

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA REDUCCION DEL
POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO
YAHUARMAQUI - URUBAMBA**

PRESENTADO POR:

BACH. ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

MGT. ODILON CONTRERAS ARANA

CUSCO – PERU

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Modelamiento geomecánico de taludes para reducción del potencial de riesgo al entorno Urbano en la carretera 35, Cerro Yahuarmaqui - Urubamba.

presentado por: bach. Alexander Montañas Valencia con DNI Nro.: 70486038 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero de Minas

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

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 se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica 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** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 20 de noviembre de 2024

[Firma]

Firma

Post firma: Adelino Contreras Acuña

Nro. de DNI: 23823356

ORCID del Asesor: 0000-0002-9164-1705

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.

2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259.407474367 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS FINAL OBSERVACIONES LEVANT
ADAS.pdf**

AUTOR

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

RECUENTO DE PALABRAS

22763 Words

RECUENTO DE CARACTERES

127514 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

157 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

17.7MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 20, 2024 9:32 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 20, 2024 9:34 AM GMT-5**● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

DEDICATORIA

Al gran maestro que fundo las bases de la Ingeniería Geotécnica Karl Von Terzaghy, en cuya ciencia encuentro mi fuente y mi futura vocación.

A mis Ingenieros que me enseñaron las bases de la Ingeniería geomecánica

A mis compañeros que me compartieron ese entusiasmo de aprender.

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres que dieron ese primer impulso de explorar esta maravillosa carrera, a mis maestros que durante estos años de estudio estuvieron presentes impulsándome a avanzar y aprender cada día más, A los ingenieros con los cuales labore que entregaron su experiencia en cada trabajo y me ayudaron a comprender de mejor manera el mundo de la Ing. De Minas y especialmente la Geotecnia, a todos mis amigos y compañeros de carrera con los que iniciamos esta travesía el 2011-1 que sea el inicio de muchos éxitos.

INTRODUCCION:

La geomecánica estudia la estabilidad de taludes en roca, esta ciencia deriva de la geotecnia, más antigua de donde se basan muchos de los estudios previos, la estabilidad de taludes representa uno de los factores mas importantes a la hora de realizar el diseño minero, ya sea con la ampliación de un pit, o reducir el volumen de material estéril incrementando los BFA (Bench face angle) y el OSA (Overall slope angle), ya que de esta seguridad de taludes depende la continuidad del trabajo, este estudio puede ser llevado a otros campos como la apertura de vías, túneles o taludes en laderas, así mismo puede llevarse al análisis de taludes en carreteras, a fin de mejorar la seguridad de los trabajadores y confiabilidad en el libre tránsito, la presente investigación realizara el modelamiento geotécnico del talud, evaluara el factor de Seguridad y su influencia en el potencial de riesgo que representa entorno urbano en el cerro Yahuarmaqui– Urubamba.

El objetivo es examinar las posibles áreas de inestabilidad en los taludes para evaluar el riesgo potencial que representan para la población cercana de Tarapata. Las zonas identificadas como críticas o de alta vulnerabilidad serán sometidas a un análisis enfocado en la reducción de la masa deslizante y en la implementación de banquetas, lo que aumentaría el factor de seguridad y, por lo tanto, disminuiría la vulnerabilidad en el entorno urbano. La metodología empleada será de tipo descriptiva.

Al igual que en los taludes mineros donde se busca la optimización del talud reduciendo los costos provenientes de cortes con ángulos más pronunciados y alturas de bancos mayores; en la presente tesis se busca modelar el talud a fin de garantizar la seguridad a la población aledaña, la cual permita los mantenimientos futuros y las medidas de control necesarias a fin de garantizar la continuidad del uso de la vía aledaña.

CAPITULO I: Comprende la problemática de la investigación donde se formulará el problema, los objetivos, justificación, alcances, limitaciones, variables e indicadores. Así mismo se planteará la hipótesis investigativa y la metodología de investigación.

CAPITULO II: Corresponde al marco teórico donde se expondrán los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y los términos básicos la cual es información teórica relevante sobre las variables en estudio.

CAPITULO III: Desarrolla los aspectos generales del área de estudio como la ubicación, accesibilidad, clima, geología, topografía y condiciones estructurales presentes, el capítulo presenta una secuencia de datos que bosquejan el escenario donde se realizó la investigación.

CAPITULO IV: El objetivo del capítulo es la obtención del modelamiento de taludes, se realizara secciones típicas en todo el área de estudio a fin de calcular los factor de seguridad base y sectorizar el área de estudio por zonas críticas, a partir de la sección base se generó los análisis de estabilidad, se muestran los resultados del levantamiento geomecánico de discontinuidades en las faldas del cerro Yahuarmaqui a partir de la celda de detalle las cuales se detallan en los anexos de la investigación, posteriormente se procedió con el análisis cinemático de taludes a fin de observar a que tipo de falla se está sometido y analizar el factor de seguridad respectivo.

Así mismo, se analiza los factores de seguridad de las secciones modeladas partiendo de distintos rangos de análisis, como es un análisis de banco y un análisis a talud global, se analizará el talud de una forma estática, Pseudoestatica y probabilística para posteriormente realizar el análisis de vulnerabilidad y potencial de riesgo al entorno urbano por medio de la matriz de riesgos.

CAPITULO V: Discusión de los resultados obtenidos y como el modelamiento de taludes influye en la variación del factor de seguridad, se realiza la comparación de los factores de seguridad obtenidos de la línea base respecto al modelo geométrico realizado, Así mismo se plantea las medidas de control respectivas a la erosión, caída de rocas y evacuación de aguas superficiales La investigación concluye con las conclusiones y recomendaciones.

RESUMEN:

El Perú es un país con una extensa zona montañosa donde recurrentemente se aprecian deslizamientos en meses de lluvia, los avances en geomecánica minera no son aplicados en el diseño de vías, el estudio de geomecánica de rocas puede ser llevado a este campo a fin de modelar adecuadamente los taludes en la montaña Yahuarmaqui, el cual presenta 2 fallas activas, con suelos pobres y rocas sueltas, así mismo la carretera departamental 35 pasa por las faldas de la montaña existiendo una zona urbana, la evaluación geomecánica señala que es necesario un adecuado diseño de taludes a fin de incrementar el factor de seguridad del talud y controlar el potencial de riesgo al entorno urbano. La zona en estudio se encuentra en un estado cerca al deslizamiento al tener un factor de seguridad cercano a uno, siendo un peligro para los habitantes de Tarapata. El presente estudio concluye que el factor de seguridad se ve influenciado por el diseño del talud así mismo por las condiciones geotécnicas propias del terreno.

Palabras Clave:

Factor De Seguridad, Potencial De Riesgo, Diseño De Talud

ABSTRACT

Peru is a country with an extensive mountainous area where landslides are frequently seen in rainy months. Advances in mining geomechanics are not applied in the design of roads. The study of rock geomechanics can be carried out in this field in order to model properly the slopes in the Yahuarmaqui mountain, which has 2 active faults, with poor soils and loose rocks, likewise the departmental highway 3S passes through the slopes of the mountain, existing an area urban in the base, the geomechanical evaluation indicates that an adequate design of slopes is necessary in order to increase the safety factor of the slope and control the potential risk to the urban area. The area under study is in a state close to landslide as it has a safety factor close to one, being a danger for the inhabitants of Tarapata. The present study concludes that the safety factor is influenced by the design of the slope as well as by the geotechnical conditions of the terrain.

Keywords:

Safety Factor, Probability of Failure, Slope Desing

INDICE GENERAL

CAPITULO I:	1
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACION	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	4
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	4
1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS	4
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
1.4. JUSTIFICACION	5
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.5.1. ALCANCES.....	6
1.5.2. LIMITACIONES.....	6
1.6. HIPOTESIS	7
1.6.1. HIPOTESIS GENERAL.....	7
1.6.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS.....	7
1.7. VARIABLES E INDICADORES	8
1.8. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	8
1.8.1. TIPO DE INVESTIGACION	8
1.8.2. NIVEL DE LA INVESTIGACION	8
1.8.3. POBLACION Y MUESTRA	8
1.8.4. TECNICA E INSTRUMENTACION DE RECOLECCION DE DATOS	9
1.8.5. PROCESAMIENTO DE DATOS	9
CAPITULO II:	10
MARCO TEORICO	10
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	10
2.1.1. A NIVEL NACIONAL	10
2.1.2. A NIVEL INTERNACIONAL.....	11
2.2. BASES TEORICAS	12
2.2.1. MODELAMIENTO GEOTECNICO DE TALUDES	12
2.2.2. CONDICIONES GEOLOGICAS.....	13
2.2.3. CONDICIONES ESTRUCTURALES.....	14
2.2.4. CONDICIONES GEOTECNICAS.....	14
2.2.5. CONDICIONES GEOMECANICAS	14
2.2.6. RIESGO POTENCIAL DE TALUDES	14
2.2.7. METODOLOGIA LEM	14
2.2.8. ANALISIS ESTATICO.....	15
2.2.9. ANALISIS PSEUDOESTATICO	15
2.2.10. ANALISIS CINEMATICO	16
2.2.11. CRITERIO DE ROTURA	17
2.2.12. ANALISIS DETERMINISTICO	18
2.2.13. ANALISIS PROBABILISTICO	19
2.3. TERMINOS BASICOS	19
2.3.1. TALUD	19

2.3.2.	FACTOR DE SEGURIDAD	20
2.3.3.	INESTABILIDAD.....	21
2.3.4.	ESTABILIDAD	21
2.3.5.	PROBABILIDAD DE FALLA	21
2.3.6.	ENTORNO URBANO	21
2.3.7.	VULNERABILIDAD.....	21
2.3.8.	SEVERIDAD.....	22
2.3.9.	PELIGRO	22
2.3.10.	RIESGO.....	22
2.3.11.	DESlizAMIENTO.....	23
CAPITULO III:.....		24
DIAGNOSTICO DEL AREA DE ESTUDIO.....		24
2.4.	UBICACIÓN	24
2.5.	ACCESIBILIDAD	26
2.6.	CLIMA	26
2.7.	GEOLOGIA	28
2.7.1.	GEOLOGIA REGIONAL	28
2.7.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	29
2.8.	TOPOGRAFIA DE LA ZONA.....	30
2.8.1.	RELIEVE TOPOGRAFICO – LEVANTAMIENTO FOTOGRAFICO	30
2.8.2.	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	31
2.9.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	35
2.10.	GEOMECANICA DE LOS MATERIALES.....	36
2.10.1.	EXCAVACION Y TOMA DE MUESTRAS.....	36
2.10.2.	ANCHOS ESTRATIGRAFICOS PRESENTES:	37
2.10.3.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS:.....	42
2.10.4.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECANICA DE ROCAS:	44
2.10.5.	SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO	45
2.10.6.	RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL AREA DE ESTUDIO	49
CAPITULO IV:.....		53
3.	MODELAMIENTO GEOTECNICO DE TALUDES Y DETERMINACION DE FACTOR DE SEGURIDAD .	53
3.1.	PROCESO DE MODELAMIENTO GEOTECNICO	53
3.2.	TOPOGRAFIA – RELIEVE.....	53
3.2.1.	SECCIONES TIPICAS:.....	53
3.3.	ANALISIS DE ESTABILIDAD BASE	57
3.3.1.	RESULTADOS DE LEVANTAMIENTO GEOMECANICO	57
3.3.2.	ANALISIS CINEMATICO DE TALUDES.....	59
3.4.	ANALISIS DE LINEA BASE EN TALUDES ACTUALES.....	65
3.4.1.	ANALISIS ESTATICO.....	65
3.4.2.	ANALISIS PSEUDOESTATICO	66
3.4.3.	ANALISIS DE RESULTADOS DE FACTOR DE SEGURIDAD	67
3.5.	SECTORIZACION DE ZONAS CRITICAS.....	67
3.5.1.	SECTORIZACION POR ZONAS CERCANAS A $FoS < 1$	69
3.6.	ANALISIS PROBABILISTICO DE SECCIONES CRITICAS	69
3.6.1.	DISTRIBUCIONES PROBABILISTICAS A USAR.....	69

3.6.2.	RESULTADOS DEL ANALISIS PROBABILISTICO	70
3.7.	PROPUESTAS DE DISEÑO GEOTECNICO DE TALUDES	71
3.7.1.	REDUCCION DE MASA DESLIZANTE	71
3.7.2.	REDUCCION DEL ANGULO DEL TALUD	73
3.8.	MODELAMIENTO GEOTECNICO DE TALUDES.....	74
3.8.1.	DISEÑO PROPUESTO	74
3.9.	ANALISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES Y REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO	84
3.9.1.	ANALISIS DE ESTABILIDAD EN DISEÑO PROPUESTO DE TALUDES	84
3.10.	REDUCCION DE POTENCIAL DE RIESGO	88
3.10.1.	ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO.....	90
3.10.2.	MATRIZ DE RIESGOS.....	92
3.10.3.	MATRIZ DE EVALUACION DE RIESGOS Y SU CONTROL APLICADO	94
CAPITULO V:	95
ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	95
4.1.	ANALISIS TECNICO	95
4.2.	COMPARATIVA DE FACTOR DE SEGURIDAD LINEA BASE RESPECTO A MODELO GEOTECNICO	96
4.3.	COMPARATIVA DE POTENCIAL DE RIESGO LINEA BASE RESPECTO A MODELO GEOTECNICO	97
4.4.	MEDIDAS DE CONTROL A ESTABLECERSE	98
4.4.1.	PROTECCION CONTRA LA EROSION	98
4.4.2.	PROTECCION CONTRA LA CAIDA DE ROCAS.....	99
4.4.3.	MEDIDAS DE EVACUACION DE AGUAS SUPERFICIALES	99
4.5.	PERSPECTIVA DE LOGRAR LA ESTABILIDAD DE TALUDES	100
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	103
ANEXOS	104
ANEXO N°1: SECCIONES DE ANALISIS.....	104
ANEXO N°3: ENSAYOS DE LABORATORIO	114

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: VARIABLES E INDICADORES	8
TABLA 2: COORDENADAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
TABLA 3: ACCESIBILIDAD A LA ZONA	26
TABLA 4: UBICACIÓN DE ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA URUBAMBA	26
TABLA 5: CARGA NORMAL Y CORTANTE EN MUESTRAS	42
TABLA 6: RESULTADOS CORTE DIRECTO EN CALIZAS Y DOLOMITAS	44
TABLA 7: RESUMEN DE DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS EN CAMPO	57
TABLA 8: RESULTADOS DE FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	65
TABLA 9: RESULTADOS DE FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTÁTICO	66
TABLA 10: DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA DE CALIZA	69
TABLA 11: DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA DE LUTITA	70
TABLA 12: TABLA RESUMEN DE PROBABILIDADES DE FALLA POR SECCIÓN.	71
TABLA 13: VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO POR SECCIÓN	73
TABLA 14: RESULTADOS COMPARATIVOS DE DISEÑO DE TALUDES EN CRESTA Y BASE DE MONTAÑA	75
TABLA 15: DETALLE DE VIVIENDAS EN EL SECTOR DE TARAPATA	92
TABLA 16: MATRIZ DE RIESGOS LÍNEA BASE	93
TABLA 17: VALORACIÓN DE RIESGOS SEGÚN GUÍA PMBOOK	93
TABLA 18: MATRIZ DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN	94
TABLA 19: MATRIZ COMPARATIVA DE LÍNEA BASE RESPECTO AL DISEÑO PROPUESTO	96
TABLA 20: MATRIZ COMPARATIVA DE POTENCIAL DE RIESGO RESPECTO A LA LÍNEA BASE	97

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1: FOTO DE ZONA PREVIAMENTE DESLIZADA	3
FIGURA 2: TALUDES EN BASE CON PIEDRA DE MONTAÑA YAHUARMAQUI	4
FIGURA 3: PROCESO DE MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES, FUENTE LIBRO. OPEN PIT PLANNING AND DESING	13
FIGURA 4: METODOLOGÍA LEM Y ANÁLISIS DE FUERZAS EN DOVELAS.....	15
FIGURA 5: MODOS DE FALLA DE TALUDES DE ROCA	16
FIGURA 6: CRITERIO DE ROTURA DE MOHR – COULOMB	17
FIGURA 7: INGRESO Y SALIDA DE DATOS EN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO	18
FIGURA 8: INGRESO Y SALIDA DE DATOS EN UN ANÁLISIS PROBABILÍSTICO.....	19
FIGURA 9: PARTES DE UN TALUD	19
FIGURA 10: PARTES DE UN TALUD NATURAL Y ARTIFICIAL	20
FIGURA 11: SIMULACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS ROCKFALL.....	23
FIGURA 12: ZONA DE MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN, CERRO YAHUARMAQUI	25
FIGURA 13: UBICACIÓN DISTRITAL DE LA MUESTRA DE TESIS Y CARRETERA 3S.....	25
FIGURA 14: BOX PLOT LLUVIAS POR MES AÑO 2022.....	26
FIGURA 15: BOX PLOT MESES DE LLUVIA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA URUBAMBA	27
FIGURA 16: TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS, ESTACIÓN URUBAMBA AÑO 2022	28
FIGURA 17: GEOLOGÍA LOCAL	29
FIGURA 18: PRESENCIA DE ROCA CALIZA EN LA PARTE BAJA DEL CERRO YAWARMAQUI	30
FIGURA 19: ZONA DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	31
FIGURA 20: NUBE DE PUNTOS DENSA GENERADA CON EL PROGRAMA AGISOFT	32
FIGURA 21: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES.....	32
FIGURA 22: CURVAS DE NIVEL GENERADAS CON EL SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D	33
FIGURA 23: PLANO CURVAS DE NIVEL CERRO YAHUARMAQUI.....	34
FIGURA 24: FORMACIONES GEOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	35
FIGURA 25: FOTOGRAFÍAS DE ANHIDRITA PRESENTE EN LA MUESTRA DE ESTUDIO.....	36
FIGURA 26: CALICATA NRO 01/ MUESTRA EXTRAÍDA	37

FIGURA 27: AFLORAMIENTOS DE CALIZA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA MONTAÑA	38
FIGURA 28: ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO SEGÚN LÍNEA DE DETALLE PARA CALCULO DE BUZAMIENTOS DE ESTRATOS	39
FIGURA 29: PERFIL ESTRATIGRÁFICO PARA LA ZONA DEL CERRO YAWARMAQUI	39
FIGURA 30: DOMINIO ESTRUCTURALES, FUENTE (VALENCIA, ALMANZA,2023)	40
FIGURA 31: PERFIL LITOLÓGICO POR SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL,	40
FIGURA 32: PERFIL GEOLÓGICO PLANTEADO PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	42
FIGURA 33: GRAFICO ESFUERZO NORMAL Y CORTANTE	43
FIGURA 34: CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACIÓN DEL SUELO	44
FIGURA 35: CURVA DE HOEK Y BROWN PARA ROCA CALIZA.....	45
FIGURA 36: MAPA SISIMICO DEL PERÚ, FUENTE IGP	46
FIGURA 37: MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL PERÚ	47
FIGURA 38: MAPA DE MÁXIMAS INTENSIDADES FUENTE SISMO DEL 21 DE MAYO 1950 E SILGADO, J. FERNÁNDEZ	47
FIGURA 39: ACELERACIÓN SÍSMICA ESPERADA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS	49
FIGURA 40: BOX PLOT MESES DE LLUVIA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA URUBAMBA	51
FIGURA 41: MODELO TIN GENERADO PARA LAS SECCIONES TRANSVERSALES	54
FIGURA 42: VISTA 3D DEL ENTORNO ANALIZADO	55
FIGURA 43: RMR BÁSICO DE BIENIAWSKI 1989	58
FIGURA 44: FOTOGRAFÍA AÉREA DE LAS PARTES BAJAS DE LOS TALUDES Y DETALLE DE DISCONTINUIDADES.	58
FIGURA 45: TEST DE MARKLAND	59
FIGURA 46: TEST DE HOCKING PARA FALLA EN CUÑA.....	60
FIGURA 47: TEST DE GOODMAN PARA FALLA EN VUELCO.....	61
FIGURA 48: ZONAS CON FALLA CIRCULAR	61
FIGURA 49: SECCIÓN ANALIZADA PARA BACK-ANÁLISIS	62
FIGURA 50: RELIEVE TOPOGRÁFICO SECCIÓN M,	63
FIGURA 51: SECCIÓN M ANALIZADA EN SLIDE V6	63
FIGURA 52: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD- COHESIÓN.....	64
FIGURA 53: ANALISIS DE SENSIBILIDAD - FRICCIÓN	64
FIGURA 54: DETALLE DE SECCIONES CRITICAS (ROJO) Y SECCIÓN YA DESLIZADA (AMARILLO)	67
FIGURA 55: PLANO DE SECCIONES Y ANÁLISIS DE ZONAS CRITICAS.....	68
FIGURA 56: PROBABILIDAD DE FALLA SECCIÓN P	70
FIGURA 57: RANGO DE VALORES DE ACEPTACIÓN PARA FACTOR DE SEGURIDAD, FUENTE OPEN PIT PLANNING AND DESIGN	71
FIGURA 58: SECCIONES TRANSVERSALES CRÍTICAS DEL TALUD ACTUAL CON MENOR FS<1.5	72
FIGURA 59: TALUDES EXISTENTES PREVIAMENTE REALIZADOS.....	74
FIGURA 60: COMPARATIVA DE DISEÑO DE TALUDES EN CRESTA Y BASE DE LA MONTAÑA.....	75
FIGURA 61: DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN CON USO DE GEOTEXTIL.....	76
FIGURA 62: SIMULACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS EN LA SECCIÓN P.....	77
FIGURA 63: UBICACION FINAL DE CAÍDA DE ROCAS RESPECTO A LA DISTANCIA HORIZONTAL	78
FIGURA 64: BARRERA DINÁMICA	78
FIGURA 65: ALTURA DE REBOTE Y ENERGÍA CINÉTICA DE ROCA RESPECTO A LA DISTANCIA HORIZONTAL	79
FIGURA 66: ÁREA CRITICA PARA DISEÑO DE CUNETAS.....	80
FIGURA 67: DISEÑO PLANTEADO PARA CANAL DE CORONACIÓN	80
FIGURA 68: DISEÑO FINAL PLANTEADO DE TALUDES.....	82
FIGURA 69: VISUALIZACIÓN 3D DE TALUDES	83
FIGURA 70: DISEÑO GEOMÉTRICO DE TALUD CON 3 BANCOS.....	84
FIGURA 71: TALUDES EXISTENTES EN BASE DE CERRO YAHUARMAQUI. PRIMERA CURVA EN U.....	87
FIGURA 72: MARCO DE GESTION DE RIESGOS, FUENTE, FEDERAL GUIDELINES FOR DAM SAFETY RISK MANAGEMENT	89
FIGURA 73: CENTRO POBLADO DE TARAPATA AÑO 2011	90
FIGURA 74: CENTRO POBLADO DE TARAPATA AÑO 2023	90
FIGURA 75: VIVIENDAS EN EL ENTORNO URBANO DEL SECTOR DE TARAPATA CERCANOS A LA ZONA CRITICA	91
FIGURA 76: COMPARATIVA ANALISIS PSEUDOESTATICO SIN DISEÑO APLICADO Y CON DISEÑO APLICADO	97
FIGURA 77: BARRERA DINÁMICA POSICIONADA EN EL TERCER BANCO.....	99
FIGURA 78: DETALLE DE CANAL DE CORONACIÓN	99

CAPITULO I:

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el territorio nacional a lo largo de la construcción de taludes en suelos y rocas debido al trazo ya existente de las carreteras, no se cuenta con un adecuado diseño de taludes contando generalmente con un diseño de estabilidad geotécnico preestablecido que indica lo siguiente, “alturas mayores a 7m se deben de generar banquetas” según la DG2014.

Los avances en geomecánica minera son extensos, pudiendo ya realizar la predicción de caída de rocas, el análisis exhaustivo de energía potencial gravitatoria que podría poseer una roca cayendo desde una cierta altura del talud, así mismo un análisis completo de vulnerabilidad y diseño de taludes dependiendo de la zona, caracterizándolo por el grado peligro que representa ante un posible deslizamiento. Esto es contradictorio con las carreteras nacionales donde cada año se experimenta deslizamientos continuos debido a diseños mal realizados o no calculados. Los taludes diseñados en minería cumplen con diversos parámetros los cuales deben ser controlados meticulosamente a fin de garantizar la transitabilidad en rampas o zonas de acceso principales en tajo abierto, el diseño de taludes en minería contempla el levantamiento de discontinuidades mayores, menores, análisis cinemático de fallas, ensayos de campo, y un modelamiento donde se pueda observar la falla más susceptible del talud a fin de ubicar las zonas críticas y presentar una solución con pernos de anclaje, muros de contención, malla electrosoldada, etc. Así mismo se hace un seguimiento continuo de los

taludes a fin de observar deformaciones del macizo rocoso que puedan generar deslizamientos o caídas de rocas.

Los taludes diseñados dentro de la región del Cusco presentan serias deficiencias debido al bajo nivel de adiestramiento con la cual son diseñadas y al poco criterio aplicado en la normativa de diseño de taludes CE 020.

En la región del Cusco, se observan deslizamientos típicos en los taludes cercanos a las carreteras, lo que representa una gran preocupación para las autoridades locales, especialmente durante la temporada de lluvias. Estos deslizamientos no solo afectan los taludes, sino también las edificaciones ubicadas en las laderas. El tramo en cuestión fue previamente analizado por el Ing. Manuel Vílchez, quien indicó que “el tramo de carretera que conecta con Urubamba presenta cinco áreas con derrumbes en los taludes superiores de la carretera, asentamientos en acantilados que afectan la carretera en diversos puntos, y un substrato comprometido de capas rojas” (Vílchez, 2015). Generalmente, los taludes construidos durante la edificación de carreteras son de terrenos naturales, sin soporte o refuerzo, a menos que se determine lo contrario a través de un estudio de estabilidad de taludes. Las soluciones más comunes suelen consistir en reducir el ángulo del talud o en la creación de banquetas. Sin embargo, alternativas más efectivas, aunque más costosas, no se contemplan en el expediente técnico original de la vía, lo que requiere la realización de un estudio adicional para identificar la mejor solución para el sostenimiento de los taludes.

Un diseño adecuado de los taludes, basado en los principios de la geomecánica minera, brindaría mayor confianza y seguridad en cualquier tramo vial. Actualmente, existe una problemática considerable respecto a la estabilidad de los taludes en la bajada hacia Tarapata Urubamba, un área que cubre el tramo de la carretera departamental 3S, entre los kilómetros 40 y 42, en el trayecto Cusco - Urubamba. Esta zona enfrenta un rápido crecimiento urbanístico, presenta curvas pronunciadas y taludes que superan los 10 metros de altura. Muchos de estos taludes ya presentan signos de inestabilidad, que se ven exacerbados por la actividad sísmica en la región, y carecen de un análisis de estabilidad que determine su nivel de seguridad. Asimismo, se reportan caídas frecuentes de rocas y deslizamientos de grandes volúmenes de tierra, especialmente arcillas, durante la temporada de lluvias, junto con la presencia de fallas activas que causan deslizamientos esporádicos incluso sin la presencia de sismos. Como evidencia de esta problemática, se dispone del estudio realizado por INGEMMET, publicado en el boletín A7075 titulado "Evaluación de peligros geológicos por

derrumbe en el cerro Yahuarmaqui", donde se describe los peligros geológicos propios de la zona en estudio. Se describe textualmente lo siguiente "El 31 de marzo, la ladera suroeste del cerro Yawarmaqui (flanco izquierdo del deslizamiento antiguo) se reactivó en derrumbe producto de las precipitaciones pluviales intensas, coadyuvado principalmente por la pendiente empinada (65°) y material de fácil erosión - remoción (limos y arcillitas) correspondiente a la Formación Maras" (Informe técnico N°7075 – 2020). Existe un potencial de riesgo para un deslizamiento que afecte directamente el entorno urbano en el centro poblado de Tarapata, debido a los factores antes mencionados el cual debería de ser evaluado a fin de conocer sectores críticos y su posible remediación por medio del estudio de estabilidad de taludes.

Tomando en consideración todo lo anteriormente expuesto es de necesidad el modelamiento geotécnico de taludes que pueda incrementar el factor de seguridad y disminuir el potencial de riesgo que este representa a la comunidad de Tarapata.

Figura 1: Foto de zona previamente deslizada



Fuente: Informe INGEMMET A7075

Figura 2: taludes en base con piedra de montaña Yahuarmaqui



Fuente: foto propia realizada para Fotogrametria

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ◆ ¿Cómo influye las condiciones geomecánicas y el modelamiento geotécnico en el factor de Seguridad, la estabilidad de taludes y la reducción del potencial de riesgo a lo largo de la carretera 3S- Tramo Urubamba Cusco - Cerro Yahuarmaqui?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ◆ ¿Cómo influye el modelamiento geotécnico y las condiciones geomecánicas de los taludes en la variación del factor de seguridad?
- ◆ ¿Cómo reducir el potencial de riesgo debido a la inestabilidad de los taludes en el área de estudio?
- ◆ ¿Cuáles serían las medidas de control para mantener la estabilidad de los taludes?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Realizar el modelamiento geomecánico de los taludes para el incremento del factor de seguridad y reducción del potencial de riesgo en la carretera 3s, tramo del cerro Yahuarmaqui

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ♦ Determinar los sectores de taludes más críticos y proponer el diseño geotécnico de taludes que incremente el factor de seguridad.
- ♦ Evaluar los sectores de taludes más críticos y reducir el potencial de riesgo por inestabilidad de los taludes mediante el modelamiento geomecánico en el área de estudio.
- ♦ Proponer las medidas de control para la estabilidad de taludes.

1.4. JUSTIFICACION

Actualmente la aplicación de la mecánica de suelos unitariamente ya no satisface los requerimientos necesarios para garantizar la seguridad de los taludes, la cual también debe ser analizada desde el enfoque de la mecánica de rocas. Un adecuado diseño de taludes el cual contemple los parámetros propios de esta ciencia y que combinados con la mecánica de suelos den un resultado propicio para un posterior diseño.

El área en análisis constituye un riesgo de deslizamiento que pone en peligro tanto la seguridad de los residentes de la zona como la circulación en la vía Cusco – Urubamba, El impacto podría ocurrir ante un posible sismo que provocaría el deslizamiento de grandes volúmenes de roca y tierra. Un factor clave a considerar es la presencia de dos fallas activas que atraviesan tanto la vía como la zona urbana. Por lo tanto, es necesario evaluar el entorno urbano desarrollado y dividirlo en áreas críticas, según el grado de estabilidad que presenten los taludes en cada sector.

El primer objetivo es buscar la aplicación del modelado geotécnico de taludes mineros en el sector de la carretera 3S, Los beneficiarios directos serán los moradores que tendrán el conocimiento de las zonas críticas y el potencial de deslizamiento probable de los taludes frente a un eventual sismo, Así mismo se salvaguardaría la operatividad de la carretera Cusco –Urubamba frente a la caída de rocas y deslizamientos.

Actualmente se cuenta con diversos estudios tanto Geológicos Y geotécnicos en zonas cercanas al área de estudio publicados por el INGEMMET para el distrito de Urubamba, Así mismo se cuenta con estudios similares realizados en otras zonas del Perú como son los acantilados de la costa Verde. Los recursos materiales necesarios serán de equipos topográficos a fin de realizar un levantamiento de la superficie de los taludes, así mismo será necesario ensayos de laboratorio a fin de conocer características mecánicas de los materiales.

La presente investigación serviría de base para futuras consideraciones en el diseño de taludes en el tramo de la carretera Cusco Urubamba 3S, Así mismo delimitaría la expansión urbana (PDU) en el cerro Yawarmaqui al tener los taludes críticos y sus límites de deslizamiento. La zona en estudio serviría además para futuros construcciones de carreteras con condiciones geológicas similares.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. ALCANCES

La presente Investigación posee como alcance el análisis de estabilidad de los taludes presentes en la carretera 3S, cerro Yawarmaqui, esta será llevado a un nivel descriptivo por que se analizara las propiedades y características importantes de las variables en estudio. La tesis se basará en fuentes primarias de estudios previos.

1.5.2. LIMITACIONES

Las limitaciones del estudio estarán vinculadas a la estratigrafía geológica, debido a la imposibilidad de realizar excavaciones superiores a 1.5 m de profundidad en las calicatas. Esto hace necesario el uso de métodos geofísicos costosos, los cuales no están contemplados en el presupuesto del presente plan de tesis. Para obtener una comprensión más precisa de la geología, se deberían llevar a cabo perforaciones diamantinas o estudios geofísicos con el fin de obtener muestras inalteradas de los sustratos de suelo y roca a profundidades de 5, 10, 15 y 20 m, lo que permitiría generar el perfil estratigráfico. Además, en estas muestras obtenidas mediante perforaciones DDH, se deberían realizar los ensayos correspondientes para obtener resultados ajustados a las condiciones del terreno.

Respecto a los ensayos sísmicos no se dispone los instrumentos necesarios para el cálculo del PGA (Peak Ground Acceleration) sin embargo se hará uso del portal de la SENSICO para el cálculo del peligro sísmico en la zona de estudio.

Así también se tiene como limitación la obtención de data directa de la cara de los taludes, como es el mapeo de discontinuidades en roca que al representar un peligro la toma directa de datos como el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades presentes se debe recurrir a métodos topográficos por medio del uso de drones y fotogrametría. Así mismo se tiene una limitación respecto a la cantidad de ensayos que entreguen una mejor calidad de

información y reduzcan la incertidumbre de resultados, será necesario recurrir a datos previos de estudios de la zona a fin de tener una mayor gama de datos que amplíe el panorama de investigación.

Existen actualmente dos fallas geológicas activas en la zona de estudio, sin embargo, estas no se encuentran caracterizadas por el INGEMMET, el resultado del análisis de estabilidad en las zonas donde están ubicadas las fallas geológicas puede variar.

El análisis del estudio de estabilidad de taludes será realizado de manera bidimensional al no tener acceso a softwares de mayor capacidad de procesamiento de datos como el Slide 3D, cabe destacar que los resultados obtenidos serán similares a este ya que se realizara una mayor cantidad de simulaciones en el modelo digital de elevaciones.

El presente proyecto no contemplará un análisis económico o presupuestal del mismo.

1.6. HIPOTESIS

1.6.1. HIPOTESIS GENERAL

- ♦ Las condiciones geotécnicas, y el modelamiento Geotécnico influenciarán directamente en la estabilidad de los taludes.

1.6.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

- ♦ El incremento del factor de seguridad de los taludes es influenciado directamente por el diseño geométrico y condiciones geotécnicas de los taludes.
- ♦ La reducción del potencial de riesgo es determinada por el factor de seguridad del modelamiento geotécnico de los taludes.
- ♦ Las medidas de control necesarias son protección contra la erosión, anclaje activo y evacuación de aguas superficiales.

1.7. VARIABLES E INDICADORES

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDADES
INDEPENDIENTE			
Condiciones geomecánicas	Condiciones propias de los materiales que se componen los taludes.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Nivel freático ◆ Estratigrafía ◆ Sismicidad ◆ Cohesión, Angulo de fricción ◆ Discontinuidades 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ m ◆ m ◆ gals ◆ (°) ◆ Und
Modelamiento de taludes	Consiste en dimensionar adecuadamente los taludes proporcionando el menor costo y un adecuado F.S	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Altura de banco ◆ Angulo de banco ◆ Angulo Global ◆ Ancho de berma 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ m ◆ (°) ◆ (°) ◆ m
DEPENDIENTE			
Estabilidad de taludes	Representa el grado de estabilidad y seguridad que posee el talud frente a eventos de deslizamiento considerando el riesgo potencial de falla.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Probabilidad de falla ◆ Potencial de riesgo 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bajo: Alto ◆ Insignificante a catastrófico ◆ Improbable a constante
Factor de Seguridad	Representa la relación de esfuerzos internos del talud	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Esfuerzo cortante ◆ Peso de masa deslizante 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Kgf/m² ◆ Kgf/m²

Tabla 1: Variables e indicadores

1.8. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

1.8.1. TIPO DE INVESTIGACION

La presente tesis posee una Investigación del tipo Cuantitativo debido a que usara datos medibles para realizar el modelamiento del talud.

1.8.2. NIVEL DE LA INVESTIGACION

El nivel de investigación es Descriptivo y analítico.

1.8.3. POBLACION Y MUESTRA

1.8.3.1. POBLACION

Taludes presentes en la carretera 3S Tramo Urubamba – Cusco,

1.8.3.2. MUESTRA

Taludes críticos en el sector Puente Nuevo- Cerro Yawarmaqui - Urubamba cuyas alturas de banco sean superiores a 7m, la progresiva es desde el KM 40+00 a KM 42+00

1.8.4. TECNICA E INSTRUMENTACION DE RECOLECCION DE DATOS

1.8.4.1. TECNICAS

La técnica de recolección de datos a usar será la observación directa de las características geotécnicas, topográficas y geométricas de los taludes

1.8.4.2. INSTRUMENTOS

La recolección de datos se realizará de manera directa por medio de la toma de muestras en campo a partir de calicatas, para su posterior análisis en laboratorio, Así mismo se realizará uso de la fotogrametría a fin de obtener un relieve topográfico del terreno el cual será llevado al software Agisoft para la obtención de un modelo 3D de la superficie, Por último, en campo se hará uso de la línea de detalle en el mapeo geotécnico para obtener los datos de orientación de las discontinuidades mayores y menores.

1.8.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para procesamiento de datos se usará Softwares como el Slide V6, Dips, Así mismo se hará uso de la estadística descriptiva por medio del uso del Excel con su extensión Oracle y @Risk para la generación de distribuciones probabilísticas. Para el procesamiento de datos en el indicador “potencial de riesgo” se hará uso de la matriz de riesgos.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1. A NIVEL NACIONAL

- ❖ Pacheco (2006), en su estudio sobre la estabilización de taludes en la Costa Verde, tiene como objetivo desarrollar un diseño de ingeniería para un tramo de 500 metros de taludes. El autor encontró que la construcción de muros tipo Crib Walls resulta ser la opción más económica en grandes extensiones, demostrando buenos resultados en términos de permeabilidad y facilidad de construcción. Además, recomienda la implementación de este tipo de muros debido a su costo, mejora de la estabilidad del talud y menor impacto ambiental y visual. Esta investigación es relevante para la presente tesis, ya que en la zona de estudio existe una falla dinámica que debe ser reforzada con un sistema de sostenimiento adecuado.
- ❖ Varese (2008), en su tesis, realizó un análisis dinámico mediante el método de elementos finitos en la Costa Verde de Lima, Perú. Su objetivo fue llevar a cabo un estudio sísmico dinámico de la estabilidad de los taludes, analizando el comportamiento general de la estructura, las deformaciones y las áreas de licuefacción mediante el uso de elementos finitos. Los resultados obtenidos indican que el modelo

teórico debe aproximarse lo más posible a la realidad. Los factores de seguridad fueron superiores a uno, incluso en condiciones dinámicas, lo que sugiere que la zona analizada tiene un nivel adecuado de seguridad frente a sismos. Además, el autor recomienda que un análisis pseudoestático no debe ser comparado con uno dinámico, ya que ambos tienen objetivos y formulaciones diferentes. Esta investigación es relevante para la presente tesis, ya que se propone realizar un análisis pseudoestático para modelar los taludes. Los resultados obtenidos se utilizarán para identificar las secciones más críticas frente a posibles deslizamientos.

- ❖ Huaman (2022) llevó a cabo una investigación sobre la evaluación del factor de seguridad con el fin de determinar los métodos de sostenimiento más apropiados para la carretera Huaypo Grande-Chinchero-Urubamba. El objetivo de su estudio fue identificar el sistema de sostenimiento más adecuado para este tramo de carretera. Como conclusión, la tesis determinó que el sistema de sostenimiento más eficaz consiste en el uso de banquetas o terrazas, debido al aumento que estas generan en el factor de seguridad. El autor recomienda realizar ensayos en condiciones de saturación para que los resultados sean lo más representativos posible de la realidad. Además, sugiere el uso de drones como herramienta para obtener los modelos de relieve del terreno. Esta investigación es relevante porque establece las condiciones necesarias para analizar las muestras obtenidas y propone el modelado geotécnico de taludes como la alternativa principal para garantizar la estabilidad.

2.1.2. A NIVEL INTERNACIONAL

- ❖ Morales (2012) propone en su investigación una metodología para evaluar la estabilidad de taludes en las carreteras de Ecuador, con el objetivo principal de proporcionar un conocimiento integral sobre el diseño y estabilización de taludes inestables, con el fin de prevenir la pérdida de vidas humanas. Los resultados obtenidos indican que, para un diseño adecuado de taludes, es fundamental tener en cuenta los factores topográficos, los parámetros geotécnicos y los modelos geológicos. Esta investigación es relevante para la tesis, ya que contribuirá a la identificación y consideración de las variables que deben ser evaluadas durante el análisis de la estabilidad de los taludes.

- ❖ Hurtado y Soto (2022), durante la XXII Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica en México, presentaron un estudio sobre la estabilidad de taludes en la Costa Verde, con el objetivo de analizar de manera descriptiva la integridad de los taludes presentes, basándose en la recolección de parámetros geotécnicos y consideraciones generales. Los resultados de la investigación indican que ciertas zonas o distritos presentan los factores de seguridad más bajos, siendo el distrito de Miraflores el más vulnerable a la caída de rocas. Como conclusión, los autores sugieren la implementación de cortes escalonados o banquetas con doble propósito: mejorar la estabilidad global del talud y mitigar los efectos de las caídas de rocas. Esta investigación es pertinente para la tesis, ya que se llevará a cabo un análisis similar en la zona de estudio, considerando factores generales y fuentes primarias.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. MODELAMIENTO GEOTECNICO DE TALUDES

Consiste en el proceso de diseño de taludes que toma como consideración las condiciones Geológicas, la estructura de las discontinuidades, el macizo rocoso y hidrogeología de la zona. A fin de generar un modelo geotécnico, este pasará por un proceso de selección de dominios donde se verificará los buzamientos de taludes.

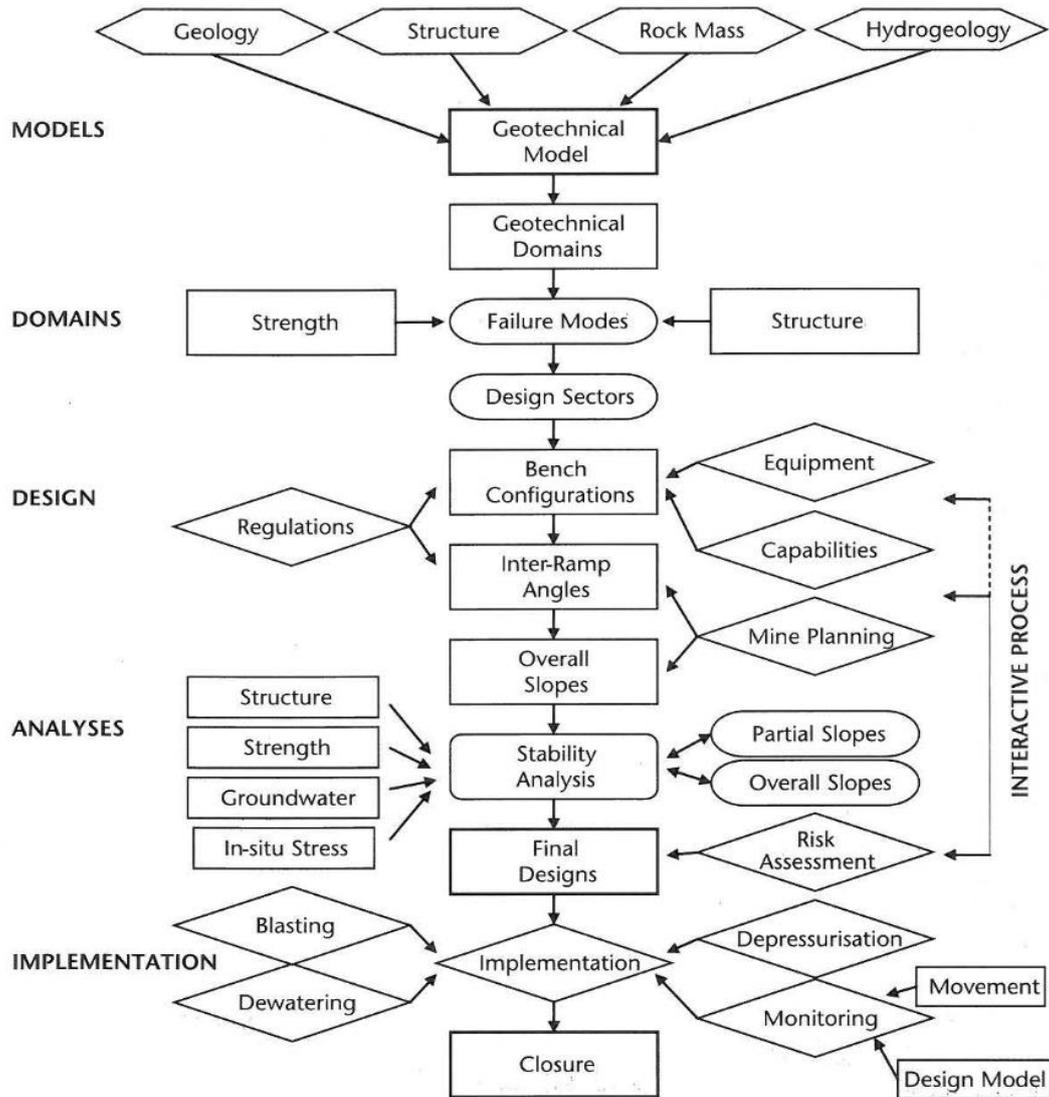
Generado los dominios se comprobará por medio del uso de software la resistencia de la estructura en general por medio de los modos de falla del talud obtenidos a partir de un análisis cinemático.

Si el diseño de talud es conforme con los factores de seguridad entonces se procede a realizar las configuraciones de banco y el ángulo global del talud, los cuales dependerán de la maquinaria en uso y de las capacidades de la misma.

Terminado este paso se pasará nuevamente a un análisis de estabilidad por banco parcial y global considerando los factores sísmicos de la zona.

El último paso implica la implementación del diseño geotécnico, el cual, una vez aplicada la configuración, deberá ser sometido a un monitoreo continuo que incluya el seguimiento de movimientos, la reducción del nivel freático y la despresurización. Los procedimientos para el modelado geotécnico se describen en el siguiente proceso.

Figura 3: Proceso de modelamiento geomecánico de taludes, Fuente Libro. Open Pit Planning and Desing



Fuente: Libro, Open Pit Planning and Desing, William Hustrid

2.2.2. CONDICIONES GEOLOGICAS

Las condiciones geológicas reflejan la distribución de los diferentes tipos de materiales presentes en el área de estudio, abarcando no solo el tipo de material, sino también el grado de alteración, como Silificación o argilización. Para un estudio de factibilidad, estas condiciones geológicas deben ser representadas de manera simplificada en un modelo 3D. En el presente estudio, nos centraremos en las condiciones geológicas actuales que afloran en los taludes de la carretera 3S.

2.2.3. CONDICIONES ESTRUCTURALES

Las condiciones estructurales se refieren a todos los tipos de planos de falla presentes en el macizo rocoso, los cuales pueden clasificarse en estructuras de mayor escala, como los planos de falla, o en estructuras de menor escala, como diaclasas, cizallas, plegamientos o foliaciones en la roca. Estas condiciones estructurales representan planos de debilidad que deberán ser considerados en el modelado geotécnico de los taludes.

2.2.4. CONDICIONES GEOTECNICAS

Representa la información recopilada y analizada sobre las condiciones geológicas, estructurales e hidrológicas. Las condiciones geotécnicas servirán como base para el diseño de los taludes, ya que incluyen datos sobre los planos de falla, los tipos de materiales presentes en cada sector y la presencia de agua freática. Esta información es esencial para la elaboración de cualquier diseño en roca natural.

2.2.5. CONDICIONES GEOMECHANICAS

Representa las condiciones de las discontinuidades y roca intacta de la zona analizada llevados a una escala mayor, las discontinuidades serán evaluadas en campo y la roca intacta será evaluada en laboratorio. La combinación de ambos dará una idea de la condición geomecánica del macizo rocoso.

2.2.6. RIESGO POTENCIAL DE TALUDES

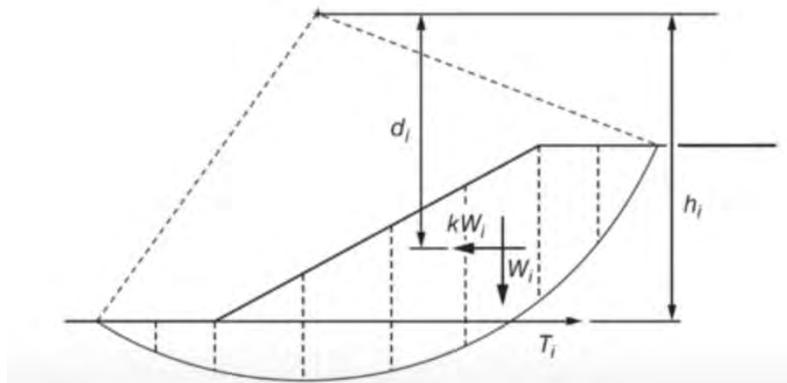
El riesgo de taludes representa el grado de peligro (crítico, alto, medio, bajo) que esta representa frente a un escenario de deslizamiento, este puede ser cuantificado por medio de la probabilidad de falla la cual se logra por análisis probabilísticos. El riesgo de taludes también este ligado a la vulnerabilidad, la cual significa el grado de daño esperado frente a la acción de un fenómeno, esta es independiente para cada talud.

2.2.7. METODOLOGIA LEM

El método de equilibrio límite se fundamenta en el análisis estático de una masa de suelo con falla circular, la cual se segmenta en bloques o dovelas, cada una con características como el nivel freático y el tipo de material presente, peso propio, fuerzas interdovelas y momentos generados. Dependiendo del tipo de análisis LEM, se tienen los siguientes tipos de análisis

- ♦ Método de Spencer.
- ♦ Método de Bishop.
- ♦ Método de Jambu.
- ♦ Método Ordinario de Fellenius.

Figura 4: Metodología LEM y análisis de fuerzas en dovelas



Fuente: Separata de Estabilidad de taludes en roca, Ing. Christian Obregón

La diferencia entre cada metodología solo recae en el análisis que se realiza a cada dovela, teniendo cada uno una fórmula propia para el cálculo del factor de seguridad. Es de la experiencia del geotecnista la elección de cada método que se asemeje más a la concepción de la realidad.

2.2.8. ANALISIS ESTÁTICO

El análisis estático corresponde al cálculo del factor de seguridad sin la aplicación de la aceleración sísmica. En este análisis, solo se consideran las fuerzas externas que afectan a los taludes y la aceleración debido a la gravedad. Los resultados obtenidos de este enfoque son generalmente confiables en áreas con baja actividad sísmica, pero pierden validez en regiones con altos valores de PGA (Aceleración Máxima del Suelo).

2.2.9. ANALISIS PSEUDOESTÁTICO

El análisis pseudoestático mejora al análisis estático, ya que ajusta los resultados para reflejar de manera más precisa las condiciones sísmicas. Este enfoque consiste en aplicar una aceleración constante a cada dovela dentro de la masa deslizante. Se utilizará la segunda ley de Newton, donde la fuerza se ve afectada de manera directamente proporcional al producto de la aceleración sísmica y la masa deslizante.

Los resultados obtenidos en términos de factor de seguridad serán menores, ya que la fuerza ejercida por la masa deslizante aumentará en comparación con un análisis estático.

Es importante señalar que los resultados obtenidos mediante un análisis pseudoestático no reflejan las condiciones exactas de un sismo real, debido a que no se consideran variaciones en la aceleración, dirección y amplitud. Sin embargo, estos resultados son adecuados para fines de diseño de taludes.

Para el cálculo del análisis pseudoestático, se empleará el coeficiente sísmico, cuya fórmula es la siguiente.

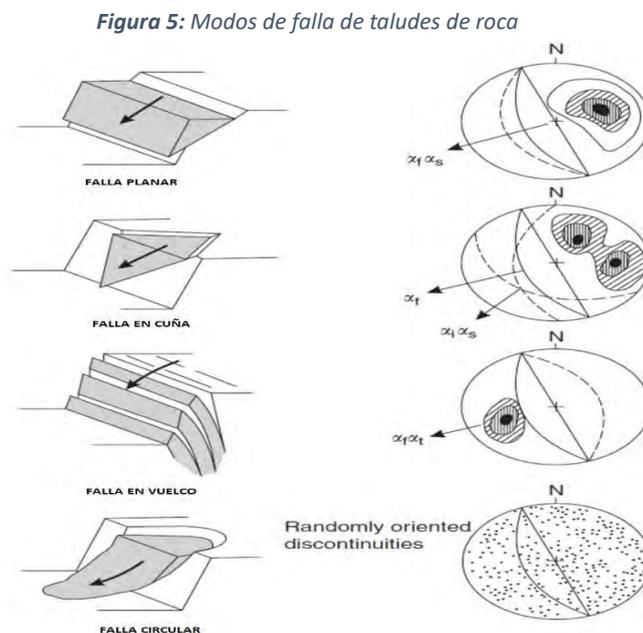
$$Kh = \%Amax$$

- Kh: Coeficiente sísmico horizontal
- Amax: Aceleración máxima

2.2.10. ANALISIS CINEMATICO

El análisis cinemático determina el modo de falla del talud. Existen diversos tipos de fallas de talud, los cuales dependen principalmente de la ubicación de las discontinuidades mayores y menores dentro del macizo rocoso. Estos modos de falla se analizan mediante estereografía, que sirve para representar las discontinuidades. Además, el ángulo de fricción y el buzamiento del talud en el modelo influirán en la determinación del modo de falla.

Los diferentes tipos de falla de talud se detallan en el gráfico siguiente, junto con su correspondiente análisis cinemático.



