</td> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Maciza</td> <td>Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.</td> </tr> </tbody> </table>	Geología			Geología	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.	PLANO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO ELABORADO POR: Bach. MILTON JHONY TINTA MONTESINOS ASESOR: Ing. Tomas Achancaray Puma ESCALA GRÁFICA: 0.35 0.175 0 0.35 0.7 1.05 1.4 Kilómetros DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CANCHIS DISTRITO: SICUANI LÁMINA: N° 04
	Geología																										
	Geología	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																								
Maciza		Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
Maciza		Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
Maciza		Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
Maciza		Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
Maciza	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									
	Maciza	Deposito eolico: Arena, limo y arcilla con coque subterráneo y fragmentos de diferentes composiciones.																									



LIMITE DEPARTAMENTAL

LIMITE PROVINCIAL

LIMITE DISTRITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

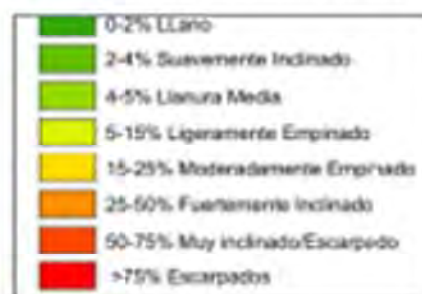


TESIS:
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE MACIZOS
ROCOSOS EN LA CONSTRUCCION DE LA CARRETERA
SUYO-PATASUYO-CAPILLANI-SICUANI-CANCHIS-
CUSCO

ESCALA:
1/5000

SIMBOLOGIA
Área de estudio
Curvas de nivel
Tramo de carretera
Centros poblados
progresivos
P-m: Formación Muñani
Q-al: Depósito aluvial

LEYENDA DE PENDIENTES(%)



PLANO DE PENDIENTES DE LA
ZONA DE ESTUDIO

ELABORADO POR:
Bach. MILTON JHONY TINTA MONTESINOS

ASESOR:
Ing. Tomas Achanccaray Puma

ESCALA GRÁFICA:



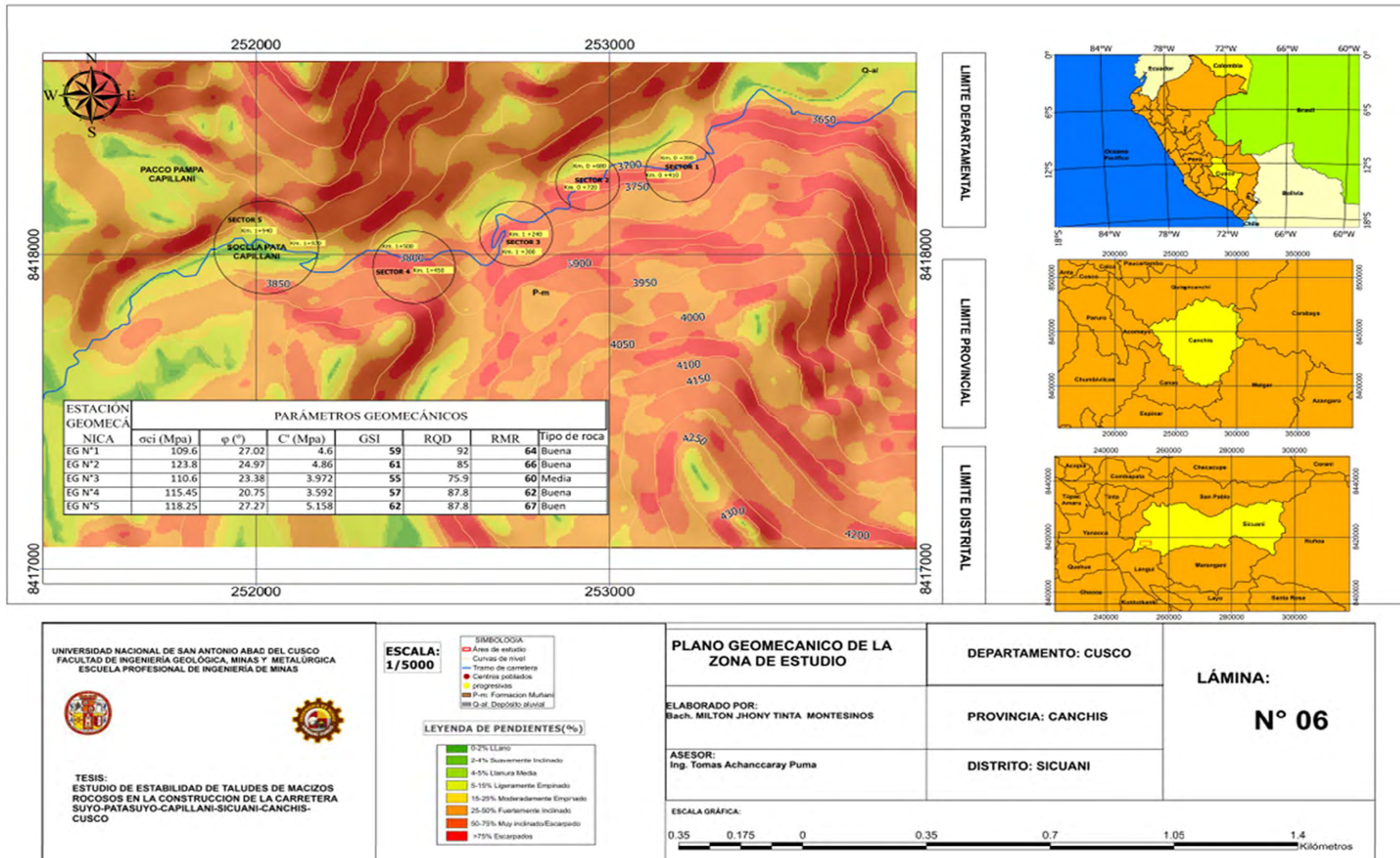
DEPARTAMENTO: CUSCO

PROVINCIA: CANCHIS

DISTRITO: SICUANI

LÁMINA:

N° 05



PANEL FOTOGRFICO



Figura 101:Extracción de muestra en laboratorio



Figura 102:Ensayo de compresión uniaxial



Figura 103: Ensayo de carga puntual



Figura 104: Medición e identificación de las características de discontinuidades



Figura 105: Medición con brújula Brunton

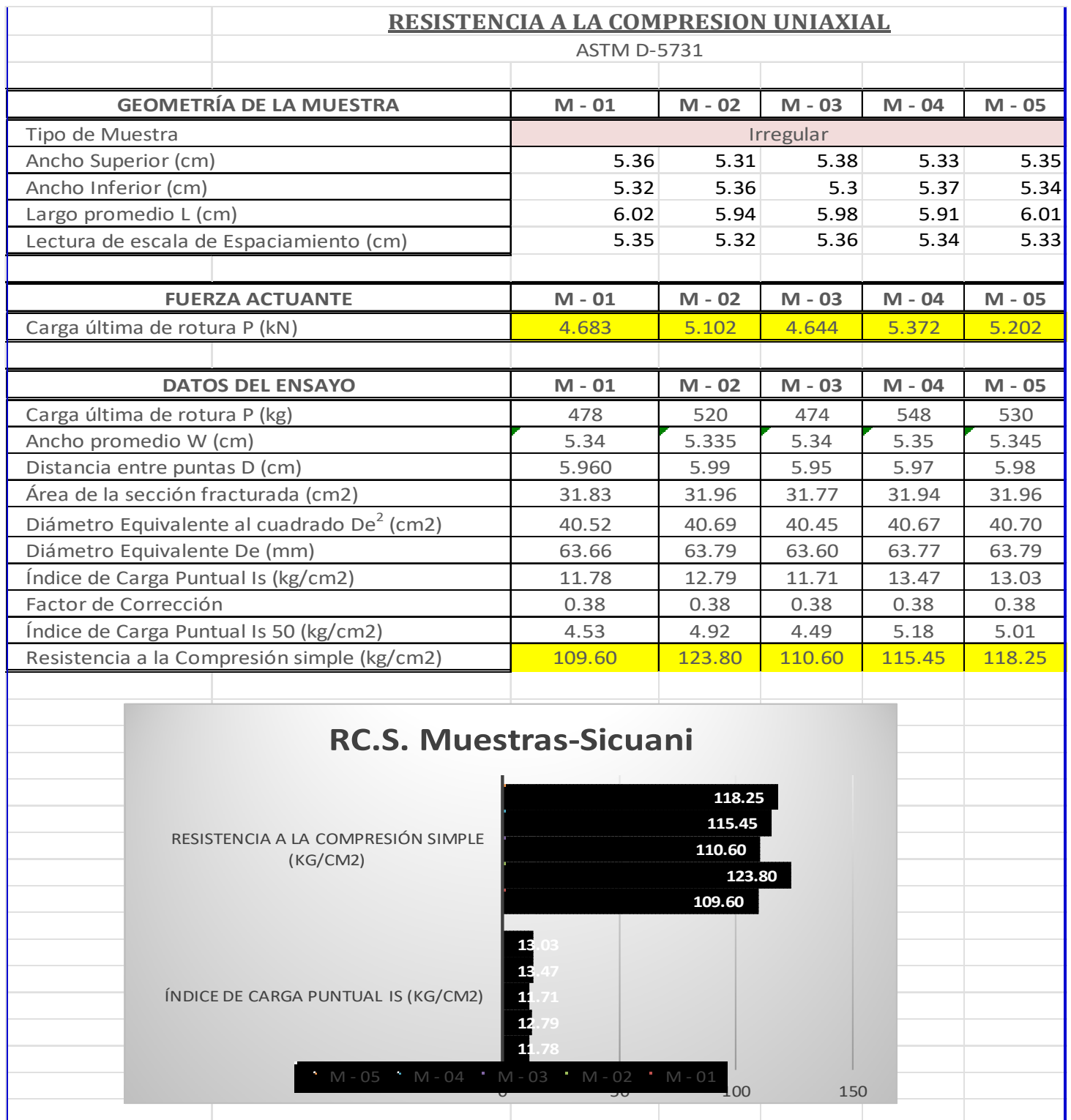


Figura 106: Resultados de parámetros de resistencia