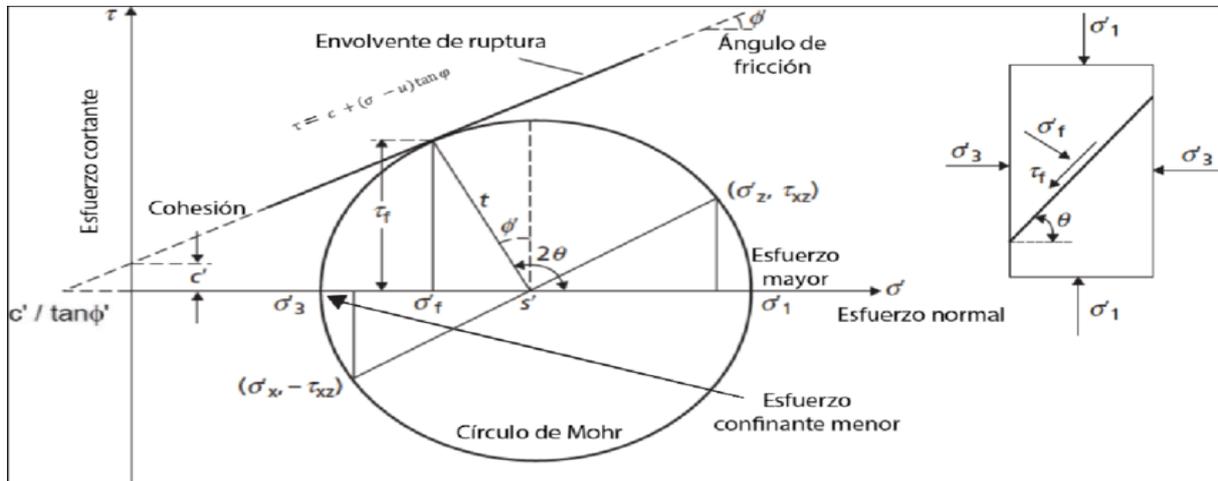
Fuente: Separata de Estabilidad de taludes en roca, Ing. Christian Obregón

2.2.11. CRITERIO DE ROTURA

Representa el mecanismo de falla de talud, cada criterio toma en consideración factores diferentes para su análisis.

2.2.11.1. CRITERIO DE ROTURA DE MOHR – COULOMB

Figura 6: Criterio de Rotura de Mohr – Coulomb



Fuente: Modificado de Craig y Knappett

El criterio de rotura de Mohr – Coulomb, relaciona el esfuerzo normal con el esfuerzo tangencial o de corte a lo largo del plano de rotura, este criterio de falla es lineal es decir que puede representarse por la ecuación de una recta donde la pendiente viene a ser representada por la tangente del ángulo interno de fricción del material, y la cohesión se representa por el cruce entre la envolvente de ruptura y el eje del esfuerzo cortante.

La función de este criterio de rotura viene a ser la siguiente.

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

- τ : Esfuerzo cortante
- σ : Esfuerzo normal}
- ϕ : Ángulo interno de fricción
- C : Cohesion

2.2.11.2. CRITERIO GENERALIZADO DE HOEK Y BROWN

El criterio de Hoek y Brown va dirigido a estimar la resistencia triaxial de macizos rocosos, considerando las propiedades de la roca intacta, e incluyendo factores reductores de las propiedades, este criterio es no lineal teniendo como ejes los esfuerzos principales $\sigma_1, \sigma_2,$

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

Siendo:

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

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

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

- *mb*: coeficiente del macizo rocoso
- *mi*: coeficiente de roca intacta
- *GSI*: Clasificación geomecánica *GSI* (*Geological Strength index*)
- *D*: Factor de Disturbancia del macizo rocoso [0 – 1]
- *S*: Coeficiente de discontinuidades

2.2.12. ANALISIS DETERMINISTICO

El análisis determinístico se lleva a cabo con el objetivo de obtener un resultado basado en una muestra representativa, es decir, se tomará el promedio de los datos obtenidos sin considerar la desviación estándar.

Este tipo de análisis es adecuado en condiciones donde la variabilidad de los materiales sea mínima, es decir, cuando los resultados de un ensayo realizado sobre un material difieren en muy poca medida respecto a otro. Sin embargo, este análisis tiende a generar más incertidumbre en los resultados obtenidos.

El análisis puede representarse de la siguiente forma:

Figura 7: Ingreso y salida de datos en análisis determinístico



Fuente: Elaboración propia

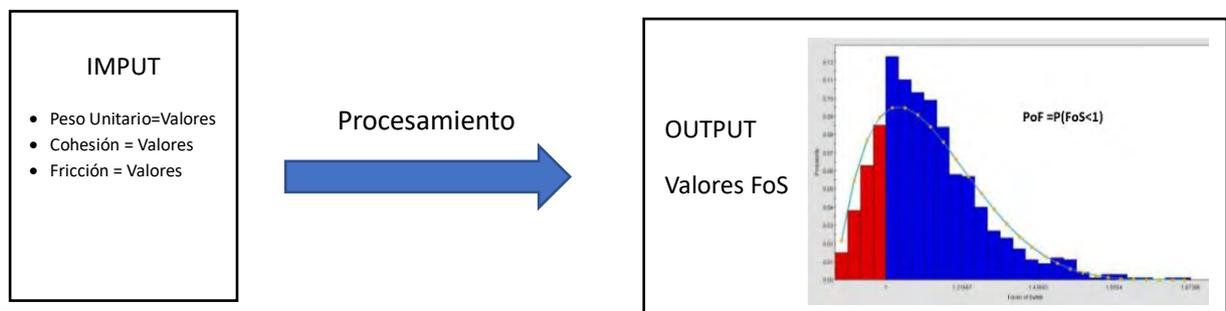
2.2.13. ANALISIS PROBABILISTICO

El análisis probabilístico tiene en cuenta toda la gama de datos ingresados, lo que significa que se consideran la media, la desviación estándar y el tipo de distribución probabilística. Este enfoque es más avanzado que el análisis determinístico, ya que tiene en cuenta la variabilidad de los datos característicos de una estructura natural, como rocas o suelos.

El análisis probabilístico puede realizarse mediante la toma de datos aleatorios utilizando el método de Montecarlo o mediante una distribución Latino Hipercúbico. Ambos métodos tienen una alta representación en la muestra de estudio. Para la presente tesis, se utilizará el método de Montecarlo para la toma de datos.

Una diferencia clave entre un análisis probabilístico y uno determinístico es que el primero nos proporciona una probabilidad de falla (POF), cuyo rango va de <0 a 100%. Esta probabilidad de falla es representativa de la vulnerabilidad del talud y puede ser utilizada en análisis de riesgo.

Figura 8: Ingreso y salida de datos en un análisis probabilístico



Fuente: Elaboración propia

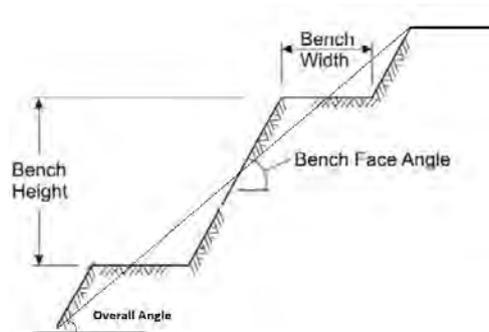
2.3. TERMINOS BASICOS

2.3.1. TALUD

Representa una masa de suelo que no es uniforme, sino que presenta inclinaciones y variaciones topográficas importantes. Entre sus características principales se incluyen las siguientes:

- Altura de Banco (Bench Height)
- Berma (Bech Width)
- Angulo de cara de banco (BFA- Bench fase angle)
- Angulo global (Overall angle)

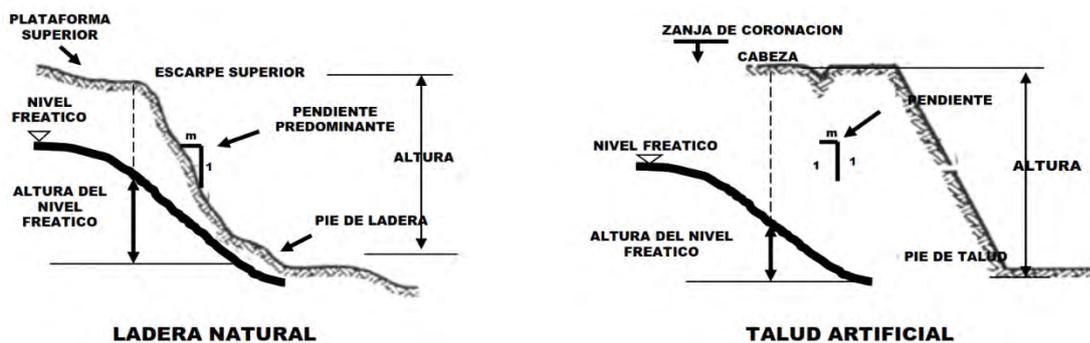
Figura 9: Partes de un talud



Fuente: Libro Open pit Planning and Desing

Asimismo, en esta investigación se incluyen análisis de taludes naturales, correspondientes al relieve del terreno, para evaluar la estabilidad en la línea base, así como otro análisis con el modelo geotécnico propuesto. A continuación, se detallan ambos taludes.

Figura 10: partes de un Talud natural y Artificial



Fuente: Separata de Estabilidad de taludes, Ing. Christian Obregón

2.3.2. FACTOR DE SEGURIDAD

El Factor de Seguridad (F.S) relaciona las fuerzas estabilizadoras del terreno con las fuerzas inestabilizadoras. Los valores de F.S > 1 indican condiciones estables, mientras que valores menores a 1 sugieren condiciones inestables. Cuando F.S = 1, la ladera o el talud se encuentra en el límite de ruptura. En esta tesis, utilizando la metodología LEM, el factor de seguridad se calculará en función de la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie de falla, el calculo del factor de seguridad varía según cada tipo de método elegido, sin embargo se puede simplificar a la siguiente división:

$$FoS = \frac{\text{Momento de las fuerzas resistentes}}{\text{Momento de las fuerzas actuantes}}$$

El factor de seguridad corresponde a la solución obtenida del modelo matemático ingresado en el programa Slide V6. Este modelo incluye la geometría de análisis, la superficie potencial de falla, las propiedades del material, los elementos de refuerzo y las cargas externas aplicadas.

2.3.3. INESTABILIDAD

La inestabilidad se presenta cuando las fuerzas que inducen el deslizamiento superan a las fuerzas que resisten el movimiento, lo que provoca el deslizamiento. También puede haber inestabilidad cuando las fuerzas de deslizamiento son iguales a las fuerzas resistentes, lo que genera un estado de equilibrio inestable o en transición.

2.3.4. ESTABILIDAD

La estabilidad ocurre cuando las fuerzas que resisten el movimiento superan a las fuerzas que inducen el deslizamiento, lo que impide que ocurra el deslizamiento. El grado de estabilidad puede medirse mediante el factor de seguridad.

El grado de estabilidad puede ser aumentado mejorando el ángulo de fricción interna del material, así como también disminuyendo el peso de la masa deslizante.

2.3.5. PROBABILIDAD DE FALLA

La probabilidad de falla se obtiene a partir de análisis probabilísticos y se expresa en un rango de <0-100%>, indicando el nivel de vulnerabilidad del talud frente a condiciones adversas. Este análisis tiene en cuenta la variabilidad de los datos, considerando la desviación estándar respecto a la media. Es especialmente útil para representar condiciones naturales, donde la variabilidad del material, como en rocas o suelos, es inherente.

2.3.6. ENTORNO URBANO

Se refiere a las ciudades o pequeños asentamientos que conforman el paisaje urbano de Urubamba. En este estudio, el entorno urbano se caracteriza por el número de viviendas dentro del área de análisis, limitándose a la zona del cerro Yahuarmaqui y el centro poblado de Tarapata; dentro de la presente tesis no se tomara en cuenta el numero de habitantes propensos al deslizamiento de taludes, sino solamente viviendas.

2.3.7. VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se puede caracterizar como el grado de sensibilidad de una zona a un peligro, en el caso de la presente investigación corresponde a un deslizamiento, al igual que en minería se caracteriza los taludes según la ubicación, peligro y consecuencias que presenta el deslizamiento de taludes.

La vulnerabilidad es la capacidad de resistir un fenómeno amenazante o de recuperarse tras un desastre. Se medirá a través de los resultados obtenidos en el análisis probabilístico de falla del talud. Es importante señalar que la intervención humana puede afectar este valor, ya que la vulnerabilidad dependerá de la calidad de las construcciones presentes en la zona.

2.3.8. SEVERIDAD

La severidad del riesgo se refiere a las posibles consecuencias de un evento o condición peligrosa, tomando como base el peor escenario posible. En este estudio, la severidad se evaluará en función de la magnitud del impacto de un posible deslizamiento cercano a la zona urbana.

2.3.9. PELIGRO

El peligro se define como cualquier situación, objeto o actividad con la capacidad de causar daño. En el contexto de esta tesis, el peligro está asociado a los sismos que podrían afectar los taludes y las rocas deslizantes analizadas. Es importante destacar que el peligro no puede ser modificado por la acción humana; independientemente de la calidad del diseño, el nivel de peligro permanecerá constante. El peligro se cuantificará en función de su tipo (latente, potencial o activo), tomando en cuenta datos históricos de deslizamientos previos y sus volúmenes de desplazamiento.

2.3.10. RIESGO

El riesgo es la probabilidad de que un peligro se materialice, provocando daños, enfermedades o lesiones en las personas. En este estudio, el riesgo se refiere al deslizamiento del talud, y es una medida de la magnitud de los daños frente a un evento peligroso. También se evaluará el riesgo sísmico, que será función del peligro y la vulnerabilidad. Para reducir los riesgos, se prestará especial atención a la vulnerabilidad, ya que esta puede modificarse mediante intervenciones humanas, a diferencia del peligro, que no puede ser alterado.

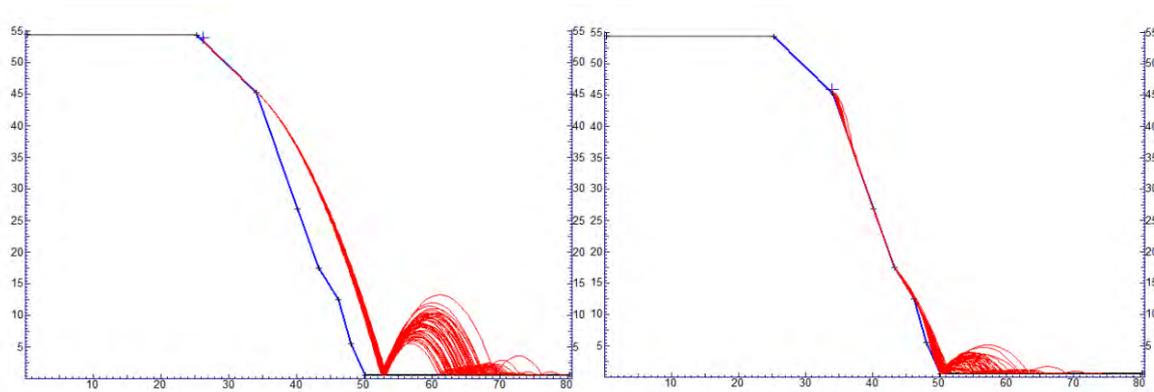
$$R = P \times V$$

- P= Peligro
- V= Vulnerabilidad

2.3.11. DESLIZAMIENTO

El deslizamiento se refiere al desplazamiento de una masa de suelo o roca, causado por el desequilibrio entre las fuerzas resistentes y las fuerzas que inducen el deslizamiento. En el caso de los taludes rocosos, los deslizamientos pueden originarse en los planos de discontinuidad, presentando hasta cuatro tipos de fallas que se analizan mediante métodos cinemáticos. En cambio, en los suelos, el deslizamiento generalmente ocurre en forma circular. En este estudio, el control de los deslizamientos de rocas se llevará a cabo utilizando el software RockFall.

Figura 11: Simulación de caída de rocas RockFall



Fuente Estabilidad de taludes Jorge E. Alva

2.3.12. GEOTECNIA

La geotecnia basa sus estudios en la composición y propiedades de los geo materiales, abarca muchos aspectos como la hidrología, geofísica, geología, entre ellas la mecánica de rocas y la mecánica de suelos. Esta rama estudia el comportamiento físico y químico de los materiales de la corteza terrestre.

2.3.13. GEOMECANICA

Es una rama de la geotecnia, la cual estudia el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y suelos, frente a escenarios de esfuerzos y deformaciones. Basa sus estudios en ensayos los cuales dan resultados cuantitativos, medibles y comparables.

CAPITULO III:

DIAGNOSTICO DEL AREA DE ESTUDIO

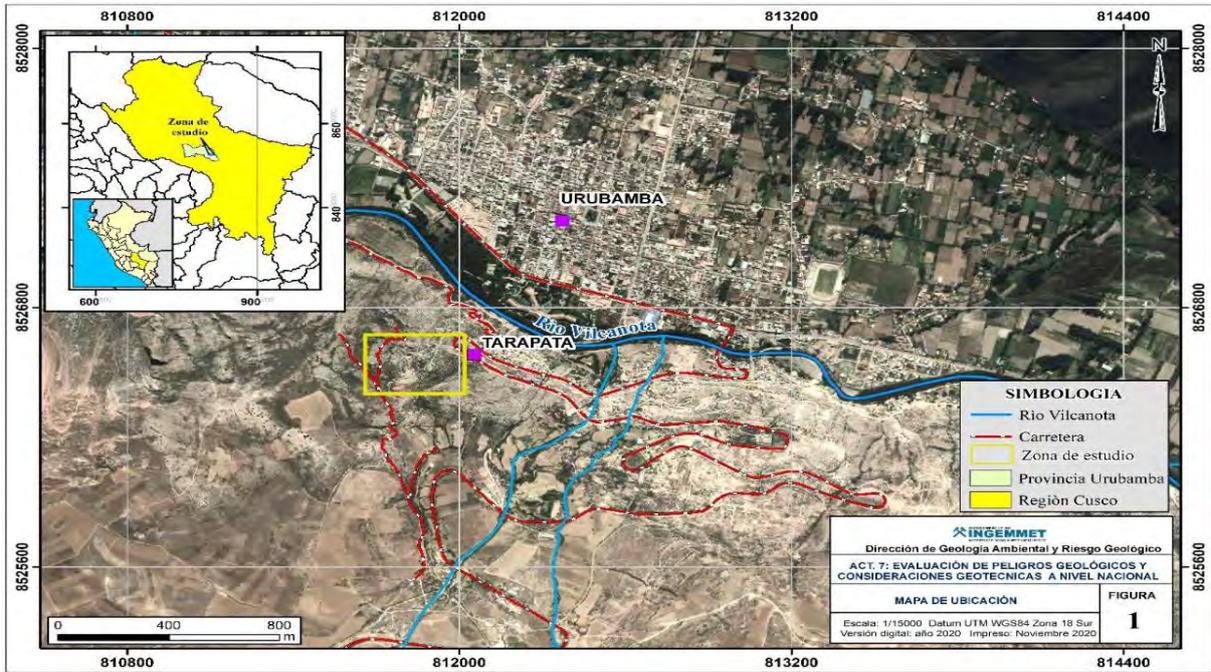
2.4. UBICACIÓN

El área de investigación corresponde al tramo de la carretera nacional 3S, que conecta Urubamba con Cusco, con una extensión aproximada de 59.3 km. La muestra de estudio está ubicada en el cerro Yahuarmaqui, dentro del distrito de Maras. El centro poblado de Tarapata se encuentra en las laderas de la montaña, a una altitud aproximada de 2871 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas aproximadas de la zona de estudio se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 2: *Coordenadas de la zona de estudio*

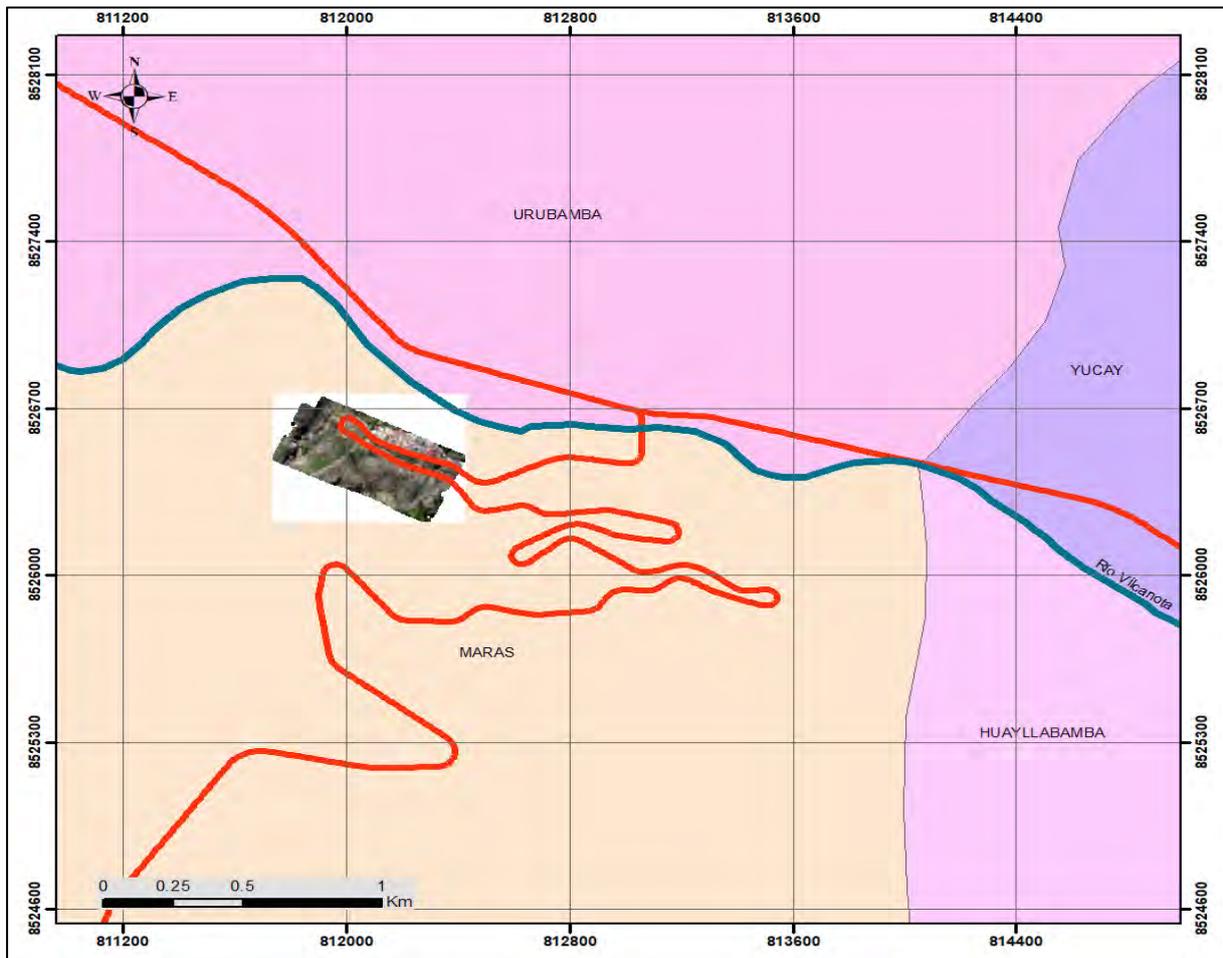
UTM WGS 84	ESTE	NORTE	ZONA
	811956.55	8526591.88	18L

Figura 12: Zona de muestra de la investigación, Cerro Yahuarmaqui



Fuente: informe INGENMET A7075

Figura 13: Ubicación distrital de la muestra de tesis y carretera 3S



Fuente: Elaboración propia

2.5. ACCESIBILIDAD

El acceso desde la ciudad del cusco es por medio de la carretera 3S tramo Cusco-Poroy-Chinchero-Urubamba, con un recorrido de 59.3 Km Aproximado, Así también existe un segundo tramo por medio la carretera Cusco-Calca- Urubamba, cuya longitud es de 65Km aproximado, la duración promedio del viaje en carro es de 1.5 horas

Tabla 3: Accesibilidad a la zona

Ruta Principal	Tipo de Vía	Longitud	Tiempo
Cusco – Urubamba	Asfaltado	59.3 km	1 h
Cusco- Calca- Urubamba	Asfaltado	65 km	1.5 h

La muestra de tesis esta en la progresiva KM 40+00 a 42+00

2.6. CLIMA

La zona de estudio, según la clasificación climática de Köppen y Geiger (2012), presenta un clima templado y frío, caracterizado por intensas precipitaciones pluviales que alcanzan un máximo de 415 mm. La temperatura media anual oscila alrededor de los 16°C. Debido a la variabilidad en la altitud de la región, se distinguen tres zonas climáticas: "Quechua", "Suni" y "Puna".

Dentro del área de estudio, se encuentra una estación hidrometeorológica convencional, propiedad del SENAMHI, conocida como la estación "Urubamba". A continuación, se presentan los datos relevantes de dicha estación.

Tabla 4: ubicación de estación hidrometeorológica Urubamba

NOMBRE	ESTE	NORTE	ZONA	ALTITUD	TIPO	CODIGO
Estación Urubamba	811549.49	8527295.27	18L	2850 msnm	Convencional Hidrometeorológica	113034

Figura 14: Box Plot Lluvias por mes año 2022

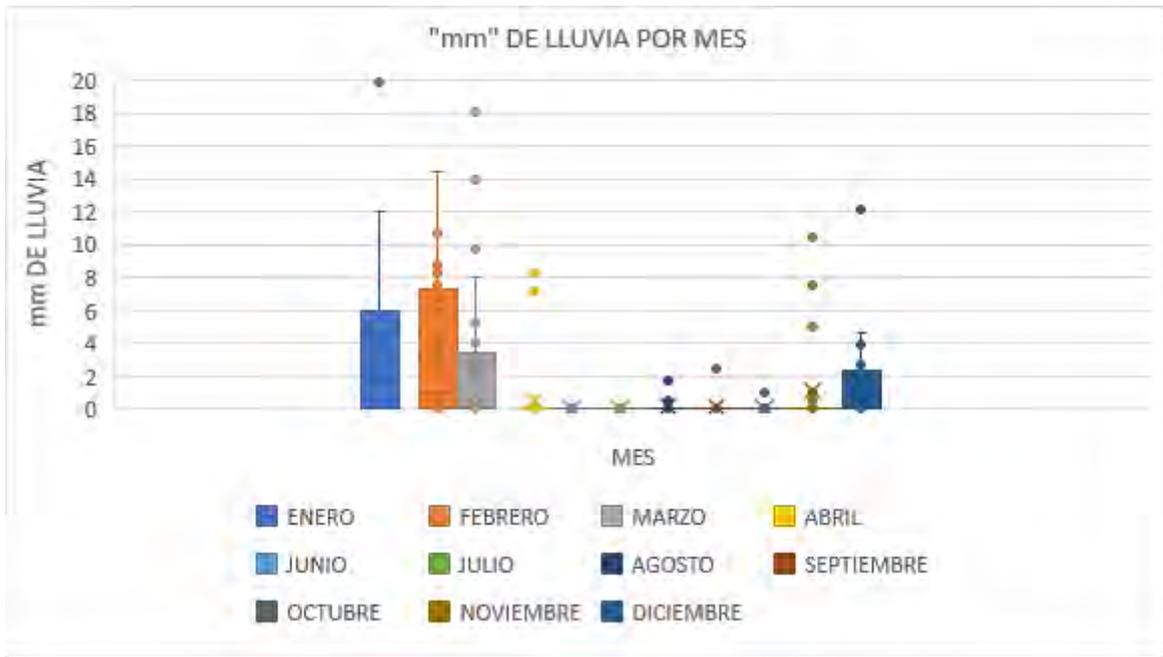
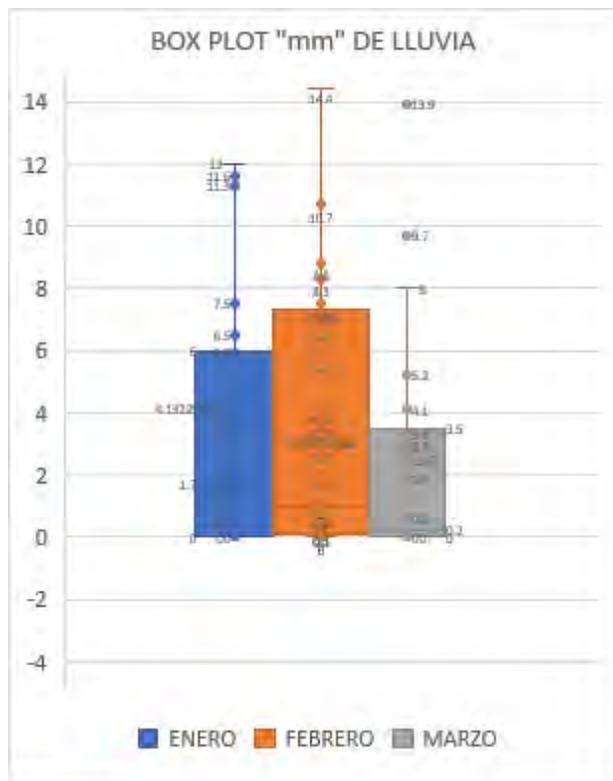


Figura 15: Box Plot Meses de lluvia de la estación meteorológica Urubamba



Media	3.3
Mediana	0.6
Moda	0
Desviación estándar	5.2
Varianza de la muestra	27.2
Mínimo	0
Máximo	28
Cuenta	89

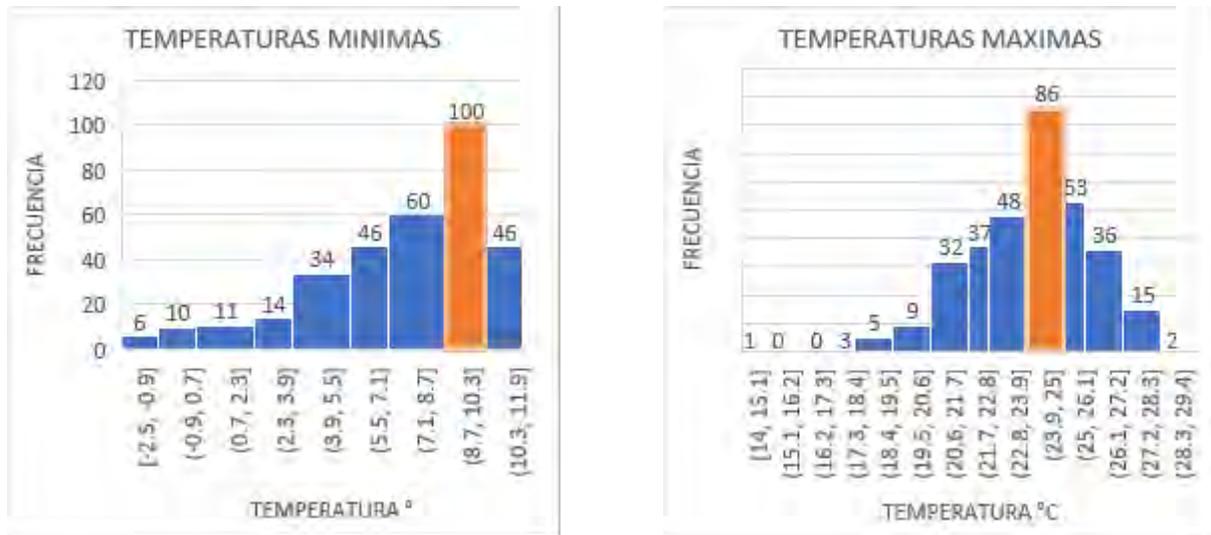
Fuente Elaboración propia

Los datos resumidos indican que durante los meses de enero, febrero y diciembre se registran las precipitaciones más intensas, alcanzando incluso hasta 28 litros/m² (el cual simboliza un outlier) , lo que sugiere que la zona experimenta fuertes lluvias en estos períodos. Este valor

será utilizado en el capítulo V para el diseño de los canales de coronación. Además, los datos fueron analizados y desglosados por mes para obtener una visión más detallada.

El detalle de los meses de lluvia da como resultado que la media de precipitación 3.38 Lt/m²,

Figura 16: Temperaturas Máximas y Mínimas, estación Urubamba Año 2022



Fuente Elaboración propia

Así mismo los datos se desvían bastante de la media teniendo una desviación estándar de 5.2 mm de lluvia por metro cuadrado.

2.7. GEOLOGIA

2.7.1. GEOLOGIA REGIONAL

La información que se presenta a continuación fue obtenida del cuadrángulo de Urubamba, perteneciente a la hoja 27r. En la zona de estudio se encuentran dos formaciones geológicas y dos depósitos aluviales:

- Formación Maras (Kis-ma):
Esta formación está compuesta por una mezcla de yesos, lutitas y calizas. Se considera una formación incompetente debido a sus bajas propiedades mecánicas y resistencia, lo que la hace propensa a deslizamientos.
- Formación chincheros (Np-cc)
La formación Chincheros se caracteriza por brechas con una matriz arcillo-arenosa, que se originan por la erosión de la formación Yuncaypata.

2.7.2. GEOLOGIA LOCAL

El área de estudio está situada en la cordillera oriental. Dentro de esta región, se identifican dos tipos de depósitos que han sido formados por factores climáticos y gravitacionales. Las laderas de las montañas están principalmente compuestas por depósitos coluviales.

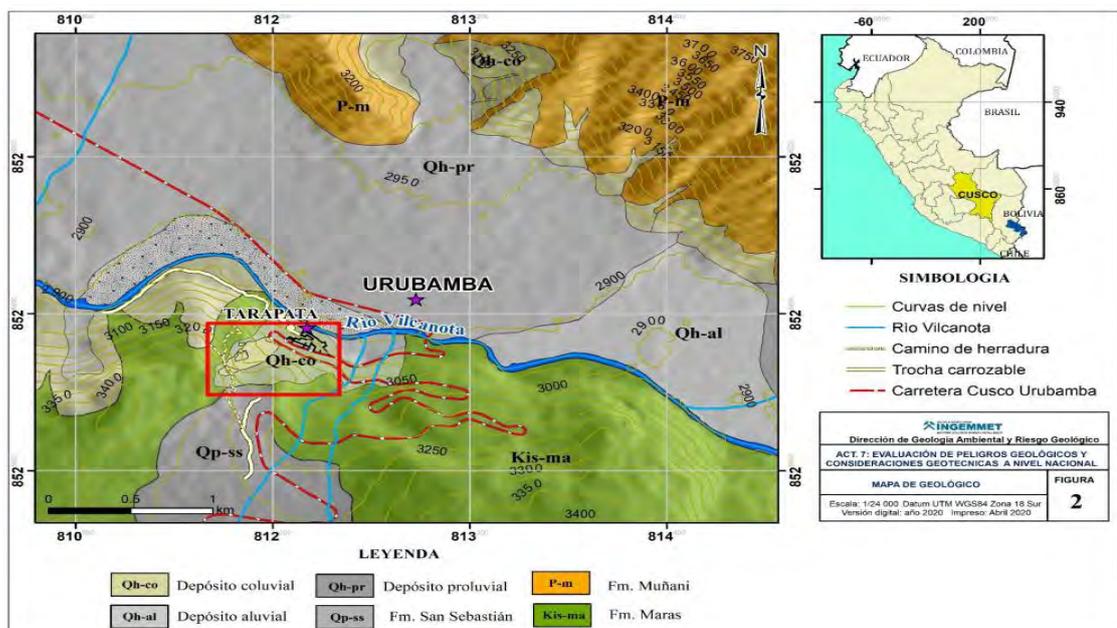
- Depósito Aluvial (Q-al)

En el distrito de Urubamba existe un depósito aluvial originado por la erosión natural de las laderas de los cerros. Estos materiales son transportados y depositados en las partes bajas y planas. Sin embargo, en la zona de estudio no se presenta afloramiento de este depósito.

- Depósito Coluvial (Q-co)

Producto de un deslizamiento ocurrido en 1678 en el cerro Yahuarmaqui, que obstruyó parcialmente el río Vilcanota, toda la zona afectada se transformó en un depósito coluvial. Este depósito está compuesto por una mezcla heterogénea de suelo y roca, y sobre él se encuentra asentada la población de Tarapata. Los materiales de este depósito son similares a los de la formación Maras, con afloramientos de rocas sedimentarias y volcánicas.

Figura 17: Geología local



Fuente: Boletín INGEMMET A7075

2.7.2.1. DISCONTINUIDADES PRESENTES

Las discontinuidades en la zona de estudio se localizan en la parte baja, cerca del segundo giro de la carretera 3S. Se observan discontinuidades menores de carácter heterogéneo, sin una familia de diaclasas claramente definidas. Estas discontinuidades serán detalladas en el análisis cinemático de los taludes, incluyendo su rumbo y buzamiento. No se ha identificado ninguna discontinuidad mayor asociada a fallas geológicas en la zona, según la carta geológica 27r.

Figura 18: Presencia de roca caliza en la parte baja del cerro Yawarmaqui



Fuente: Foto tomada en las faldas del cerro Yahuarmaqui

2.7.2.2. FALLAS LOCALES

Según los registros geológicos de la región, no se han identificado fallas geológicas activas. Sin embargo, existen dos zonas de hundimiento resultantes de deslizamientos rotacionales previos. Estas áreas de hundimiento se describirán detalladamente en el plano topográfico.

2.8. TOPOGRAFIA DE LA ZONA

Para la presente tesis se hizo uso de la Fotogrametría con dron, a fin de poder abarcar una mayor área de terreno con un menor tiempo, con este método se logró obtener una nube de puntos caracterizados por sus coordenadas Este, Norte y Altitud. Se usó el datum WGS84

2.8.1. RELIEVE TOPOGRAFICO – LEVANTAMIENTO FOTOGRAFOMETRICO

Se usaron los siguientes instrumentos:

- Tipo: Dji Mavic Mini 2SE
- Resolución de cámara: 4000x2250 Píxeles

- Colores: 3 Bandas

Para el procesamiento de los datos, se emplearon los softwares Agisoft Professional y ArcGIS, con el objetivo de llevar a cabo los procedimientos detallados a continuación:

- Importación de fotos
- Orientación de fotos/ Cámaras
- Creación de Nube de puntos densa
- Creación de Productos
- Exportación a ArcGIS

La zona de estudio se localiza en la carretera departamental 3S, en el tramo inicial entre Urubamba y Cusco, más específicamente en el cerro Yawarmaqui. Esta área está próxima al río Vilcanota y al distrito de Urubamba. El centro poblado de Tarapata se encuentra a los pies de la montaña, a una altitud aproximada de 2871 m.s.n.m. La carretera 3S tiene una longitud total de 59.3 km en el tramo Urubamba - Cusco, y los taludes más críticos corresponden a la zona objeto de estudio. La ubicación exacta de la investigación se muestra en el siguiente plano:

Figura 19: Zona de levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

2.8.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

El levantamiento topográfico se realizó a una altura promedio de 30 metros sobre la superficie del terreno, con el fin de mejorar la calidad de las imágenes para la creación de la ortofoto. Se tomaron un total de 364 imágenes, que fueron georreferenciadas mediante el programa Arcgis, aunque no se utilizaron puntos en el terreno debido a la falta de un GPS diferencial. La georreferenciación exacta o milimétrica no es esencial para este estudio, ya que el objetivo del levantamiento es únicamente obtener las curvas de nivel.

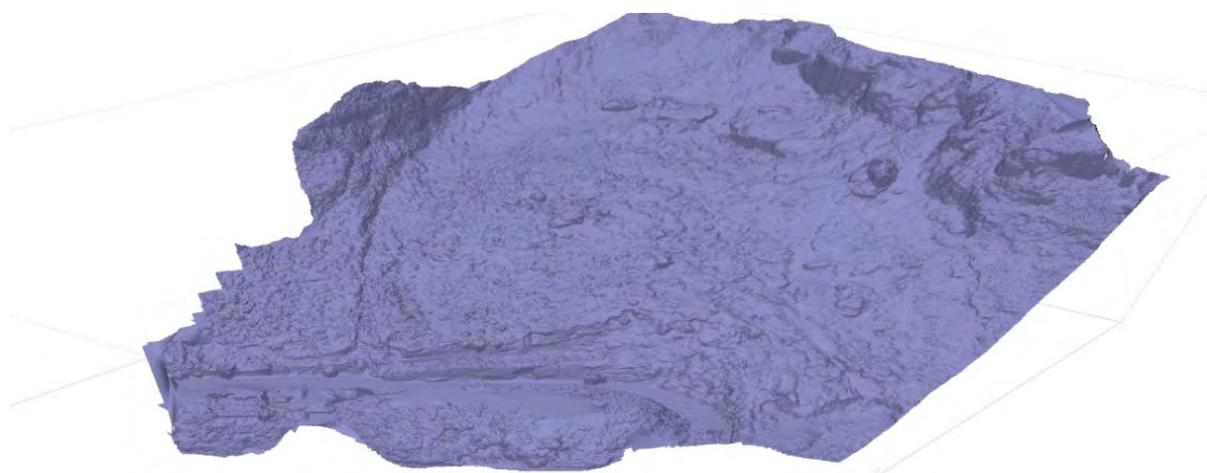
Figura 20: Nube de puntos densa generada con el programa Agisoft



Fuente: Elaboración propia

La nube de puntos generada presenta algunos vacíos pequeños, los cuales serán rellenados al crear el modelo 3D. Se realizó la triangulación en las áreas faltantes y se generó el modelo final.

Figura 21: Modelo Digital de Elevaciones

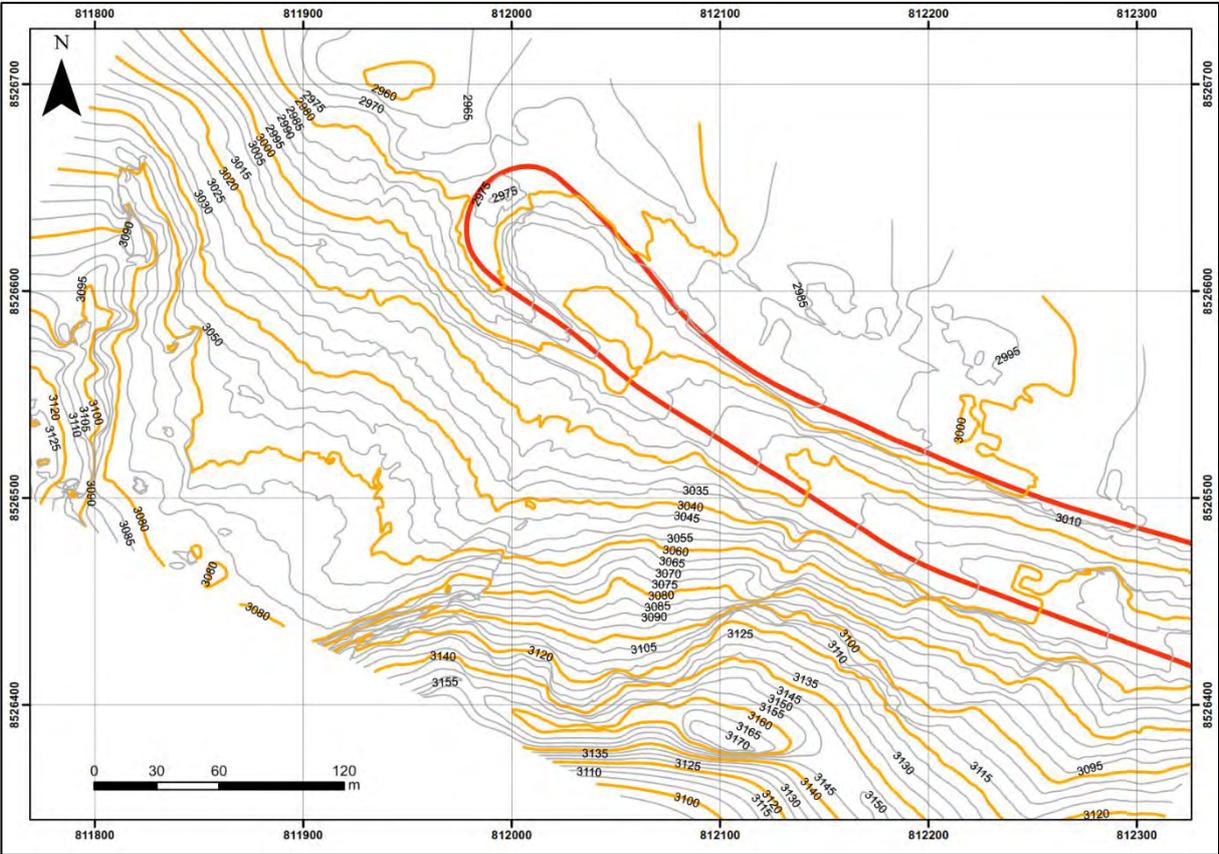


Fuente: Elaboración propia

2.8.2.1. CURVAS DE NIVEL

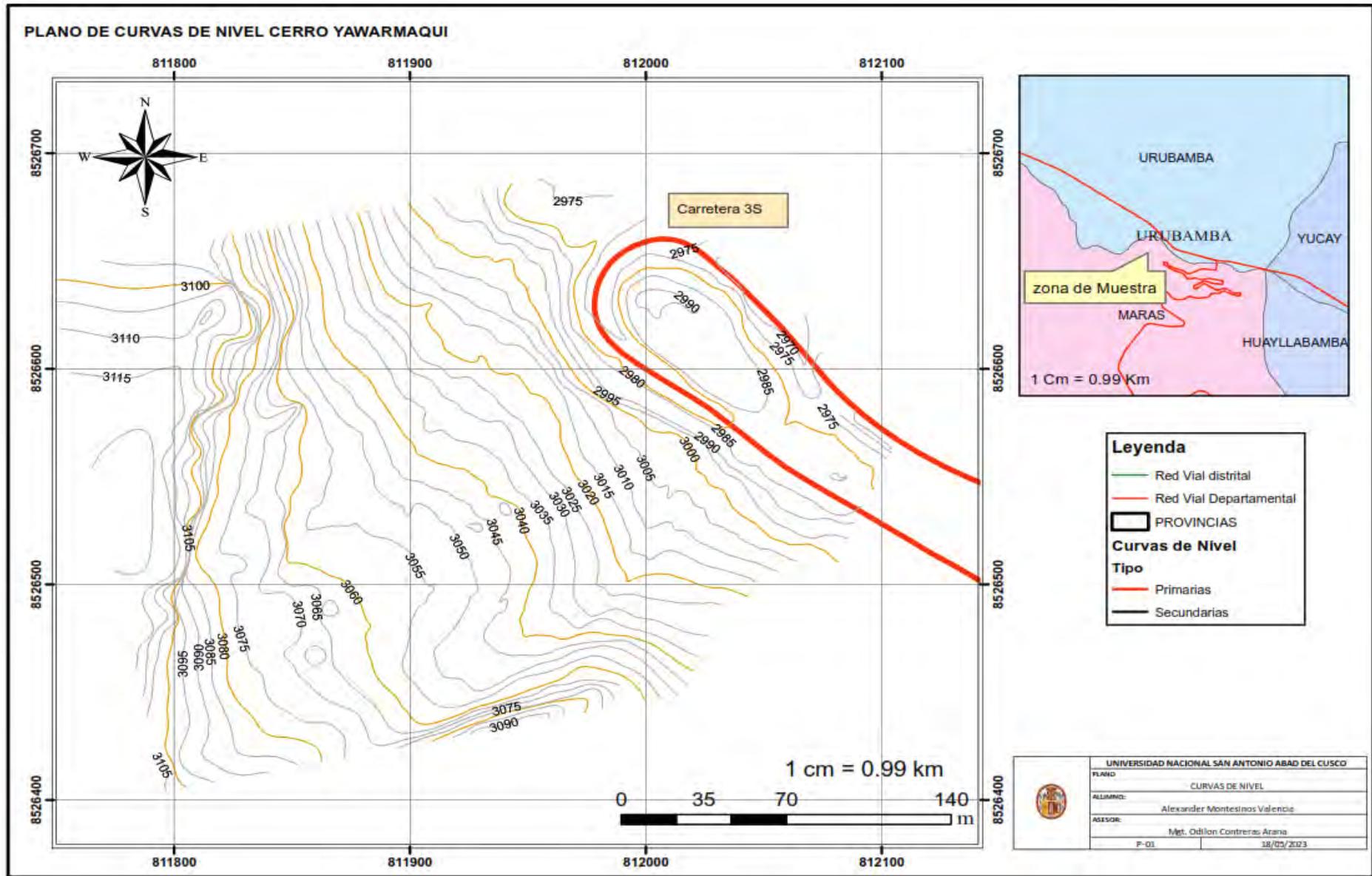
En el plano se observan dos áreas con pendientes pronunciadas, ubicadas a 3100 m.s.n.m. y 3080 m.s.n.m. Estas zonas corresponden a depresiones generadas por deslizamientos previos, que atraviesan la carretera 3S. El cerro Yawarmaqui tiene una altura aproximada de 120 metros, lo que indica el volumen de material potencialmente susceptible a deslizarse cuesta abajo.

Figura 22: Curvas de nivel generadas con el Software AutoCAD Civil 3D



Fuente: Elaboración propia

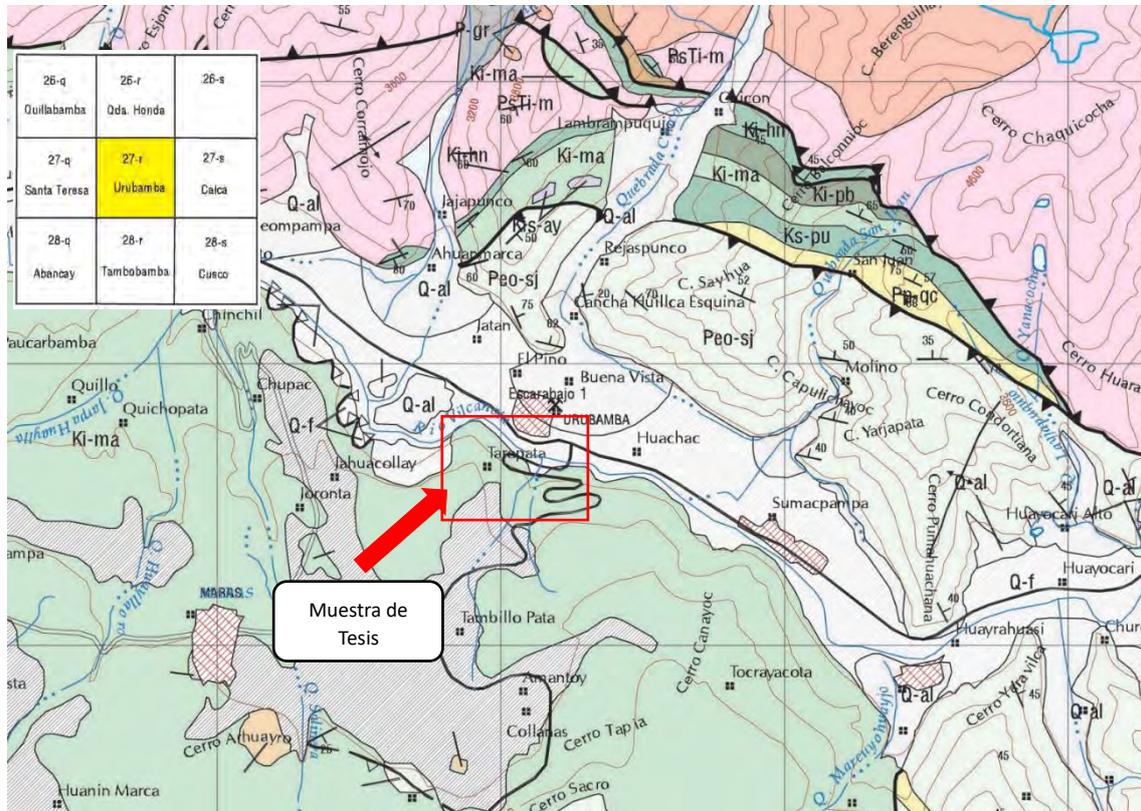
Figura 23: Plano curvas de nivel cerro Yahuarmaqui



2.9. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Para la obtención de la data geológica estructural esta tesis basara sus datos en la geología del cuadrángulo 27-r Urubamba del INGEMMET

Figura 24: Formaciones geológicas en el área de estudio



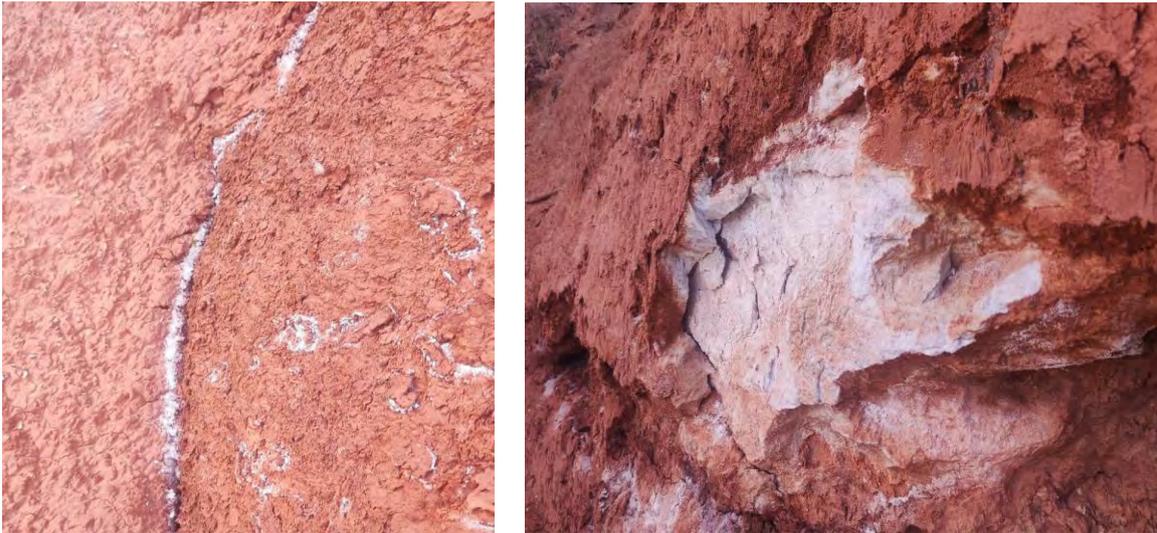
Fuente: Geología Estructural del Cuadrángulo 27-r INGEMMET

Dentro de la geología estructural de la zona de estudio se tiene la formación maras (Ki-ma), la cual se considera comúnmente como un afloramiento caótico de Yesos del tipo sabkha y lutitas rojas con espesores delgados de calizas.

Los yesos que se utilizan generalmente como material de construcción de las casas aledañas provienen de esta formación (ki-ma) perteneciente al grupo Yuncaypata.

La formación Maras limita con el río Urubamba a través de una ladera en la parte oriental, Por el sur limita con la depresión de Anta, Al oeste con el valle de Huarcondo. Esta formación pertenece al Albiano medio, con una deformación Diapirica, el espesor de la formación de acuerdo con el boletín del INGEMMET A-065, es de unos 100 a 400m la cual no se encuentra bien estimada debido a efectos tectónicos que afectan el grosor de la formación.

Figura 25: Fotografías de Anhidrita presente en la muestra de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Los deslizamientos en la zona de estudio fueron analizados previamente por Kalafatovich (1977), quien describió el deslizamiento del cerro Yahuarmaqui como un área de depósito coluvial, compuesta por montículos de lodo, bloques de yeso, calizas y grava. La mayoría de estos deslizamientos parecen estar relacionados con un exceso de humedad, lo que hace que ocurran principalmente durante los periodos de lluvias. Además, materiales como el yeso anhidrita podrían ser responsables de estos deslizamientos, ya que su volumen aumenta cuando el agua penetra en las capas inferiores, generando grandes presiones en las capas adyacentes (Kalafatovich, 1977).

2.10. GEOMECANICA DE LOS MATERIALES

A fin de poder conocer exactamente las características de los materiales se recurrió a la toma muestras directas de campo, las cuales fueron extraídas de forma inalterada con su grado de compactación por medio de calicatas.

Se realizaron los siguientes ensayos en las muestras:

- Ensayo de Corte directo
- Ensayo de Granulometría
- Ensayo de Limites de plasticidad

2.10.1. EXCAVACION Y TOMA DE MUESTRAS

Se realizó la primera calicata en las coordenadas

- ESTE: 811875.09
- NORTE: 8526356.94

Figura 26: Calicata Nro 01/ Muestra extraída



Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de una muestra inalterada se procedió a excavar a una profundidad de 1.60m a fin de sacar una muestra inalterada.

Cabe destacar que la muestra extraída es representativa de la zona al ser homogénea en su extensión, sin embargo se pone en las limitaciones de la tesis que una muestra extraída a mayor a profundidad daría resultados mas precisos respecto a la cohesión y fricción en la zona de falla.

2.10.2. ANCHOS ESTRATIGRAFICOS PRESENTES:

La estratigrafía que se presenta en la calicata Nro. 1 es continua no teniendo variación en el tipo de litología encontrada. Así mismo no se presenta prácticamente horizonte orgánico posiblemente debido a que la zona es un depósito coluvial.

La profundidad de excavación para la presente calicata fue de 1.60m presentándose un único horizonte con un suelo limoso con gravas.

Así mismo analizando el mapa geomorfológico del cerro Yawarmaqui Figura N°10, se tiene que toda la zona pertenece a una vertiente de deslizamiento. Es decir, material sedimentado acumulado en masa debido a deslizamientos.

tomando fotografías aéreas del pie en el corte de la carretera, así como en las partes altas se puede observar la siguiente estratificación.

Figura 27: Afloramientos de caliza en la parte superior de la montaña

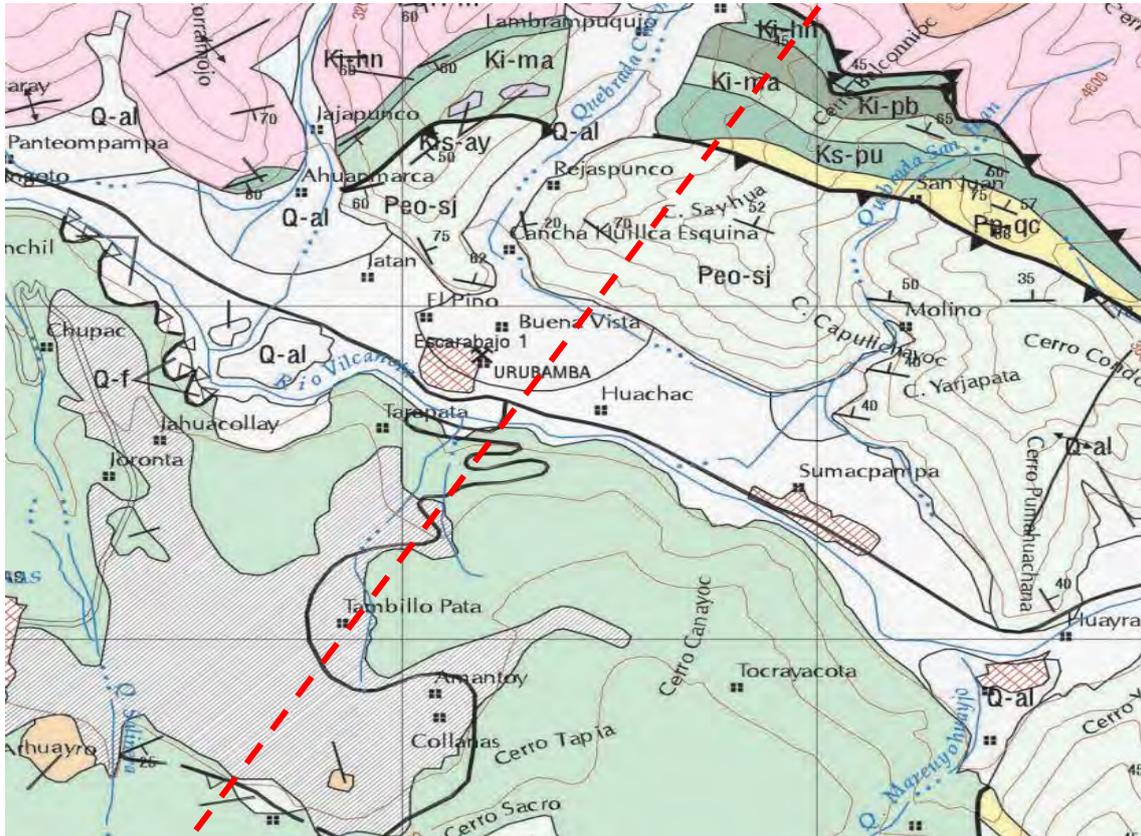


Fuente: Elaboración propia

de acuerdo con las fotografías aéreas tomadas en campo, se distinguen dos zonas de caliza en la parte alta como en la parte baja, el ancho estratigráfico aproximado de cada una es de 13m, siguiendo una dirección de buzamiento igual a la carretera, el ángulo de

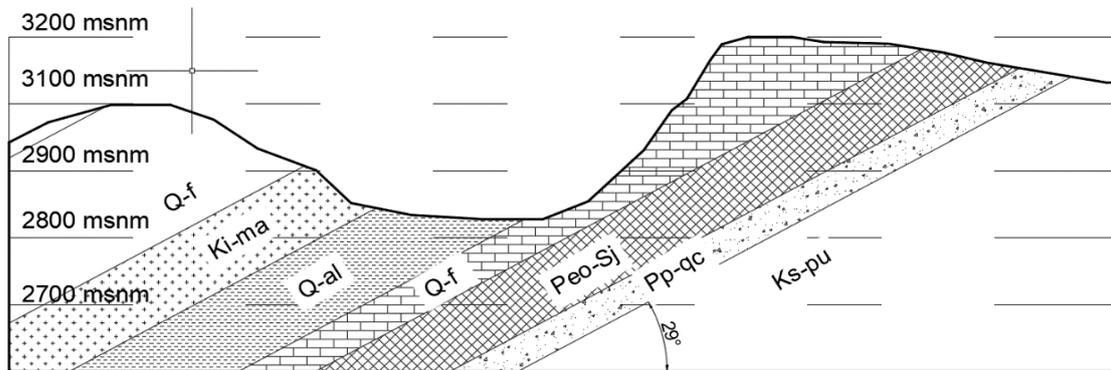
buzamiento puede ser calculado por medio del mapa A0-65 Urubamba 27r del INGEMMET.

Figura 28: Análisis estratigráfico según línea de detalle para calculo de buzamientos de estratos



Fuente: Mapa cuadrángulo 27-r INGEMMET

Figura 29: Perfil estratigráfico para la zona del cerro Yawarmaqui

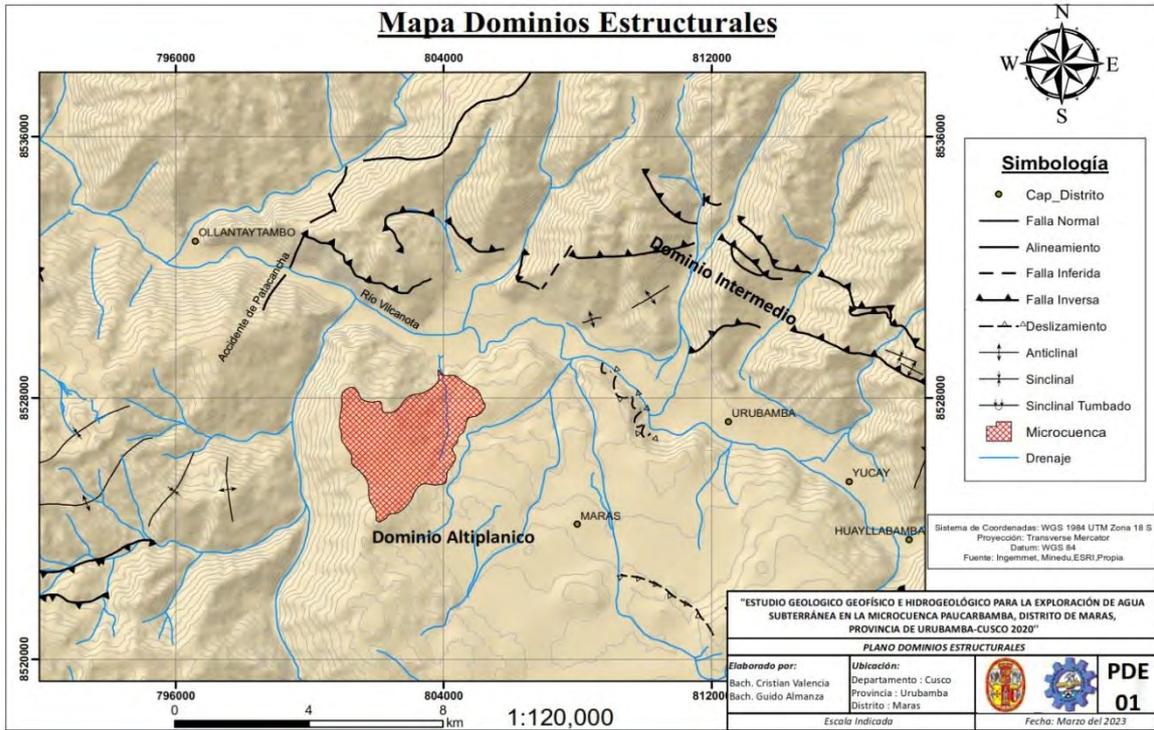


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos recopilados, el perfil estratigráfico esperado en la zona es de, depósitos fluviales (Q-f) y parte de la formación maras (Ki-ma), sabiendo que los estratos están con un buzamiento aproximado de 29°. Y son conformados en su mayoría por rocas sedimentarias, lutitas y calizas.

Así mismo se tiene un estudio del perfil estratigráfico cercano a la zona de muestra, correspondiente a la tesis “Estudio geológico geofísico e Hidrogeológico para la exploración de agua subterránea en la microcuenca Paucarbamba, distrito de Maras, Provincia de Urubamba – Cusco 2020”. De los Autores Cristian Valencia y Guido Almanza. El cual muestra el siguiente mapa con los dominios estructurales presentes en la zona

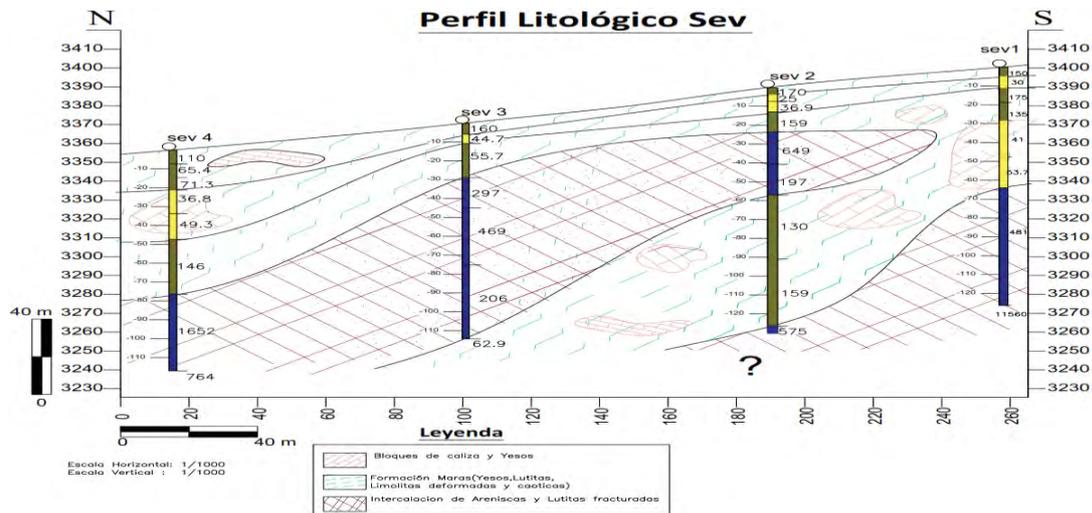
Figura 30: Dominio Estructurales, Fuente (Valencia, Almanza,2023)



de estudio, Así mismo un perfil estratigráfico realizado con el ensayo de sondeo eléctrico vertical.

Fuente: Valencia, Almanza,2023

Figura 31: Perfil litológico por sondaje eléctrico vertical,



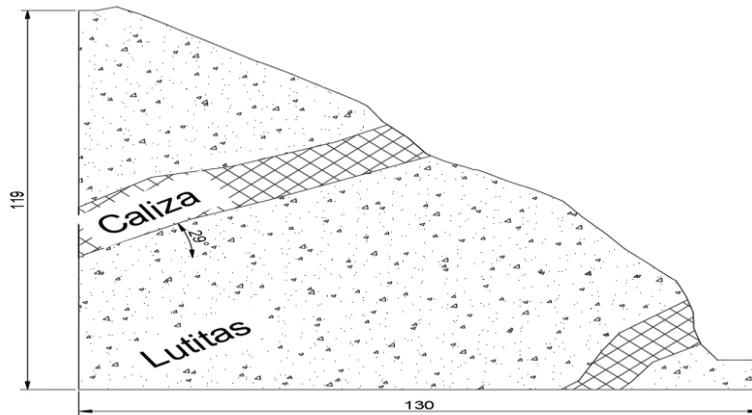
Fuente (Valencia, Almanza,2023)

Se plantea el siguiente perfil para la zona en estudio debido a lo siguiente

- De acuerdo a las fotografías aéreas se tiene la presencia de afloramientos de calizas en las partes altas y bajas de la montaña, la cual puede ser observada en los cortes de la carretera.
- De acuerdo a los mapas geomorfológicos del INGEMMET, se puede calcular que las estratificaciones correspondientes de la zona poseen un buzamiento de 29 grados y que las formaciones predominantes es la formación Maras.
- Según la calicata realizada, los horizontes superiores no presentan estructuras rocosas, consistiendo primordialmente de suelos arcillosos, esto puede ser debido a la erosión propia de las laderas de la montaña.
- Los materiales predominantes de acuerdo con la geología del cuadrángulo 27r del INGEMMET lo compone la formación maras con materiales como las lutitas y calizas, las cuales se encuentran estratificadas siguiendo la dirección de buzamiento predominante de la formación geológica.
- De acuerdo con la tesis de Valencia y Almanza, se tiene 3 horizontes los cuales son, primer horizonte el cual corresponde a material limoso con fragmentos de areniscas, yesos y arcillas con baja resistividad la cual indica presencia de agua, el segundo horizonte esta conformado por areniscas, lutitas y yesos mas compactos que el horizonte anterior, el tercer horizonte corresponde a un basamento formado por internalizaciones de lutita y arenisca con mínima humedad.

Basado en los datos anteriores se plantea el siguiente perfil para los análisis de estabilidad.

Figura 32: Perfil geológico planteado para análisis de estabilidad



Fuente: Elaboración propia

2.10.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS:

2.10.3.1. RESULTADOS CORTE DIRECTO

Los ensayos de corte directo muestran los siguientes resultados, los resultados del laboratorio están en los anexos de esta Tesis:

a) CORTE DIRECTO MUESTRA DE LUTITA EXTRAÍDA DE CALICATA N°1.

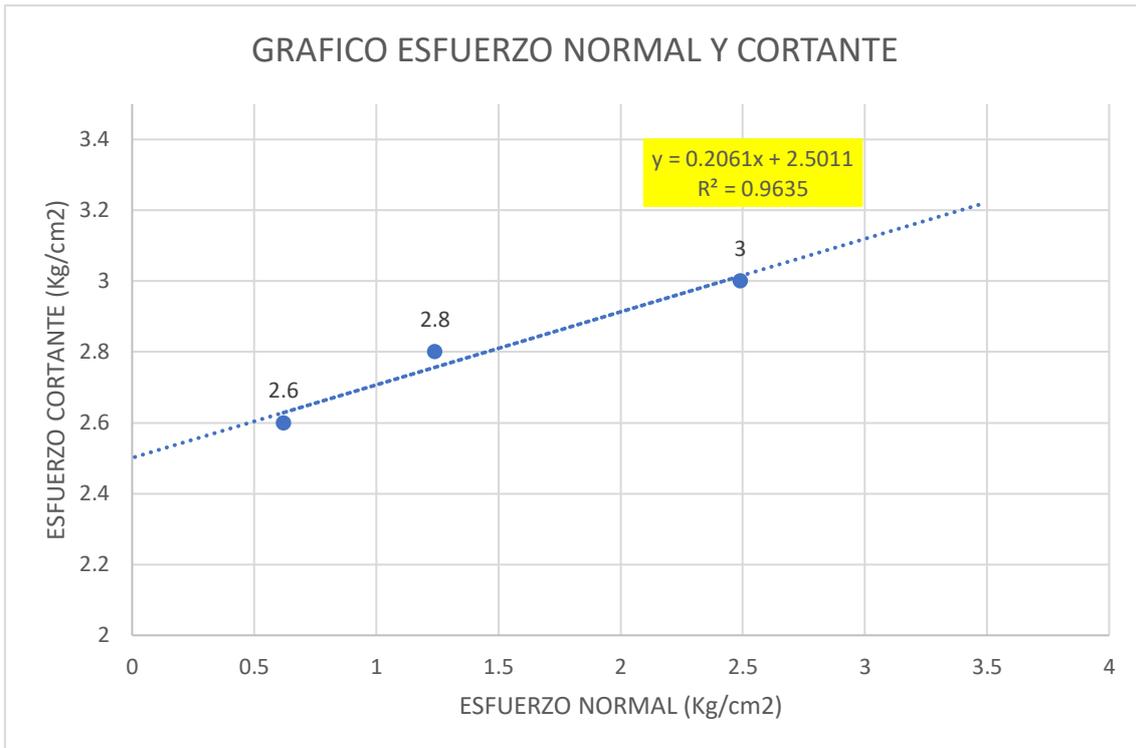
- Cohesión : 2.50 Kg/cm² - 250 KN/m²
- Angulo de Fricción : 11.64°

Tabla 5: Carga Normal y cortante en muestras

MUESTRA	CARGA NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
	Kg/cm ²	Kg/cm ²
MUESTRA 1	0.62	2.6
MUESTRA 2	1.24	2.8
MUESTRA 3	2.49	3

Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Grafico Esfuerzo normal y cortante



Fuente: Elaboración propia

2.10.3.2. RESULTADOS PROPIEDADES FISICAS

- Peso unitario : 1.70 gr/cm³ - 16.6 KN/m³

2.10.3.3. RESULTADOS CONTENIDO DE HUMEDAD

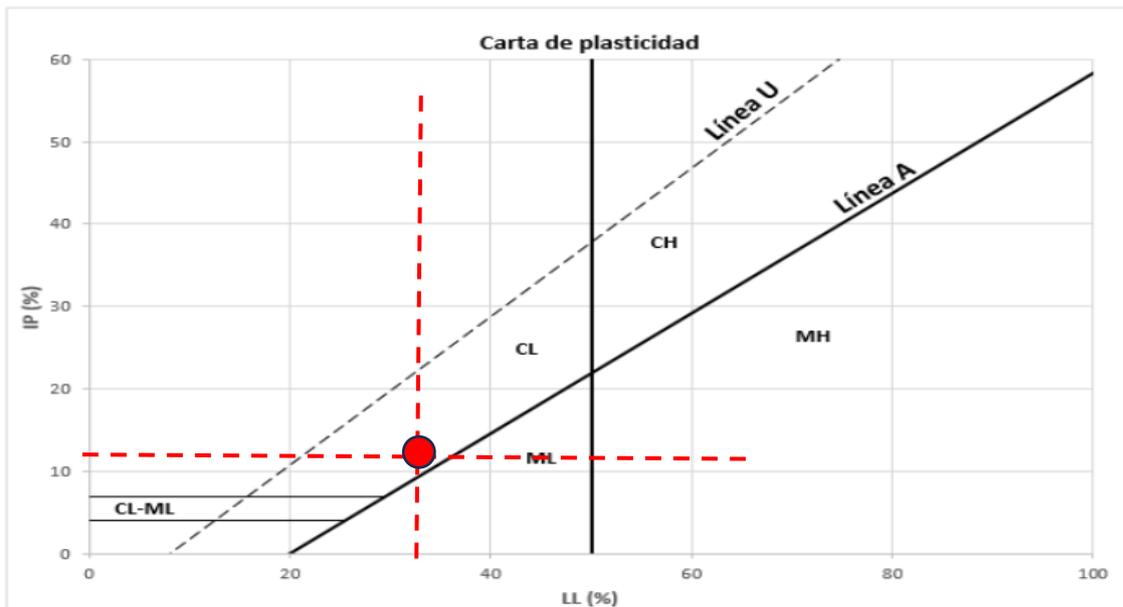
Los resultados son los siguientes:

- Limite Liquido : 43
- Limite Plástico : 31
- Índice de plasticidad : 12

Humedad de la muestra

- Humedad : 17.2%

Figura 34: Carta de plasticidad para clasificación del suelo



Fuente: Carta de plasticidad de suelo propuesta por Arthur Casagrande

2.10.4. RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECANICA DE ROCAS:

Los resultados de ensayos de mecánica de rocas en caliza fueron obtenidos de fuentes directas. A continuación, se detallan los siguientes resultados de ensayos de corte directo en calizas.

Tabla 6: Resultados corte directo en calizas y dolomitas

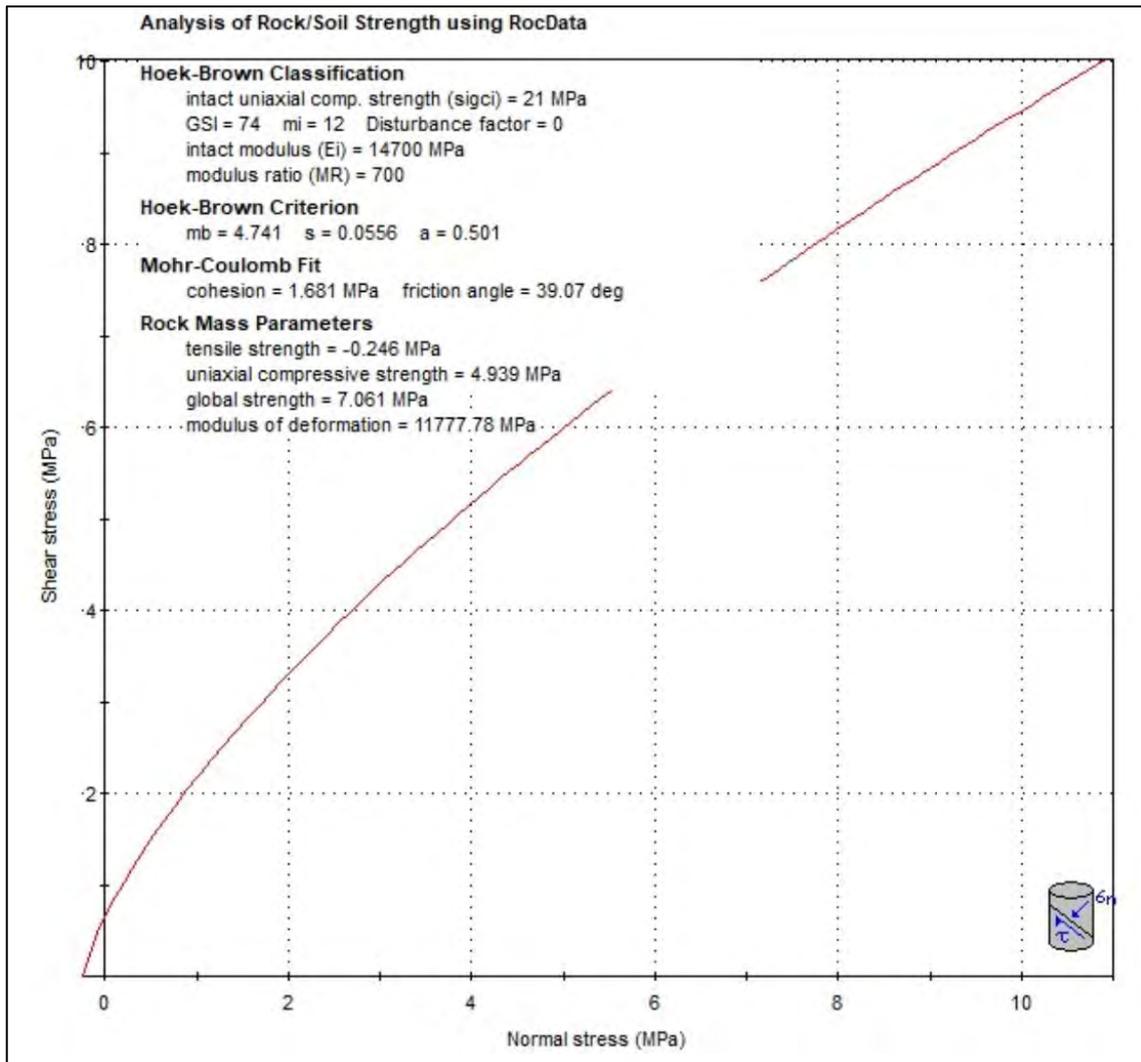
Unit	Sample Code	Peak		Residu	
		C (kPa)	Φ (°)	C (kPa)	Φ (°)
Limestone	BG-1	268.87	41.57	45.41	29.83
	BG-A	221.44	40.80	34.78	31.93
	BG-B	184.18	36.57	29.02	26.57
	BG-C	205.63	40.00	37.24	28.80
Claystone	CL-1	77.28	26.50	14.82	16.83
	CL-2	24.21	24.21	12.00	15.51

Fuente: Paper Características de resistencia de caliza y dolomita según sistema Triaxial

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA CALIZA

TIPO	Roca Sedimentaria
DENSIDAD	21 KN/m ³
UCS	29 MPa
COHESION	220 KPa
ANGULO DE FRICCION	39.73°
COEFICIENTE Mi	12

Figura 35: Curva de Hoek y Brown para roca caliza

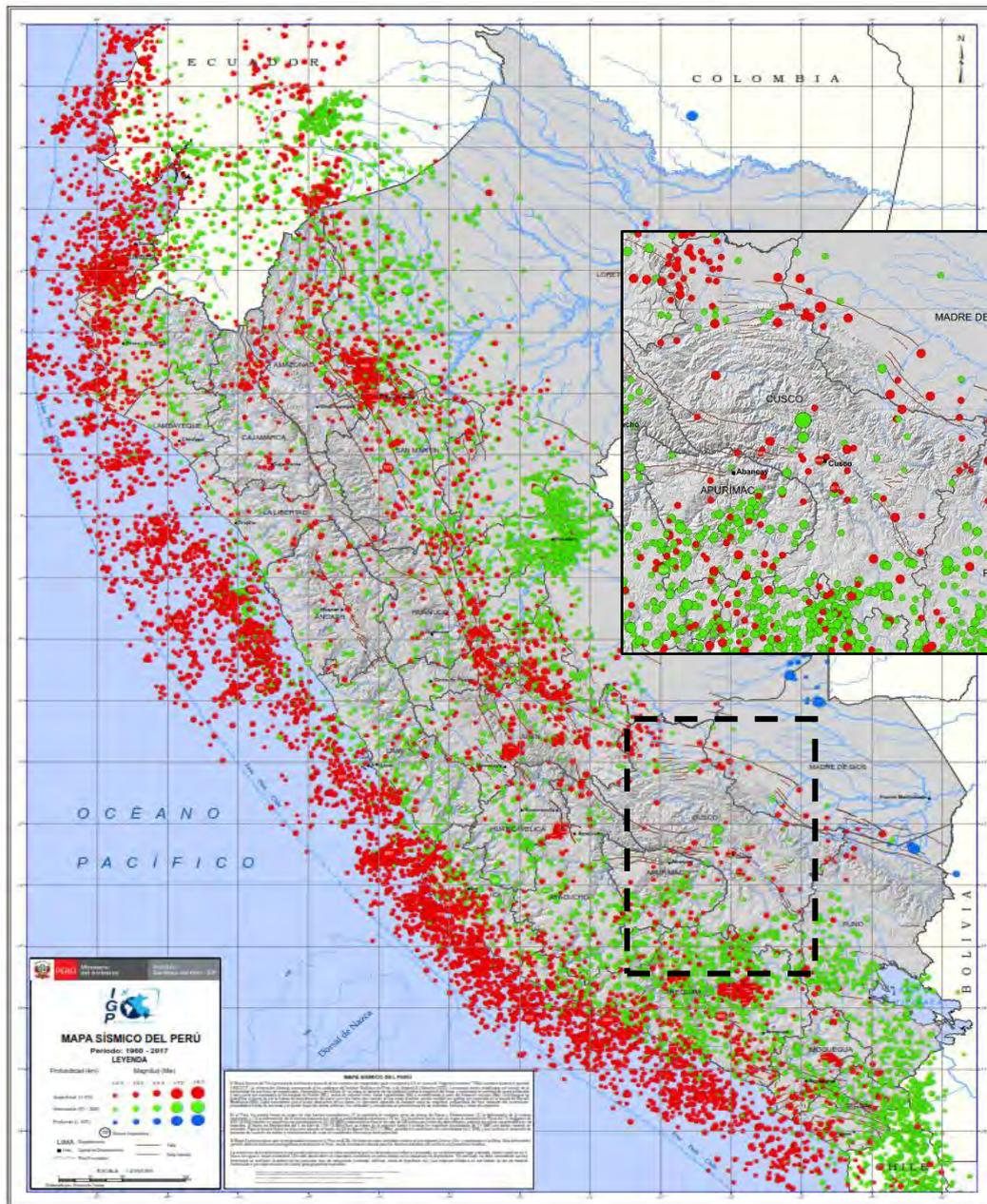


Fuente: Elaboracion propia

2.10.5. SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Perú es una zona sísmica por excelencia, debido al choque que presentan la placa de Nazca con la placa sudamericana, la muestra de estudio de la presente tesis se encuentra dentro del departamento de Cusco. La cual posee una mezcla de sismos de tipo interfase ($h < 70\text{Km}$) y intraplaca ($70\text{Km} < h < 125\text{km}$), según el mapa de actividad sísmica nacional se tiene varios departamentos del Perú con bajos niveles de familias sísmicas agrupadas, entre ellos se encuentra el departamento de Cusco. El cual podría ser partícipe de un evento sísmico de mayor magnitud al tener un mayor periodo de inactividad sísmica.

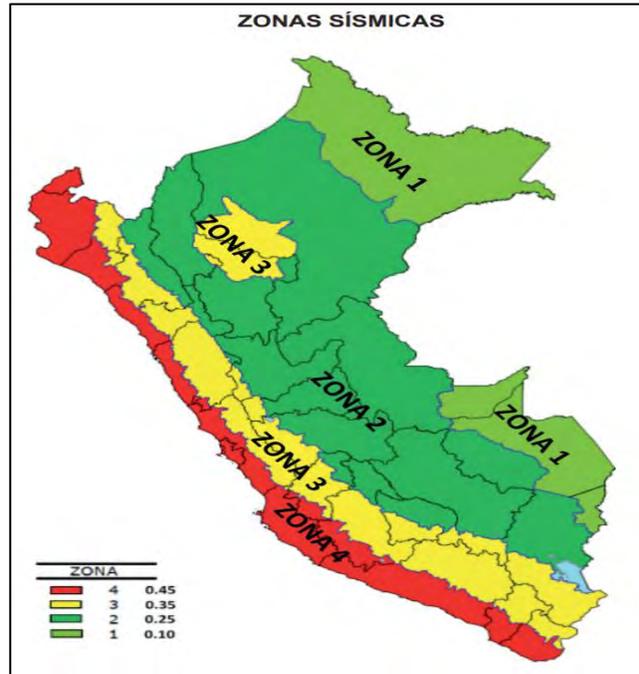
Figura 36: Mapa Sísmico del Perú, Fuente IGP



Fuente: Mapa sísmico del Perú, IGP

Dentro del mapa de zonificación sísmica se incorpora el detalle del área de estudio donde se detalla la ciudad del Cusco con sismos superficiales. Así mismo se detalla la zona de silencio sísmico debido a la baja actividad sísmica que se caracteriza desde el año de 1960.

Figura 37: mapa de zonificación sísmica del Perú

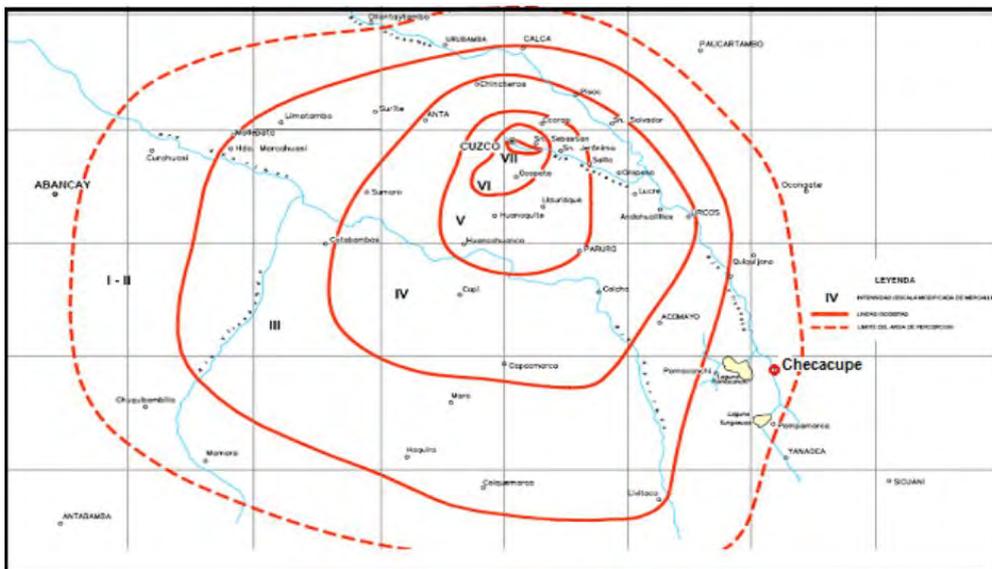


Fuente: Decreto supremo N°003-2016; capítulo II peligro sísmico

Así mismo se detalla el mapa de zonas del Perú publicado el 2016, el cual divide al país en 4 zonas cada una con un factor correspondiente, el factor de zona es interpretado cada uno como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años.

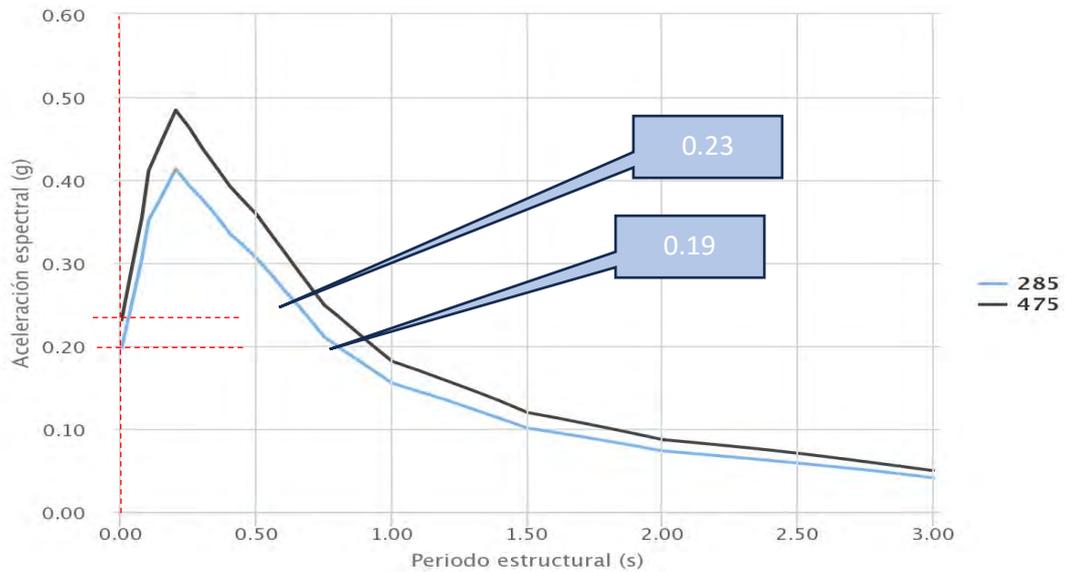
De acuerdo al mapa de máximas intensidades de la muestra de la Tesis podría estar sujeto a un evento sísmico del grado III a V

Figura 38: Mapa de Máximas intensidades Fuente sismo del 21 de Mayo 1950 E Silgado, J. Fernández



Para un valor de $Q = 10\%$ y un periodo de operación de la obra de 30 años, existe un periodo de retorno de sismo de 475 años. Es decir que existe un 10% de probabilidad de que un sismo exceda la aceleración de diseño durante la vida útil de 30 Años de la obra.

Figura 39: Aceleración sísmica esperada para un periodo de retorno de 475 años



Fuente: Elaboración propia por medio de portal SENSICO

Se tienen valores de:

TIEMPO DE RETORNO	Amax
285	0.19
475	0.23

Los coeficientes sísmicos para usar serán el 50% de la aceleración máxima. De acuerdo con la formula escrita en las bases teóricas.

$$Kh = \%Amax$$

- Kh: Coeficiente sísmico horizontal
- Amax: Aceleración máxima

TIEMPO DE RETORNO	Amax	Coefficiente Sísmico
285	0.19	0.095
475	0.23	0.125

2.10.6. RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL AREA DE ESTUDIO

2.10.6.1. CONDICIONES GEOLOGICAS

Dentro del área de estudio se presenta la formación Maras (Ki-ma) con el grupo Yuncaypata. El tipo de minerales y rocas presentes en la zona se puede resumir a Anhidrita, Lutitas, Gravas y arcillas.

Las características de estos materiales son los siguientes:

a) ANHIDRITA - YESOS

Es un mineral compuesto por sulfato de calcio (CaSO_4), el nombre de anhidrita hace referencia a "Sin agua" debido a que no posee moléculas de agua dentro de su cristalización. Su origen es sedimentario se deposita a partir de soluciones de sulfato de calcio, también puede ser formada a partir del yeso al perder sus moléculas de agua.

b) PROPIEDADES FISICAS:

PROPIEDADES FISICAS:	
DUREZA MOHS	3.5
DENSIDAD	22.55 KN/m ³
MODULO DE ELASTICIDAD	0.15-7.6 Kg/cm ² (x10 ⁵)

c) LUTITAS

Las lutitas son rocas sedimentarias de grano muy fino cuyas partículas son similares en tamaño al limo y arcillas, se forman en cuencas sedimentarias o en ambientes deposicionales por medio de la sedimentación y compactación.

PROPIEDADES FISICAS:	
ANGULO DE FRICCION (PHI)	13.5°-25°
COHESION	2.7 – 15 Kg/m ² - 0.026-0.147Kn/m ²
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
MODULO DE ELASTICIDAD	0.3-2.2 Kg/cm ² (x10 ⁵)
MODULO DE POISSON	0.25-0.29

RESISTENCIA A LA COMPRESION	30-70 Mpa
PESO ESPECIFICO	2.2-2.7 gr/cm ³ - 21.57 - 26.47KN/m3

d) CALIZAS

Es una roca sedimentaria cuyos elementos que lo componen son carbonato de calcio (III), es de color blanco a gris con un dureza en la escala de Mohs de 3-4, encontrada como roca puede tener una dureza a la compresión de 180 Mpa, a continuación se muestran las propiedades físicas.

PROPIEDADES FISICAS:	
ANGULO DE FRICCION (PHI)	40°-41°
COHESION	185-265 Kpa
TIPO DE ROCA	Sedimentaria
UCS	282.67 Kg/cm ² - 27.7 Mpa
PESO ESPECIFICO	20.67 KN/m ³
RESISTENCIA A LA COMPRESION	30-70 Mpa

Fuente: Estudio de roca Caliza

2.10.6.2. CONDICIONES METEOROLOGICAS

De acuerdo a los datos obtenidos de clima se tiene que en los meses de enero, febrero, marzo es donde se tiene la mayor cantidad de precipitaciones, estos datos indican un incremento en lo que corresponde a el nivel freático por lo tanto en estos meses se tendrá un mayor empuje de los taludes al disminuir la cohesión que existe entre partículas.

Figura 40: Box Plot Meses de lluvia de la estación meteorológica Urubamba



Fuente Elaboración propia

2.10.6.3. TOPOGRAFIA

La topografía muestra depresiones en dos zonas, la cual podría deberse a deslizamientos previos, Así mismo la altura total del cerro Yahuarmaqui varia de entre 130 a 180m según los cortes realizados y analizados.

2.10.6.4. SISMICIDAD

La sismicidad muestra que para el periodo de retorno de 285 Años se tiene una A_{max} de 0.19 gals, mientras que para un periodo de retorno de 475 Años se tiene 0.23 gals, el cual es cercano al factor de zona correspondiente a la región Cusco. Esto ocurre en el periodo "0" a nivel de terreno el cual es usado en geotecnia.

CAPITULO IV:

MODELAMIENTO GEOTECNICO DE TALUDES Y DETERMINACION DE FACTOR DE SEGURIDAD

3.1. PROCESO DE MODELAMIENTO GEOTECNICO

Para el procesamiento de datos de secciones transversales se trabajó con el modelo TIN (Triangle irregular network) que se extrajo de la imagen raster proveniente del levantamiento topográfico con Fotogrametria. La obtención de las secciones transversales se realizó con una separación aproximada de 30 m siguiendo el contorno de la carretera.

3.2. TOPOGRAFIA – RELIEVE

3.2.1. SECCIONES TIPICAS:

Las secciones transversales extraídas del programa son las siguientes:

Figura 41: modelo TIN generado para las secciones transversales

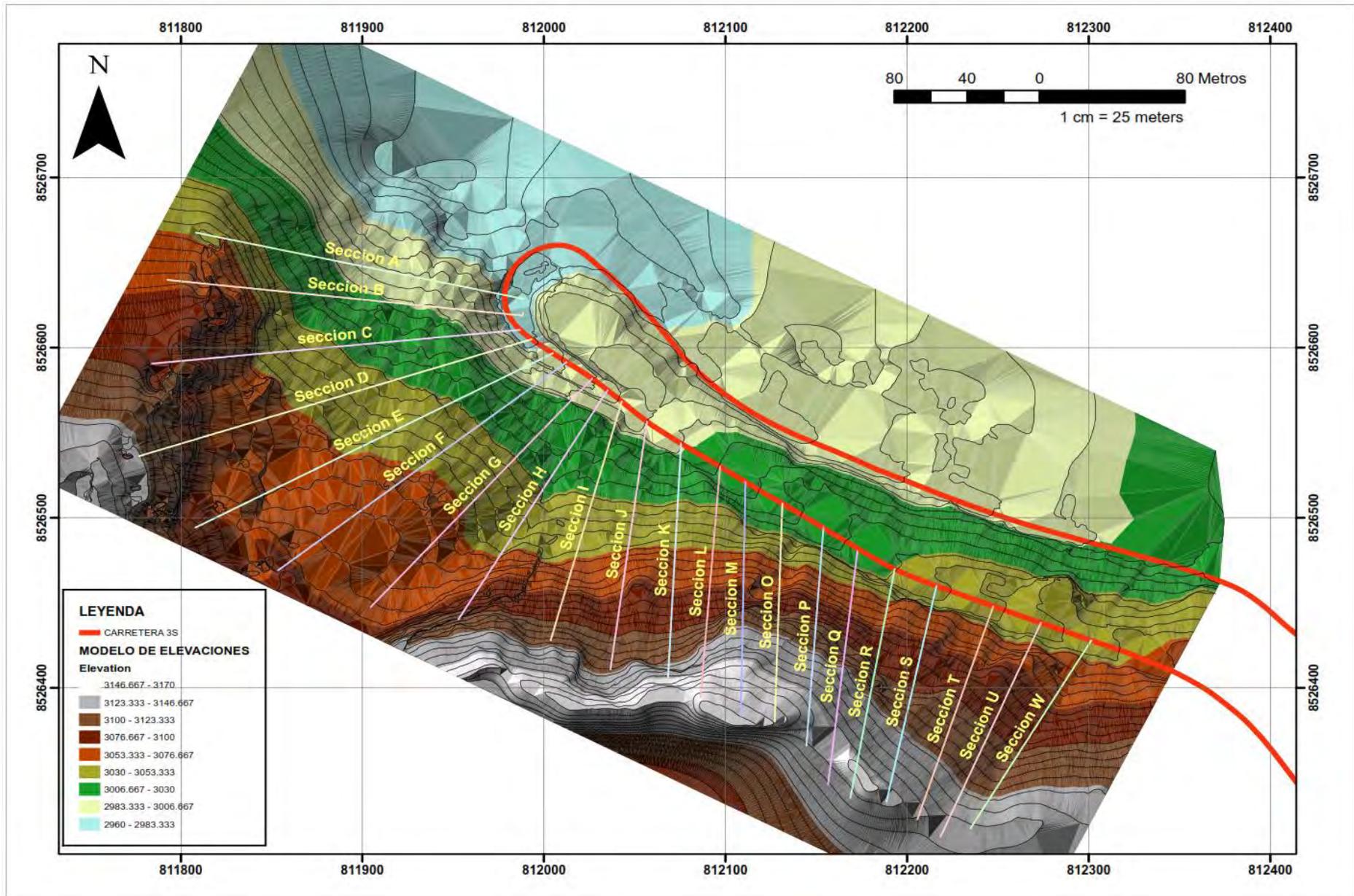


Figura 42: Vista 3D del entorno analizado



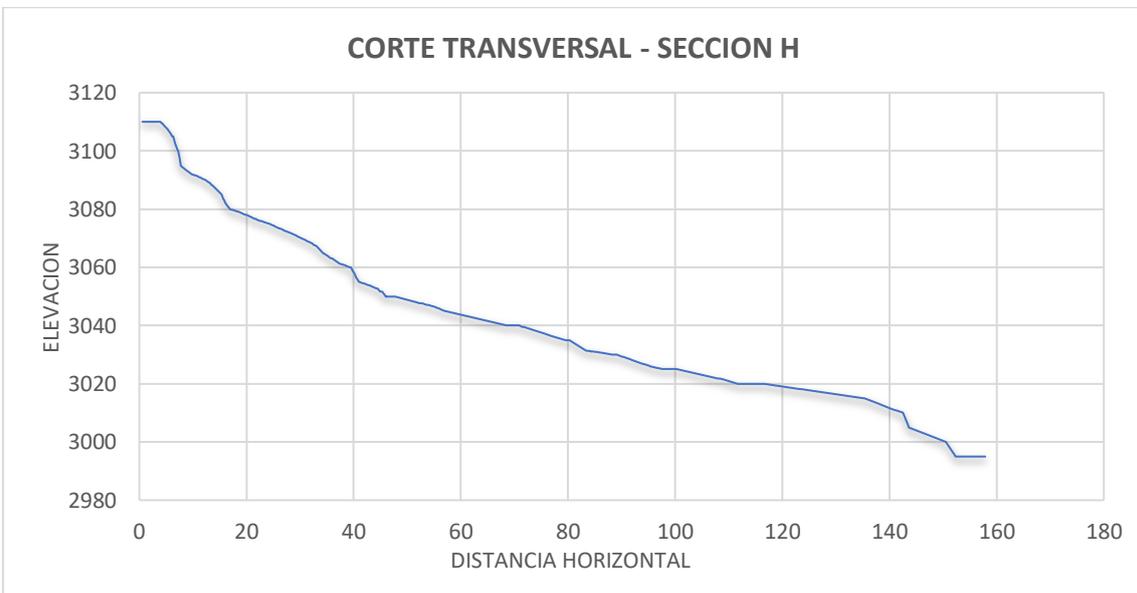
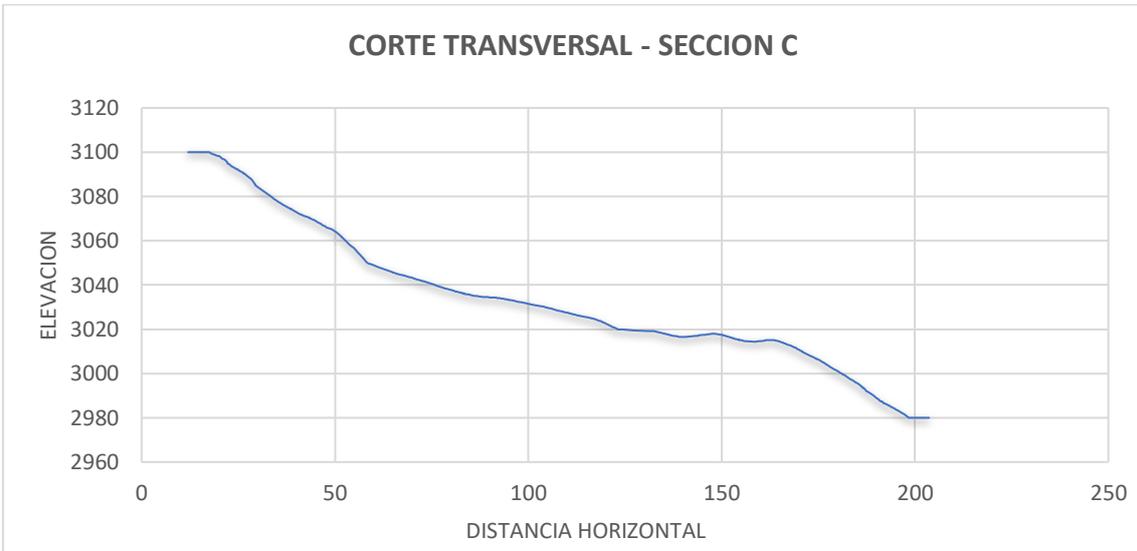
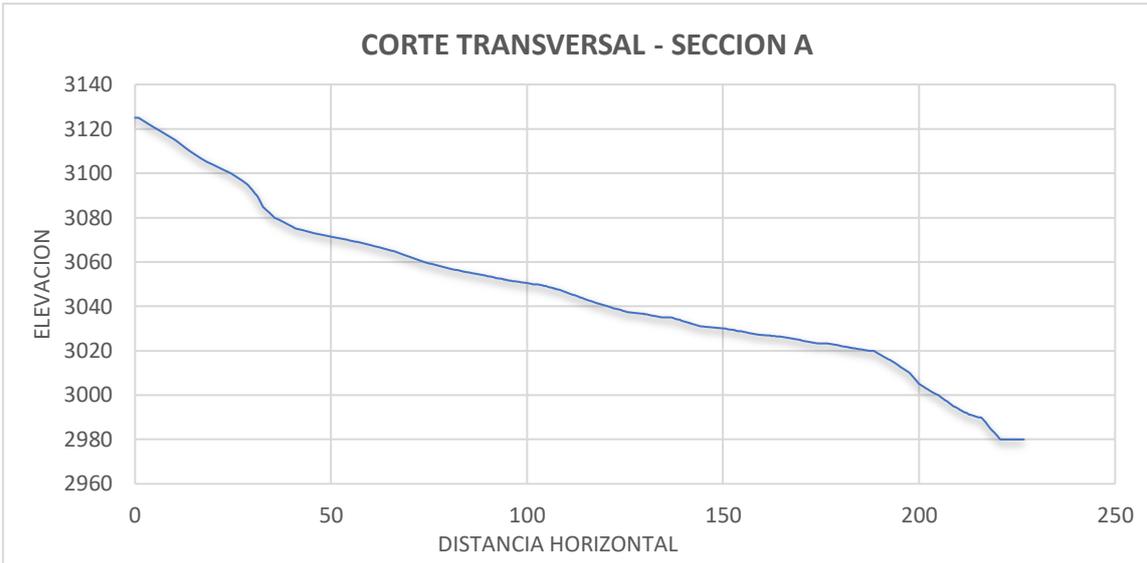
Fuente Elaboración propia

Se tiene un total de 21 secciones transversales generadas cuya altura varían de entre los 100 a 200 m, Así mismo la carretera que pasa por el cerro Yawarmaqui se encuentra a una altura de 2975 msnm, cabe recalcar que en la sección A a la F ya se tiene unos taludes que fueron realizados previamente, el cual cuenta con 2 bancos cada uno de 10m y una banquetta de 3m aproximadamente.

Todos los datos de las secciones como las coordenadas X, Y (Distancia Horizontal, Elevación) será colocada en los anexos de la presente tesis, así mismo las 10 secciones serán llevadas al software slide V6 fin de realizar el cálculo del factor de seguridad de línea de base.

Todos los relieves topográficos correspondiente a cada una de las 21 secciones se detallarán en los anexos de la presente tesis.

A continuación, se muestran algunas secciones:



3.3. ANALISIS DE ESTABILIDAD BASE

3.3.1. RESULTADOS DE LEVANTAMIENTO GEOMECANICO

Para el levantamiento geomecánico de la zona rocosa se tomaron los datos provenientes del macizo rocoso que se encuentra en la parte baja de los taludes, a fin de caracterizar las discontinuidades presentes en la zona de estudio.

Estos fueron caracterizados por medio del tipo de discontinuidad (Falla, Diaclasa, Cizallamiento, Estratificación). Cabe destacar que solo se tomaron las discontinuidades principales debido a que el terreno presenta gran cantidad de discontinuidades las cuales no podrían ser mapeadas con un estereograma.

Los resultados de la toma de datos son los siguientes de manera global son los siguientes.

Tabla 7: Resumen de discontinuidades encontradas en campo

ITEM	DIP	DIP DIRECTION	TIPO	ESP	PERSISTENCIA	AGUA	RELLENO	ABERTURA	RELLENO	ALTERACION	RUGOSIDAD
1	45	220	ESTRATIFICACION	21	10	NO	SI	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
2	48	225	ESTRATIFICACION	5	30	NO	SI	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
3	50	225	ESTRATIFICACION	5	35	NO	SI	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
1	5	301	DIACLASA	5	30	NO	SI	3cm	Blando	NO	RUGOSA
2	6	305	DIACLASA	3	35	NO	NO	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
3	5	305	DIACLASA	3	35	NO	NO	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
4	8	306	DIACLASA	2	32	NO	NO	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
5	7	308	DIACLASA	3	32	NO	NO	CERRADA	NO	NO	RUGOSA
1	75	8	FALLA	0.5	>50m	SECO	NO	>5cm	NO	NO	RUGOSA
2	45	27	DIACLASA	1.5	25	SECO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
3	40	30	DIACLASA	2	30	SECO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
4	42	30	DIACLASA	1.5	25	SECO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
5	38	32	DIACLASA	1.5	25	SECO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
1	15	42	ESTRATO	5	30	NO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
2	18	40	ESTRATO	5.5	35	NO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
3	15	42	ESTRATO	5	35	NO	NO	NO	NO	NO	RUGOSA
1	80	226	FALLA	<2m	>50m	no	NO	>5cm	NO	NO	RUGOSA
1	70	216	FISURA	<2m	>50m	no	NO	>5cm	NO	NO	RUGOSA

Fuente Elaboración propia

CALCULO DE RMR BASICO – SEGÚN BIENIAWSKI -1989

Figura 43: RMR básico de Bieniawski 1989

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																		
Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																		
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN							
RESIST. COMP. UNIAxIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	25 - 50	▼	
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8							3	2	75 - 90	▼
ESPACIAMIENTO (m.)	> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06						5	3	> 2	▼
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.					0	4A	10 - 20m.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.					0	4B	Cerrada	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla					0	4C	Rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.					0	4D	Limpia	▼
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta					0	4E	Lig. Alterada	▼
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	5	Seco	▼	
VALOR RMR (Básico) =															79			
CLASE DE MACIZO ROCOSO																		
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0								II	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA								BUENA	

A partir del calculo del RMR se puede aplicar la siguiente formula para el calculo del GSI.

$$\diamond \text{ GSI} = \text{RMR}(89) - 5$$

$$\diamond \text{ GSI} = 79 - 5 = 74$$

Asi mismo se muestran a continuacion algunas de las discontinuidades mayores encontradas en campo.

Figura 44: Fotografía aérea de las partes bajas de los taludes y detalle de discontinuidades.





Fuente Elaboración propia

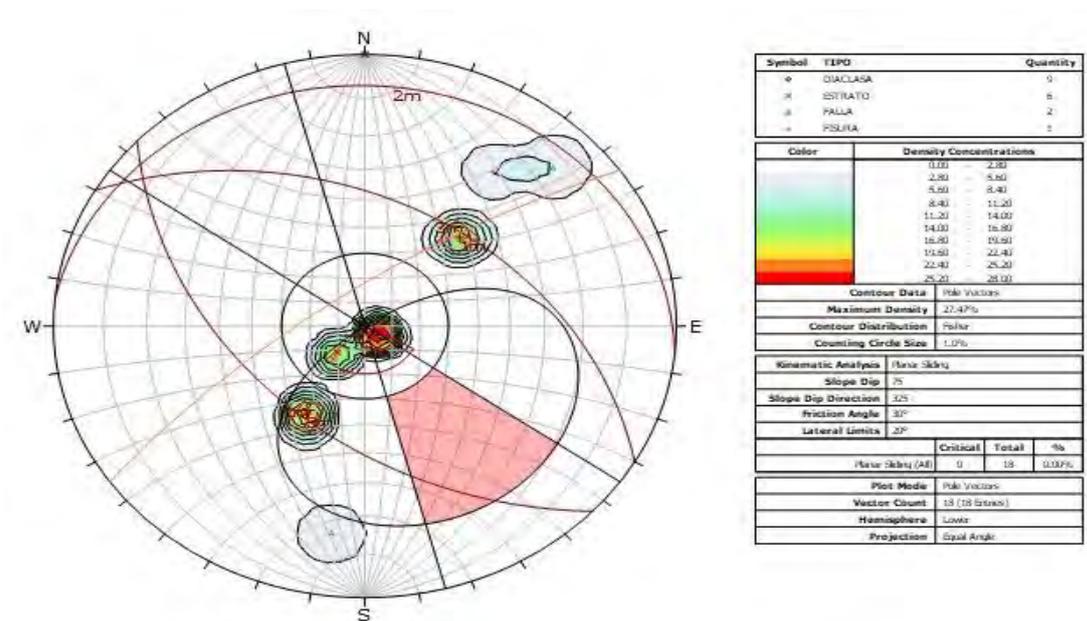
3.3.2. ANALISIS CINEMATICO DE TALUDES

El análisis cinemático de taludes comprende el análisis de la orientación de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso, a partir de este análisis se podrá ver el modo de falla predominante de los taludes.

3.3.2.1. ANALISIS CINEMATICO PARA FALLA PLANAR

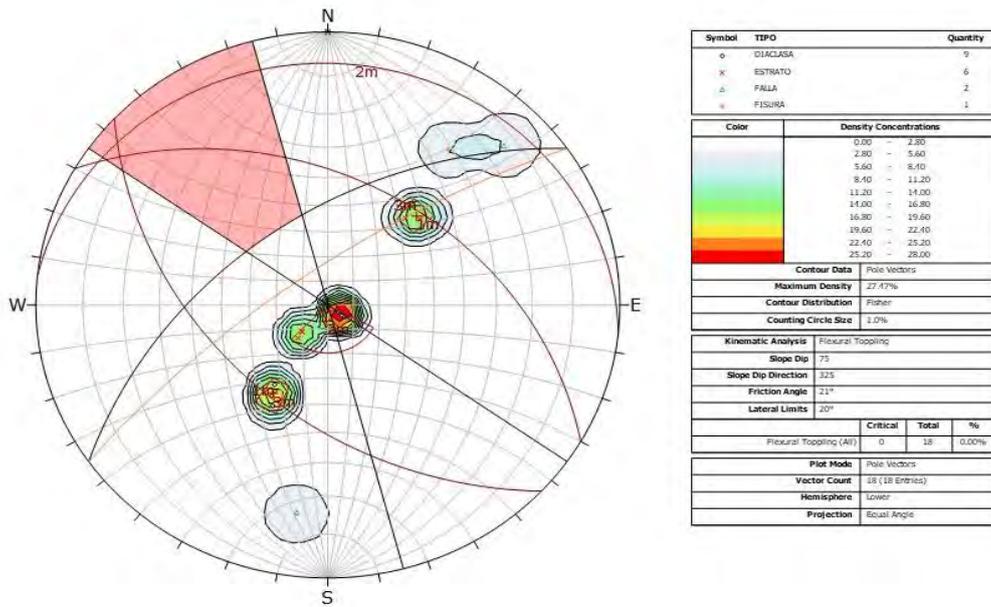
Los datos fueron llevados al software Dips, para la aplicación del test de Markland, a fin de verificar si los taludes de la base pueden tener un modo potencial de falla por deslizamiento planar.

Figura 45: Test de Markland



Fuente Elaboración propia

Figura 47: Test de Goodman para falla en vuelco



Fuente Elaboración propia

Por medio de esta prueba se pudo verificar que no existe potencial de falla por vuelco, esto se pudo ver en campo puesto que las discontinuidades encontradas no buzan en la dirección de buzamiento del talud.

3.3.2.4. ANALISIS CINEMATICO PARA FALLA CIRCULAR

Figura 48: Zonas con falla circular



Fuente Elaboración propia

Debido a que existen gran cantidad de discontinuidades en la zona, el modo potencial de falla para este tipo de terrenos es el circular la cual ya puede ser observada en dos

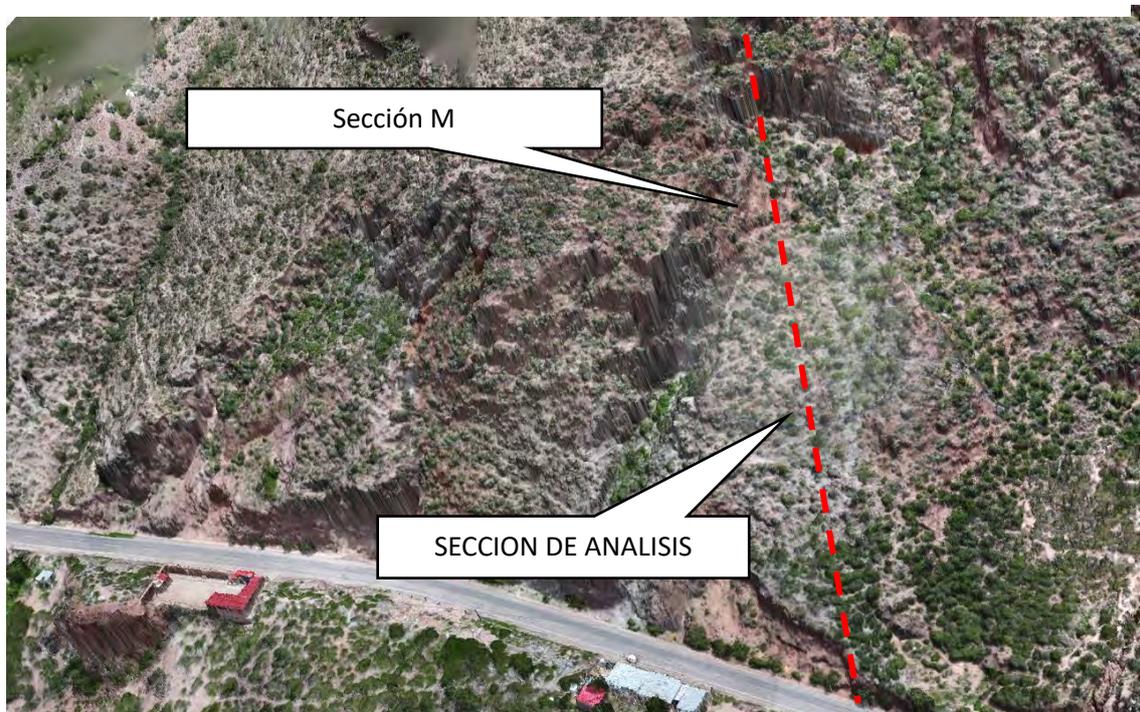
zonas cercanas a la carretera (marca roja), Estas zonas marcadas previamente ya experimentaron falla circular.

Para el análisis cinemático de falla circular se tomó en cuenta el criterio de discontinuidades orientadas aleatoriamente, siendo así mismo un modo predominante de falla en suelos. Se considera este modo de falla debido a que el macizo rocoso presente en la zona es mínimo, teniendo solo pequeños afloramientos de caliza en las partes bajas y altas de la montaña.

Para el cálculo de cohesión y fricción en caso de la lutita, se procedió a realizar un “Back-análisis” en las zonas marcadas en rojo (Zonas previas donde ya existió falla), a fin de poder iterar el valor cohesión y fricción del suelo con el cual fallo el talud.

Para el análisis se consideró la sección M, la cual previamente ya fallo, teniendo los siguientes datos de la falla.

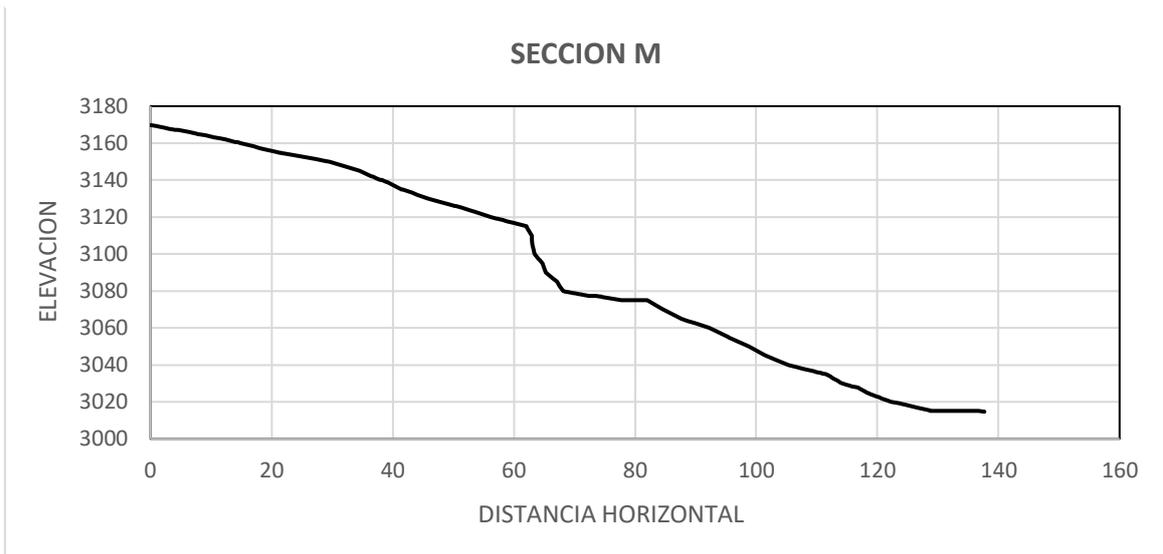
Figura 49: Sección analizada para Back-análisis



Fuente Elaboración propia

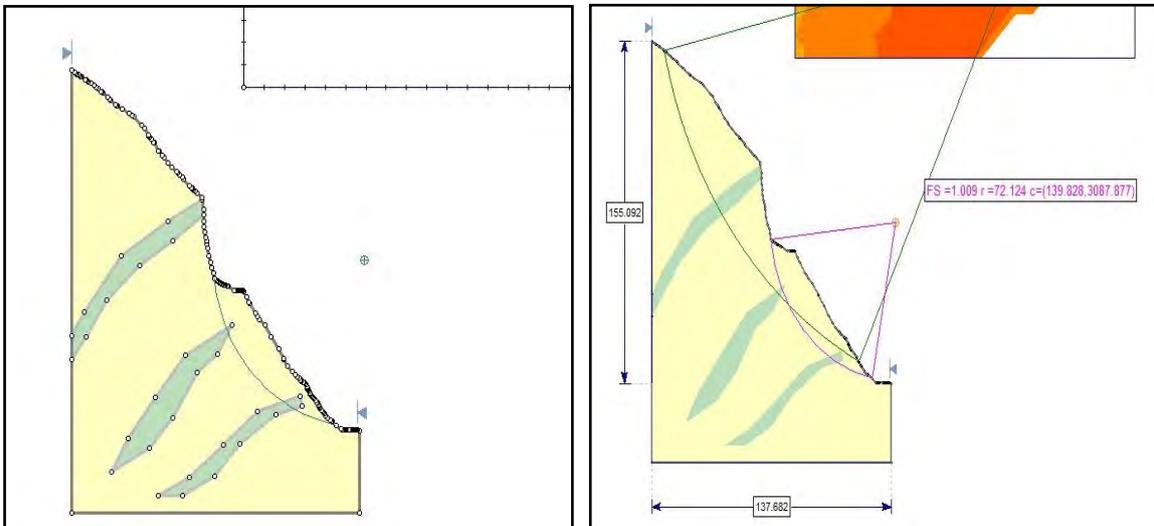
El análisis que se realizo fue de falla circular, iterando los datos de cohesión y fricción para el radio dado, a continuación, se muestra el relieve de la sección M.

Figura 50: Relieve topográfico Sección M,



Fuente Elaboración propia

Figura 51: Sección M analizada en Slide V6

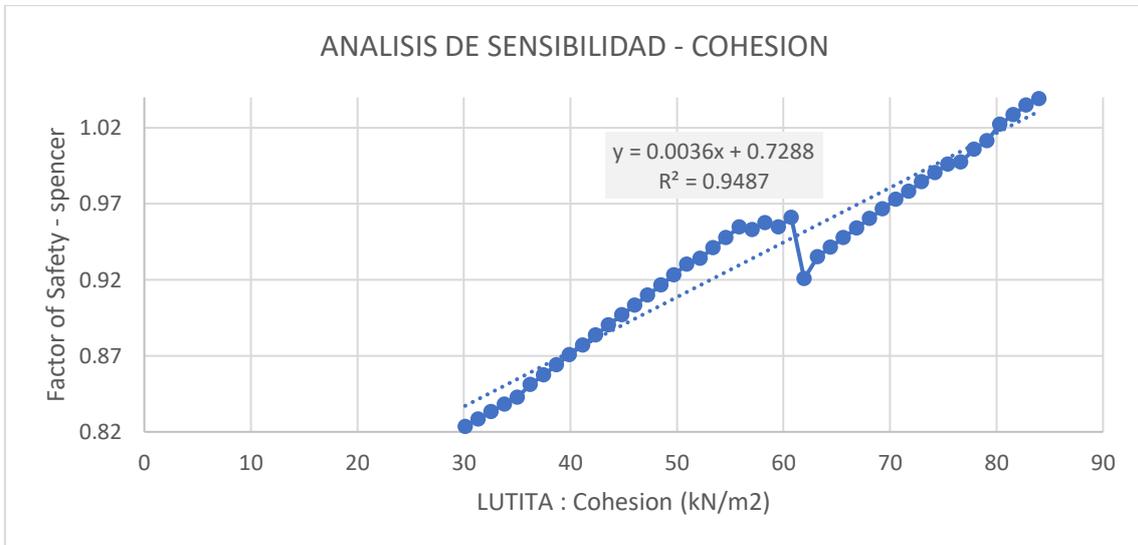


Fuente Elaboración Propia

Los datos topográficos de elevación y distancia horizontal fueron llevados al software Slide V6, a fin de poder analizar la sección previamente fallada, como se observa en el relieve M y en la figura 43, la sección ya posee una falla previa es decir que previamente ya se supero los esfuerzos resistentes de la zona, con el back análisis se buscara calcular los datos con los cuales ocurrió esa falla, generando una superficie circular e iterando los datos de cohesión y fricción hasta llegar a una FS de uno tal como se observa en la figura derecha N°45.

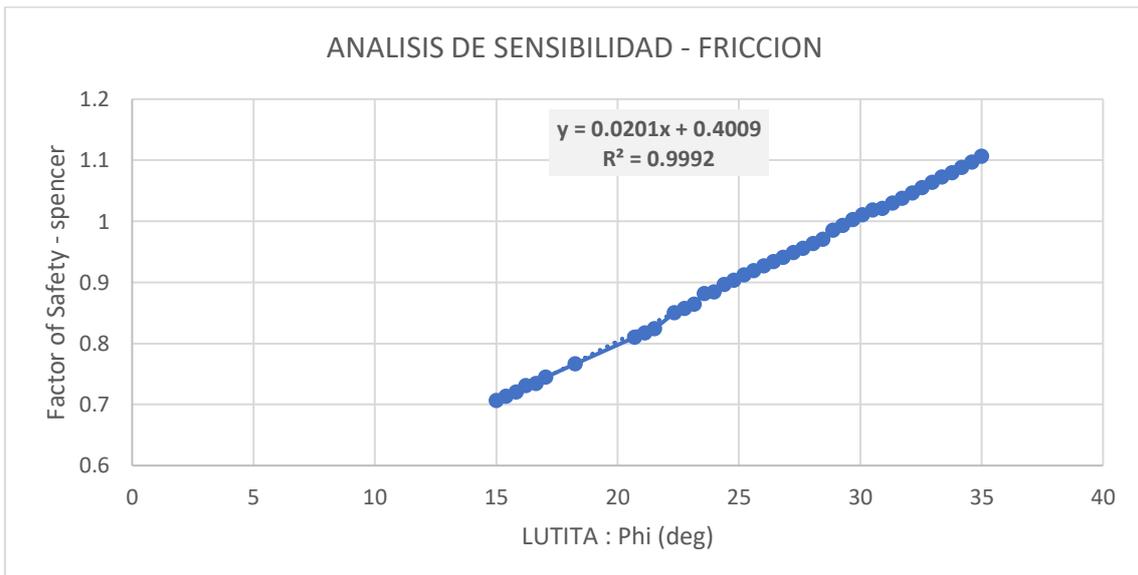
En los siguientes gráficos se analizó por separado la cohesión y la fricción a finde obtener un valor de 1 en el factor de seguridad, Estos valores se tomarán en cuenta para futuros análisis puesto que con ellos existió la falla circular en la sección M.

Figura 52: Análisis de sensibilidad- Cohesión



Fuente Elaboración Propia

Figura 53: Análisis de sensibilidad - Fricción



Fuente Elaboración Propia

Para que el talud falle tuvo que existir una cohesión en la lutita de 75.3 KN/m² y una fricción de 30°, este dato se usara para realizar los siguientes análisis en las secciones restantes, la cual se detallara en la siguiente tabla N°7

3.4. ANALISIS DE LINEA BASE EN TALUDES ACTUALES

3.4.1. ANALISIS ESTATICO

El análisis estático se realizó en cada sección de la figura N°22, los resultados son los siguientes:

Para el análisis de roca caliza se utilizó el criterio de rotura de Hoek y Brown generalizado, introduciendo datos calculados en la sección 4.3.2.4. Así mismo se agregó el GSI de 74 hallado en el levantamiento geomecánico de discontinuidades, La disturbancia producto de voladuras es nula por lo cual el valor es cero.

Tabla 8: Resultados de factor de seguridad estático

METODO DE CALCULO	Spencer	Morgenstein - Price
SECCION A	2.025	2.025
SECCION B	2.244	2.243
SECCION C	2.224	2.216
SECCION D	2.019	2.016
SECCION E	1.913	1.907
SECCION F	2.231	2.224
SECCION G	2.461	2.459
SECCION H	2.599	2.460
SECCION I	2.376	2.043
SECCION J	1.943	1.932
SECCION K	1.678	1.676
SECCION L	1.578	1.516
SECCION M	1.272	1.280
SECCION O	1.318	1.308
SECCION P	1.247	1.242
SECCION Q	1.269	1.282
SECCION R	1.402	1.393
SECCION S	1.472	1.478
SECCION T	1.614	1.603
SECCION U	1.907	1.915
SECCION W	2.507	2.510

De los análisis realizados a las 21 secciones, se puede ver que existe un bajo factor de seguridad en los taludes desde la sección L a la sección S, teniendo resultados menores a $FoS < 1.5$, lo cual indica que el factor de seguridad no se encuentra cumpliendo el resultado adecuado.

3.4.2. ANALISIS PSEUDOESTATICO

Se realizo el análisis de cada sección con una aceleración sísmica de 0.23 gals calculada en el ítem 3.7.5.1

Tabla 9: Resultados de factor de seguridad Pseudoestatico

METODO DE CALCULO	Spencer	Morgenstein - Price
SECCION A	1.385	1.383
SECCION B	1.589	1.596
SECCION C	1.516	1.514
SECCION D	1.385	1.383
SECCION E	1.341	1.338
SECCION F	1.582	1.555
SECCION G	1.625	1.627
SECCION H	1.748	1.743
SECCION I	1.839	1.588
SECCION J	1.457	1.442
SECCION K	1.281	1.282
SECCION L	0.966	0.951
SECCION M	1.005	1.007
SECCION O	1.112	1.111
SECCION P	1.119	1.065
SECCION Q	1.095	1.095
SECCION R	1.013	1.002
SECCION S	1.068	1.071
SECCION T	1.235	1.238
SECCION U	1.400	1.401
SECCION W	1.842	1.870

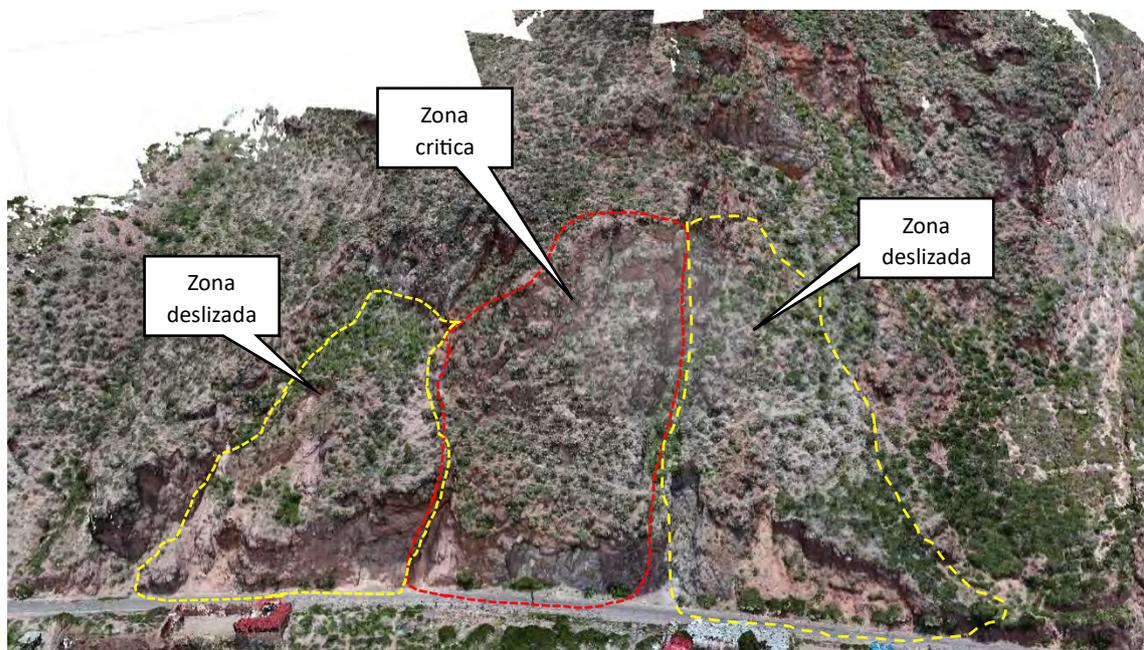
3.4.3. ANALISIS DE RESULTADOS DE FACTOR DE SEGURIDAD

De acuerdo con los datos obtenidos la sección P posee el factor de seguridad más bajo en el análisis estático, sin embargo, al someter el modelo a un análisis pseudoestático con un sismo de una aceleración de 0.23 gals, los resultados son que las secciones L, M, O, P, Q, R, S presentan valores de factor de seguridad menores a lo admisible. Por ende, estas zonas serán sectorizadas y analizadas en separado en el siguiente ítem.

3.5. SECTORIZACION DE ZONAS CRITICAS

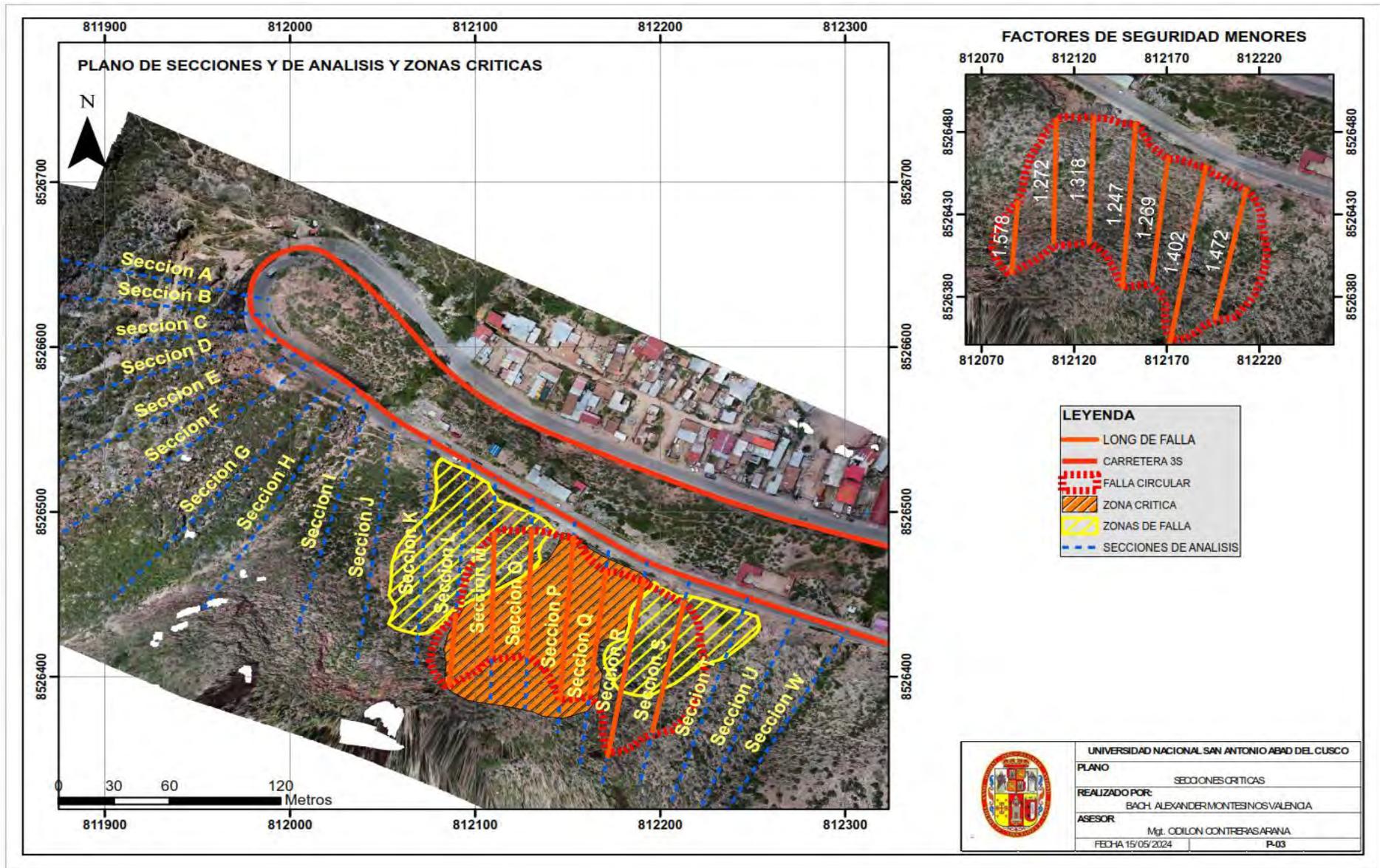
Los resultados de factor de seguridad son los siguientes, teniendo una zona critica con los menores valores a $FoS < 1.5$, estas se demarcan en la siguiente imagen. Así mismo se destacar que la zona de la siguiente imagen corresponde a los menores factores de seguridad según el análisis estático, Así mismo se detalla dos zonas ya deslizadas (Amarillo) y una zona que se encuentra entre las dos que aun no sufrió deslizamiento (rojo).

Figura 54: detalle de Secciones Criticas (Rojo) y sección ya deslizada (Amarillo)



Fuente Elaboración Propia

Figura 55: Plano de secciones y análisis de zonas críticas



3.5.1. SECTORIZACION POR ZONAS CERCANAS A FoS<1

Dentro del análisis LEM se verifica que existe una falla circular la cual inicia desde la sección L hasta la sección S, sin embargo, dentro de esa sección existe dos zonas de colindantes de contacto estructural la cual se detalla a continuación en color amarillo.

Estas dos zonas de contacto ya fallaron previamente, esto se puede apreciar en la Figura 48, la zona crítica (roja) esta demarcada entre estas dos zonas de contacto amarillo, y es la más propicia a la falla al tener los menores valores FoS < 1.2. dentro de la zona crítica se encuentran las secciones M, O, P, Q, a fin de calcular una probabilidad de falla se realizará un análisis probabilístico en dichas zonas.

3.6. ANALISIS PROBABILISTICO DE SECCIONES CRITICAS

El análisis probabilístico a diferencia de una determinístico hace variar los datos de ingreso según una distribución probabilística dando como resultado toda una gama de datos de las cuales se obtiene una probabilidad de falla.

3.6.1. DISTRIBUCIONES PROBABILISTICAS A USAR

Para las distribuciones probabilísticas a usar se usará data externa de otros estudios realizados al mismo tipo de roca sedimentaria, tanto la lutita como la Caliza.

a) CALIZA

Tabla 10: distribución probabilística de caliza

TIPO	BACK ANALISIS	ENSAYO 1	DISTRIBUCION	DESVIACION ESTANDAR	REL MIN	REL MAX
UCS (KN/m ²)	29000.0	27700.0	NORMAL	919.2	2757.7	2757.7
PESO ESPECIFICO (KN/m ³)	21.0	20.7	NORMAL	0.2	0.7	0.7

Fuente Elaboración Propia

b) LUTITA

Tabla 11: Distribución probabilística de lutita

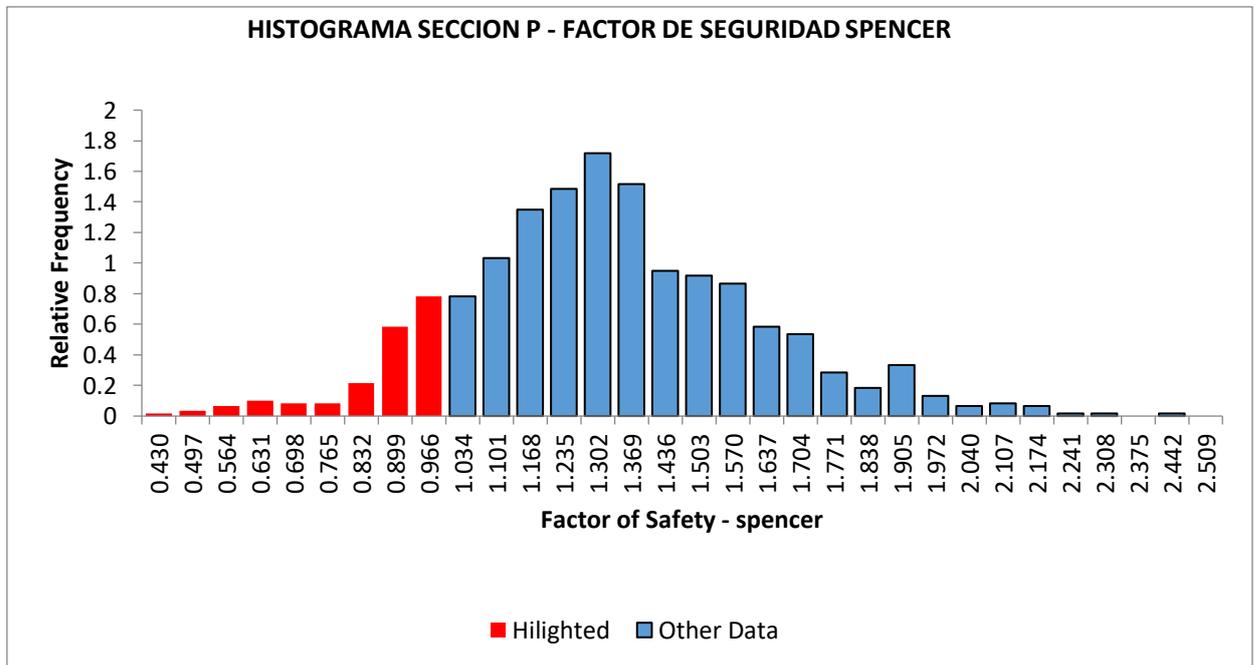
TIPO	BACK ANALISIS	ENSAYO 1	ENSAYO 2	DISTRIBUCION	DESVIACION ESTANDAR	REL MIN	REL MAX
PHI (°)	35.0	21.1	19.0	NORMAL	8.7	26.1	26.1
COHESION (KN/m2)	75.0	60.0	79.0	NORMAL	10.0	30.0	30.0
PESO ESPECIFICO (KN/m3)	16.6	16.6	24.0	NORMAL	4.3	12.8	12.8

Fuente Elaboración Propia

3.6.2. RESULTADOS DEL ANALISIS PROBABILISTICO

Los resultados del análisis probabilístico en la sección más crítica (P) es la siguiente:

Figura 56: Probabilidad de falla sección P



Fuente Elaboración Propia

Los resultados muestran los siguientes datos:

- FoS Promedio: 1.318
- FoS min: 0.450
- FoS max: 2.463
- Probabilidad de Falla (PoF): 13.199%

Según los resultados se tiene un 13.1% de probabilidad de que el factor de seguridad sea menor a la unidad, La normativa peruana no contempla rango de valores para un análisis

probabilístico y no se tiene una referencia si este valor representara un riesgo o no, sin embargo, en el libro Open Pit Planning and Design se plantea los siguientes valores.

Figura 57: Rango de valores de aceptación para factor de seguridad, Fuente Open Pit Planning and design

Slope scale	Consequences of failure	Acceptance criteria ^a		
		FoS (min) (static)	FoS (min) (dynamic)	PoF (max) P[FoS ≤ 1]
Bench	Low-high ^b	1.1	NA	25–50%
Inter-ramp	Low	1.15–1.2	1.0	25%
	Moderate	1.2	1.0	20%
	High	1.2–1.3	1.1	10%
Overall	Low	1.2–1.3	1.0	15–20%
	Moderate	1.3	1.05	10%
	High	1.3–1.5	1.1	5%

a: Needs to meet all acceptance criteria
b: Semi-quantitatively evaluated, see Figure 13.9

Fuente: Libro Open Pit Planning and design

Debido a que un probable deslizamiento ocasionaría un desenlace fatal en la zona, las consecuencias por una posible falla del talud serian graves, por ende, la probabilidad máxima aceptable para el talud debería de ser del 5%. Sin embargo, se tienen los siguientes valores calculados para las cuatro secciones más críticas.

Tabla 12: Tabla Resumen de probabilidades de falla por sección.

SECCION	FoS Prom	FoS Min	FoS Max	P[FoS<1]	Desviación estándar	Distribución
SECCION M	1.391	0.7795	2.377	7.283%	0.2707	normal
SECCION O	1.395	0.6005	2.316	8.621%	0.2937	normal
SECCION P	1.318	0.4509	2.463	13.199%	0.294	normal
SECCION Q	1.387	0.6564	2.463	10.0%	0.3006	normal

Fuente: Elaboracion propia

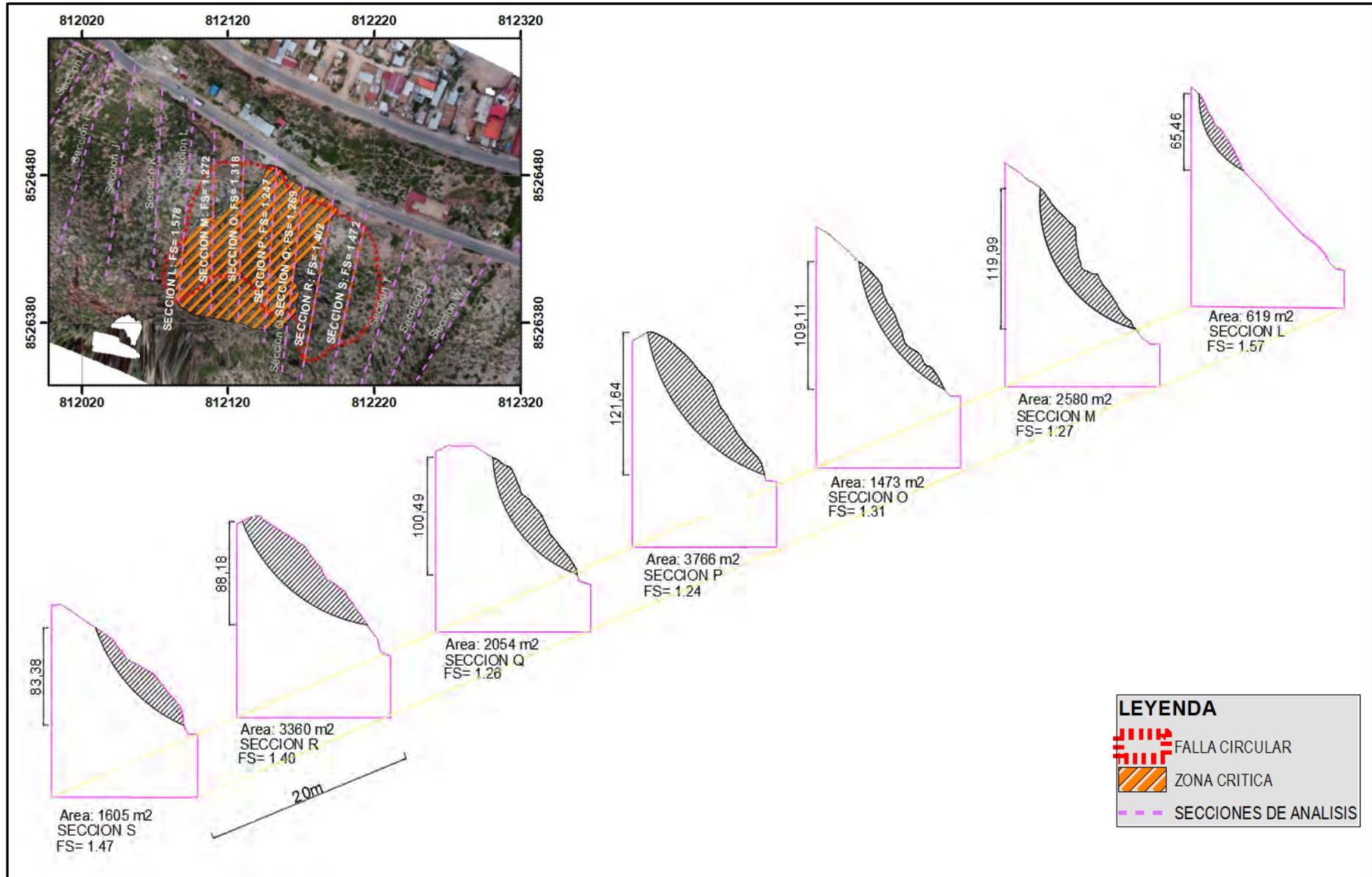
Según esta metodología el valor obtenido de 13.1% de Probabilidad de falla estaría fuera del rango permitido y debería estar en un 5%.

3.7. PROPUESTAS DE DISEÑO GEOTECNICO DE TALUDES

3.7.1. REDUCCION DE MASA DESLIZANTE

Para el diseño geométrico de taludes se buscaría la reducción de esta masa deslizante a fin de evitar daños a la población de Tarapata producto de un posible deslizamiento. En siguiente grafico se muestra las secciones criticas L, M, O, P, Q, R, S las cuales son las más propicias a la falla.

Figura 58: Secciones transversales críticas del talud actual con menor FS<1.5



De acuerdo con el gráfico anterior en el que se observa los cortes transversales correspondientes a las secciones con menores factores de seguridad, así mismo se observa, que dentro de los cuales los valores de las secciones M, O, P, Q son los que menor seguridad brindan, por ende, son más susceptibles al deslizamiento. Estas secciones nombradas, corresponde a la zona crítica (Líneas naranja).

Para el cálculo de volumen de deslizamiento se usará la siguiente fórmula:

$$A = (A1 + A2) * D/2$$

- A: Área de falla circular
- D: Distancia entre secciones =20m

Tabla 13: Volumen de deslizamiento por sección

VOLUMEN TOTAL DE DESLIZAMIENTO			
TIPO	AREA (m2)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (m3)
SECCION M	2580		
SECCION O	1473	20	40530
SECCION P	3766	20	52390
SECCION Q	2054	20	58200
			151120

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados se tiene un aproximado de 151 120 m3 de material a deslizar en las secciones críticas M, O, P, Q. A fin de disminuir ese volumen de material propenso al deslizamiento se plantea el diseño geotécnico en el ítem 4.8.1.

3.7.2. REDUCCION DEL ANGULO DEL TALUD

Para la reducción del ángulo de talud se buscará que este se encuentre dentro del rango de la siguiente fórmula.

$$FS = \frac{\text{Tan}(\alpha)}{\text{Tan}(\phi)} \geq 1.5$$

- α = *Angulo del talud*
- ϕ = *Angulo interno de fricción del material*

De la solución a la ecuación con un ángulo de fricción de material de 35° brinda que el ángulo de los taludes debe de tener 75° de inclinación como máximo para llegar a un factor de seguridad requerido de 1.5.

Figura 59: Taludes existentes previamente realizados.



Fuente: Foto propia

Cabe destacar que existen taludes previos en los pies del cerro Yahuarmaqui, estos taludes poseen un Angulo de buzamiento de 80° . Con una berma de 5.5m entre taludes.

3.8. MODELAMIENTO GEOTECNICO DE TALUDES

3.8.1. DISEÑO PROPUESTO

Para el diseño de taludes solo se tomará en cuenta las zonas críticas, es decir, las secciones M, O, P, Q. las cuales de acuerdo con los anteriores análisis poseen los menores FS.

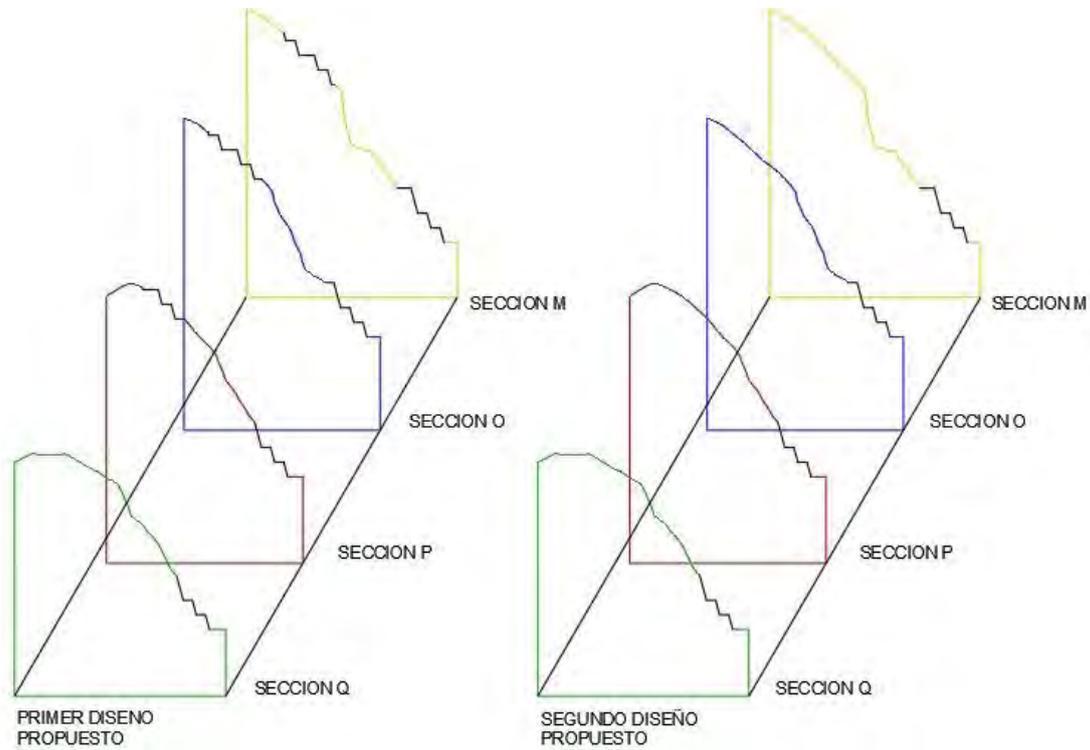
Para el diseño propuesto se realizó dos análisis a fin de evaluar la variación del factor de seguridad que existe entre cada diseño. Los bancos fueron diseñados a fin de maquinaria pesada común pueda realizar el trabajo, los datos que fueron considerados son los siguientes:

- Angulo de Talud (BFA): 75°
- Ancho de berma: 6m

- Altura de Talud promedio: 10m

En el primer diseño propuesto se analizó taludes en la cresta de la montaña a fin de poder reducir el volumen de masa deslizante, en el segundo caso no ya no se consideraron estos taludes.

Figura 60: Comparativa de diseño de taludes en cresta y base de la montaña



Fuente: Foto propia

Tabla 14: Resultados comparativos de diseño de taludes en cresta y base de montaña

	RESULTADOS DE FACTOR DE SEGURIDAD	
	PRIMER DISEÑO	SEGUNDO DISEÑO
SECCION M	1.283	1.285
SECCION O	1.315	1.323
SECCION P	1.197	1.213
SECCION Q	1.259	1.259

Fuente: Foto propia

Por ende, según los resultados de factor de seguridad obtenidos, el diseño elegido corresponde al segundo diseño que solo contempla taludes en la base.

3.8.1.1. PROTECCION CONTRA LA EROSION

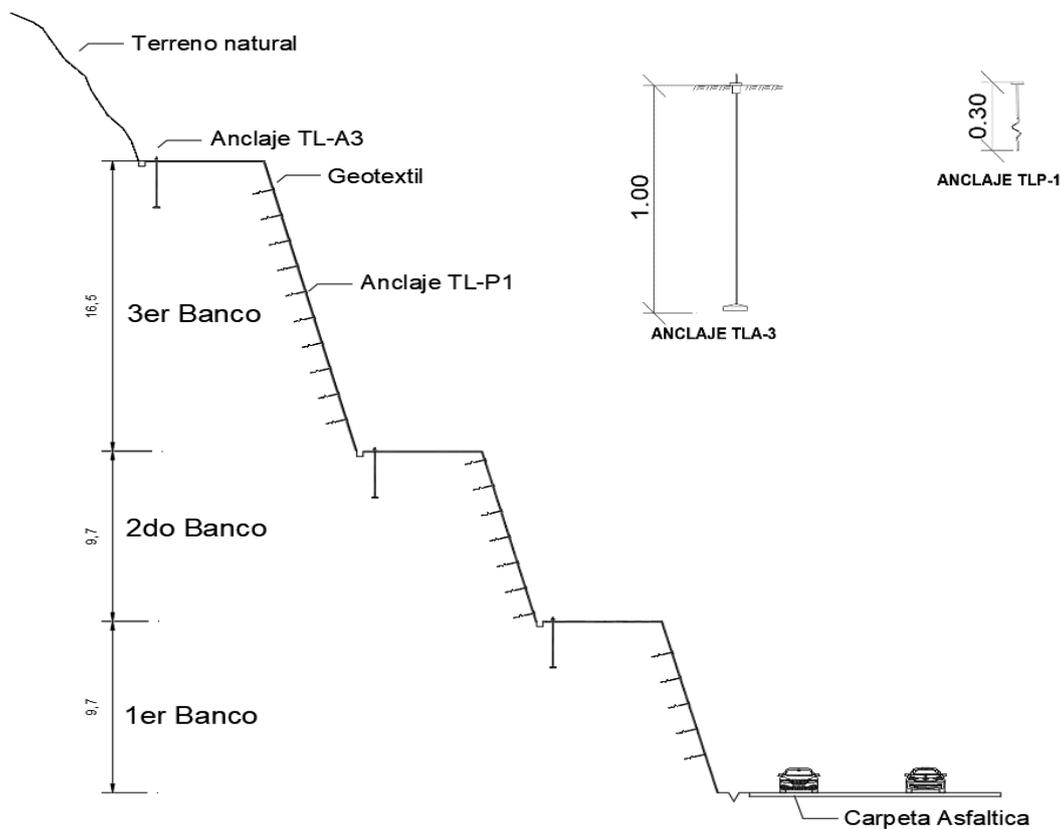
Para el diseño contra la erosión se considera el uso del Geotextil a fin de evitar la erosión producida por las lluvias y esorrentía del agua.

El geotextil es un geo sintético diseñado exclusivamente para controlar la erosión y mejorar la estabilidad del suelo, el geotextil actúa como una barrera que retiene al suelo en su lugar evitando que este sea arrastrado por la lluvia, para la presente tesis se planteó el uso del geotextil en los taludes a fin de evitar el daño por las lluvias y la esorrentía superficial lo cual podría llevar a la alteración de la pendiente planteada, caída de rocas y deslizamientos menores.

Cabe destacar que la aplicación del geotextil no representa un incremento en el factor de seguridad obtenido al ser solo estos un medio de control erosivo del talud.

se plantea el uso de geotextil de la siguiente manera.

Figura 61: Diseño de protección contra la erosión con uso de geotextil



Fuente: Elaboracion propia

Para la presente tesis no se plantea el uso de pernos de anclaje o anclajes activos, solo se plantea el uso de clavos TL-P1 y anclajes TL-A3 cuya única función son las de retener al geotextil con la capa de suelo.

Con la aplicación del geotextil se lograrían los siguientes objetivos:

- Reducción de la erosión del suelo por cambios climáticos, lluvia y escorrentía superficial
- Mantenimiento del perfil de los taludes, evitando cambios en su configuración geométrica que pudiesen alterar el factor de seguridad
- Desviación del agua superficial a los canales de derivación de aguas pluviales.
- protección contra caída de rocas a escala de bancos.

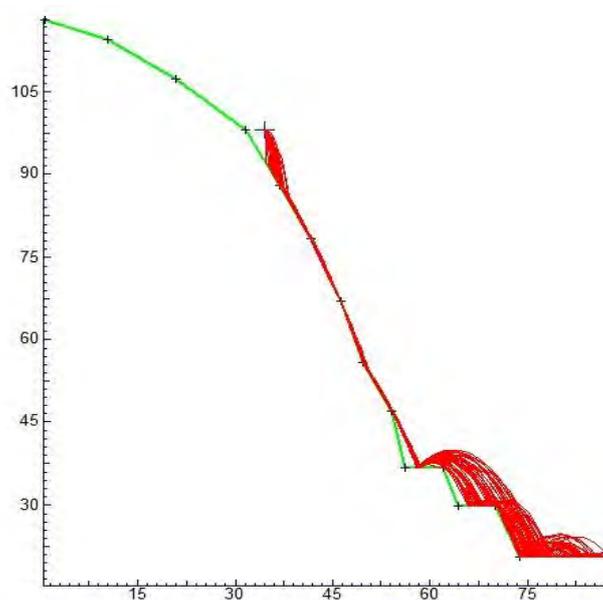
3.8.1.2. PROTECCION CONTRA CAIDA DE ROCAS

Para el análisis de caída de rocas se usó el software Rocfall de la casa Rocscience, a fin de calcular energía cinética con la cual caería una roca desde las partes altas de la ladera.

Se introdujeron los siguientes datos al programa:

Se simulo la caída de 50 rocas en la sección P con un aproximado de 10 Kg de masa, como punto de inicio de caída de rocas, se consideró una caída a 90m de altura. Los resultados son los siguientes:

Figura 62: Simulación de caída de rocas en la sección P



Fuente: Foto propia

De las 50 rocas en caída por el borde del perfil topográfico de la sección P, gran parte de estas acabaron en la vía asfáltica. A unos 85m de distancia horizontal. El siguiente grafico muestra ubicación de las rocas y su ubicación horizontal.

Figura 63: Ubicación final de caída de rocas respecto a la distancia horizontal



Fuente: Elaboracion propia

Para el análisis cinemático se tomará en cuenta la altura de rebote y la energía cinética acumulada durante la caída de roca a fin de ubicar la zona más adecuada para la construcción de una barrera dinámica.

Una barrera dinámica está constituida por un obstáculo que se interpone a las posibles trayectorias de los desprendimientos, esta barrera dinámica obedece a factores de nivel de energía cinética y altura de rebote.

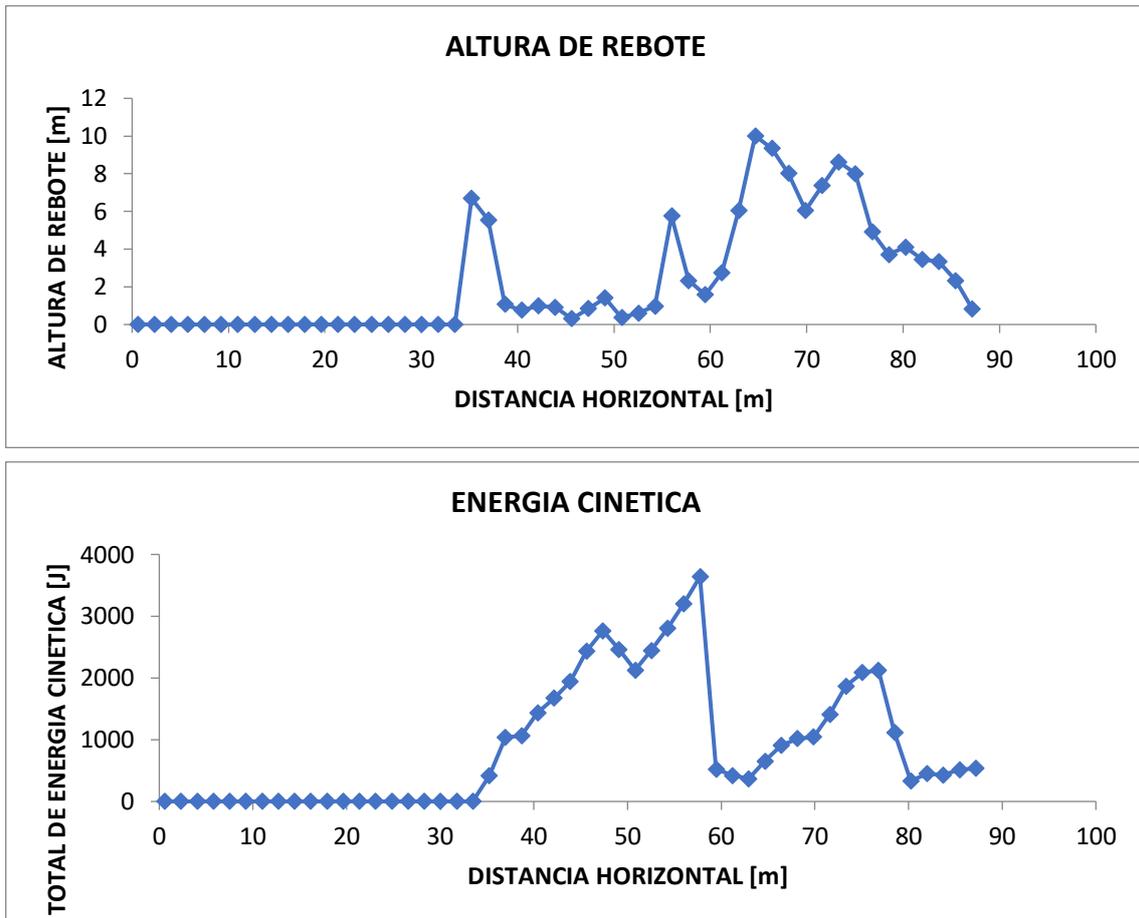
Figura 64: barrera dinámica



Fuente: Portal de internet Maccaferri

Para la correcta ubicación de la barrera dinámica contra la posible caída de rocas se tiene los siguientes gráficos. En donde se compara la altura de rebote y la energía cinética.

Figura 65: Altura de rebote y Energía cinética de roca respecto a la distancia horizontal



Fuente: Elaboracion propia con software Rocfall

Para la presente tesis se plantea el uso de una barrera dinámica capaz con una altura de 2m, ubicada en el tercer banco que sea capaz de sostener una energía de 500 Joules.

3.8.1.3. DISEÑO DE CANAL DE CORONACION PARA AGUA PLUVIAL:

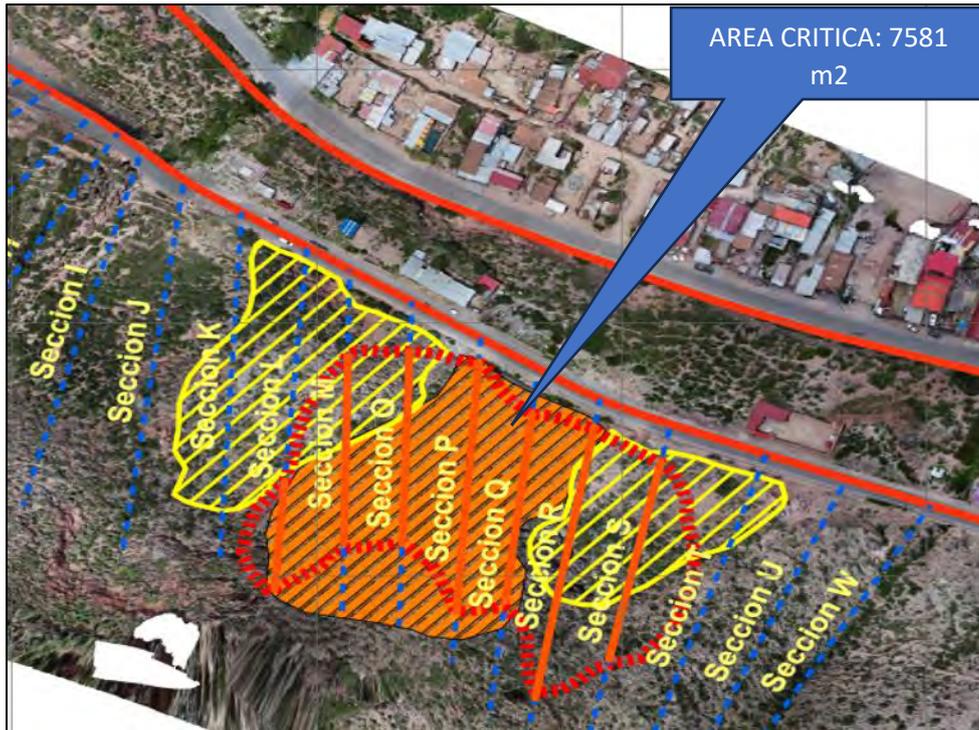
El diseño de canal de coronación se basó en el uso del método racional.

$$Qd: C * I * A \text{ [m3]}$$

- C= Coeficiente de escorrentía: Sin vegetación, semipermeable 0.7
- I = Intensidad de Lluvia máxima registrada: 28mm/hr
- A= área de crítica: 7581 m2

$$Qd= 0.041 \text{ m3/s} = 41 \text{ L/s}$$

Figura 66: Área crítica para diseño de cuneta

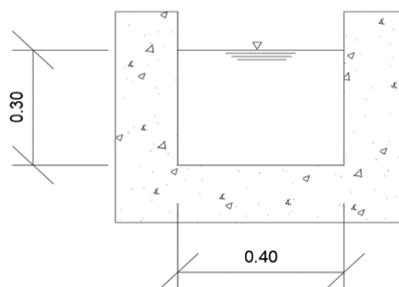


Fuente: Elaboracion propia con software ArcGIS

El resultado es que dentro de la zona critica se tiene un caudal de 41 Litros por segundo de agua esperado en las épocas de lluvia, Cabe destacar que el área crítica de 7581 m², se obtuvo a partir del cómputo de área en software ArcGIS de la zona a deslizamiento,

El canal debe ser capaz de superar el caudal de 41 l/seg de agua para lo cual se plantea el siguiente diseño.

Figura 67: Diseño planteado para canal de coronación



Fuente: Elaboracion propia

A fin de comprobar el caudal que soporta el diseño planteado se usó la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

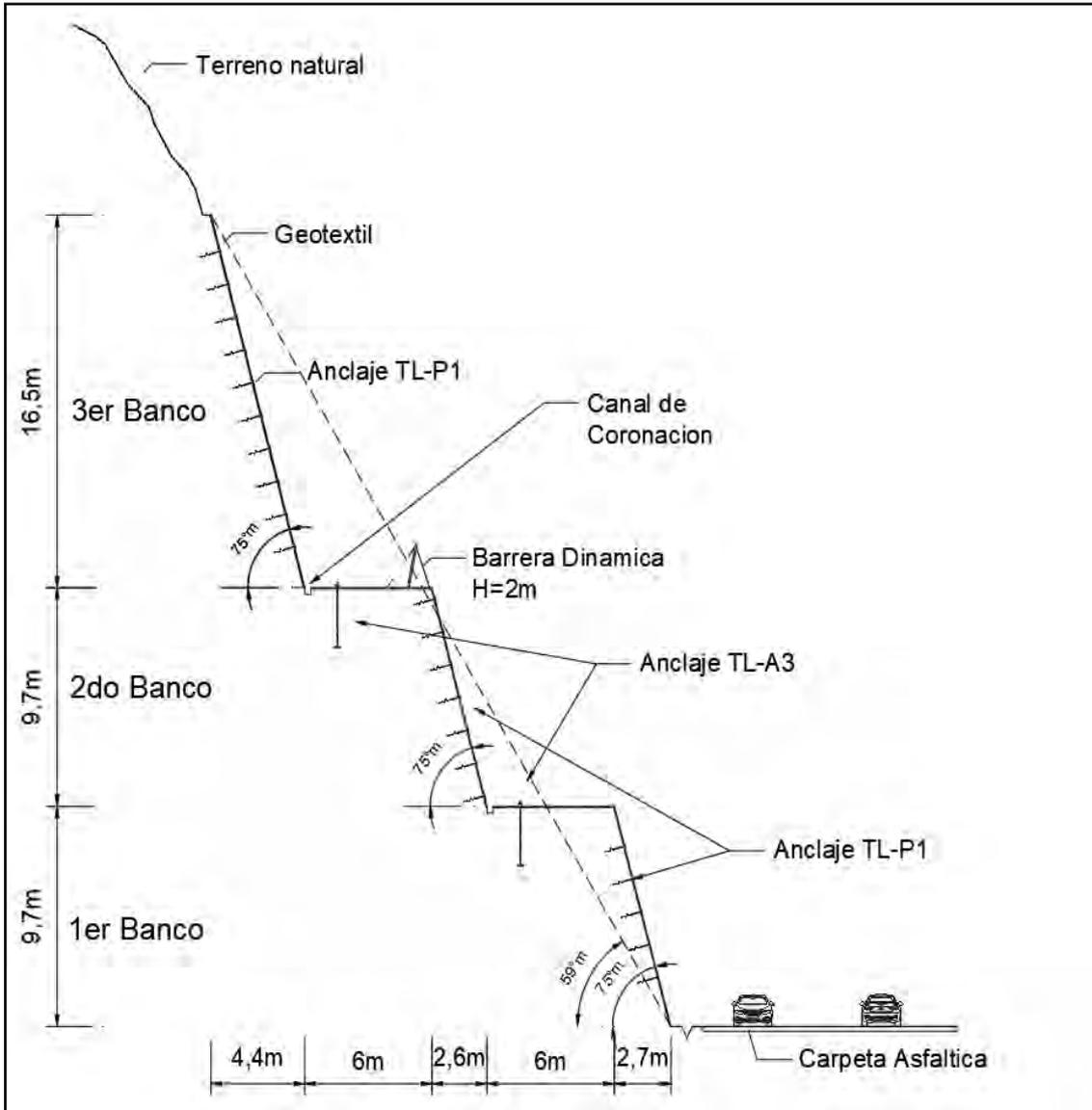
- A= área hidráulica = 0.12 m²
- R= Radio Hidráulico = 0.12 m
- S= Pendiente = 0.01 m/m
- N= Coeficiente de rugosidad = concreto 0.014
- Q= Caudal

De la fórmula de Manning se obtiene que el diseño propuesto puede soportar caudales de hasta 208 L/s lo cual supera ampliamente el caudal de diseño de 41 l/s, teniendo este diseño como aceptado.

3.8.1.4. DISEÑO DE TALUD FINAL

El diseño de talud final fue planteado contemplando la protección contra la caída de rocas, la erosión de lluvia y drenaje de aguas pluviales. Teniendo como consiguiente el siguiente diseño

Figura 68: Diseño final Planteado de taludes

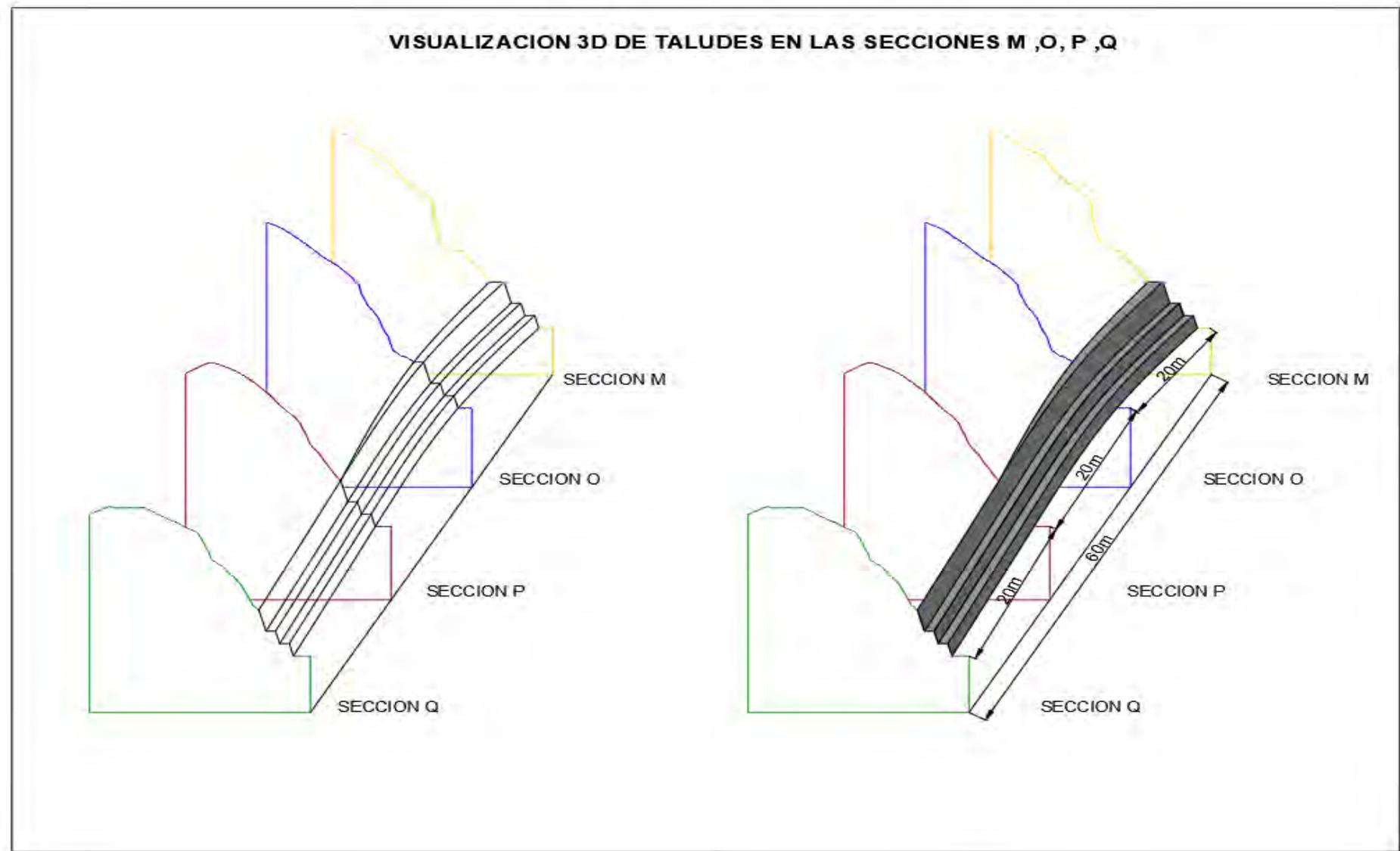


Fuente: Elaboracion propia

Los detalles son los siguientes:

- Altura de banco : 9.7m
- Berma : 6m
- Angulo de cara de banco : 75°
- Angulo de talud global : 59°

Figura 69: Visualización 3D de taludes



3.9. ANALISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES Y REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO

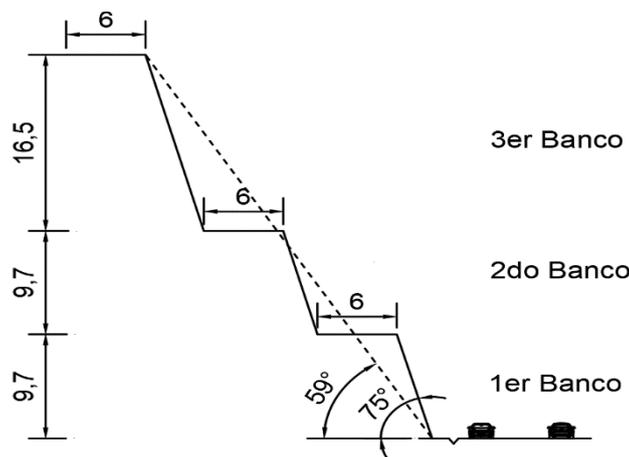
Después de haber propuesto el diseño el diseño geométrico de talud se comparará con la línea base obtenida a fin de observar la variación que existe en el factor de seguridad.

El diseño planteado anteriormente, comprende 3 taludes en la base de la montaña Yahuarmaqui, los cuales cuentan con un BFA (Bench Face Angle) de 75° , y una berma de 6m, adecuada para el paso de maquinaria que realice los trabajos de excavación. Así mismo el talud global tiene un ángulo de 59° , la altura del talud es de aproximadamente 10m, sin embargo, en el tercer banco la altura de talud será variable en cada sección hasta conectar con el nivel de terreno natural.

Los siguientes análisis se realizarán en la sección P, al ser esta la mas critica con el menor factor de seguridad

3.9.1. ANALISIS DE ESTABILIDAD EN DISEÑO PROPUESTO DE TALUDES

Figura 70: Diseño geométrico de talud con 3 bancos

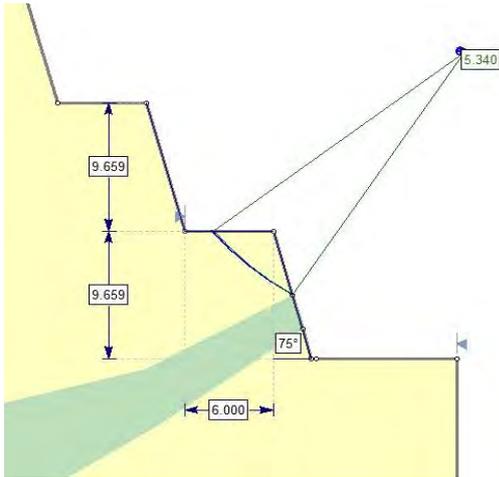


Fuente: Elaboracion propia

Para el análisis respectivo de taludes se analizarán a escala de banco y escala global sin una grilla definida por el software es decir que se buscara superficies circulares de manera aleatoria.

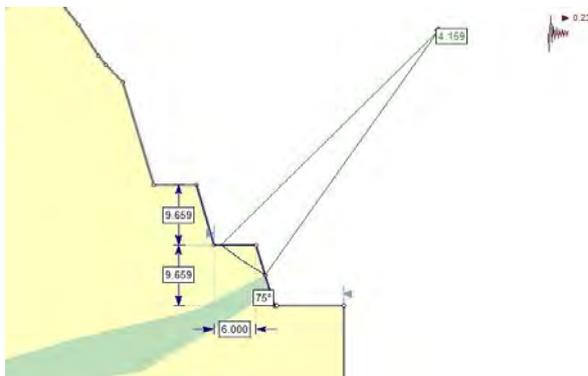
3.9.1.1. ANALISIS A NIVEL DE BANCO

a. ANALISIS ESTATICO



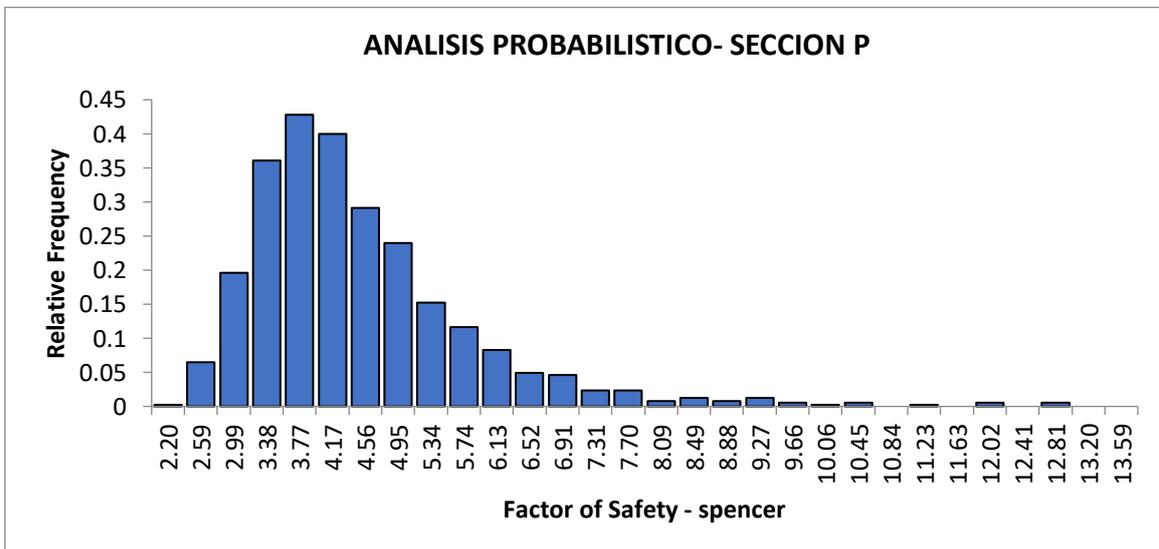
	SPENCER	MORGENSTEIN PRICE
F. S	5.34	5.236

b. ANALISIS PSEUDOESTATICO



	SPENCER	MORGENSTEIN PRICE
F. S	4.159	4.160

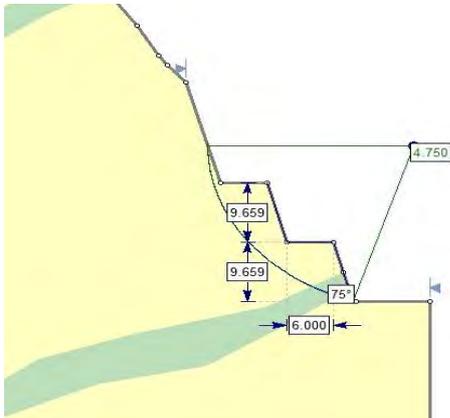
c. ANALISIS PROBABILISTICO



- FoS Promedio: 4.84
- FoS min: 2.005
- FoS max: 13.79
- Probabilidad de Falla (PoF): 0.01%

3.9.1.2. ANALISIS A NIVEL DE TALUD GLOBAL

a. ANALISIS ESTATICO



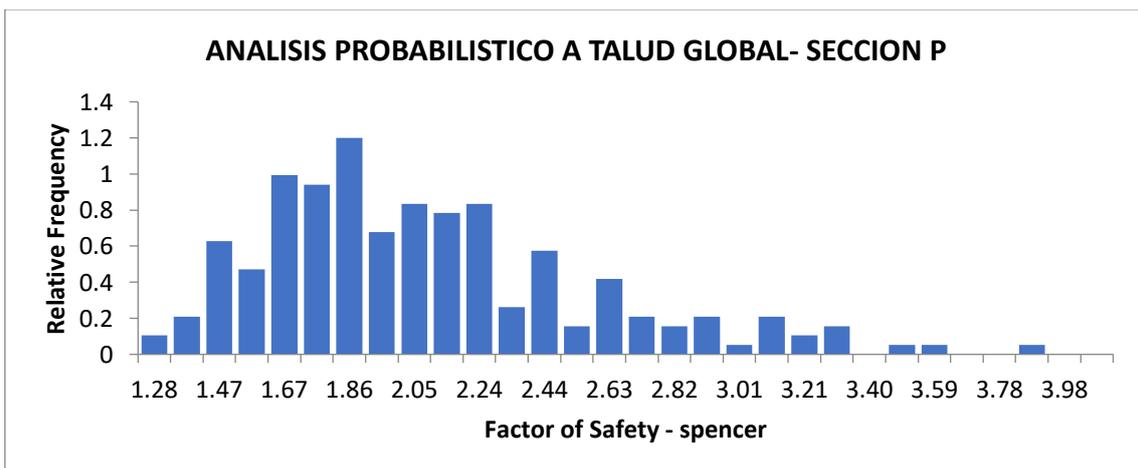
	SPENCER	MORGENSTEIN PRICE
F. S	4.75	4.70

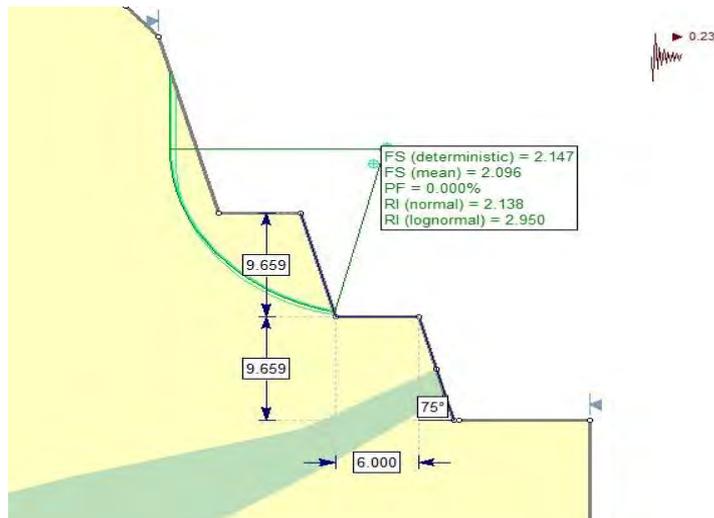
b. ANALISIS PSEUDOESTATICO



	SPENCER	MORGENSTEIN PRICE
F. S	2.147	2.178

c. ANALISIS PROBABILISTICO





- FoS Promedio: 2.096
- FoS min: 1.233
- FoS max: 4.12
- Probabilidad de Falla (PoF): 0.01%

De acuerdo con los resultados obtenidos, los bancos resultan estables al tener factores de seguridad muy altos incluso en condiciones sísmicas, Así mismo la probabilidad de falla a este nivel de escala es prácticamente nula.

El diseño de estos bancos ya fue realizado previamente carretera abajo con BFA inclusive mayor a 75°, no teniendo problemas en la estabilidad de los mismos taludes. Se adjunta imagen a continuación.

Figura 71: Taludes existentes en base de cerro Yahuarmaqui. primera curva en U



Fuente: fotografía propia

La comparativa entre la línea base y el diseño a nivel global es el siguiente:

SECCION DE ANALISIS	LINEA BASE				CON DISEÑO APLICADO			
	ANALISIS DETERMINISTICO		ANALISIS PSEUDOESTATICO		ANALISIS DETERMINISTICO		ANALISIS PSEUDOESTATICO	
	Spencer	Morgenstein - Price						
SECCION A	2.025	2.025	1.385	1.383				
SECCION B	2.244	2.243	1.589	1.596				
SECCION C	2.224	2.216	1.516	1.514				
SECCION D	2.019	2.016	1.385	1.383				
SECCION E	1.913	1.907	1.341	1.338				
SECCION F	2.231	2.224	1.582	1.555				
SECCION G	2.461	2.459	1.625	1.627				
SECCION H	2.599	2.46	1.748	1.743				
SECCION I	2.376	2.043	1.839	1.588				
SECCION J	1.943	1.932	1.457	1.442				
SECCION K	1.678	1.676	1.281	1.282				
SECCION L	1.578	1.516	0.966	0.951	1.580	1.525	1.112	1.121
SECCION M	1.272	1.28	1.005	1.007	1.285	1.295	1.247	1.164
SECCION O	1.318	1.308	1.112	1.111	1.323	1.308	1.252	1.227
SECCION P	1.247	1.242	1.119	1.065	1.213	1.213	1.206	1.066
SECCION Q	1.269	1.282	1.095	1.095	1.259	1.243	1.170	1.121
SECCION R	1.402	1.393	1.013	1.002	1.415	1.401	1.122	1.122
SECCION S	1.472	1.478	1.068	1.071				
SECCION T	1.614	1.603	1.235	1.238				
SECCION U	1.907	1.915	1.4	1.401				
SECCION W	2.507	2.51	1.842	1.87				

Existe un aumento en el factor de seguridad el cual se vio influenciado por el diseño geométrico propuesto de taludes.

3.9.2. REDUCCION DE POTENCIAL DE RIESGO

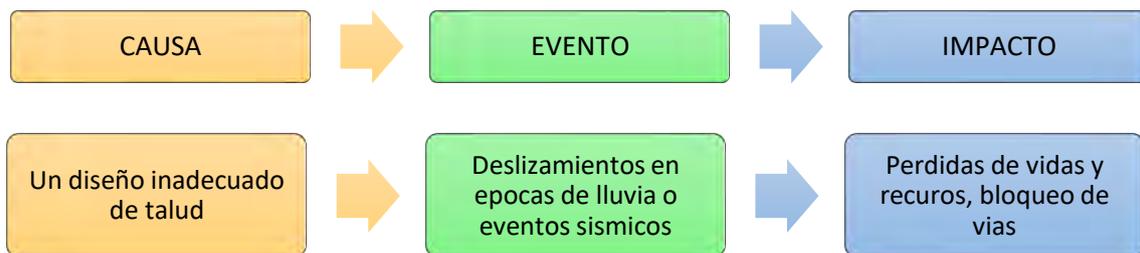
Para lograr una reducción en el potencial de riesgo primero se debe de partir por los elementos que la componen.

$$\text{RIESGO} = \text{PELIGRO} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

El peligro no es una variable en la cual uno pueda tener injerencia puesto que este depende de factores fuera del control humano, mas no así la vulnerabilidad, la cual puede reducirse y depende en si de la probabilidad de falla que puede tener la sección critica.

Para el análisis del potencial de riesgo que presenta los taludes se realizó una línea base actual a fin de estimar el riesgo que presentan los taludes actualmente, frente a un nuevo diseño geométrico planteado.

Los peligros fueron caracterizados por medio de la Causa, evento e impacto que tendría en caso de que sucediera el acontecimiento.



Así mismo se seguirá el siguiente modelo para realizar el análisis final de riesgos y sus controles.

Figura 72: Marco de gestión de riesgos, Fuente, federal guidelines for dam safety risk

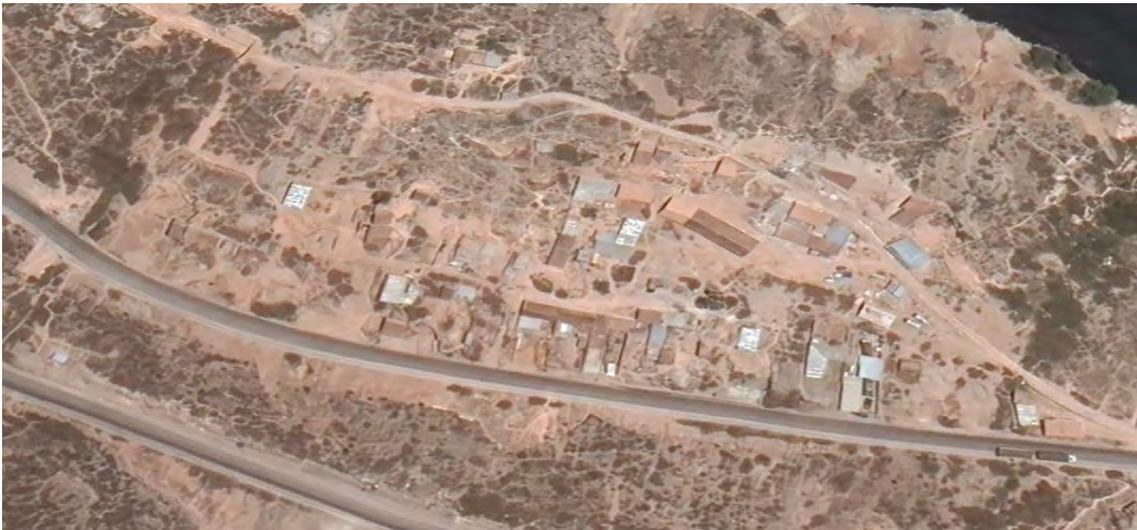


3.9.3. ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO.

Similar al análisis de vulnerabilidad de un talud en minería en donde se evaluaría principalmente las consecuencias de la falla del talud en la operación minera, caracterizándola desde baja, moderada o alta. El análisis de vulnerabilidad en este caso tomaría como consecuencia el daño causado a la población de Tarapata en caso de un deslizamiento.

El crecimiento urbanístico en la comunidad de Tarapata continua hoy a pesar del peligro que representan los taludes aledaños. A continuación, se muestran fotografías del año 2011 y 2023 respectivamente.

Figura 73: Centro Poblado de Tarapata año 2011



Fuente: Elaboracion propia

Figura 74: Centro poblado de Tarapata año 2023



Fuente: Google Earth, fotografía 2023

Para el análisis de vulnerabilidad al entorno urbano, se analizará un posible escenario de deslizamiento en la comunidad de Tarapata. Para ello será considerada la cantidad de espacios privados y públicos que se encuentran en la zona, los resultados son los siguientes.

Figura 75: Viviendas en el entorno urbano del Sector de Tarapata cercanos a la zona crítica



Fuente: Google Earth, fotografía 2023

Tabla 15: Detalle de viviendas en el sector de Tarapata

DETALLE DE AREA DE VIVIENDAS EN ZONA CRITICA							
N°	AREA URBANA	N°2	AREA URBANA	N°3	AREA URBANA	N°4	AREA URBANA
0	376.51	11	129.10	22	297.62	33	218.06
1	307.19	12	111.22	23	238.63	34	72.85
2	199.55	13	31.76	24	221.42	35	65.58
3	34.63	14	311.64	25	180.56	36	190.21
4	120.69	15	109.15	26	68.28	37	54.70
5	137.04	16	121.09	27	238.09	38	338.02
6	61.01	17	50.88	28	103.12	39	246.90
7	27.72	18	106.95	29	154.21	40	148.90
8	64.54	19	57.32	30	138.80	41	117.85
9	144.13	20	72.75	31	45.93		
10	20.05	21	70.10	32	140.22		

Fuente: Elaboracion propia

En total se considera que existen 41 viviendas en la zona critica al deslizamiento. Con un área total de 5950 m2 construida entre todas las viviendas.

Para la obtención del número de habitantes se consideró 4 Hab por vivienda, dando como resultado unas 164 personas, se espera que la cifra de habitantes siga creciendo al tener un aumento de viviendas en la zona de estudio respecto al año 2011, para cuantificar la vulnerabilidad actual del sector de Tarapata se identificara los riesgos actuales que posee frente a distintos escenarios.

3.9.4. MATRIZ DE RIESGOS

Tabla 16: Matriz de riesgos línea base

REGISTRO DE RIESGO							EVALUACION DE RIESGO			
N°	CAUSA	EVENTO	IMPACTO	DESCRIPCION DEL RIESGO	TIPO DE RIESGO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	IMPACTO EN LA EJECUCION	VALORACION		
								ALTO	MEDIO	BAJO
1	Lluvias intensas	Aumento del Nivel freático	Deslizamientos menores	El aumento de lluvias puede hacer subir el nivel freático causando que la cohesión del suelo disminuya ocasionando deslizamientos que acaban en la carretera 3S	Riesgo Natural	0.7	0.4	0.28		
2	movimiento sísmico	Deslizamiento de volúmenes de suelos y rocas	Daño a las casas y personas de Tarapata	Un movimiento sísmico puede generar el deslizamiento de grandes volúmenes de rocas ocasionando daños a las personas y casas de Tarapata	Riesgo Natural	0.7	0.8	0.56		
3	Vibraciones y lluvias	Caída de rocas	Caída de roca a vehículos o personas	Un mal desquince de rocas podría ocasionar su caída posterior dañando a personas o vehículos q estén circulando por la carretera 3S	Riesgo natural	0.5	0.4	0.2		
4	Construcciones fuera de un plan de desarrollo urbano	Crecimiento en zona crítica de Tarapata	Mayor cantidad de pérdidas materiales y vidas	En caso de que se mantenga o crezca el desarrollo urbano en la zona crítica de Tarapata esta aumentaría la vulnerabilidad de la zona a efectos de deslizamiento	riesgo tecnico	0.7	0.4	0.28		

Tabla 17: Valoración de Riesgos según guía PMBOOK

1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	Muy Alta	0.90	0.045	0.090	0.180	0.360	0.720
	Alta	0.70	0.035	0.070	0.140	0.280	0.560
	Moderada	0.50	0.025	0.050	0.100	0.200	0.400
	Baja	0.30	0.015	0.030	0.060	0.120	0.240
	Muy Baja	0.10	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080
2. IMPACTO EN LA EJECUCIÓN DE LA OBRA			0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
			Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
3. PRIORIDAD DEL RIESGO					Baja	Moderada	Alta

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la evaluación de vulnerabilidad frente a un posible escenario de deslizamiento del talud son altos, por lo cual es necesario acciones de mitigación que reduzcan la vulnerabilidad de la población frente a un deslizamiento.

3.9.5. MATRIZ DE EVALUACION DE RIESGOS Y SU CONTROL APLICADO

Tabla 18: Matriz de riesgos y propuesta de mitigación

REGISTRO DE RIESGO						EVALUACION DE RIESGO					MITIGACION DE RIESGOS									
N°	CAUSA	EVENTO	IMPACTO	DESCRIPCION DEL RIESGO	TIPO DE RIESGO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	IMPACTO EN LA EJECUCION	VALORACION			ESTRATEGIA SELECCIONADA				MEDIDA DE CONTROL	NUEVA VALORACION				
								ALTO	MEDIO	BAJO	MITIGAR	EVITAR	ACEPTAR	TRANSFERIR		ALTO	MEDIO	BAJO		
1	Lluvias intensas	Aumento del Nivel freático	Deslizamientos menores	El aumento de lluvias puede hacer subir el nivel freático causando que la cohesión del suelo disminuya ocasionando deslizamientos que acaban en la carretera 3S	Riesgo Natural	0.7	0.4	0.28				X					Sistema de drenaje de aguas pluviales con zanjas de coronación y derivación		0.14	
2	movimiento sísmico	Deslizamiento de volúmenes de suelos y rocas	Daño a las casas y personas de Tarapata	Un movimiento sísmico puede generar el deslizamiento de grandes volúmenes de tierra y rocas ocasionando daños a la población	Riesgo Natural	0.7	0.8	0.56				X					Diseño de taludes que incrementen el factor de seguridad y disminuyan la probabilidad de falla		0.14	
3	Vibraciones y lluvias	Caída de rocas	Caída de roca a vehículos o personas	Las discontinuidades entre rocas podrían ocasionar su caída posterior dañando a personas o vehículos que estén circulando por la carretera 3S	Riesgo natural	0.5	0.4	0.2					X				Análisis de caída de rocas con software RockFall a fin de proponer un sistema de barreras de protección			0.05
4	Construcción cercana a zona de deslizamiento	Crecimiento en zona crítica de Tarapata	Mayor cantidad de pérdidas materiales y vidas	El crecimiento de viviendas en la zona crítica de Taludes de Tarapata aumentaría la vulnerabilidad de la zona a efectos de deslizamiento	riesgo técnico	0.7	0.4	0.28					X				Control restrictivo de la zona de deslizamiento, limitar el plan de desarrollo urbano en el sector de Tarapata			1.05

CAPITULO V:

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. ANALISIS TECNICO

En la presente tesis se analizó los dos escenarios, las condiciones actuales en la línea base y un diseño geotecnico de taludes planteado con la consideración de la geomecánica minera, para su diseño. Así mismo se consideró los posibles escenarios de riesgo y sus controles por medio de la matriz IPERC.

El modelamiento geotecnico de taludes genero efectivamente un incremento en el factor de seguridad y disminuyo el potencial de riesgo al entorno urbano. Las condiciones geomecánicas del terreno.

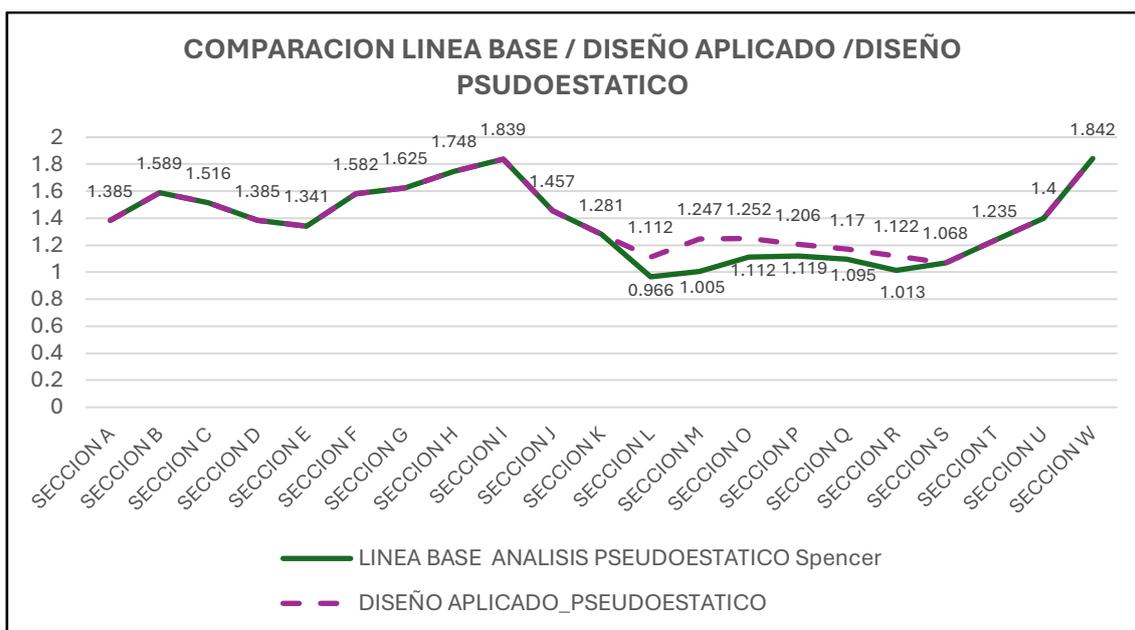
4.2. COMPARATIVA DE FACTOR DE SEGURIDAD LINEA BASE RESPECTO A MODELO GEOTECNICO

Tabla 19: Matriz comparativa de línea base respecto al diseño propuesto

SECCION DE ANALISIS	LINEA BASE				CON DISEÑO APLICADO			
	ANALISIS DETERMINISTICO		ANALISIS PSEUDOESTATICO		ANALISIS DETERMINISTICO		ANALISIS PSEUDOESTATICO	
	Spencer	Morgenstein - Price						
SECCION A	2.025	2.025	1.385	1.383				
SECCION B	2.244	2.243	1.589	1.596				
SECCION C	2.224	2.216	1.516	1.514				
SECCION D	2.019	2.016	1.385	1.383				
SECCION E	1.913	1.907	1.341	1.338				
SECCION F	2.231	2.224	1.582	1.555				
SECCION G	2.461	2.459	1.625	1.627				
SECCION H	2.599	2.46	1.748	1.743				
SECCION I	2.376	2.043	1.839	1.588				
SECCION J	1.943	1.932	1.457	1.442				
SECCION K	1.678	1.676	1.281	1.282				
SECCION L	1.578	1.516	0.966	0.951	1.580	1.525	1.112	1.121
SECCION M	1.272	1.28	1.005	1.007	1.285	1.295	1.247	1.164
SECCION O	1.318	1.308	1.112	1.111	1.323	1.308	1.252	1.227
SECCION P	1.247	1.242	1.119	1.065	1.213	1.213	1.206	1.066
SECCION Q	1.269	1.282	1.095	1.095	1.259	1.243	1.170	1.121
SECCION R	1.402	1.393	1.013	1.002	1.415	1.401	1.122	1.122
SECCION S	1.472	1.478	1.068	1.071				
SECCION T	1.614	1.603	1.235	1.238				
SECCION U	1.907	1.915	1.4	1.401				
SECCION W	2.507	2.51	1.842	1.87				

Fuente: Elaboracion propia

Figura 76: Comparativa Analisis pseudoestatico sin diseño aplicado y con diseño aplicado



Fuente: Elaboracion propia

4.3. COMPARATIVA DE POTENCIAL DE RIESGO LINEA BASE RESPECTO A MODELO GEOTECNICO

Tabla 20: Matriz comparativa de potencial de riesgo respecto a la línea base

TIPO	VALORACION			MEDIDA DE CONTROL	NUEVA VALORACION		
	ALTO	MEDIO	BAJO		ALTO	MEDIO	BAJO
Deslizamientos menores	0.28			Sistema de drenaje de aguas pluviales con zanjas de coronación y derivación		0.14	
Deslizamiento de volúmenes de suelos y rocas	0.56			Diseño de taludes que incrementen el factor de seguridad y disminuyan la probabilidad de falla		0.14	
Caída de rocas	0.2			análisis de caída de rocas con software RockFall a fin de proponer un sistema de barreras de protección			0.05
Crecimiento en zona critica de Tarapata	0.28			Control restrictivo de la zona de deslizamiento, limitar el plan de desarrollo urbano en el sector de Tarapata			1.05

Fuente: Elaboracion propia

4.4. MEDIDAS DE CONTROL A ESTABLECERSE

4.4.1. PROTECCION CONTRA LA EROSION

Una medida de protección contra la erosión de los taludes sería la implementación de geo sintéticos, cuya función radica en la disminución de la erosión producida por cambios climáticos como la lluvia y la escorrentía de aguas de superficie.

El geotextil es un material sintético diseñado específicamente para controlar la erosión y mejorar la estabilidad del suelo. Se utiliza en una variedad de aplicaciones para prevenir la pérdida de suelo y evitar deslizamientos. El geotextil funciona de varias maneras clave:

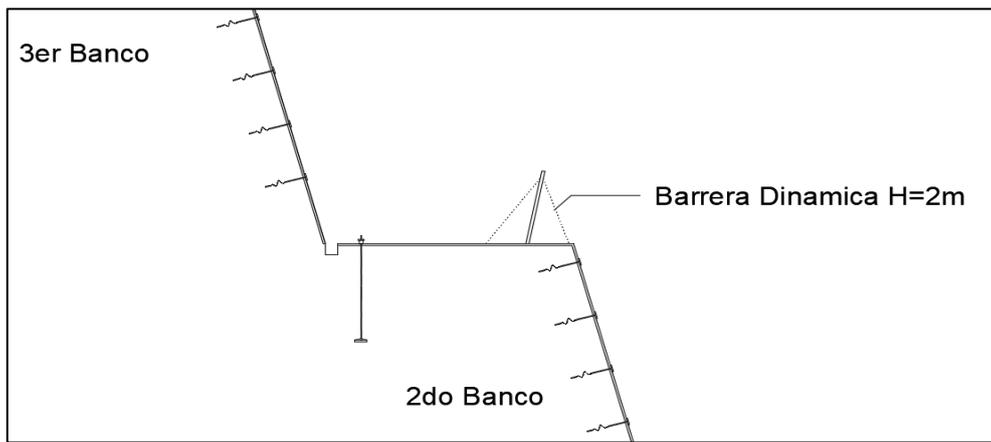
- Retención de suelo: El geotextil actúa como una barrera que retiene el suelo en su lugar, impidiendo que sea arrastrado por la lluvia o el flujo de agua.
- Mejora de la Infiltración del Agua: Al permitir que el agua se filtre a través de él, el geotextil evita la acumulación de agua que podría aumentar la erosión.
- Protección de la Vegetación: El geotextil puede colocarse sobre áreas recién sembradas o plantadas para proteger las plántulas y permitir su crecimiento antes de que la erosión sea un problema.
- Mantenimiento del perfil de los taludes, la función principal del geosintético elegido deberá ser mantener el perfil del talud evitando que este sufra erosión en la parte alta o baja.
- Protección contra caída de rocas a escala de bancos, el geosintético actuará como una primera barrera en caso de una caída de roca de menor volumen el cual se encuentre dentro de los bancos cubiertos por el geosintético.

A fin de evitar daños producto de precipitaciones que superen los 28mm/hr, se planteó el uso de geotextil con anclajes TL-A3 y TL-P1 cuya función radicará propiamente en el sostenimiento del geosintético mas no en el aumento de factor de seguridad al no ser un método de revestimiento cortical.

4.4.2. PROTECCION CONTRA LA CAIDA DE ROCAS

Para la protección contra caída de rocas se planteó el uso de barreras dinámicas capaces de soportar la energía de rocas desde una caída de 90m altura a la ladera de la montaña, su ubicación fue planteada en el banco 3 al tener la menor cantidad de rebote y energía cinética, la barrera dinámica deberá cumplir necesariamente con el requerimiento mínimo de 2m de altura y una capacidad de absorción de energía cinética de 500 Joules.

Figura 77: barrera Dinámica posicionada en el tercer banco

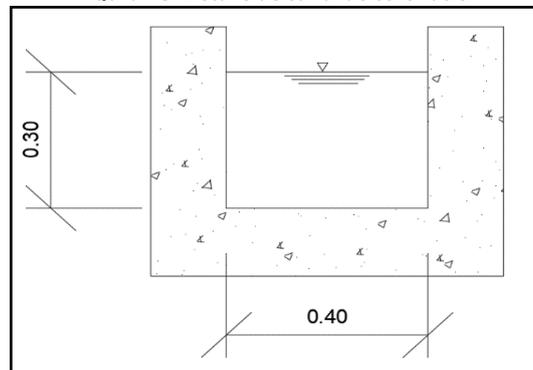


Fuente: Elaboracion propia

4.4.3. MEDIDAS DE EVACUACION DE AGUAS SUPERFICIALES

Para las medidas de evacuación de aguas superficiales se consideró un canal de concreto simple de las siguientes medidas

Figura 78: Detalle de canal de coronación



Fuente: Elaboracion propia

Este canal posee un caudal de diseño de 208 L/s, superando por mucho el caudal requerido de 41 L/s, Así mismo se consideró una pendiente del -1% para la evacuación de aguas pluviales.

4.5. PERSPECTIVA DE LOGRAR LA ESTABILIDAD DE TALUDES

En la presente tesis se afirma que se ha logrado la estabilidad de los taludes analizados en el cerro Yahuarmaqui, cuyas condiciones actuales representan un serio riesgo para la población del centro poblado de Tarapata,

A fin de mejorar el factor de seguridad se optó por el modelamiento geotécnico que permita el aumento de este considerando las condiciones geomecánicas existentes en el terreno, cabe destacar que los modos de falla existentes en la mecánica de rocas como son planar, cuña y vuelco, no fueron encontrados en la zona mapeada. Por lo cual el modo de falla predominante fue la falla circular.

El diseño geométrica toma en cuenta los factores de seguridad obtenidos en cada sección circular analizada y destaca que 4 secciones poseen los menores valores FoS, siendo estas la sección M, O, P, Q las cuales poseen un FoS cercano a 1, los taludes fueron modelados a fin de que la falla crítica en cada una de estas secciones disminuya por el concepto de reducción de masa deslizante, planteando la alternativa de taludes en la base de las secciones, Los análisis muestran resultados alentadores al aumentar los valores de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.

A fin de mejorar los análisis de estabilidad se realizó un análisis de riesgos y vulnerabilidades al entorno urbano encontrándose que el terreno actual representa un riesgo para cerca de 41 viviendas con 164 personas que viven en las faldas de la montaña, justo debajo de la zona crítica, por ende se planteó medidas de mitigación que incluyeron el uso de geotextil a fin de reducir la erosión producto de las lluvias, el uso de una barrera dinámica en ubicado en el tercer banco a fin de evitar posibles caídas de rocas y también el uso de un canal de coronación con dimensiones adecuadas que permita el drenaje de aguas provenientes de la escorrentía superficial en épocas de lluvia.

Se considera que, con el modelamiento geotécnico, y las medidas de mitigación planteadas se logró la estabilidad del cerro Yahuarmaqui.

CONCLUSIONES

- La estabilidad de los taludes naturales fue influenciada directamente por el modelamiento geomecánico realizado; el factor de seguridad incremento de forma proporcional al ángulo de talud, este incidió de manera directamente proporcional a la reducción del potencial de riesgo en las secciones M, O, P, Q, cuyos factores de seguridad aumentaron en aproximadamente un 10 a 15% tras el modelamiento de taludes.
- Las condiciones geomecánicas y el modelamiento de taludes mostraron que los sectores más críticos encontrados poseen una falla circular, el cual es característico de suelos o roca muy fracturada, esto repercutió en la delimitación de los sectores críticos como son las secciones M, O, P, Q. El diseño propuesto en esta zona contempla el uso de taludes con una inclinación de 75° y una altura máxima de banco de 9.7m con un ángulo global de 59° , cabe destacar que la población de Tarapata es vulnerable frente a un escenario de deslizamiento de estos taludes.
- A fin de reducir el potencial de riesgo, se catalogó a los sectores más críticos, los cuales fueron evaluados por medio de la matriz de IPERC, la vulnerabilidad de la población de Tarapata frente a un escenario por deslizamiento, fue reducido al considerarse medidas de mitigación de riesgos para la de caídas de rocas, erosión y acumulación de agua freática.
- Las medidas de mitigación fueron contempladas a fin de reducir el potencial de riesgo de los taludes, considerando el uso de geotextil a fin de evitar la erosión producida por cambios climáticos o lluvias intensas y mantener el perfil y ángulo de talud, para la caída de rocas se consideró el uso de una barrera dinámica que resista el impacto de rocas con una energía de 500 J a una altura de 2m sobre el banco N°3 y también el uso de canales de coronación que dirijan el agua fuera de los taludes.

RECOMENDACIONES

- Las condiciones geomecánicas de los taludes y su estabilidad está ligado a la incertidumbre de los materiales, al no ser estos un medio continuo, la precisión de la data debe ser mejorada a partir de mayor cantidad de ensayos que aumenten la confiabilidad de los resultados.
- Las condiciones geomecánicas en los sectores críticos analizados deben ser más caracterizadas tales como el nivel freático en meses de lluvia, y la presencia de las fallas circulares que se encuentran a ambos lados de la zona crítica.
- Se recomienda restringir la construcción de viviendas cercanas a la zona crítica en el cerro Yahuarmaqui debido a la alta vulnerabilidad por deslizamiento de talud o la ocurrencia de fenómenos desencadenantes como sismos o precipitaciones.
- Los tipos de materiales escogidos para el proceso de mitigación de riesgos no fue parte del estudio de esta tesis, por este motivo, se recomienda un mayor énfasis en la selección del tipo de geosintético más adecuado para la protección contra la erosión y el tipo de anclaje activo más óptimo en taludes.

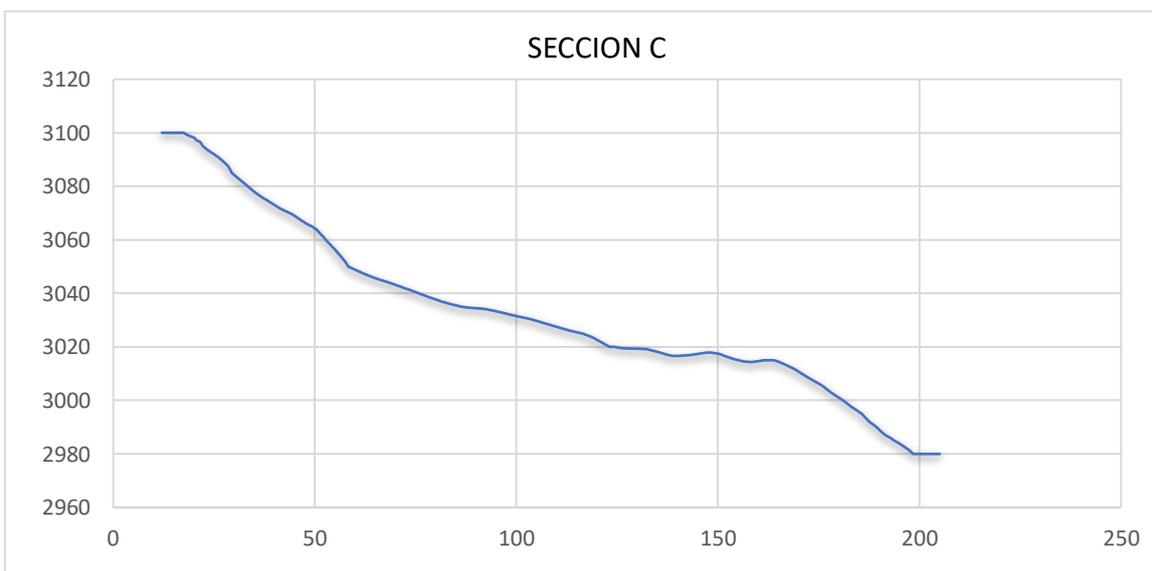
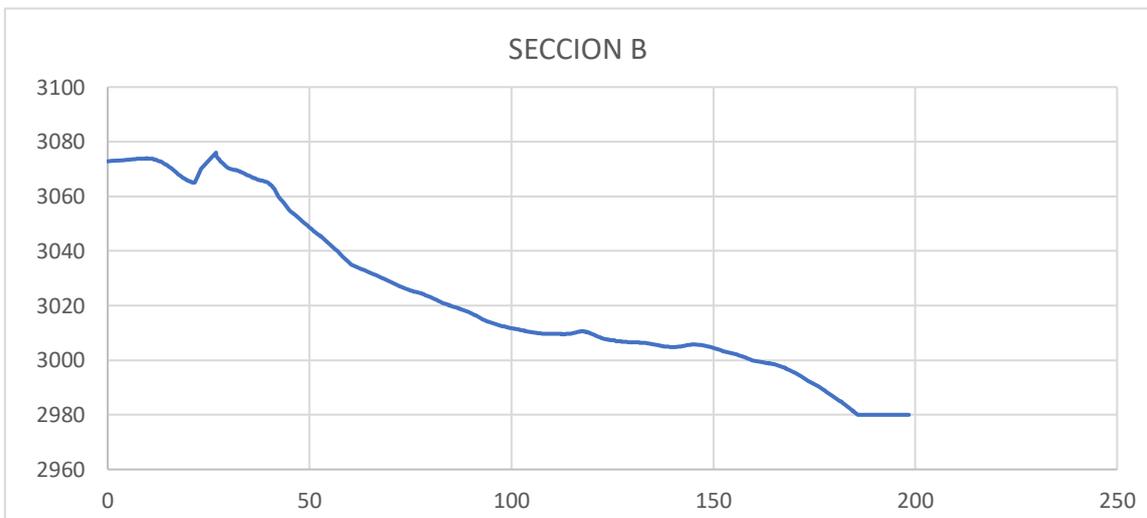
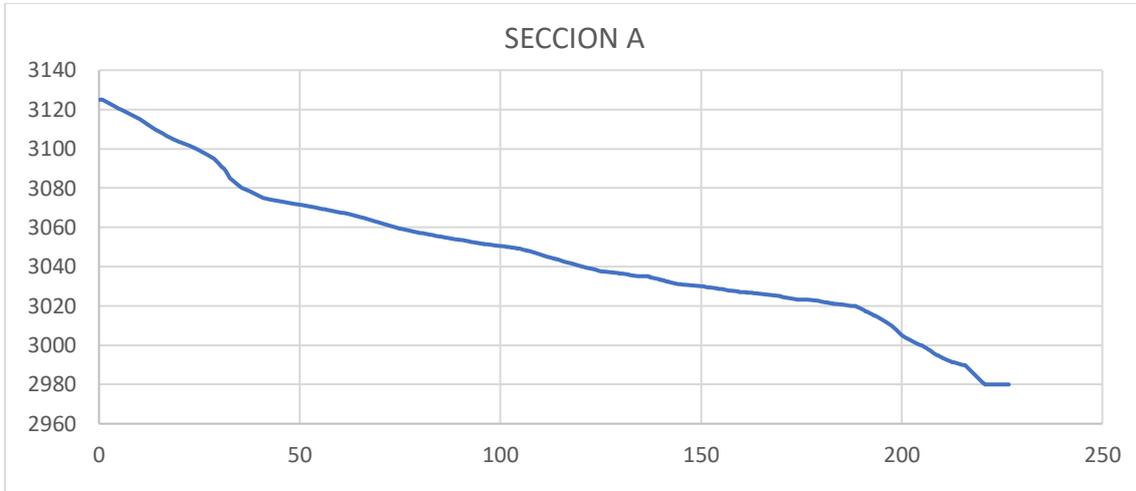
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

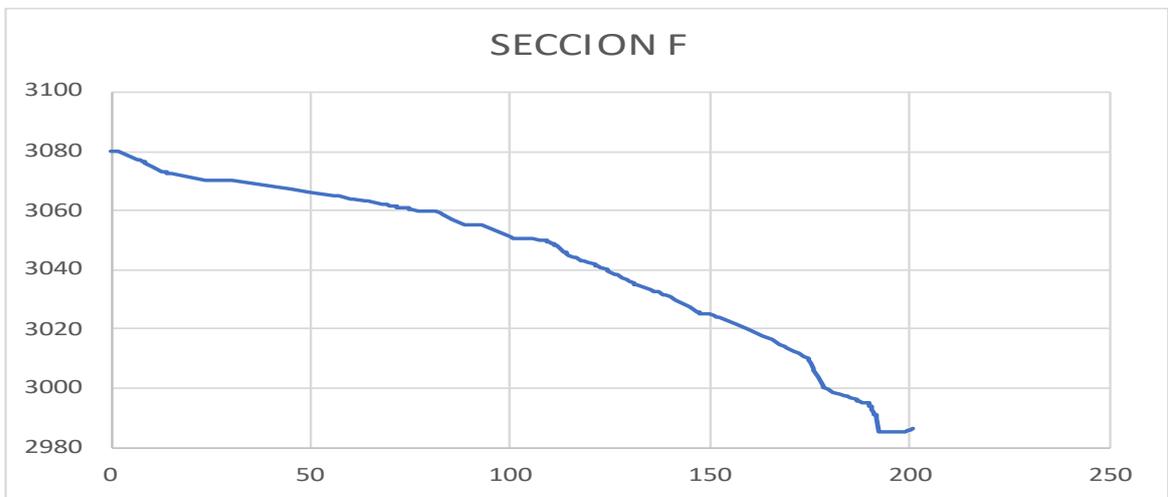
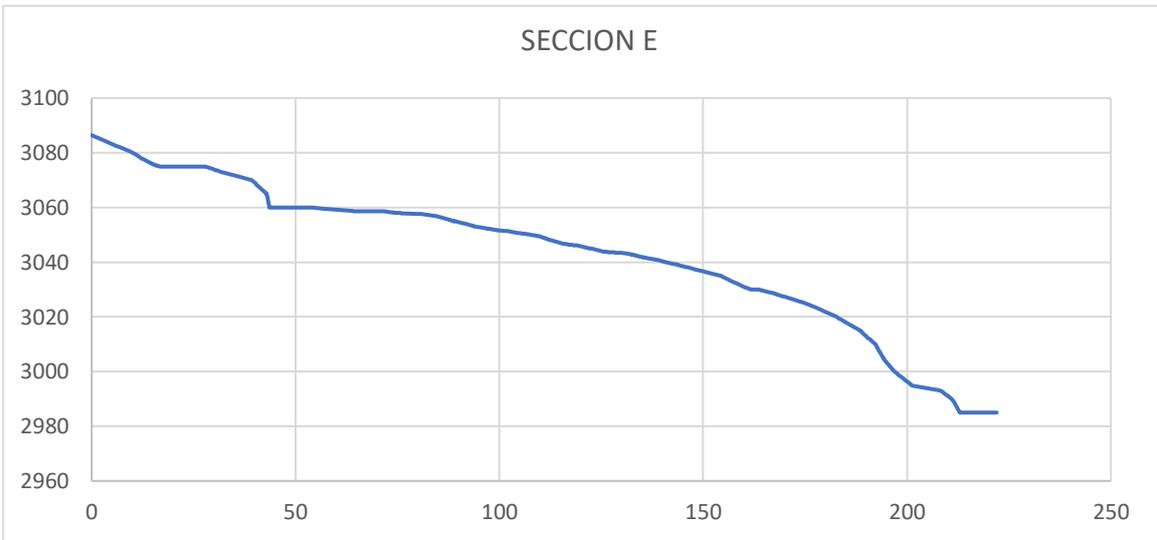
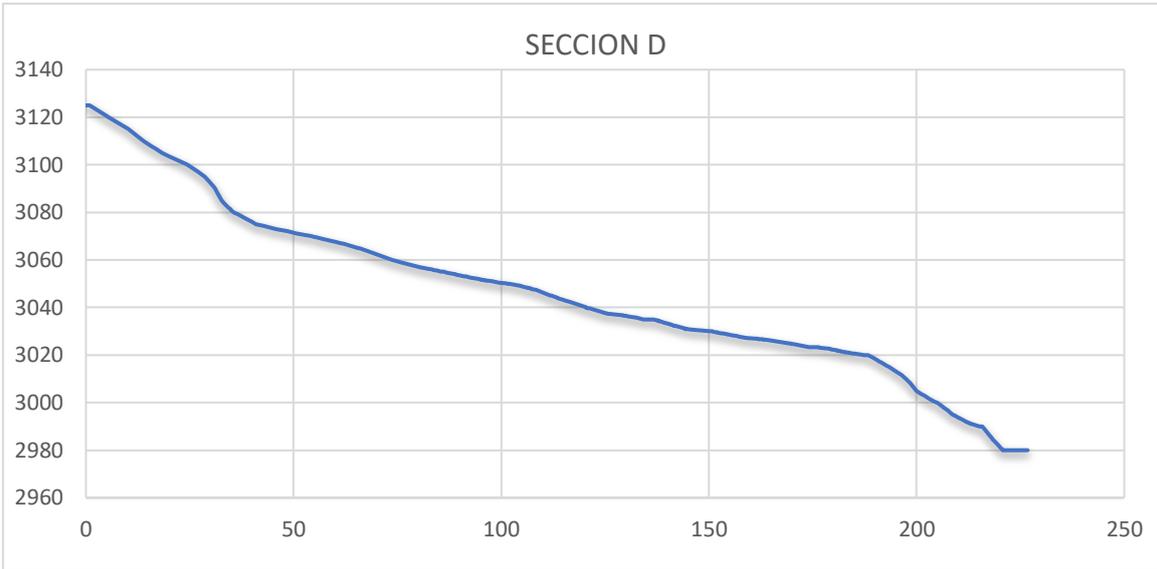
- ◆ URRUTIA VARESE, Pablo. Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de los taludes de la Costa Verde en el distrito de Miraflores. 2008.
- ◆ JURADO GUEVARA, Aura Beatriz; PÉREZ ARAUJO, Roberto Francisco. Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la Costa Verde-Miraflores. 2019.
- ◆ JULCA LESCANO, Cynthia Victoria; LINARES QUISPE, Rolly Florencio; QUINTEROS ALTAMIRANO, Elizabeth. Estabilización de los taludes de la costa verde empleando el método de la hidrosiembra en el tramo entre la calle Colón y la bajada Malecón Balta del distrito de Miraflores. 2021.
- ◆ VÍLCHEZ MATA, Manuel Salomón. Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. 2015.
- ◆ INGEMMET. JULIO-2020. Evaluacion de Peligros Geologicos por Derrumbe en el Cerro Yawarmaqui. Cusco : s.n., Julio-2020.
- ◆ OSCCO, PERCY BRAVO. 2020. Analisis Estrategico Y Evaluacion de "Estabilidad de Taludes del Caccañan, Distrito de Tambobamba, Provincia de Cotabambas, Region Apurimac. Cusco : s.n., 2020.
- ◆ VARESE, PABLO URRUTIA. 2008. Analisis Dinamico de Estabilidad por Elementos Finitos de los taludes de la costa verde en el distrito de Miraflores. Lima : Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2008.
- ◆ WOLFRAN, QUISPE HUAMAN. 2022. Evaluacion del factor de Seguridad en taludes para la determinacion de sistemas de sostenimiento, carretera Huaypo Grande - Chinchero - Urubamba. Cusco : s.n., 2022.
- ◆ HURTADO, JORGE ALVA. 2022. Estabilidad de taludes de la costa verde Lima Peru. XXII Reunion Nacional de profesores de Ingenieria Geotecnica . Guadalajara Mexico : s.n., 2022.
- ◆ READ, J., & STACEY, P. (2006). Open Pit Planning and Desing . CRC Press.
- ◆ Das, B. M. (2013). Fundamentos de la Ingenieria Geotecnica . CENGAGE.
- ◆ OYANGUREN , P., & MONGE , A. (2004). Mecanica de rocas: Fundamentos e Ingenieria de taludes. Madrid: Red DES

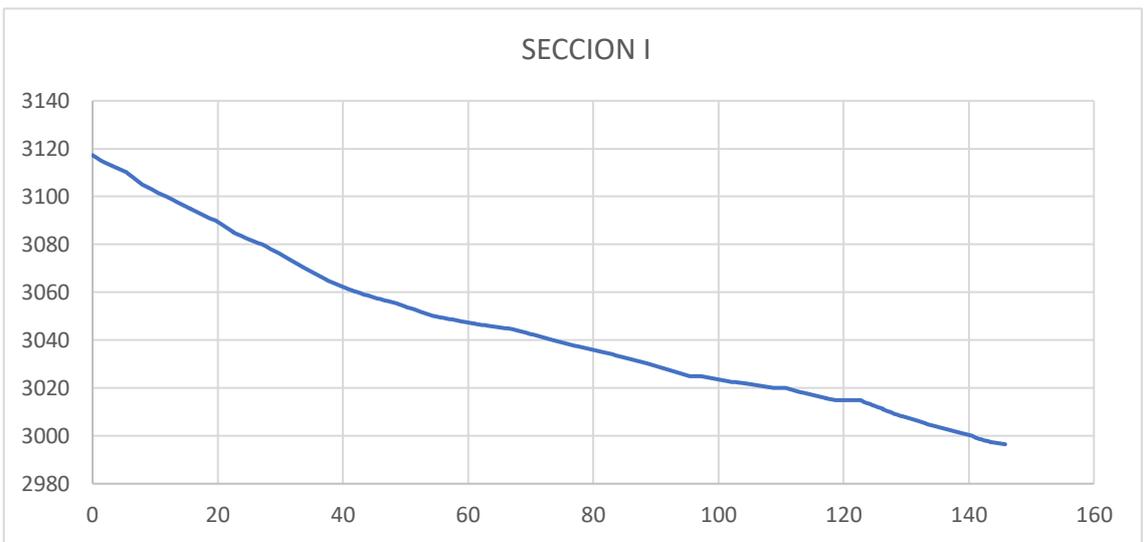
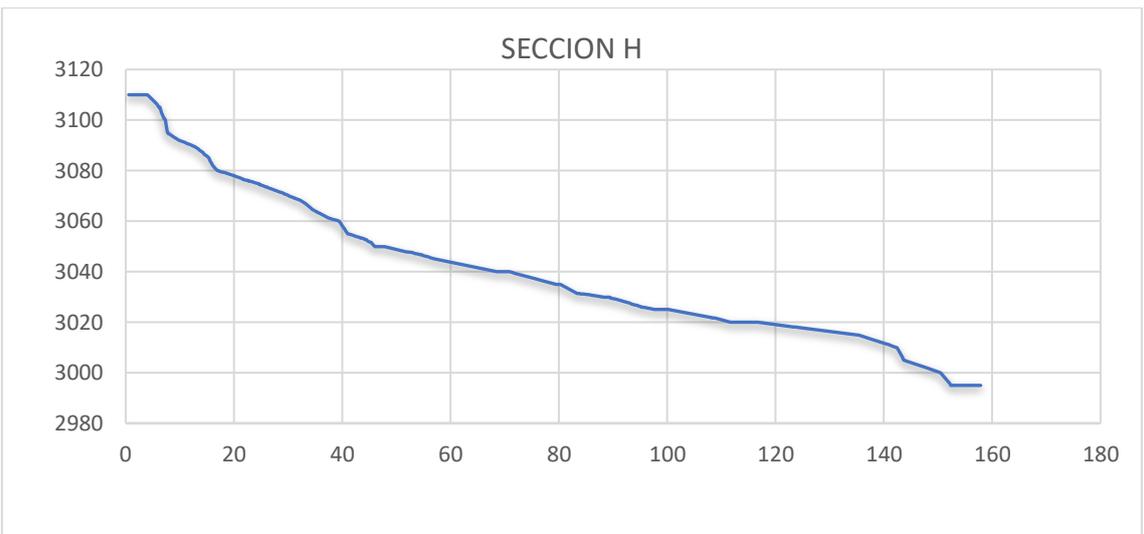
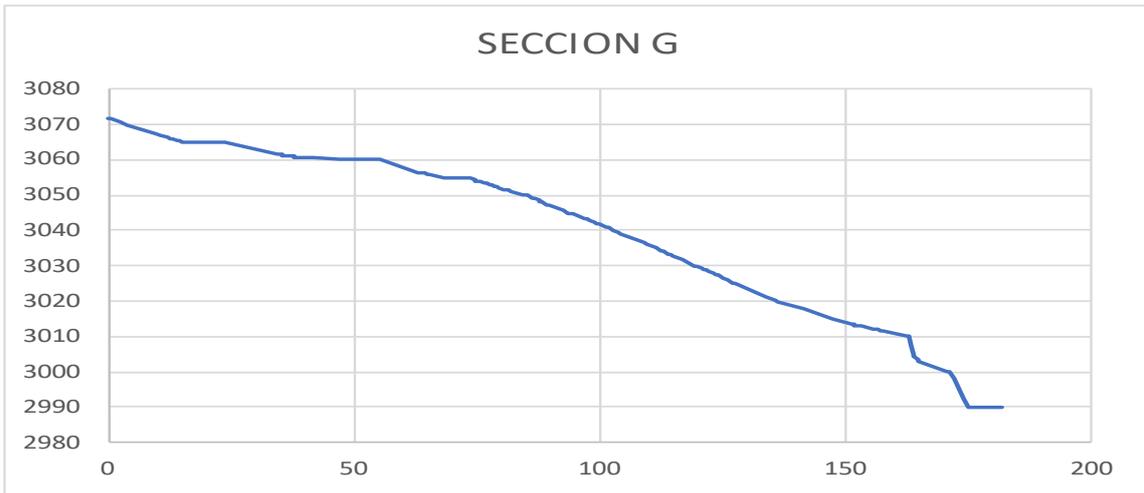
ANEXOS

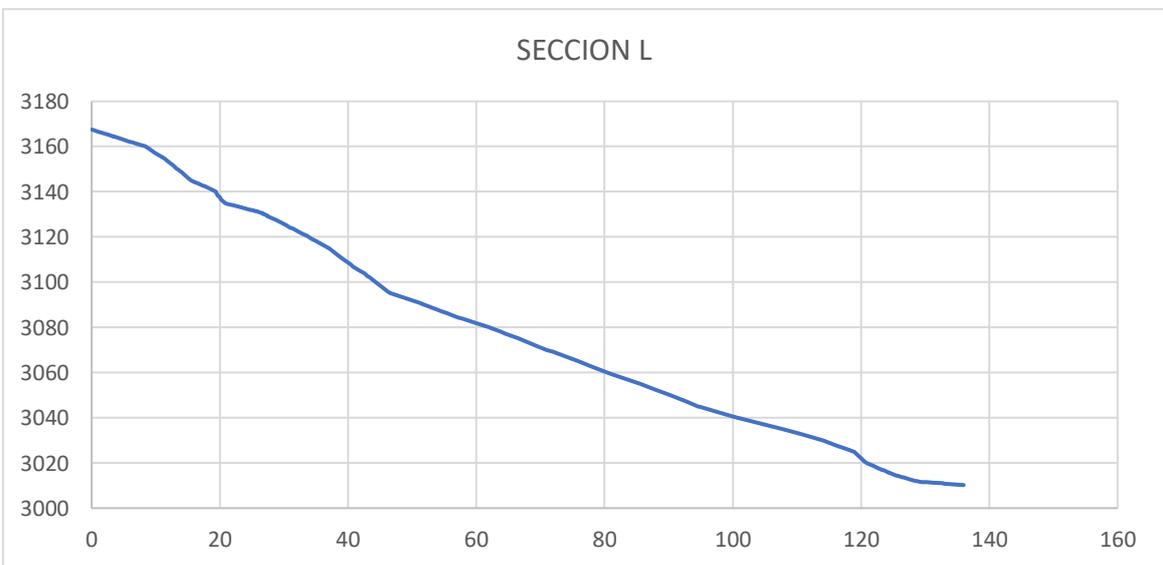
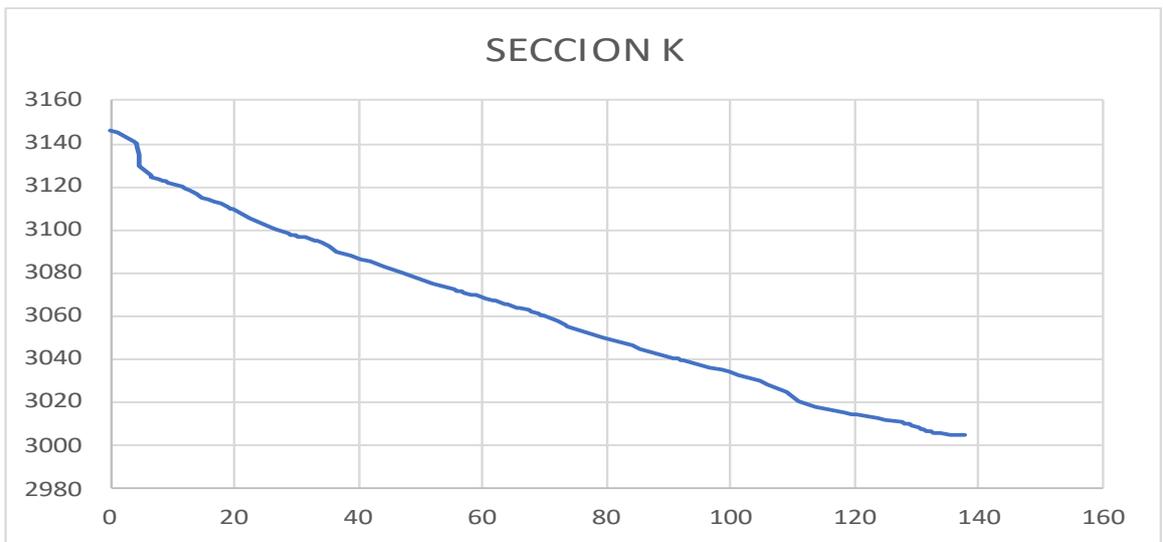
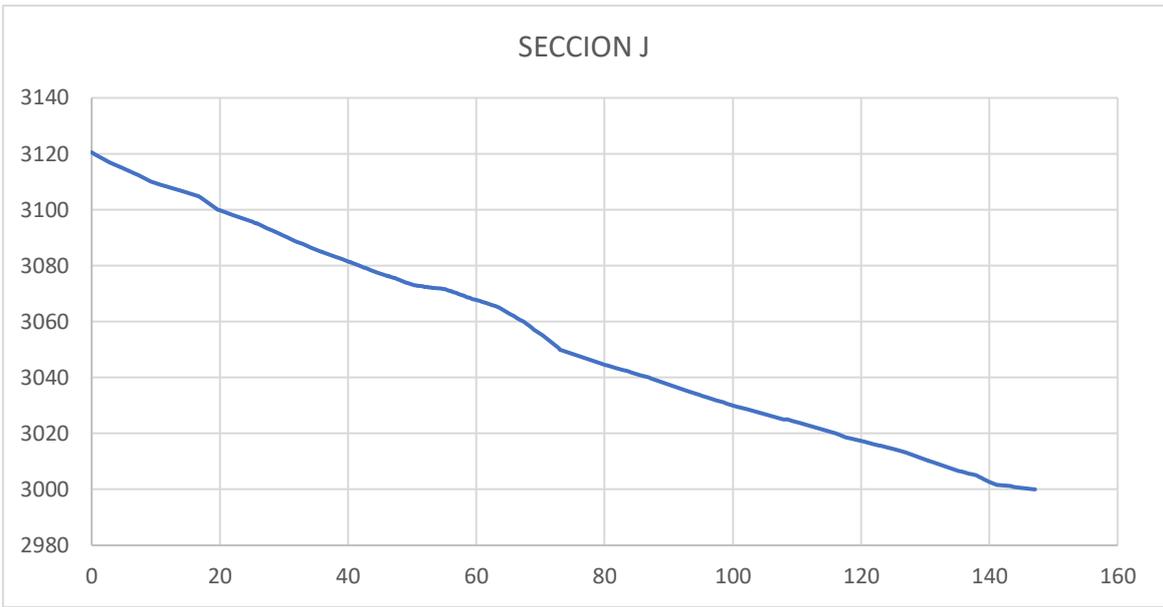
ANEXO N°1: SECCIONES DE ANALISIS

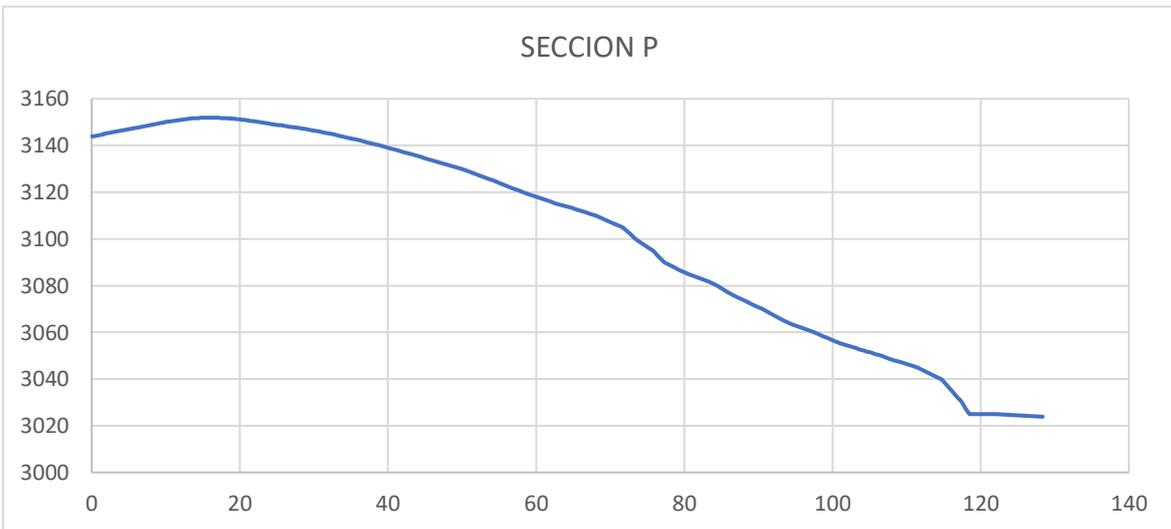
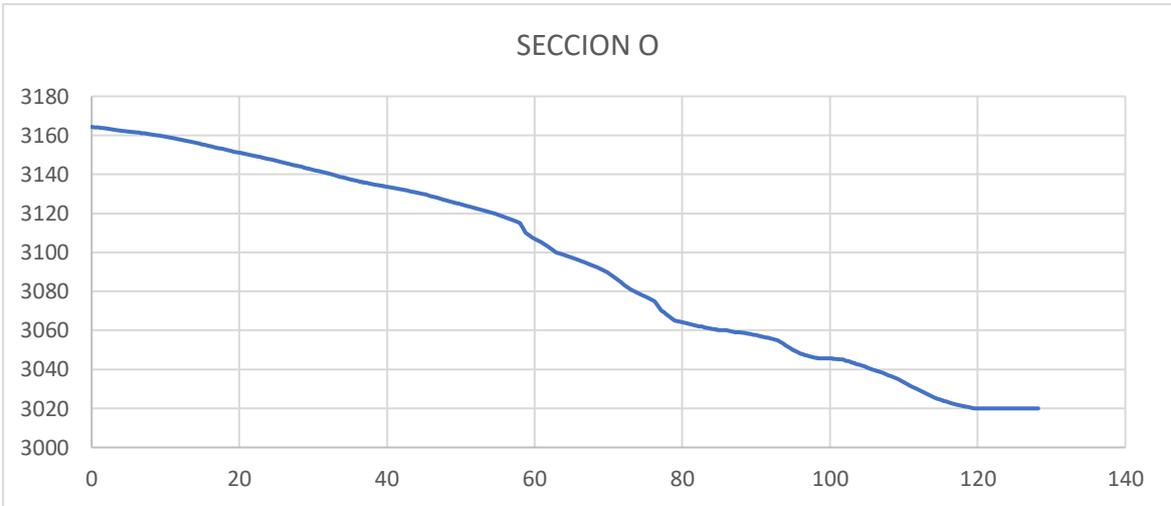
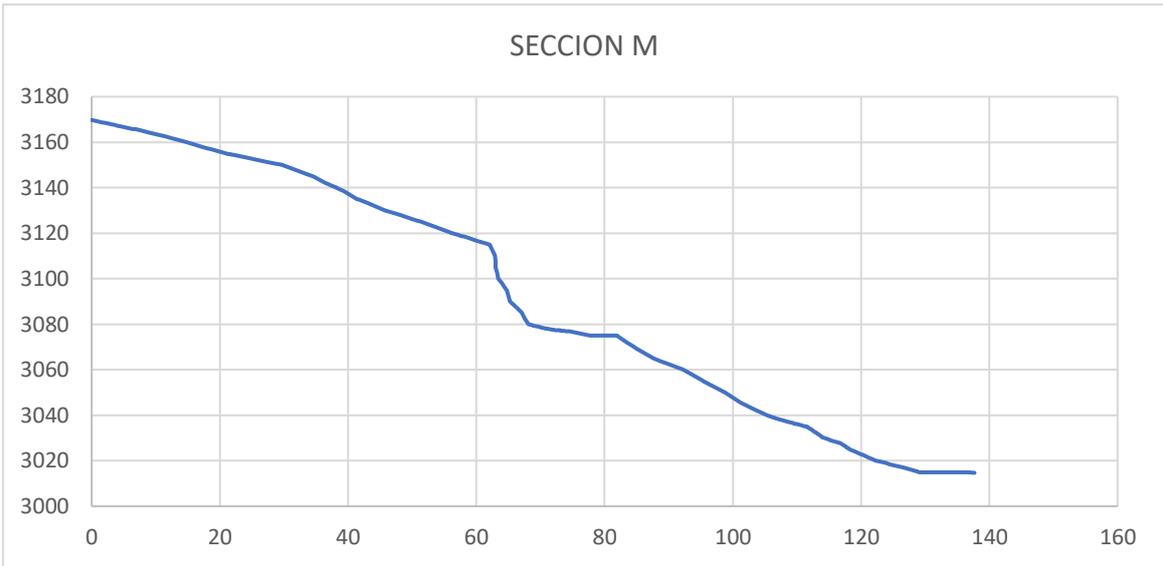
SECCIONES DE ANALISIS: RELIVES TOPOGRAFICOS CORRESPONDIENTE A CADA SECCION

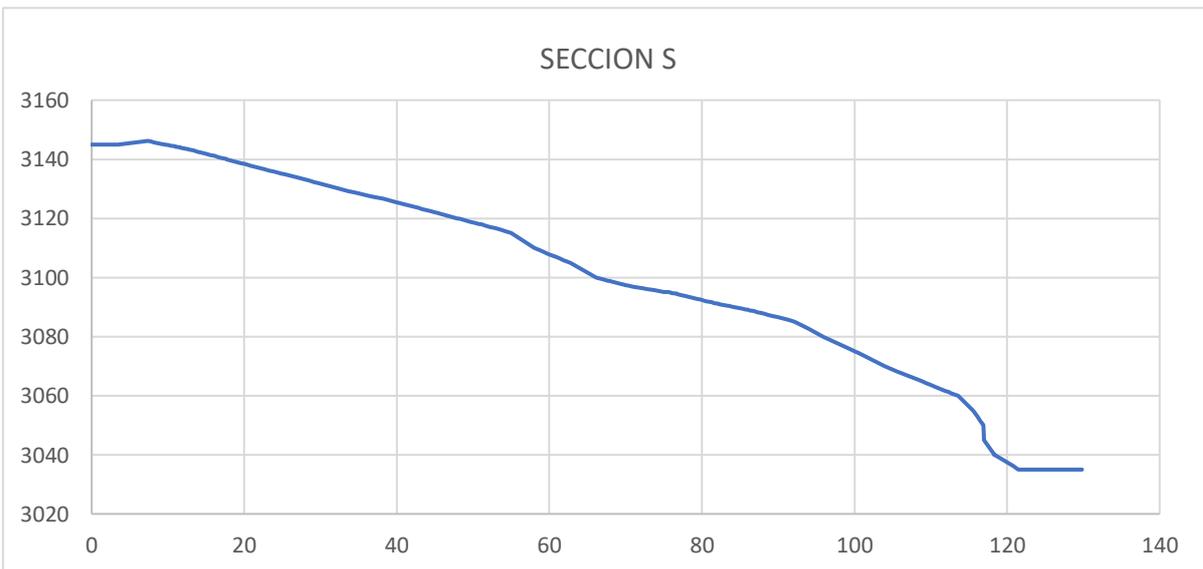
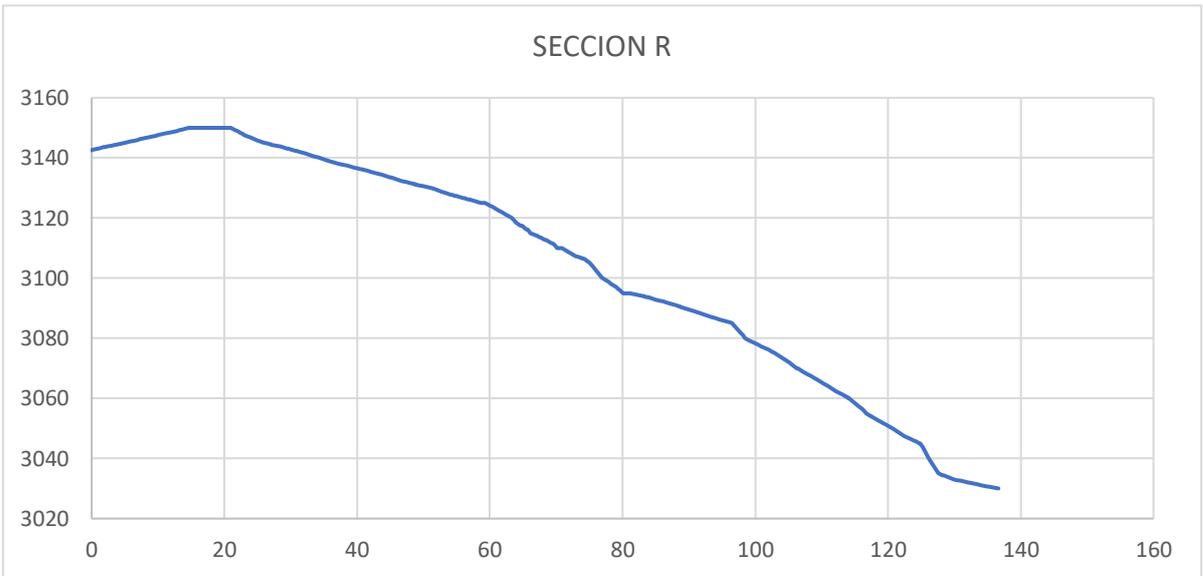
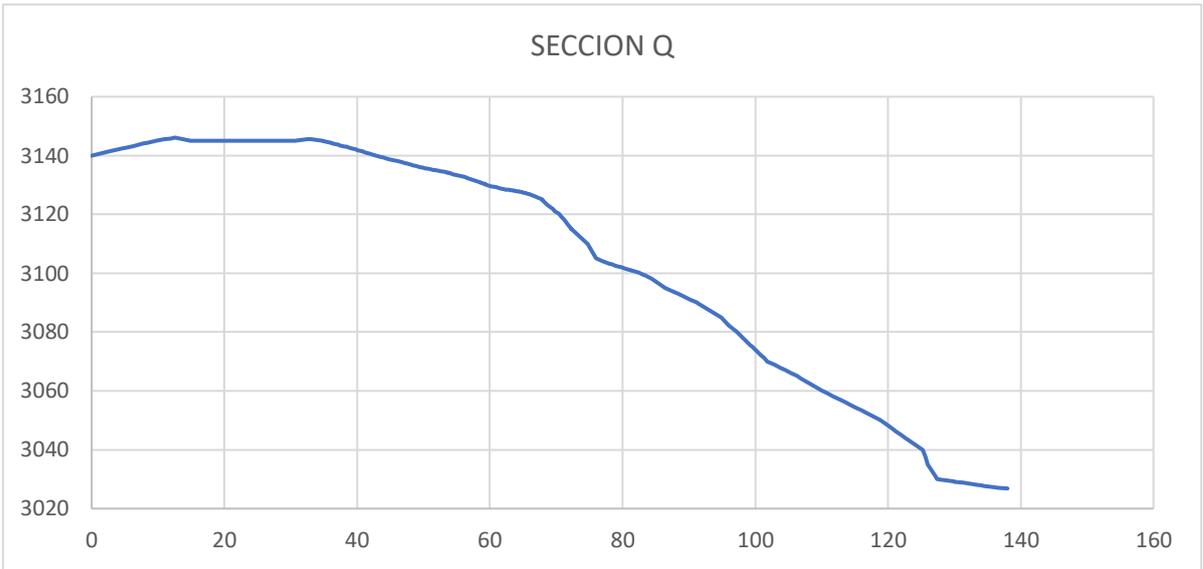


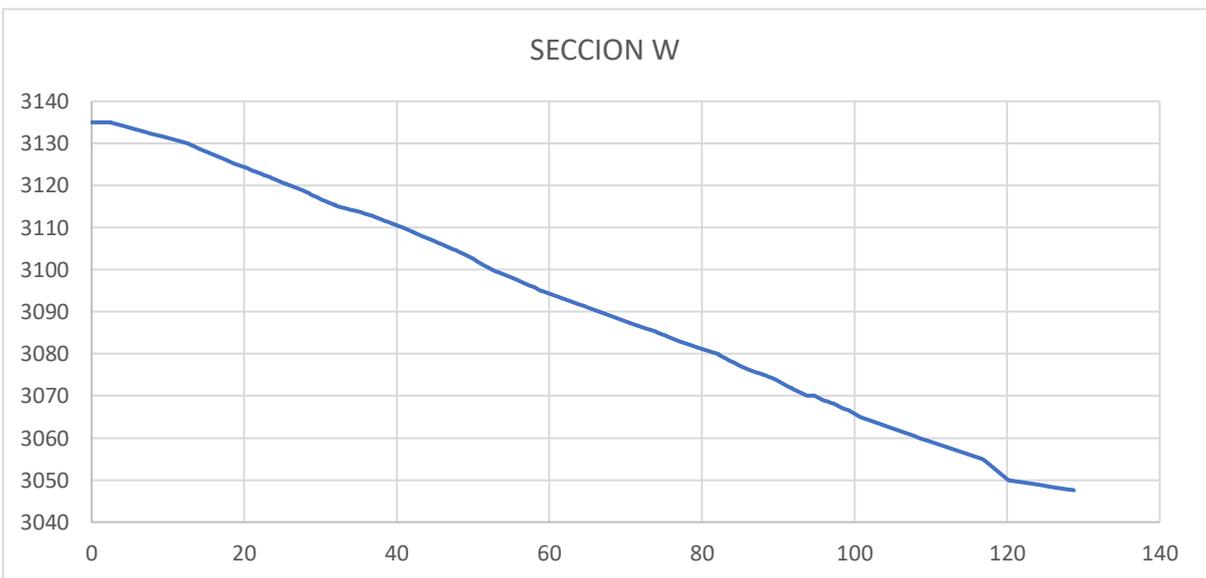
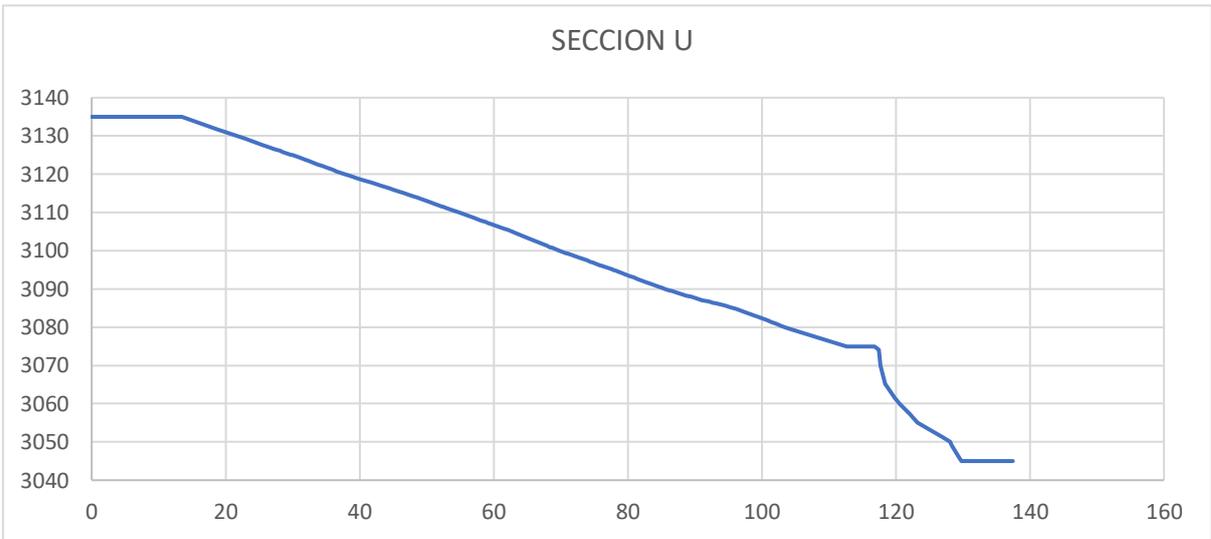
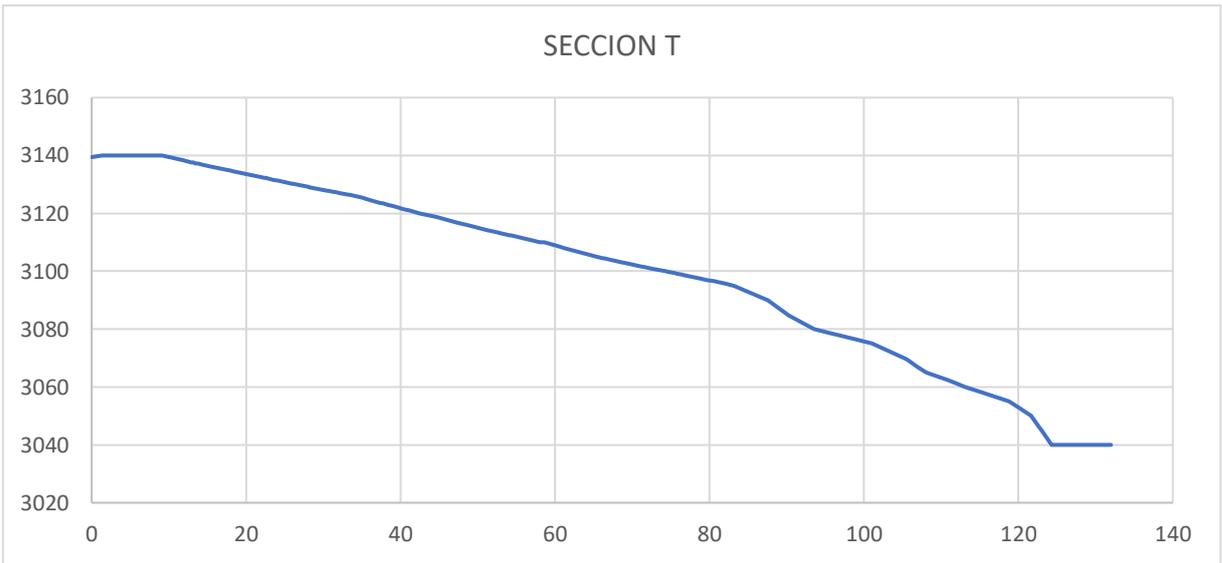












ANEXO N°2: ESTUDIOS CULEBRACHAYOC INGEMMET

		FORMATO											
		DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYOS - MUESTRAS DE YESO											
INFORME DE ENSAYO:		N° 076-2017-INGEMMET/DL-LO											
REFERENCIA:		SOLICITUD N° 22-2017-INGEMMET/DRME/GE34B4											
PROYECTO:		GE34B4											
RESPONSABLE:		ELMER BOULANGGER RONDOY											
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:		6 DE 17 (ROCA)											
PROCEDENCIA:		CUSCO						FECHA:		25/10/2017			
N°	CÓDIGO	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	MnO %	Na ₂ O %	P ₂ O ₅ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	SO ₃ %	H ₂ O 180°C %
1	29-I-RNM-002	0.41	35.72	0.26	<0.01	1.49	<0.01	<0.02	<0.01	0.70	<0.01	42.52	18.22
2	29-I-RNM-005	<0.01	33.36	0.03	<0.01	0.27	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	46.38	19.65
3	29-I-RNM-006	0.02	35.96	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	44.19	19.12
4	28-S-I-RNM-029	<0.01	32.05	0.04	<0.01	0.99	<0.01	<0.02	0.03	<0.01	<0.01	41.67	21.97
5	28-S-I-RNM-030	<0.01	32.82	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	44.31	21.82
6	28-S-I-RNM-031	0.02	29.96	0.04	<0.01	0.15	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	43.32	23.76
L.D.M. :		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MÉTODO: DL-ME-005-ANÁLISIS DE ELEMENTOS MAYORES EN MUESTRAS DE ROCAS Y MINERALES POR ICP-OES *MÉTODO: DL-ME-008-DETERMINACIÓN DE PERDIDA POR CALCINACIÓN (LOI)													

		FORMATO									
		DIRECCIÓN DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUÍMICA INFORME DE ENSAYOS - ROCA TOTAL (18 ELEMENTOS)									
INFORME DE ENSAYO:		N° 076-2017-INGEMMET/DL-LO									
REFERENCIA:		SOLICITUD N° 22-2017-INGEMMET/DRME/GE34B4									
PROYECTO:		GE34B4									
RESPONSABLE:		ELMER BOULANGGER RONDOY									
CANTIDAD Y TIPO DE MUESTRAS:		6 DE 17 (ROCA)									
PROCEDENCIA:		CUSCO					FECHA:		25/10/2017		
N°	CÓDIGO	Ba ppm	Co ppm	Cr ppm	Ni ppm	Sr ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm	Zr ppm	
1	29-I-RNM-002	<5	<1	1	6	2002	<5	2	<5	<5	
2	29-I-RNM-005	<5	<1	<1	<5	1046	<5	2	<5	<5	
3	29-I-RNM-006	<5	<1	<1	<5	1206	<5	7	<5	<5	
4	28-S-I-RNM-029	<5	<1	<1	<5	1482	<5	27	<5	<5	
5	28-S-I-RNM-030	<5	<1	<1	<5	1164	<5	1	<5	<5	
6	28-S-I-RNM-031	<5	<1	<1	<5	1474	<5	2	<5	<5	
L.D.M. :		5	1	1	5	10	5	1	5	5	
MÉTODO: DL-ME-005-ANÁLISIS DE ELEMENTOS MAYORES EN MUESTRAS DE ROCAS Y MINERALES POR ICP-OES											

	FORMATO	Código : DL-F-164
	REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS "X"	Versión : 02 Fecha aprob. : 06/09/2016
		Página : 1 de 4

REPORTE Nº 040-2017-INGEMMET/DL-LRX			
SOLICITUD Nº	041-2017-INGEMMET/DRME/GE34B4	REFERENCIA	GE34B4 : Recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica-social y desarrollo en la región Cusco: sector meridional
ORDEN DE TRABAJO Nº			
SOLICITADO POR	Elmer Boulanger Rondoy		
Nº DE MUESTRAS	17		

TIPO DE ÁNODO	Cu		
DIFRACTOMETRO MARCA	SHIMADZU	MODELO	XRD-7000
ENERGIA	40 Kv, 30 mA		

ESTUDIO REALIZADO POR	Palermo Carrasco Guerrero	FECHA	19 de Setiembre del 2017
-----------------------	---------------------------	-------	--------------------------

RANGO DE BARRIDO (2θ)			
DE	3°	HASTA	70°

01	CODIGO DE MUESTRA	28-s-I-RNM-032	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	100.00

02	CODIGO DE MUESTRA	28-s-I-RNM-033	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	100.00

03	CODIGO DE MUESTRA	28-s-I-RNM-034	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	84.22
02	Calcita	CaCO ₃	15.78

FORMATO

REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS "X"

Código : DL-F-164
Versión : 02
Fecha aprob. : 06/09/2016
Página : 2 de 4

04	CODIGO DE MUESTRA	28-s-I-RNM-035	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	69.40
02	Calcita	CaCO ₃	30.60

05	CODIGO DE MUESTRA	27-s-RNM-036	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	100.00

06	CODIGO DE MUESTRA	27-s-RNM-037	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	90.14
02	Anhidrita	CaSO ₄	8.74
03	Vaterita	CaCO ₃	0.70
04	Cuarzo	SiO ₂	0.42

07	CODIGO DE MUESTRA	27-r-RNM-038	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	89.42
02	Calcita	CaCO ₃	8.71
03	Cuarzo	SiO ₂	1.87

08	CODIGO DE MUESTRA	27-r-RNM-039	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	100.00

09	CODIGO DE MUESTRA	27-r-RNM-040	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Calcita	CaCO ₃	85.20
02	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	13.29
03	Microclina	Al K O ₈ Si ₃	0.76
04	Cuarzo	SiO ₂	0.74

10	CODIGO DE MUESTRA	27-r-RNM-042	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O	100.00

ANEXO N°3: ENSAYOS DE LABORATORIO



	REPORTE DE ENSAYO	CODIGO:	UNI-02-001
	METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO. NTP 339.127 (2019)	VERSION:	1.0
		FECHA:	9/03/2023
		PAGINA:	1/1

SOLICITADO POR:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA
OBRA:	"INFLUENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO DE TALUDES EN EL FACTOR DE SEGURIDAD Y POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 35 TRAMO URUBAMBA CUSCO"
UBICACIÓN:	CUSCO - CUSCO - URUBAMBA
FECHA:	23/06/2023

DATOS GENERALES:			
MATERIAL :	Suelo	N° DE REGISTRO:	LAB-201-23
CODIGO DE MUESTRA:	C-01	N° ENSAYO:	001-00001
FECHA DE ENSAYO:	23/06/2023	ENSAYADO POR:	Tecn. Gabriel Cama Meneses
		REVISADO POR:	Ing. Emiliano Alvarez Escalante

REGISTRO DE DATOS:

Metodo de ensayo: A

Muestra:		M-01	M-02	M-03
Recipiente:		E	F	G
Masa de recipiente	g	M_c	34.52	32.65
Recipiente + masa de muestra humeda	g	M_{cms}	546.87	573.61
Recipiente + primera masa seca	g		471.56	494.14
Recipiente + ultima masa seca	g	M_{cds}	471.49	494.06
Masa de agua	g	$M_w = M_{cms} - M_{cds}$	75.38	79.55
Masa de solidos	g	$M_s = M_{cds} - M_c$	436.97	461.41
Clasificacion visual del grupo y simbolo de suelo:		ML	ML	ML
Tamaño maximo aproximado de partícula (visual):		1 in.	1 in.	1 in.
Temperatura de ensayo:	°C	110 ± 5	110 ± 5	110 ± 5
ACEPTACION DEL METODO (A) AL 1%:	%	0.00	0.00	0.00
ACEPATCION DEL METODO (B) A 0.1 %:	%	0.00	0.00	0.00

Este documento es emitido por UNIVERSAL TESTING S.A.C. - Prohibida la reproducción parcial o total de este documento.

RESULTADOS DE ENSAYO

MUESTRA:		M-01	M-02	M-03
CONTENIDO DE AGUA:	% $w = (M_w/M_s)$	17.25	17.24	17.25



OBSERVACIONES: - Material proporcionado por el solicitante

Ufu, Tilo, Calle Perú X-13 (altura Stoprader) Cusco - Wanchaq
www.unitestperu.com
 Cel: 987525250 - 940149888

Cusco: Urb. Tio X-13- Calle Perú- Wanchaq - Cusco, Tlf: (084) 242700, RPC 987 252 150, RPM # 959646496, Cel. 987 525 250
 Quillabamba: General Gamarra N° 450, Quillabamba - Cusco, RPC: 9844276263. Abancay: Aso. Provienda de los Trabajadores
www.Unitestperu.com, unitestperu@hotmail.com, unitestperu2@gmail.com

	REPORTE DE ENSAYO	CODIGO: UNI-02-004
	METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS. NTP 339.129 (2019)	VERSION: 1.0
		FECHA: 9/03/2023
		PAGINA: 1/1

SOLICITADO POR: ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA
OBRA: "INFLUENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO DE TALLDES EN EL FACTOR DE SEGURIDAD Y POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 35 TRAMO URUBAMBA CUSCO"
UBICACIÓN: CUSCO - CUSCO - URUBAMBIA
FECHA: 23/06/2023

DATOS GENERALES:			
MATERIAL: Suelo	N° DE REGISTRO: LAB-201-23	N° ENSAYO: 0001-00001	
CODIGO DE MUESTRA: C-01	ENSAYADO POR: Tecn. Gabriel Cama Meneses		
FECHA DE ENSAYO: 23/06/2023	REVISADO POR: Ing. Emiliano Alvarez Escalante		

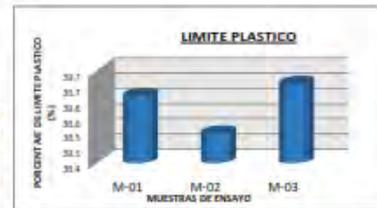
PREPARACION DE ESPECIMEN		EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO	
CONDICION DE MUESTRA: SECADO AL HORNO 01	EQUIPO PARA LIMITE LIQUIDO: SEMIAUTOMATICO		
TAMIZADO SOBRE LA MALLA N°4: TAMIZADO SECO	EQUIPO PARA LIMITE PLASTICO: ROLADO A MANO-VIDRIO		
AGUA EMPLEADA EN EL ENSAYO: AGUA DESTILADA	RANURADOR PARA EL LIMITE LIQUIDO: M. PLASTICO		

PORCENTAJE APROXIMADO RETENIDO EN TAMIZ N° 4: 6 %

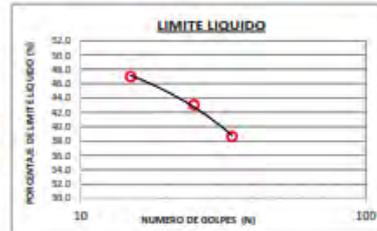
TAMAÑO MAXIMO APROXIMADO DE PARTICULAS: Tamaño maximo de 1 in.

OTRAS OBSERVACIONES: -

LIMITE PLASTICO			
Codigo de muestra	M-01	M-02	M-03
Recipiente	1	2	3
Masa de recipiente	9.18	9.35	8.92
Recipiente + masa de suelo humedo	15.28	15.64	18.21
Recipiente + masa de suelo seco	13.85	14.17	16.03
Contenido de agua	1.43	1.47	2.18
VALOR DE LIMITE PLASTICO	30.6	30.5	30.7



LIMITE LIQUIDO (M. MULTIPUNTO)			
Recipiente	1	2	3
Masa de recipiente	24.21	24.76	23.62
Recipiente + masa de suelo humedo	33.72	33.2	33.06
Recipiente + masa de suelo seco	30.68	30.66	30.43
Contenido de agua	3.04	2.54	2.63
Numero de golpes	15	25	34
VALOR DE LIMITE LIQUIDO	47.0	43.1	38.6

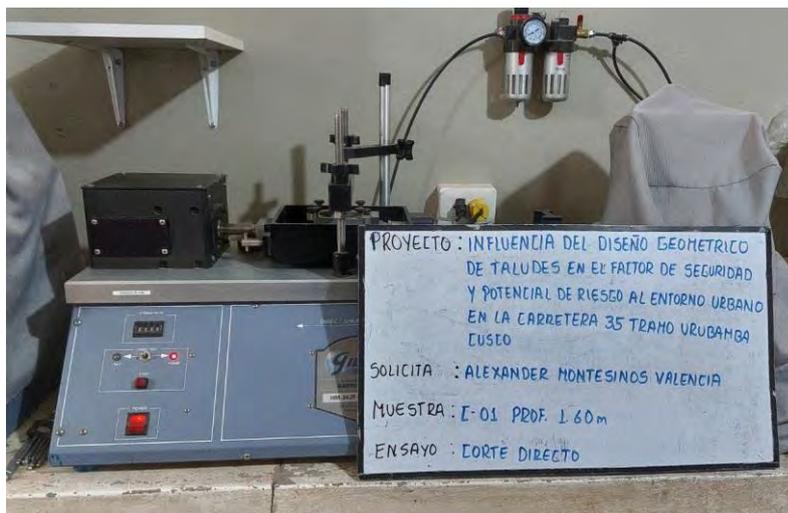


RESULTADOS DE ENSAYO

LIMITE LIQUIDO:	43
LIMITE PLASTICO:	31
INDICE DE PLASTICIDAD:	12

OBSERVACIONES: -Material proporcionado por el solicitante

PANEL FOTOGRAFICO



ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : "INFLUENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO DE TALUDES
EN EL FACTOR DE SEGURIDAD Y POTENCIAL DE
RIESGO AL ENTORNO URBANO, EN LA CARRETERA 3S,
TRAMO URUBAMBA - CUSCO"

SOLICITADO : TESISTA ALEXANDER MONTECINOS VALENCIA

FECHA : JUNIO DE 2023.

	REPORTE DE ENSAYO	CODIGO: UNI-02-016
	METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA EL CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS. NTP 400.022 (2017)	VERSION: 1.0
		FECHA: 9/03/2023
		PAGINA: 1/2

SOLICITADO POR: TESISTA ALEXANDER MONTECINOS VALENCIA
OBRA: "INFLUENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO DE TALUDES EN EL FACTOR DE SEGURIDAD Y POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO , EN LA CARRETERA 3S, TRAMO URUBAMBA - CUSCO"
UBICACIÓN: CUSCO - URUBAMBA - URUBAMBA
FECHA: 23/06/2023

DATOS GENERALES:

MATERIAL : Suelo **N° DE REGISTRO:** LAB-201-23 **N° ENSAYO:** E-030
CODIGO DE MUESTRA: C-01 **ENSAYADO POR:** Techn. Gabriel Cama Meneses
FECHA DE ENSAYO: 23/06/2023 **REVISADO POR:** Ing. Emiliano Álvarez Escalante

PARAMETROS DE MUESTRA		EQUIPO DE CORTE DIRECTO	
Estructura de muestra:	REMOLDEADA	Marca:	Gilson
Profundidad de la muestra:	1.5 m	Modelo:	KIL-J01H
COORDENADAS:	794562 E. 9956487 N.		Equipo semiautomatizado
Diametro de la muestra:	64 mm	Capacidad:	Carga normal hasta 150 PSI
Altura de la muestra:	25.4 mm		Carga normal hasta 80 kg
Volumen de muestra:	81.712 cm3		Celda de carga hasta 100 kN



INFORMACION GENERAL DE MAL MUESTRA DE NESAYO

	1	2	3
Masa húmeda de la muestra (inicio):	156.03 g	156.25 g	155.51 g
Humedad de la muestra (inicio):	10.5 %	10.34 %	10.67 %
Masa húmeda de la muestra (final):	159.26 g	159.62 g	160.51 g
Humedad de la muestra (final):	14.2 %	14.2 %	14.7 %
Area de la seccion transversal a la carga normal:	32.17 cm2	32.17 cm2	32.17 cm2
Peso unitario seco (inicial):	1.71 g/cm3	1.71 g/cm3	1.70 g/cm3
Peso unitario seco (final):	1.67 g/cm3	1.68 g/cm3	1.68 g/cm3
Peso unitario húmedo (inicial):	1.91 g/cm3	1.91 g/cm3	1.90 g/cm3
Peso unitario húmedo (final):	1.85 g/cm3	1.85 g/cm3	1.86 g/cm3

REGISTRO DE DATOS DEL ENSAYO DE CORTE

Cod. Muestra:	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	Velocidad:	Presion**:	Carga Normal:	Velocidad:	Presion**:	Carga Normal:	Velocidad:	Presion**:	Carga Normal:
-	0.025 mm/min	2.6 psi	20 kg	0.025 mm/min	3.84 psi	40 kg	0.025 mm/min	6.65 psi	80 kg
-	0.62 kg/cm2			1.24 kg/cm2			2.49 kg/cm2		
Numero de registros	DEF. HORIZONTAL	PORC. DE DEF. HORIZONTAL	ESFUERZO CORTANTE	DEF. HORIZONTAL	PORC. DE DEF. HORIZONTAL	ESFUERZO CORTANTE	DEF. HORIZONTAL	PORC. DE DEF. HORIZONTAL	ESFUERZO CORTANTE
-	mm	%	kg/cm2	mm	%	kg/cm2	mm	%	kg/cm2
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.20	0.31	0.07	0.20	0.31	0.09	0.20	0.31	0.10
3	0.40	0.63	0.09	0.40	0.63	0.10	0.40	0.63	0.16
4	0.60	0.94	0.10	0.60	0.94	0.13	0.60	0.94	0.18
5	0.80	1.25	0.10	0.80	1.25	0.16	0.80	1.25	0.22
6	1.00	1.56	0.13	1.00	1.56	0.18	1.00	1.56	0.28
7	1.20	1.88	0.15	1.20	1.88	0.22	1.20	1.88	0.33
8	1.40	2.19	0.16	1.40	2.19	0.25	1.40	2.19	0.37
9	1.60	2.50	0.17	1.60	2.50	0.28	1.60	2.50	0.42
10	1.80	2.81	0.18	1.80	2.81	0.33	1.80	2.81	0.47
11	2.00	3.13	0.18	2.00	3.13	0.37	2.00	3.13	0.54
12	2.20	3.44	0.21	2.20	3.44	0.42	2.20	3.44	0.66
13	2.40	3.75	0.22	2.40	3.75	0.48	2.40	3.75	0.77
14	2.60	4.06	0.23	2.60	4.06	0.56	2.60	4.06	0.88
15				2.80	4.38	0.59	2.80	4.38	0.90
16							3.00	4.69	0.97
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

OBSERVACIONES: -

	REPORTE DE ENSAYO	CODIGO: UNI-02-016
	METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA EL CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS. NTP 400.022 (2017)	VERSION: 1.0
		FECHA: 9/03/2023
		PAGINA: 2/2

SOLICITADO POR: TESISTA ALEXANDER MONTECINOS VALENCIA
OBRA: "INFLUENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO DE TALUDES EN EL FACTOR DE SEGURIDAD Y POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, TRAMO URUBAMBA - CUSCO"
UBICACIÓN: CUSCO - URUBAMBA - URUBAMBA
FECHA: 23/06/2023

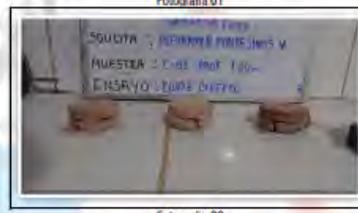
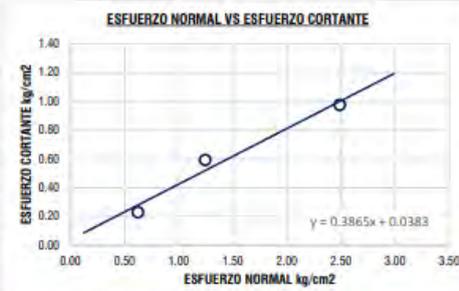
DATOS GENERALES:
MATERIAL: Suelo **N° DE REGISTRO:** LAB-201-23 **N° ENSAYO:** E-030
CODIGO DE MUESTRA: C-01 **ENSAYADO POR:** Tecn. Gabriel Camá Meneses
FECHA DE ENSAYO: 23/06/2023 **REVISADO POR:** Ing. Emiliano Álvarez Escalante

REGISTRO DE DATOS:



RESUMEN:

Código de muestra	Del. Horizontal:	Carga normal:	Esfuerzo cortante
	kg/cm2	kg/cm2	mm
Muestra 01	2.60	0.62	0.23
Muestra 02	2.80	1.24	0.59
Muestra 03	3.00	2.49	0.97



PARAMETROS DE SUELO	
COHESION:	0.038 kg/cm2
ANGULO DE FRICCIÓN:	21.1

Este documento es emitido por UNIVERSAL TESTING S.A.C. - Prohibida la reproducción parcial o total de este documento

** El equipo de corte requiere alimentación mediante una compresora de aire, controlando la presión (psi), este valore representa una carga en kilogramos (kg).

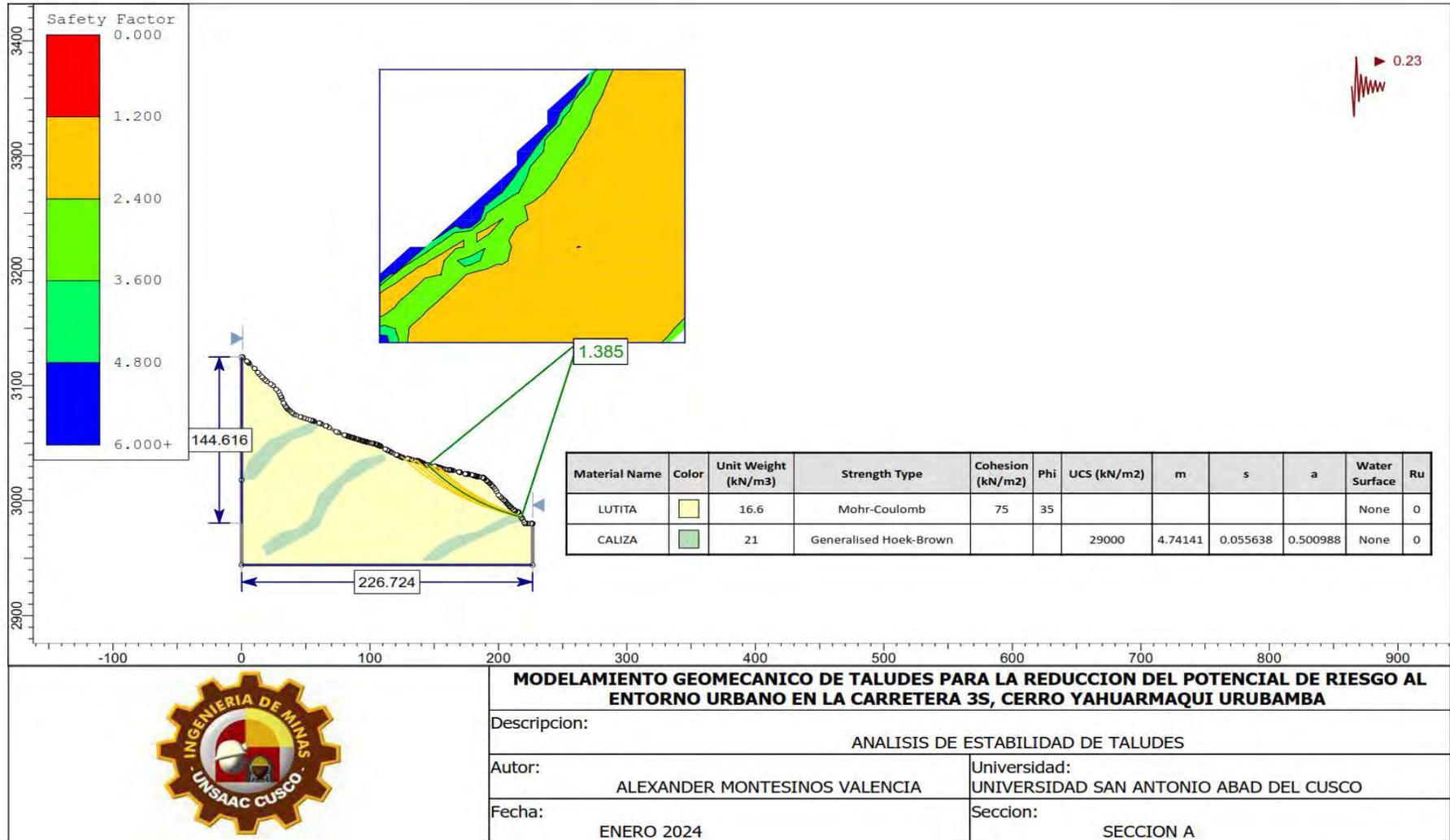
OBSERVACIONES: -

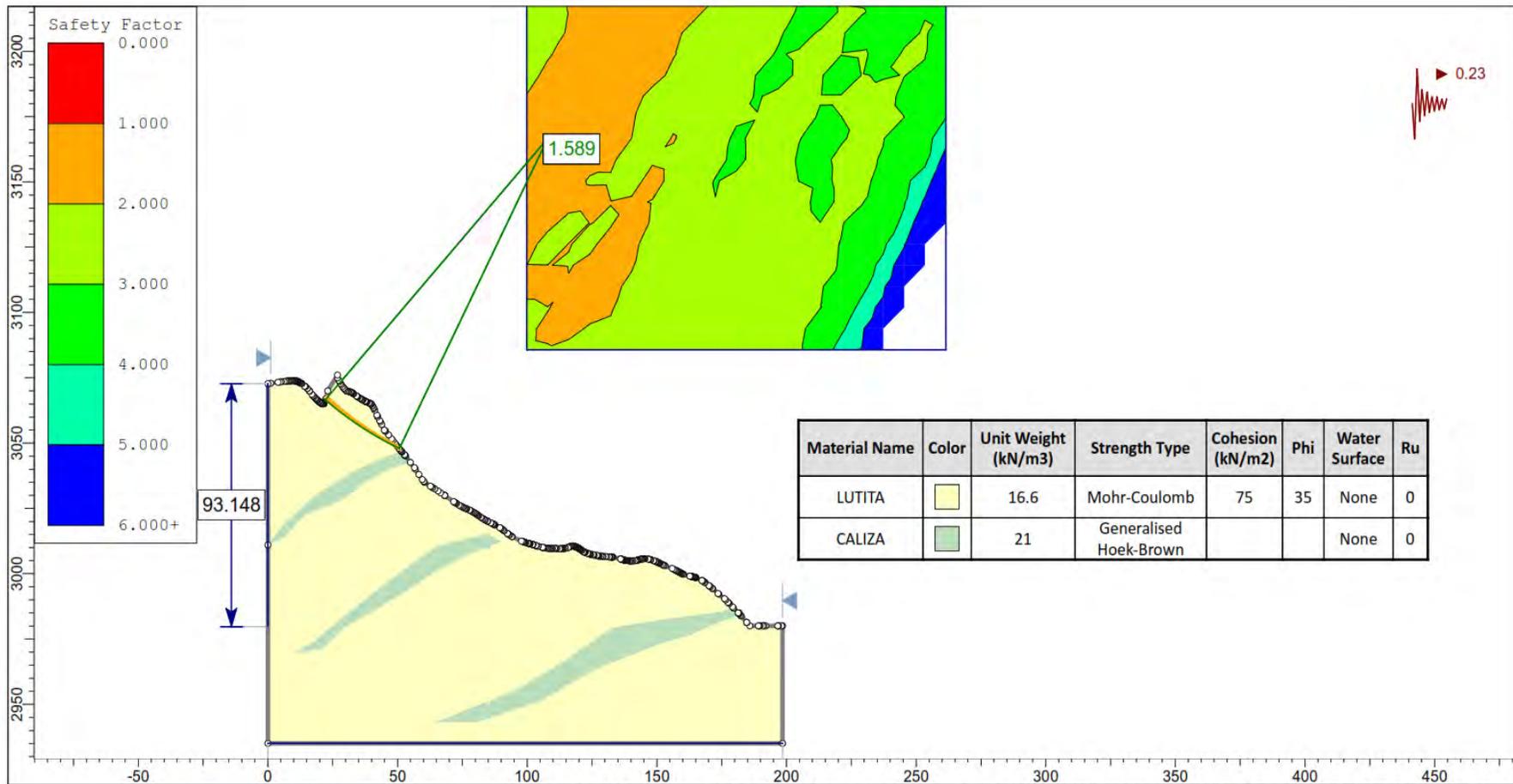
Urb. Tito, Calle Perú X-13 (altura Sta. Barbara) - Cusco - Perú
www.unitestperu.com
 Cel.: 987252150 - 940149888

Cusco: Urb. Tito- Calle Perú X-13-Wanchaq - Cusco, Tlf.: (084) 242700, Cel. Claro: 984351760 RPM # 959646496, APC 984351760
 Abancay: Av. Tamburco lote: 5- frente al grifo Petro Gas- Repsol.
www.Unitestperu.com, unitestperu@hotmail.com, unitestperu2@gmail.com

Ing. Emiliano Álvarez Escalante
 ING. CIVIL ESPECIALISTA
 EN GEOTECNIA Y VIAS TERRESTRES
 CIP N° 184003

ANALISIS DE SECCIONES METODOLOGIA LEM - PSEUDOESTATICO





Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35	None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Autor:

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

Universidad:

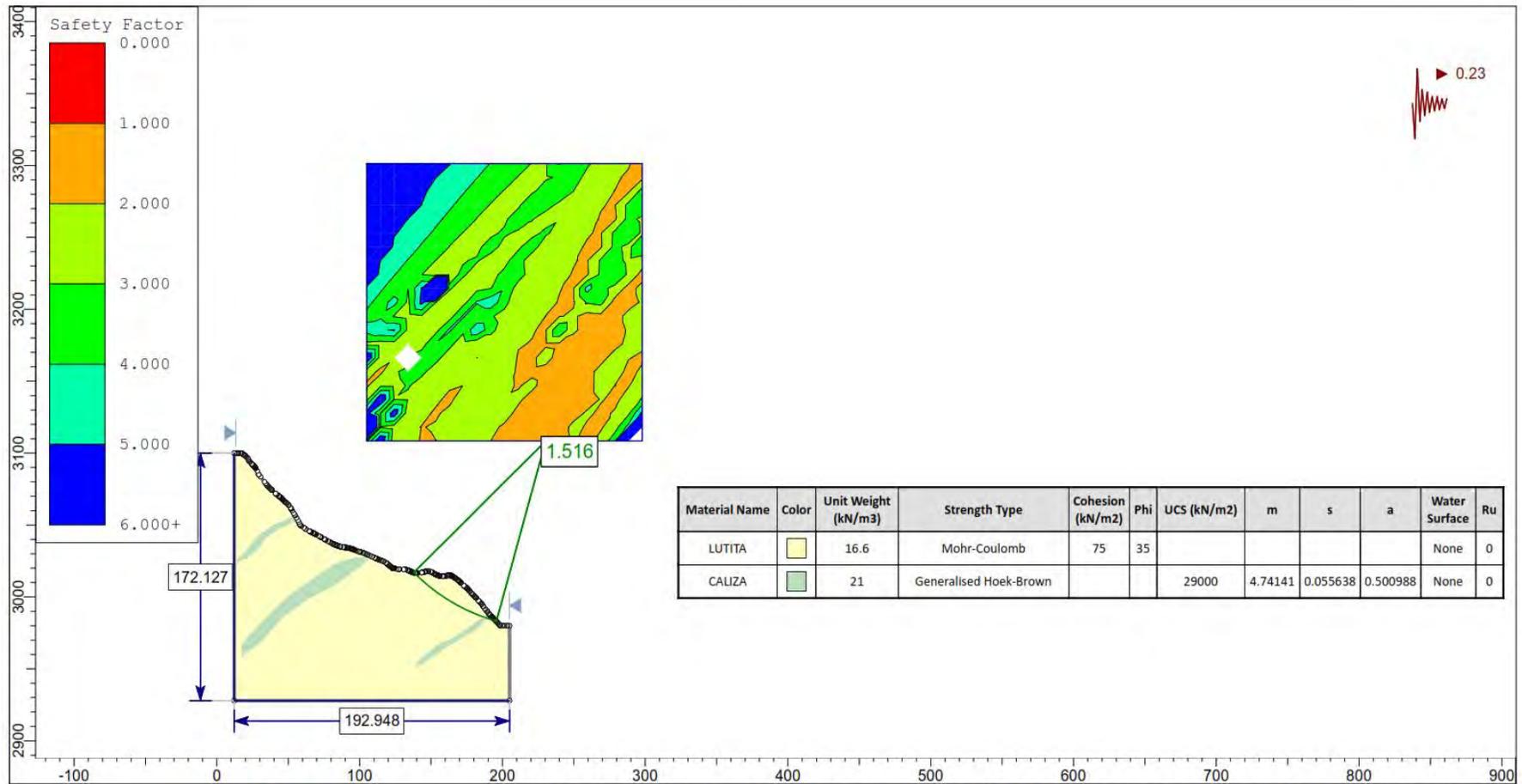
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha:

ENERO 2024

Seccion:

SECCION B - METODO SPENCER

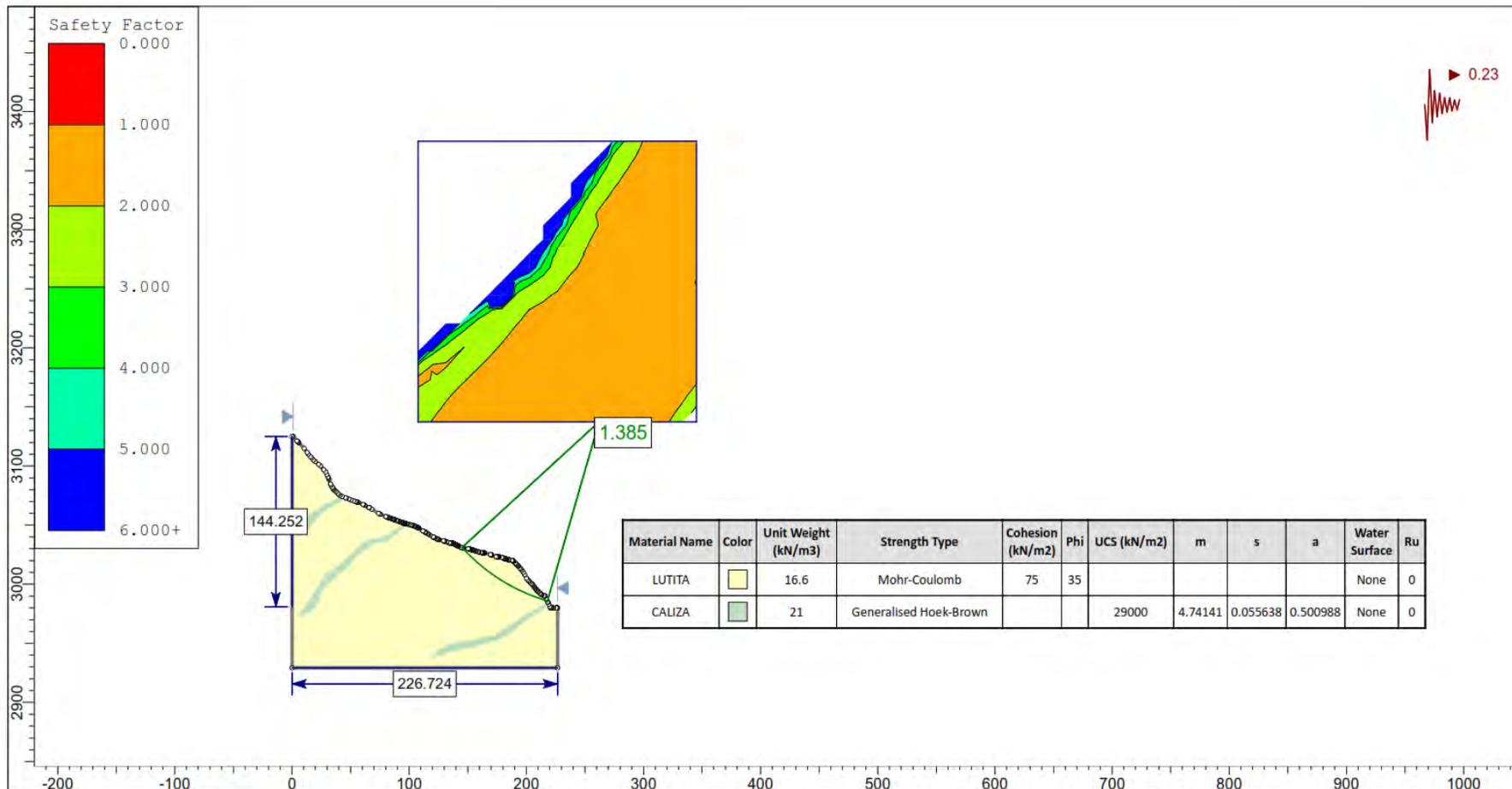


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m³)	Strength Type	Cohesion (kN/m²)	Phi	UCS (kN/m²)	m	s	a	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35					None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988	None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripción:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Sección:	SECCION C - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Autor:

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

Universidad:

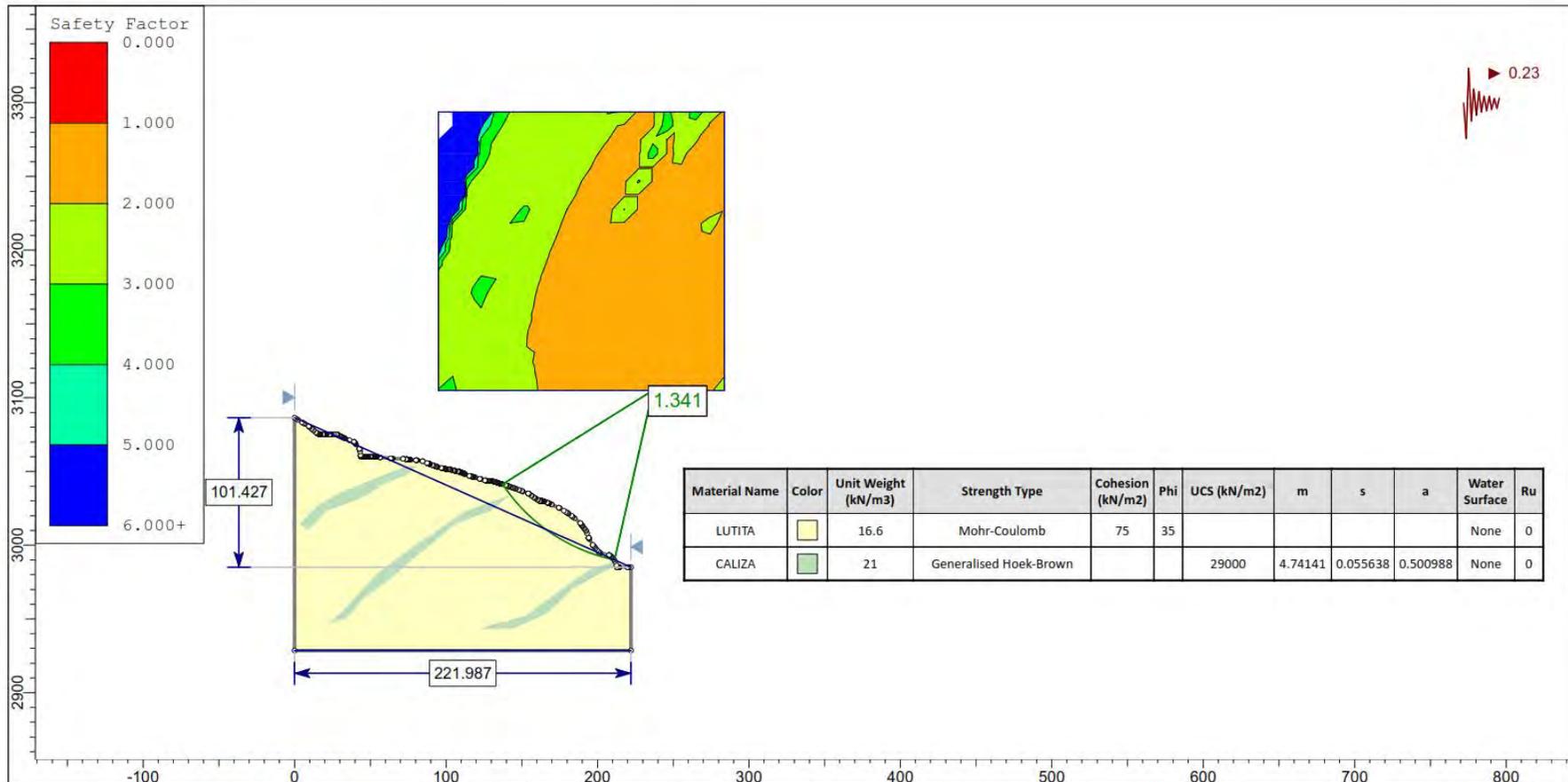
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha:

ENERO 2024

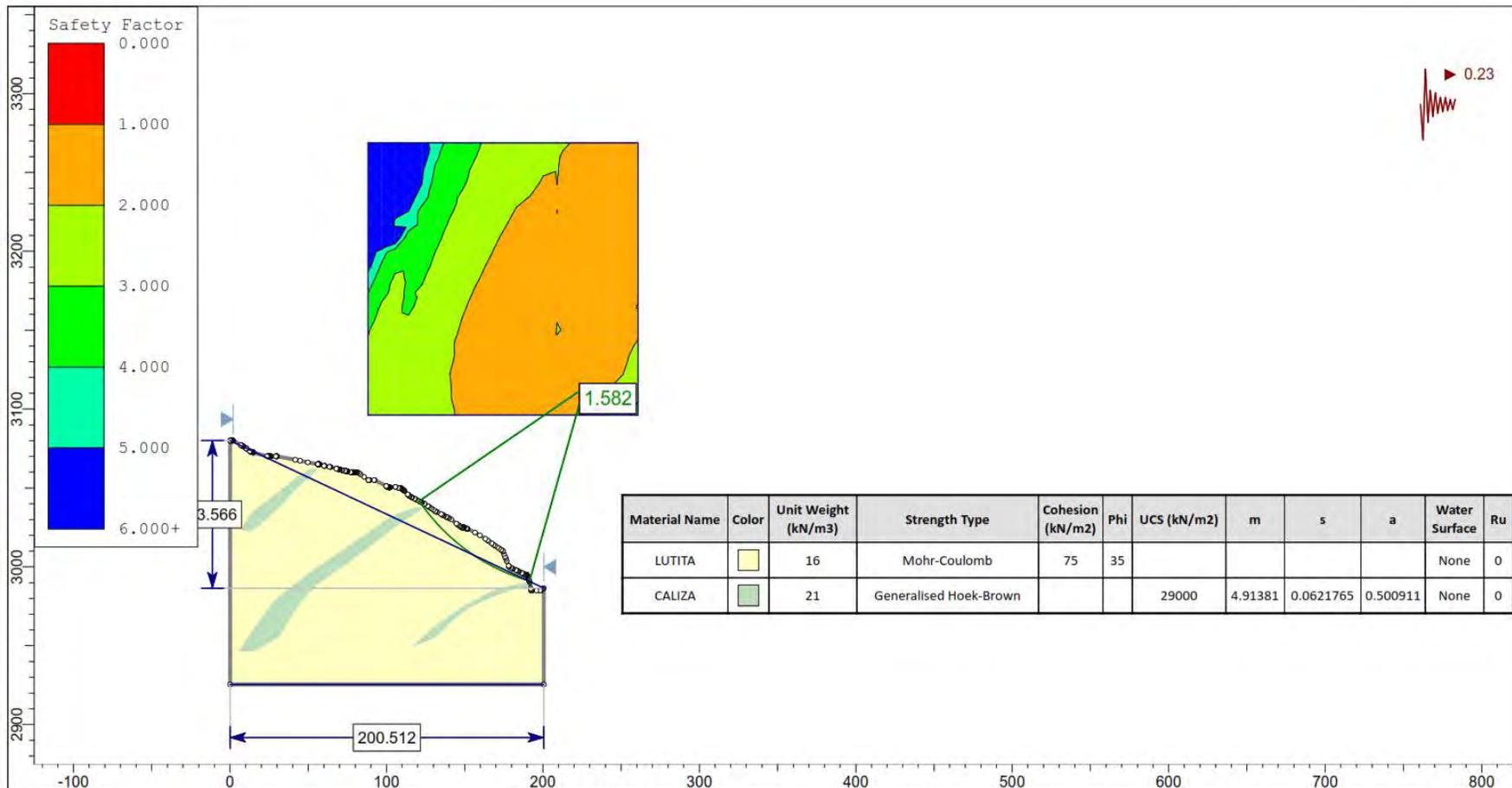
Seccion:

SECCION D - METODO SPENCER

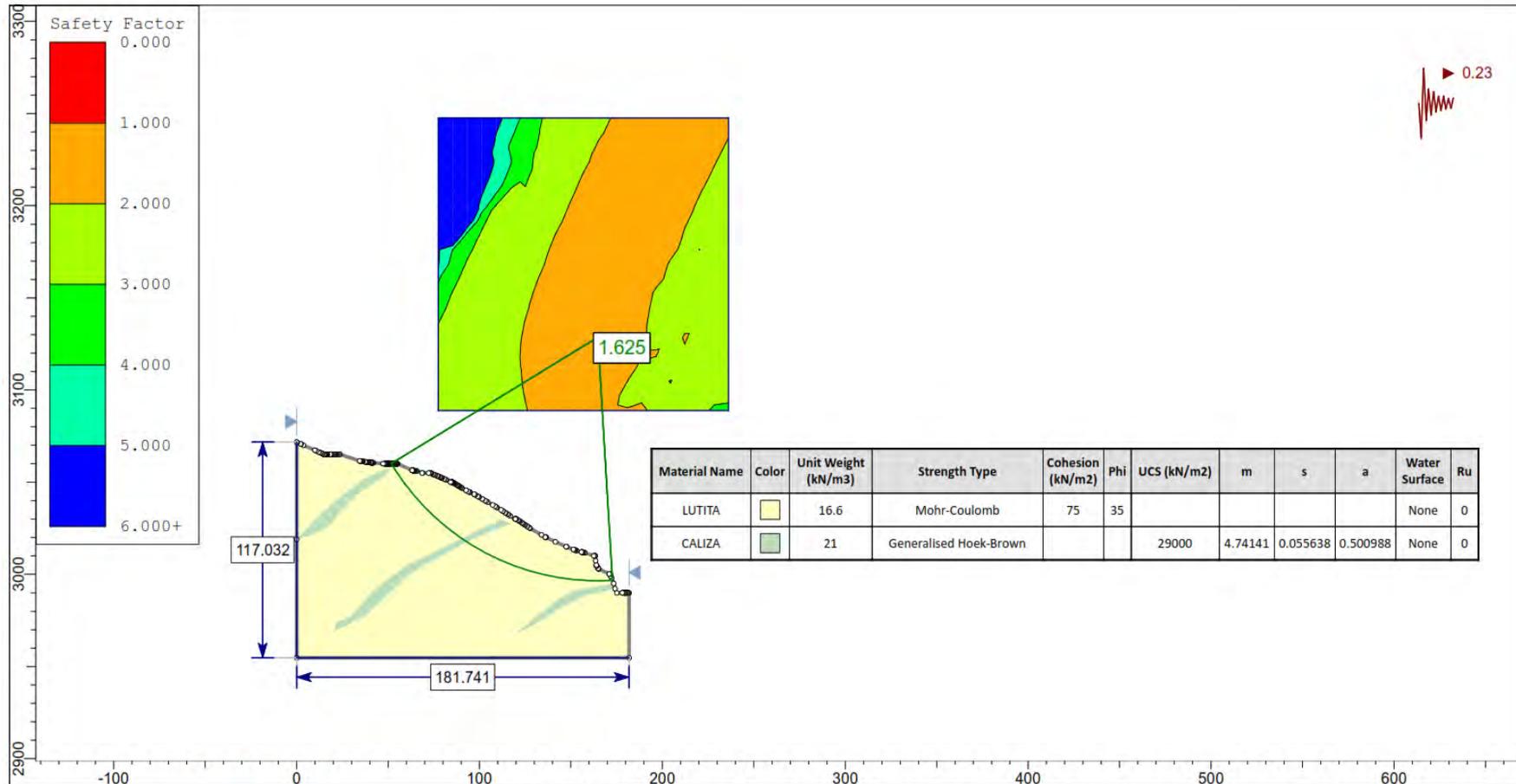


MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion:	SECCION E - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA	
Descripcion: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor: ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad: UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha: ENERO 2024	Seccion: SECCION F - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Autor:

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

Universidad:

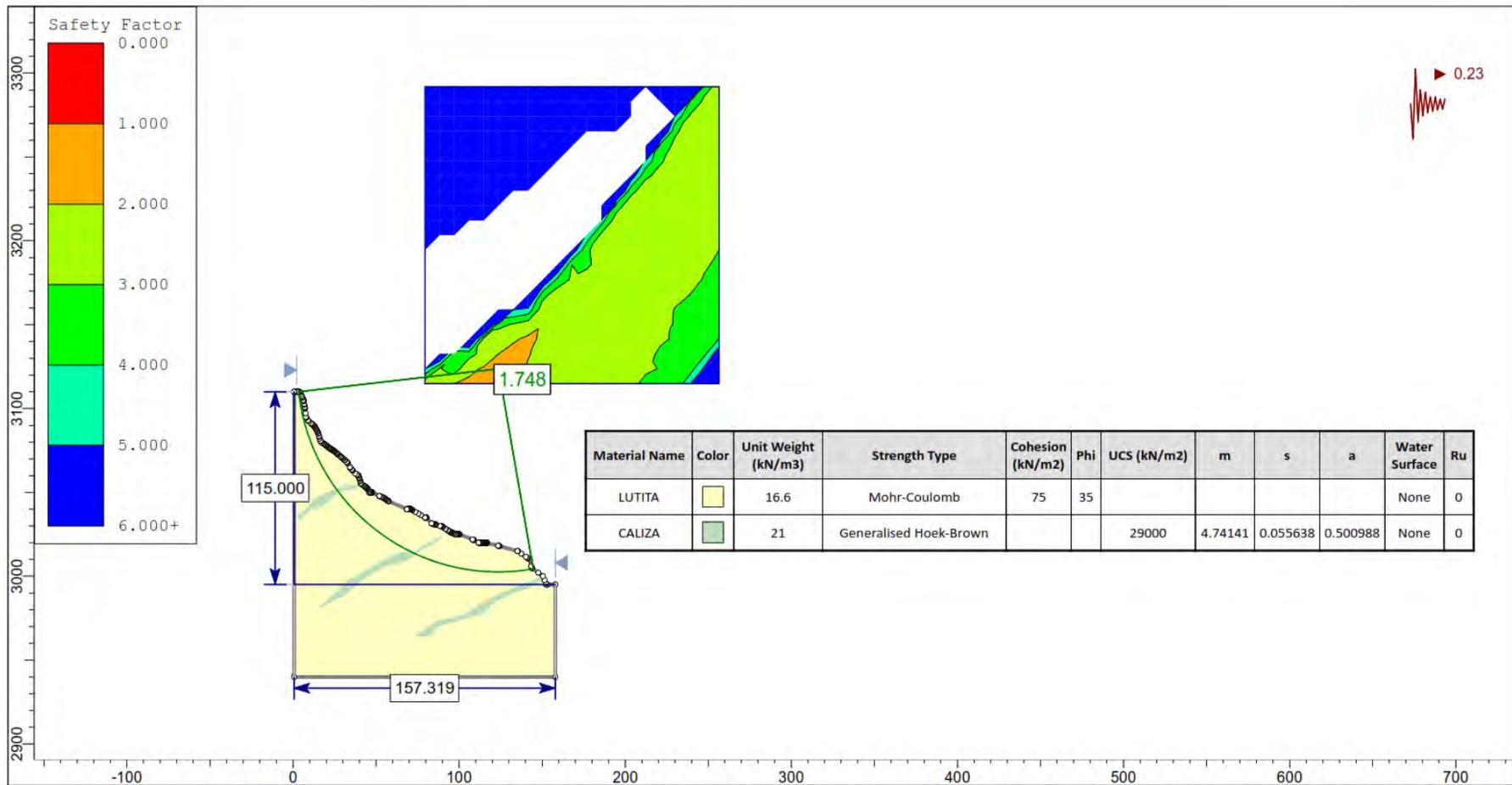
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha:

ENERO 2024

Seccion:

SECCION G - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Autor:

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

Universidad:

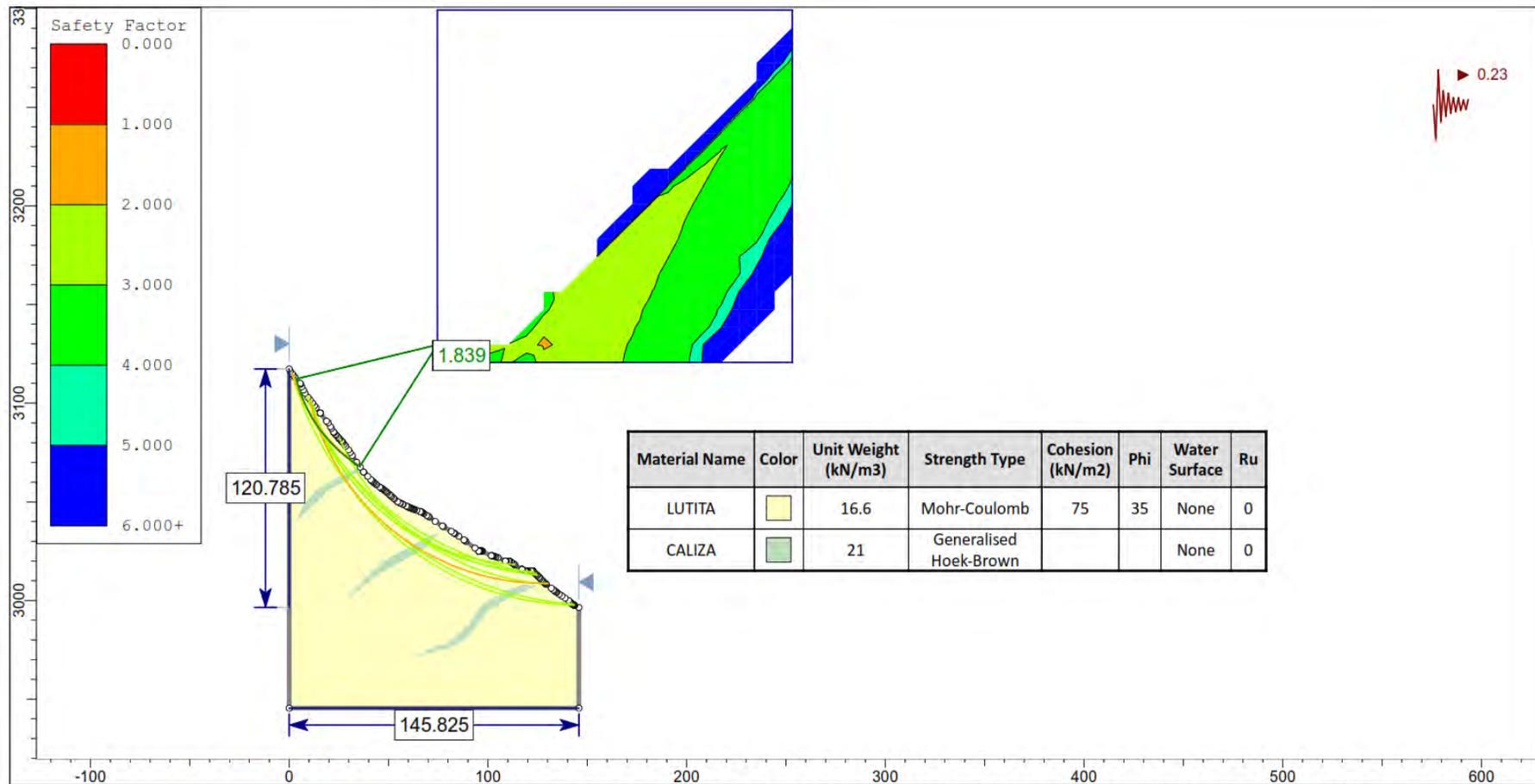
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha:

ENERO 2024

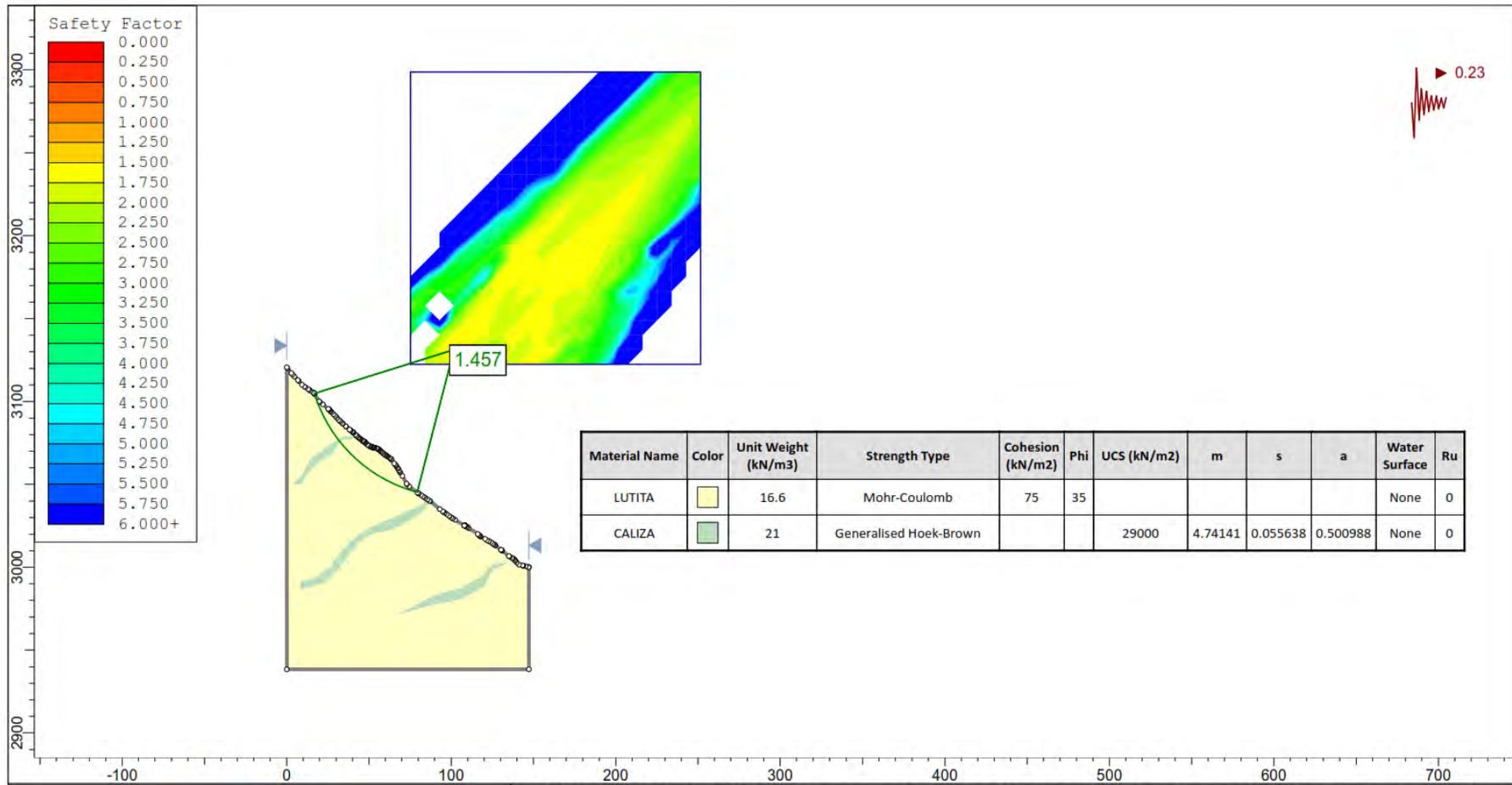
Seccion:

SECCION H - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion:	SECCION I - METODO SPENCER



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35					None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988	None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Autor:

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

Universidad:

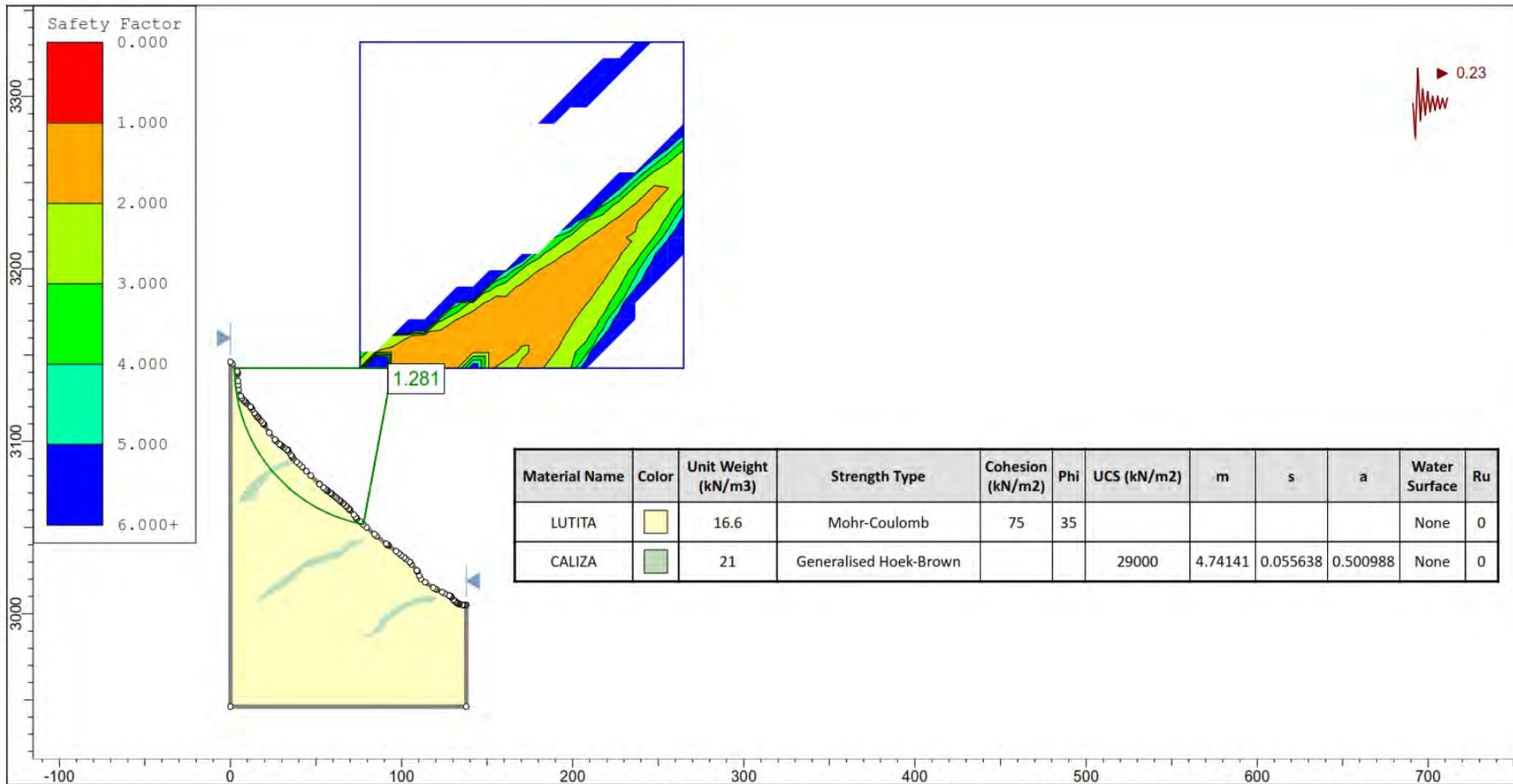
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha:

ENERO 2024

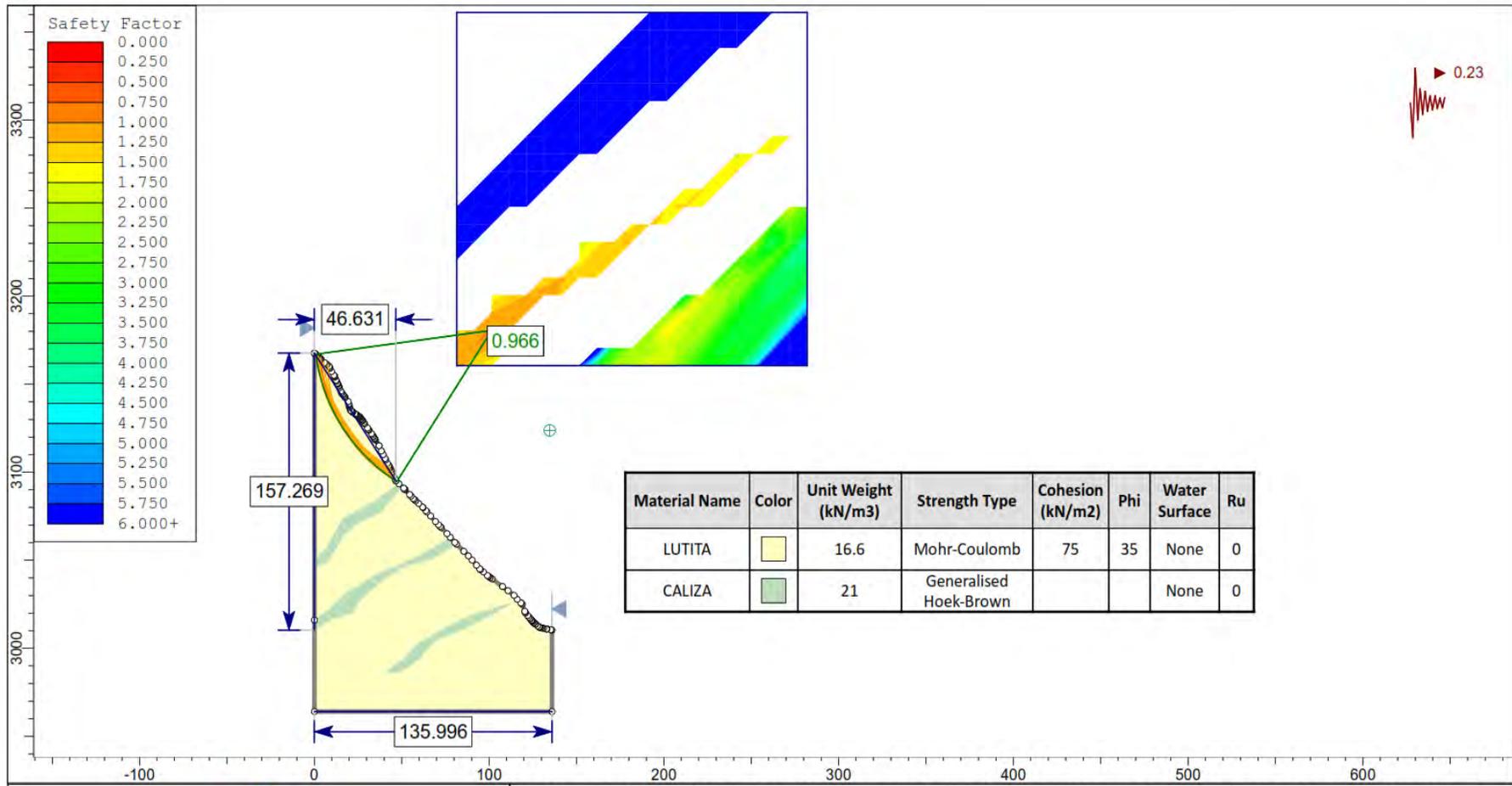
Seccion:

SECCION J - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

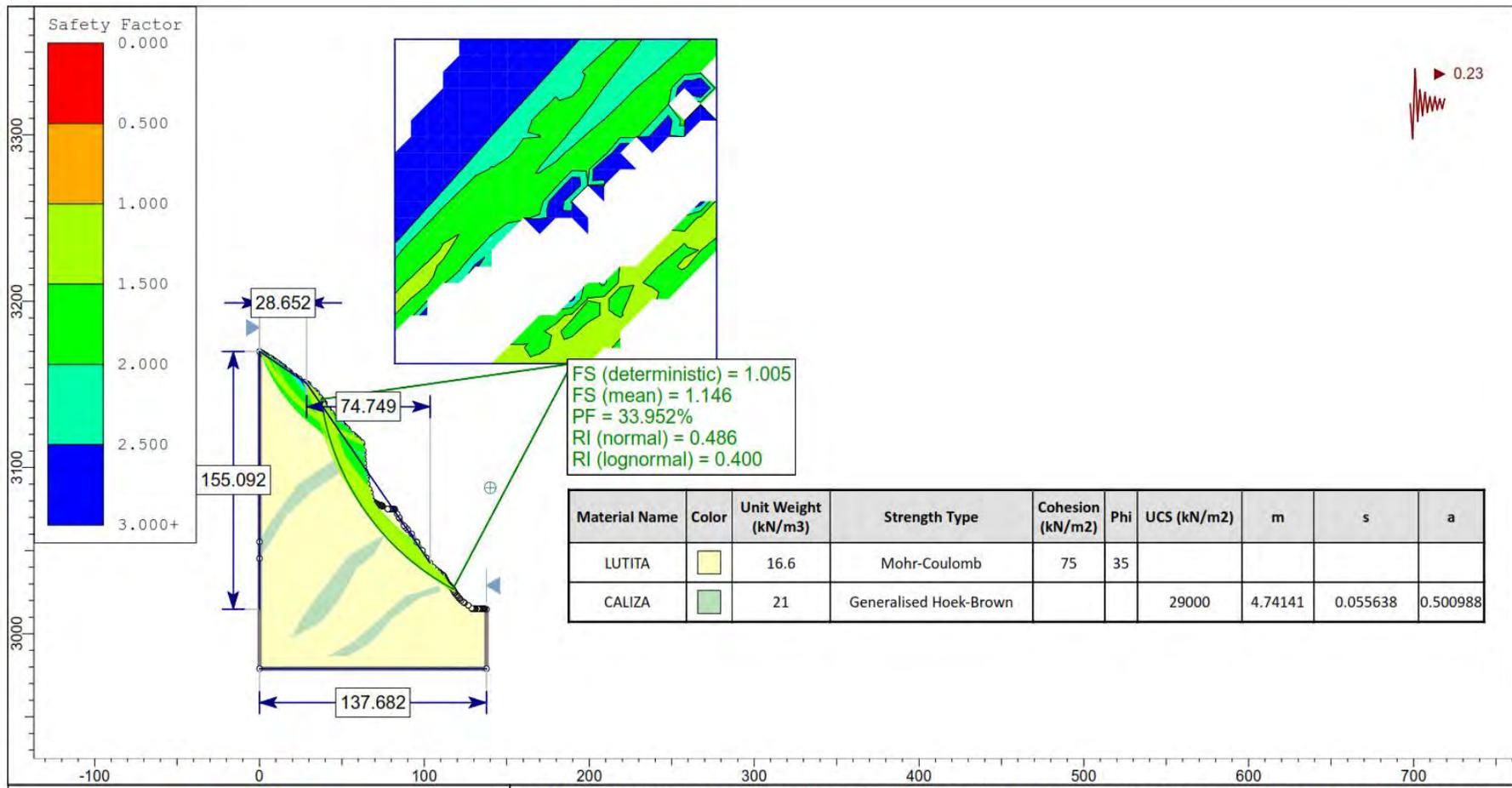
Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion:	SECCION K - METODO SPENCER



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35	None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA	
Descripcion: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor: ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad: UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha: ENERO 2024	Seccion: SECCION L - METODO SPENCER



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	UCS (kN/m ²)	m	s	a
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35				
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988

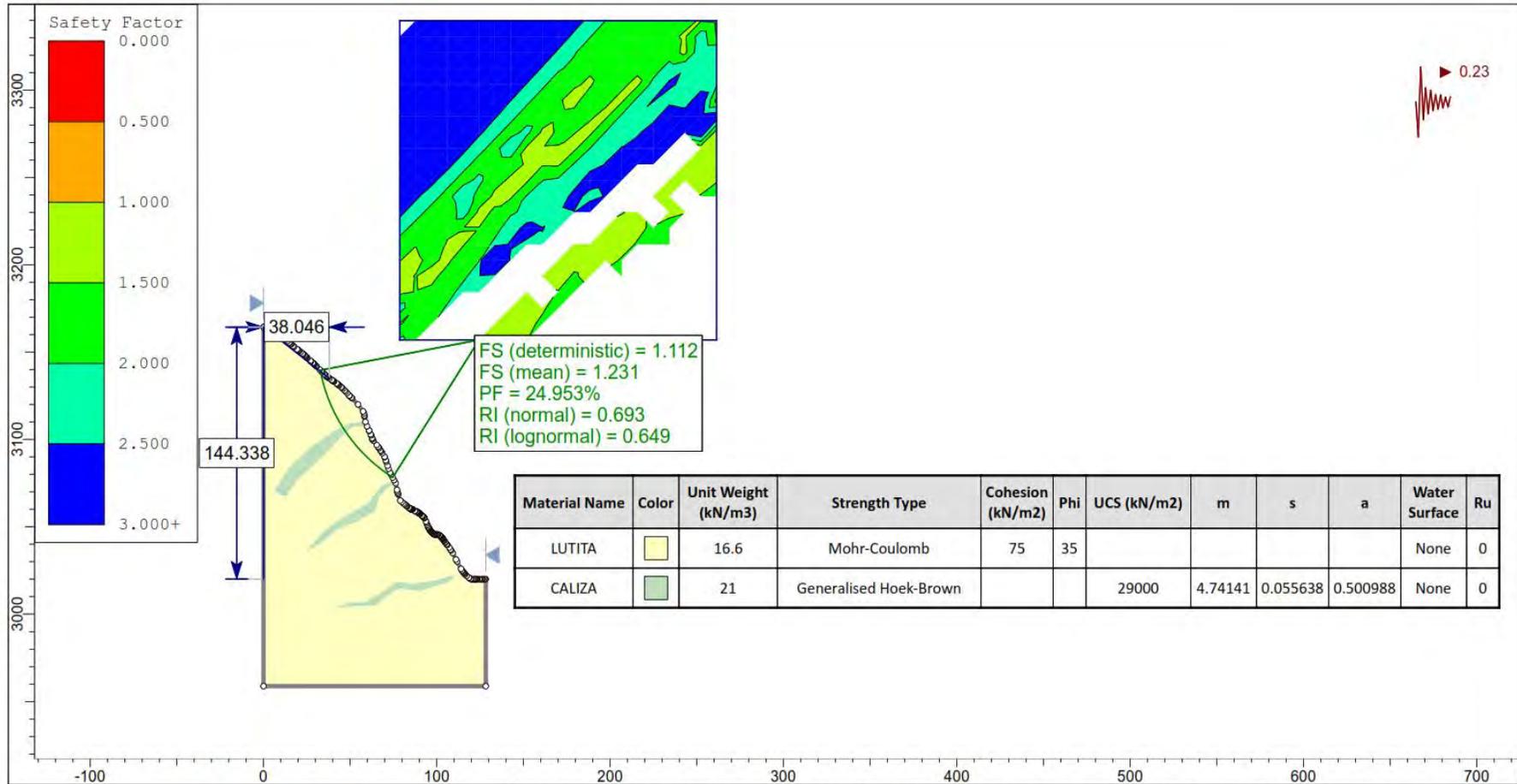


MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

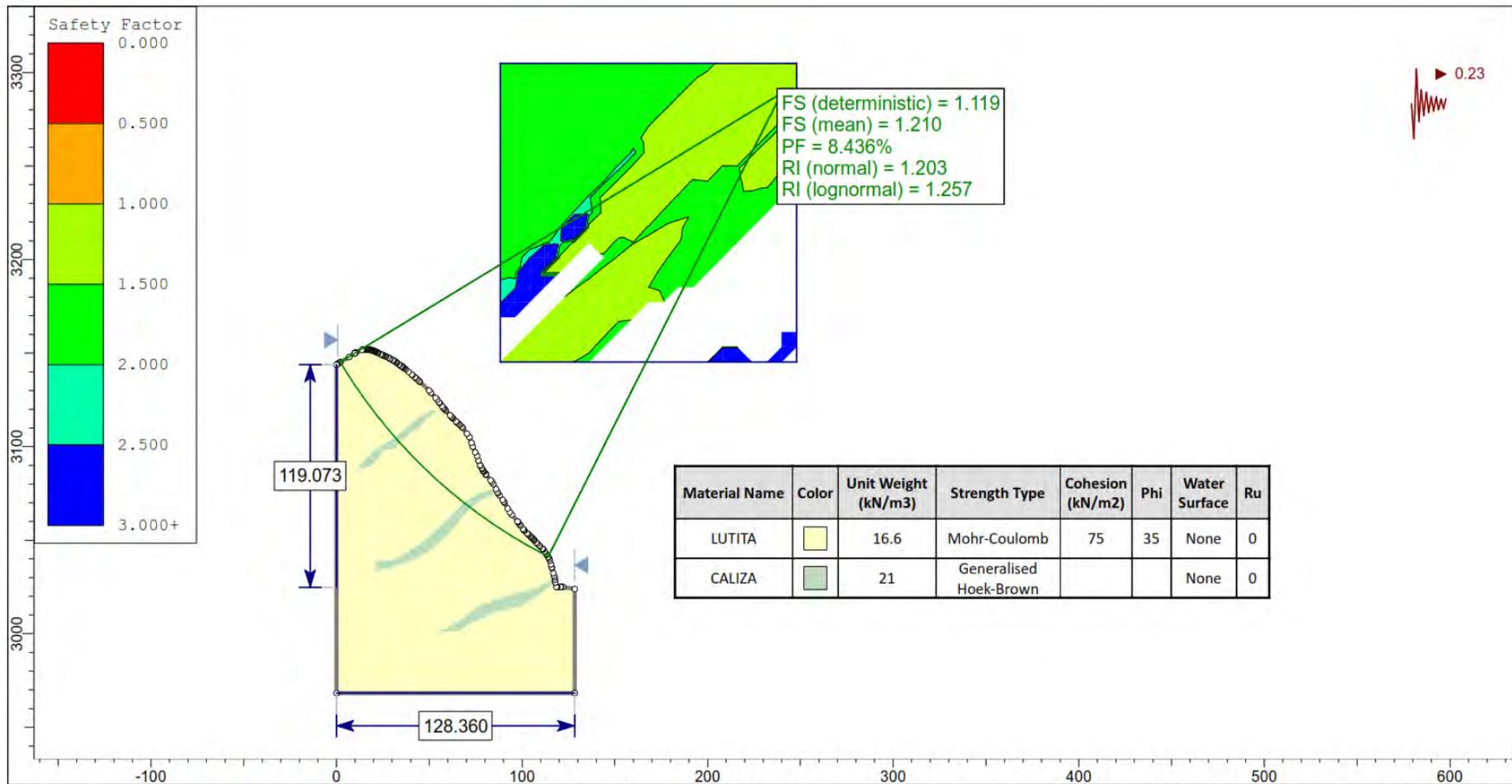
Autor: ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA Universidad: UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha: ENERO 2024 Seccion: SECCION M - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripción:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Sección:	SECCION O - METODO SPENCER

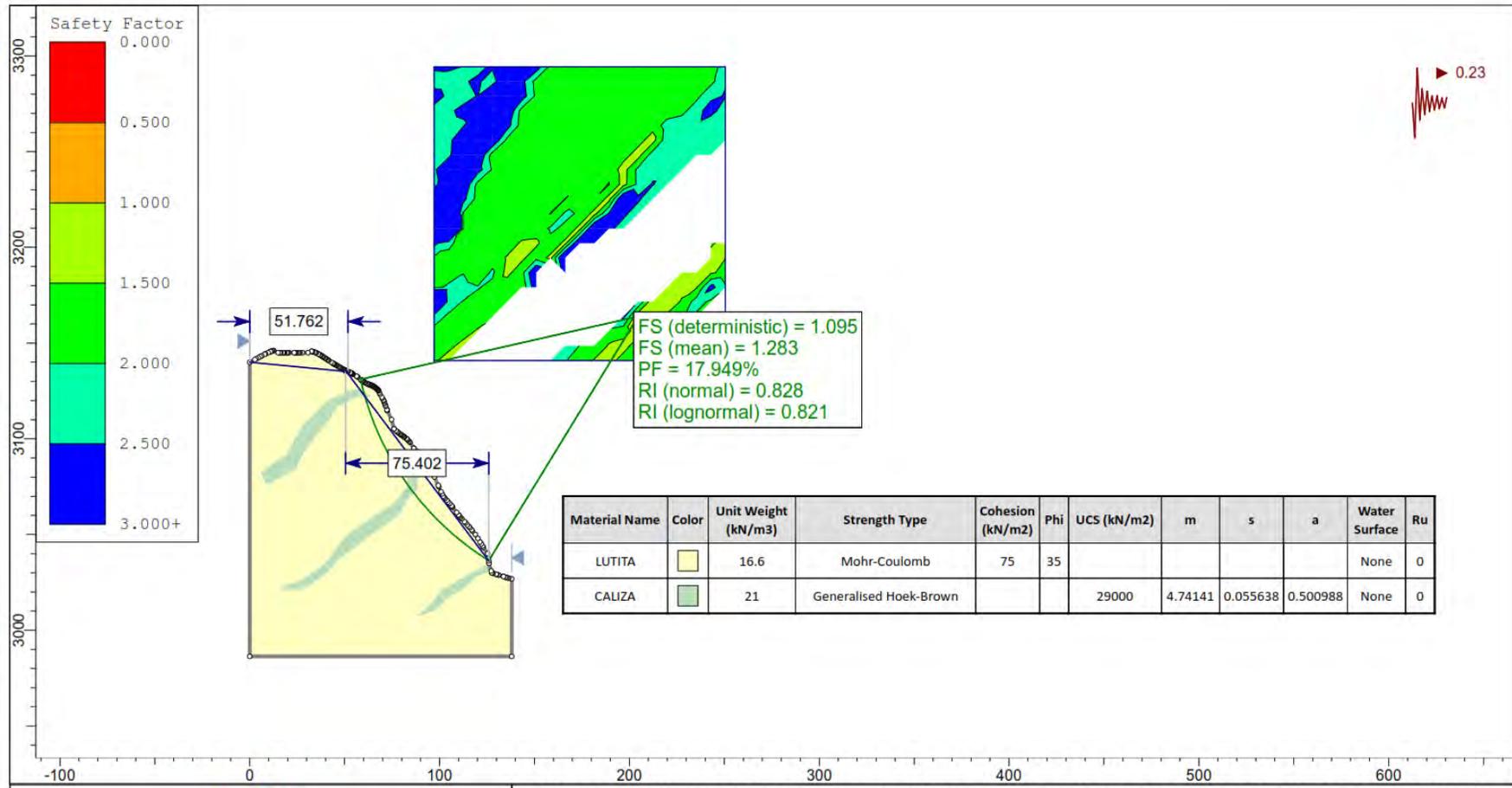


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35	None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			None	0



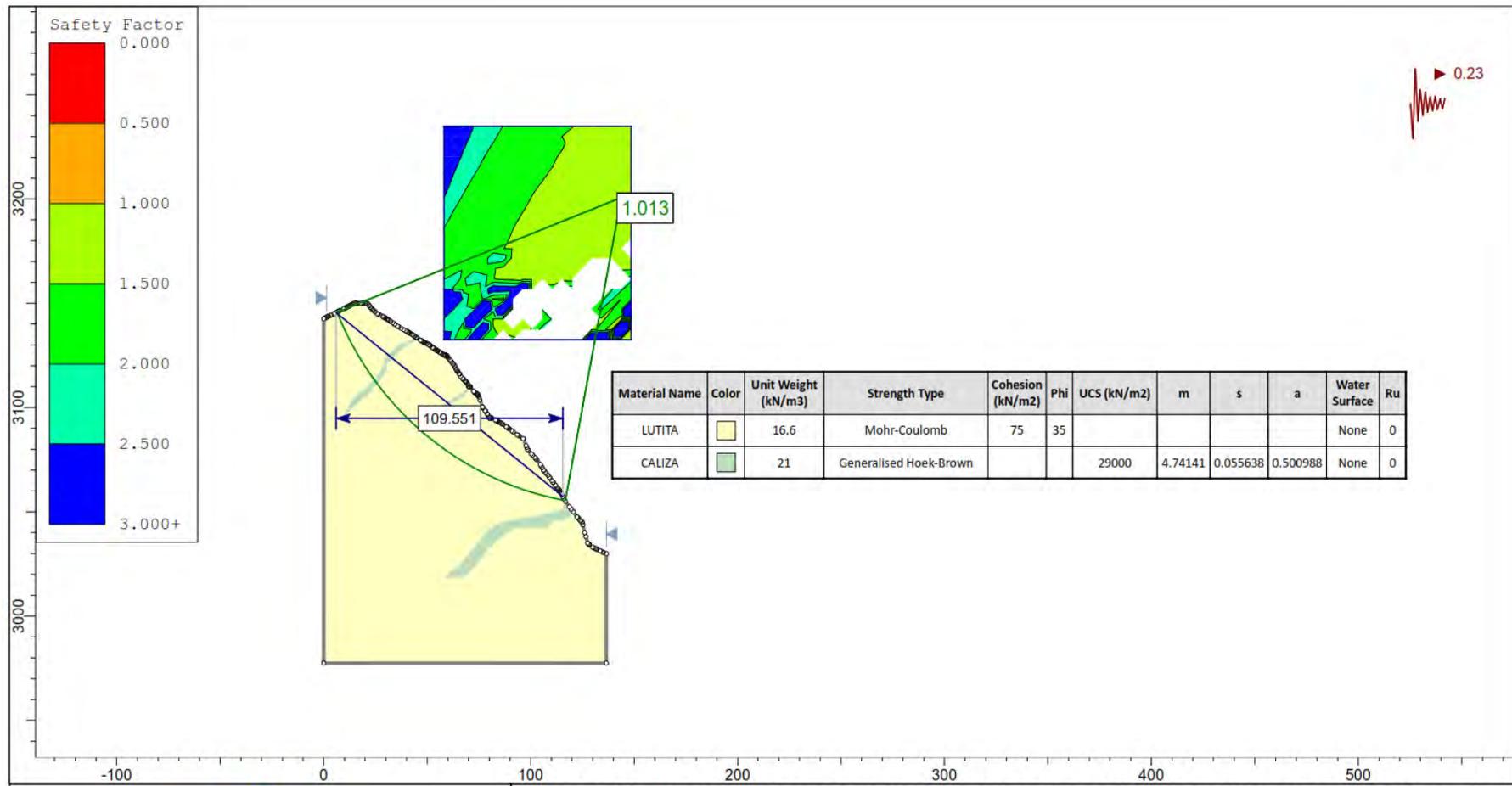
MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad: UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion: SECCION P - METODO SPENCER

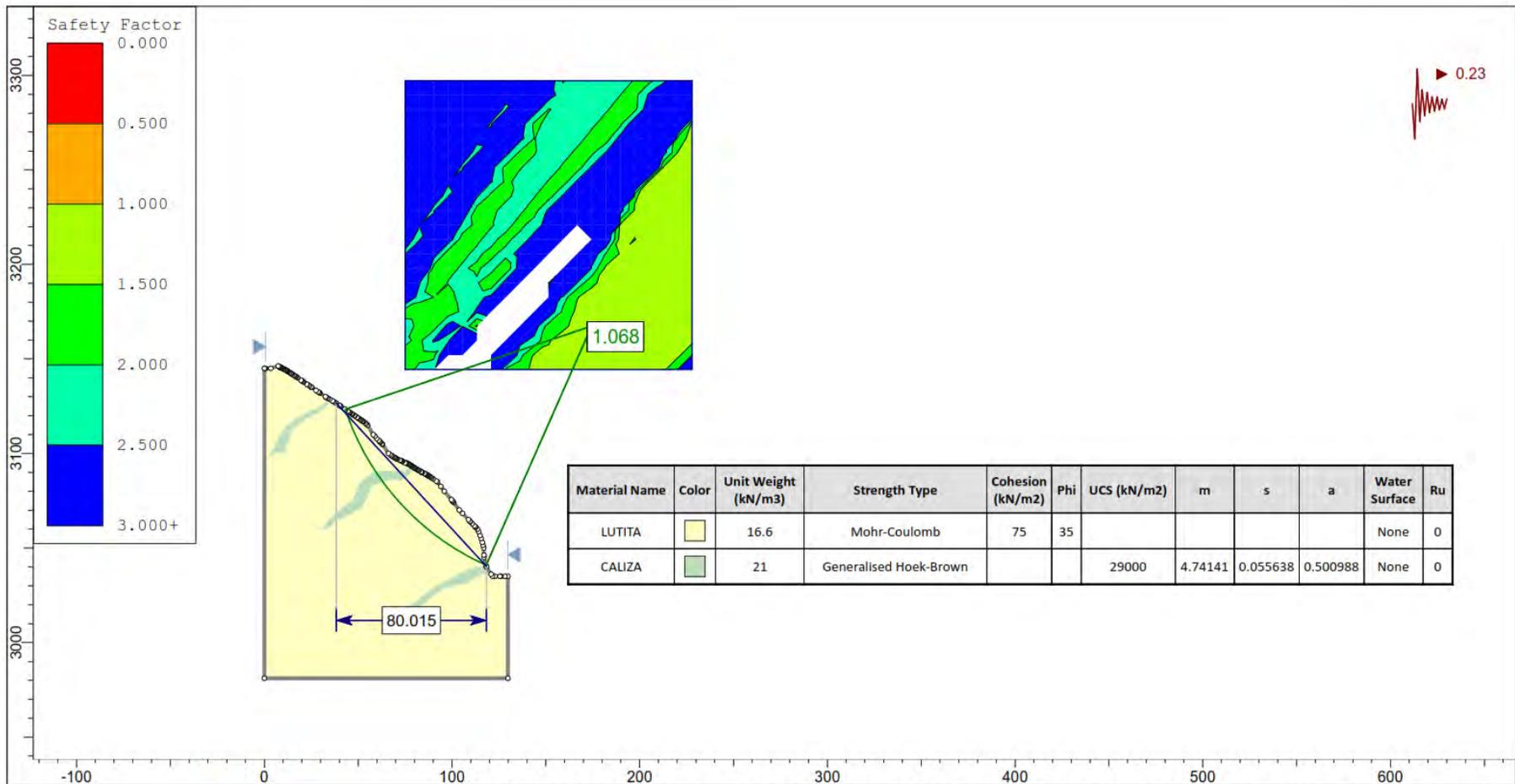


MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripción: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor: ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad: UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha: ENERO 2024	Seccion: SECCION Q - METODO SPENCER

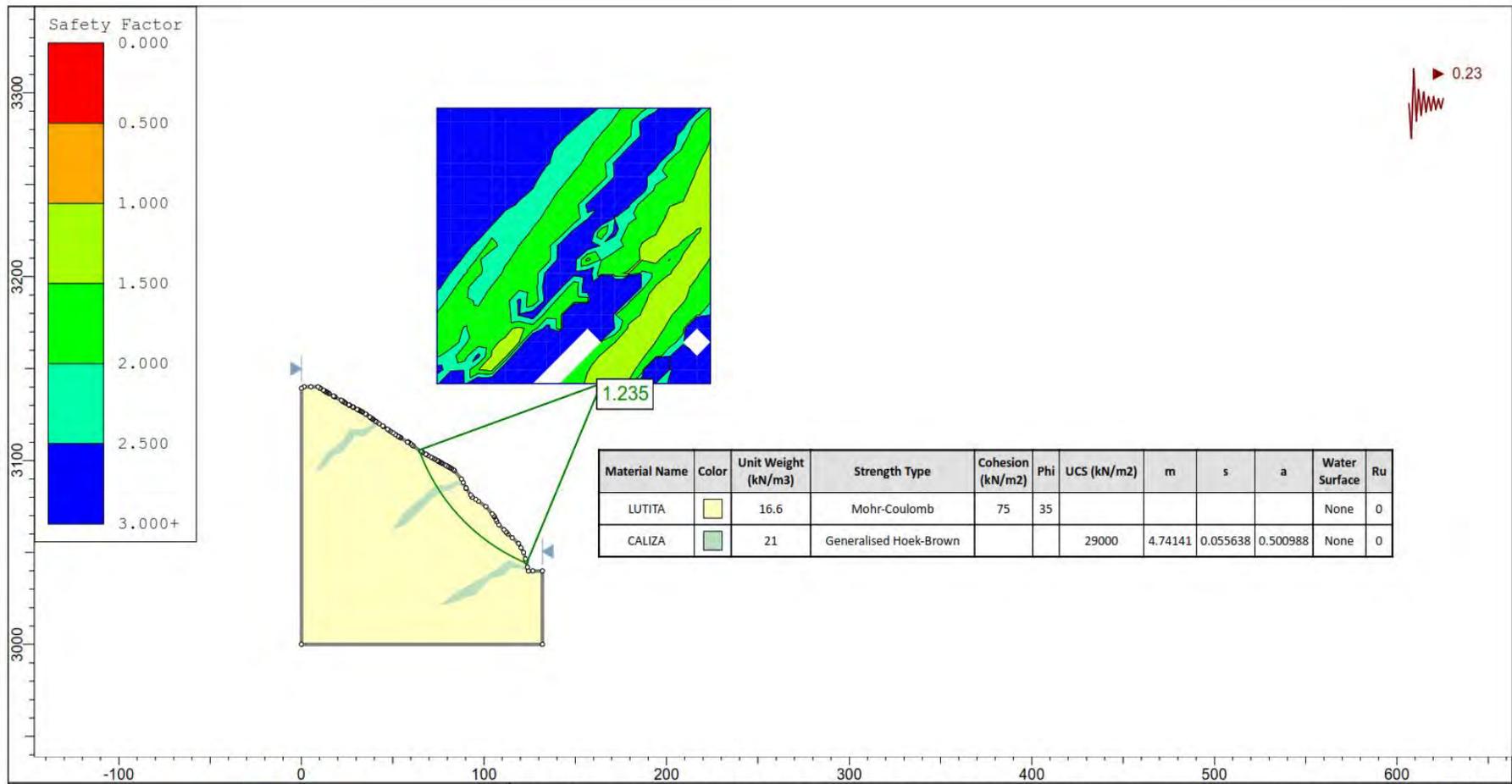


MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA	
Descripción:	
ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	Universidad:
ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	Sección:
ENERO 2024	SECCION R - METODO SPENCER



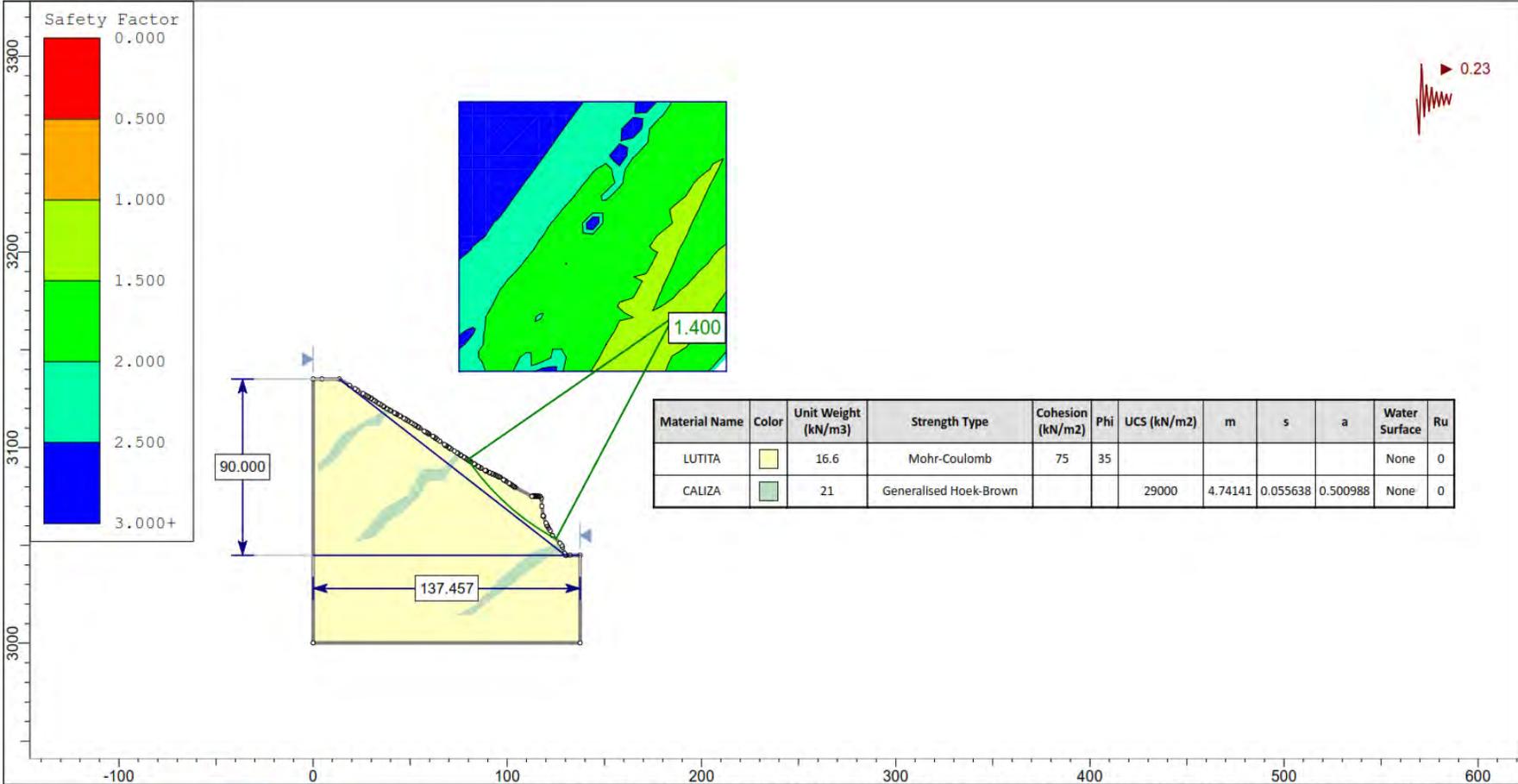
MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripción:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Sección:	SECCION S - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion:	SECCION T - METODO SPENCER

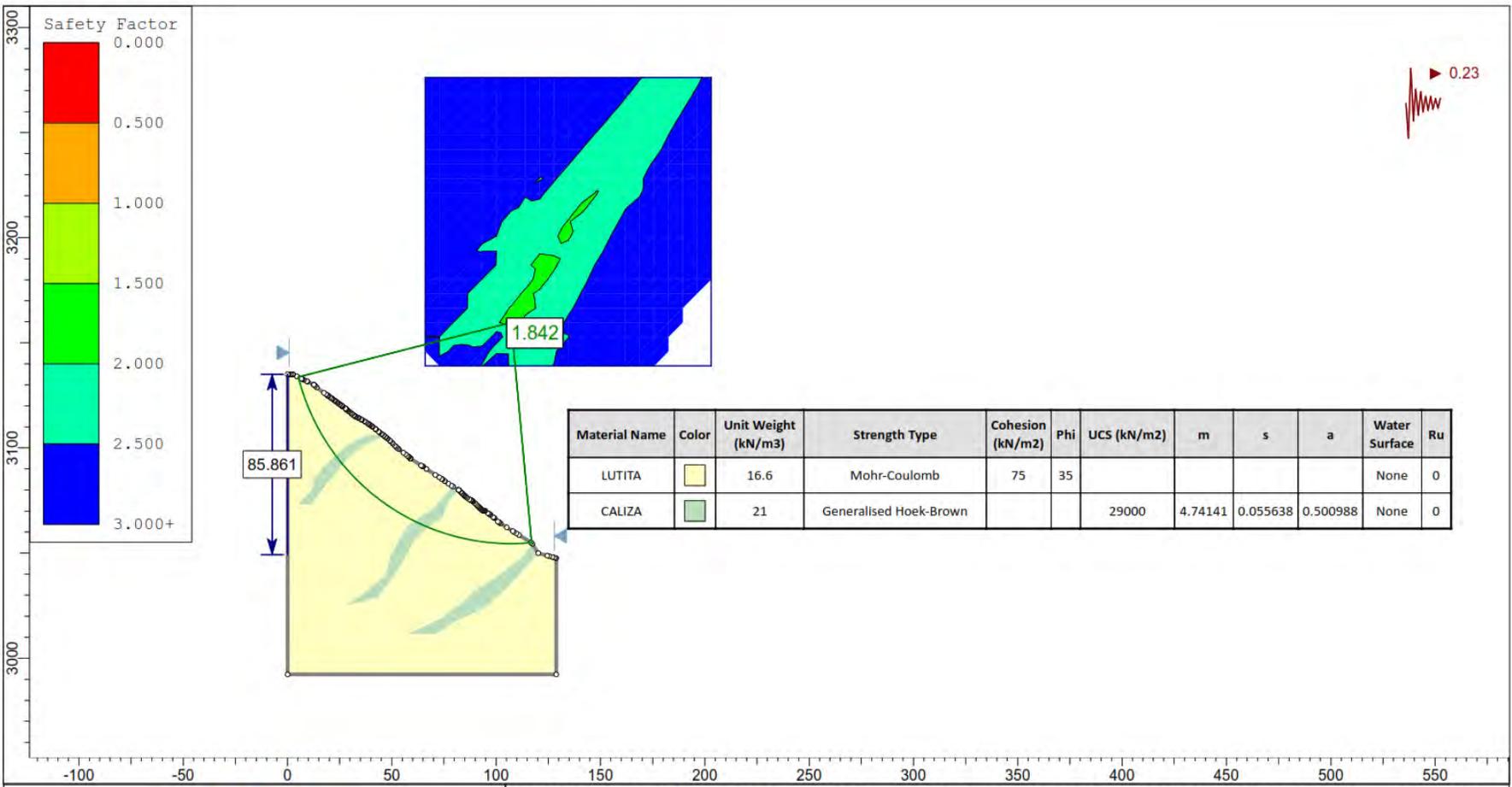


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	UCS (kN/m ²)	m	s	a	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35					None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988	None	0



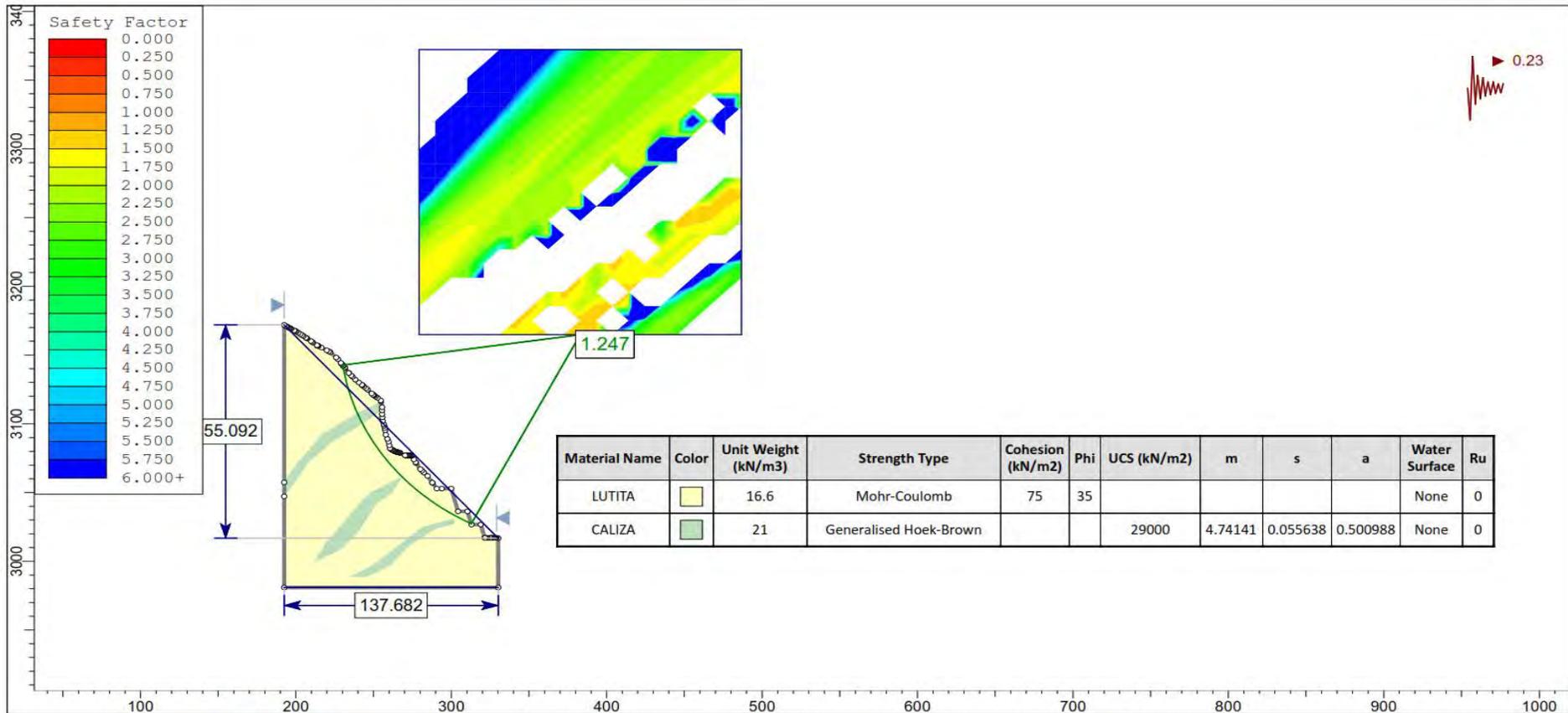
MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripción:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Sección:	SECCION U - METODO SPENCER



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA	
Descripción: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor: ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad: UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha: ENERO 2024	Sección: SECCION W - METODO SPENCER

ANALISIS EN DISEÑOS FINALES



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Autor:

ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA

Universidad:

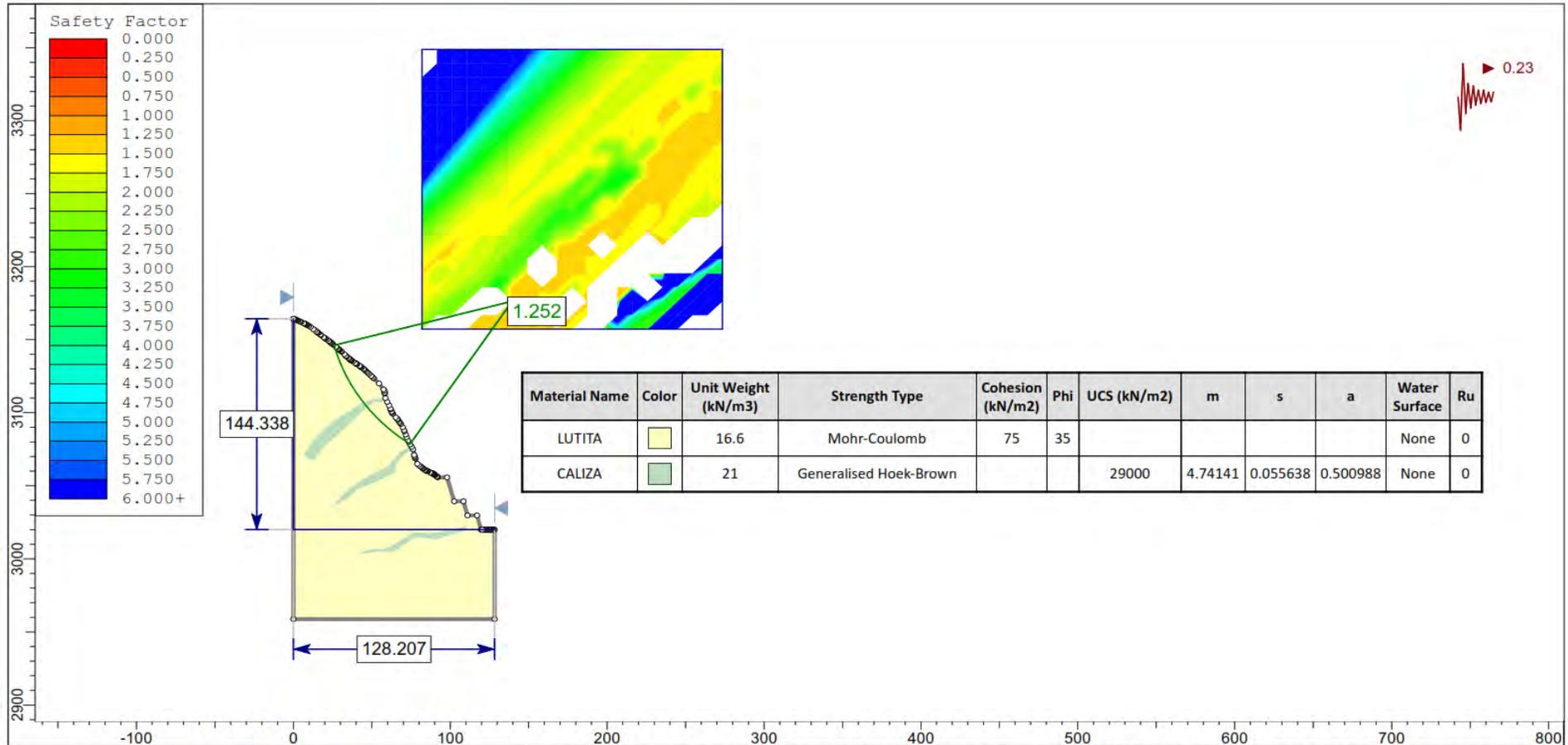
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Fecha:

ENERO 2024

Seccion:

SECCION M, DISEÑO FINAL - METODO SPENCER

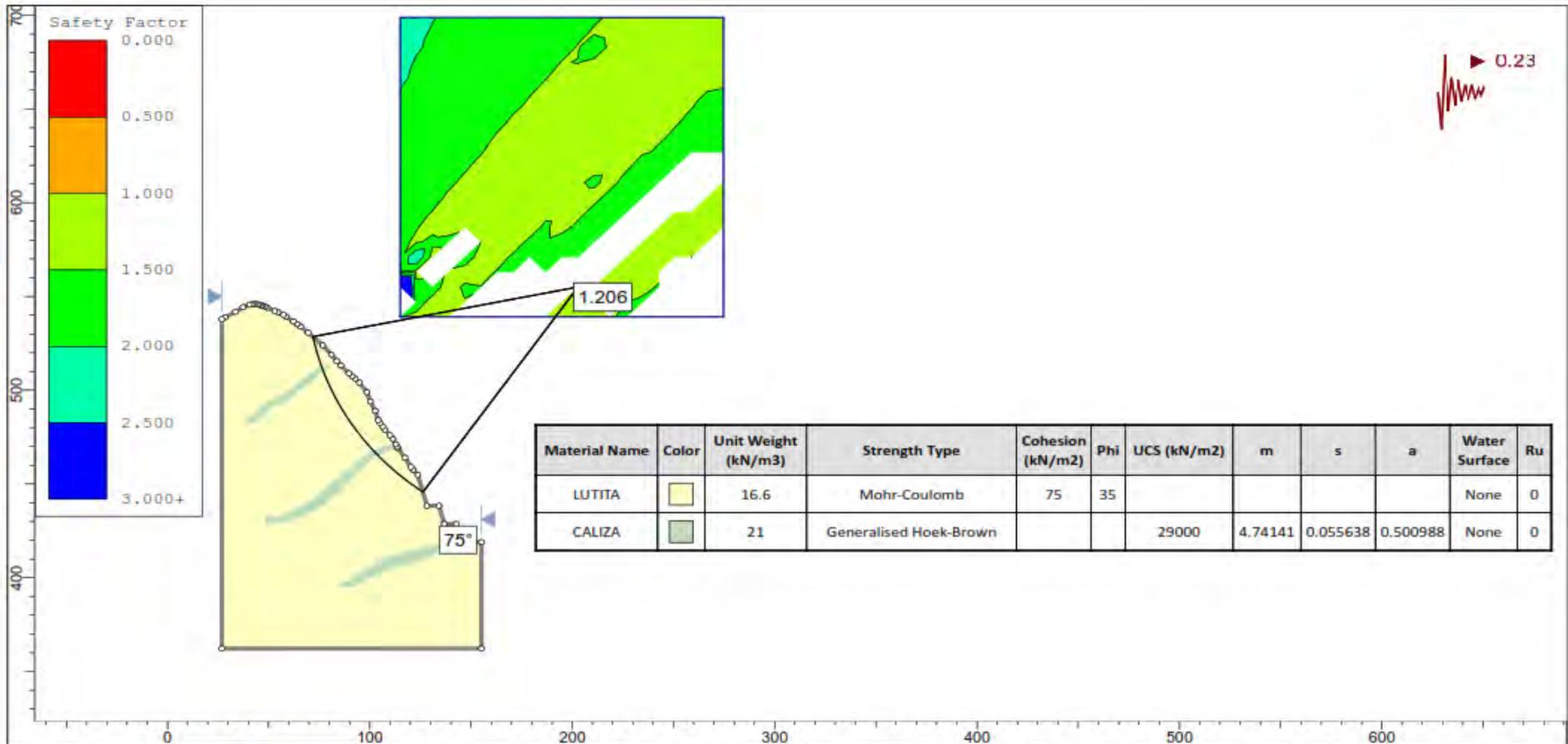


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	UCS (kN/m ²)	m	s	a	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35					None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988	None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion:	SECCION O, DISEÑO FINAL - METODO SPENCER

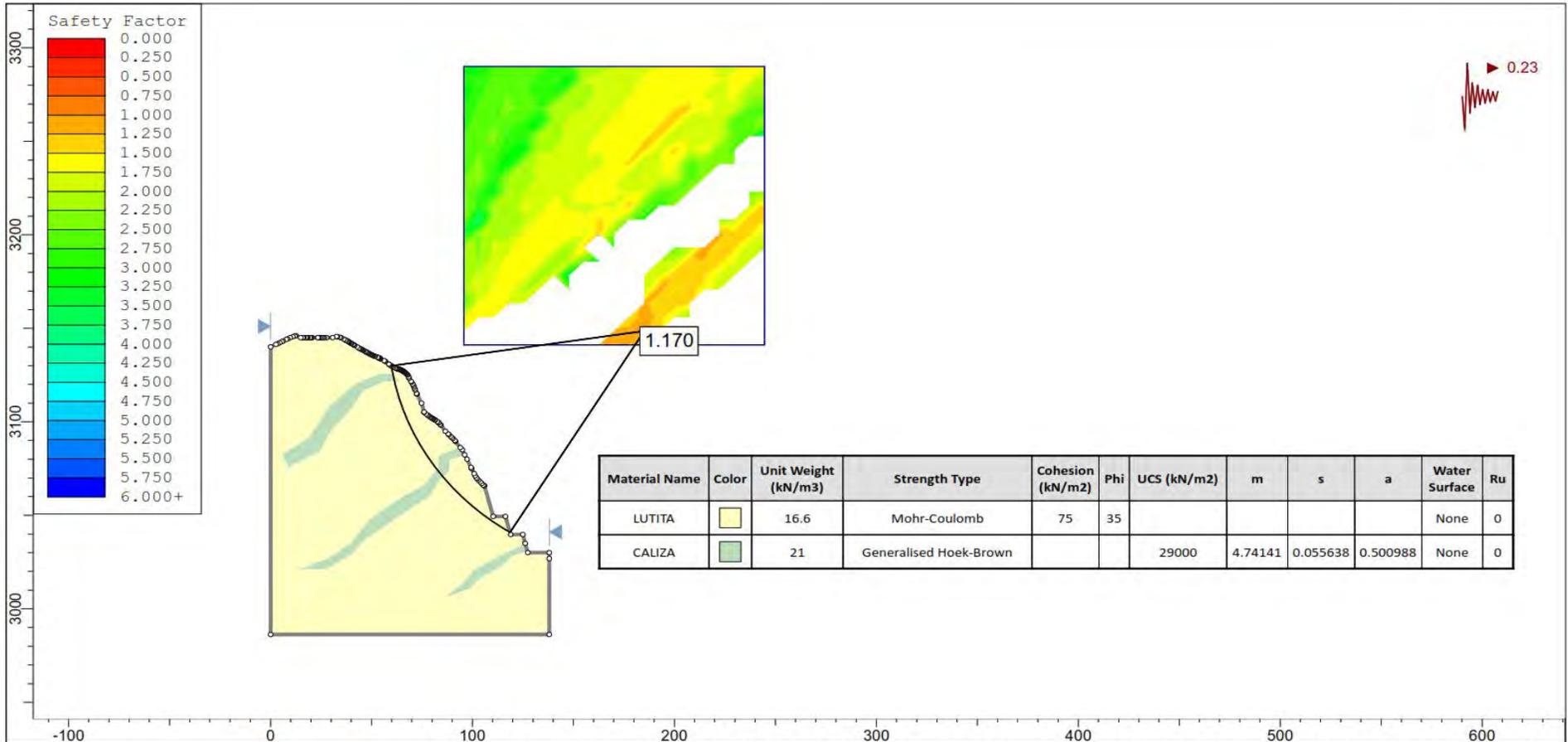


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35					None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988	None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripcion:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Seccion:	SECCION P, DISEÑO FINAL - METODO SPENCER



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	UCS (kN/m ²)	m	s	a	Water Surface	Ru
LUTITA		16.6	Mohr-Coulomb	75	35					None	0
CALIZA		21	Generalised Hoek-Brown			29000	4.74141	0.055638	0.500988	None	0



MODELAMIENTO GEOMECANICO DE TALUDES PARA LA REDUCCION DEL POTENCIAL DE RIESGO AL ENTORNO URBANO EN LA CARRETERA 3S, CERRO YAHUARMAQUI URUBAMBA

Descripción:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	
Autor:	ALEXANDER MONTESINOS VALENCIA	Universidad:	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Fecha:	ENERO 2024	Sección:	SECCION Q, DISEÑO FINAL - METODO SPENCER