

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE
FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN
MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL
PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Zapata Salas, Estuardo
Jhonathan**

Para optar por el Título Profesional
de:

Ingeniero de Minas

Asesora:

Dra. López Casaperalta, Patricia

Arequipa – Perú

2022

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Octubre del 2022

Dictamen: 002514-C-EPIM-2022

Visto el borrador del expediente 002514, presentado por:

2012205031 - ZAPATA SALAS ESTUARDO JHONATHAN

Titulado:

**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD
DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO ? CASO DE ESTUDIO: CANTERA
?EL PORVENIR? EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA ? 2022**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**3324 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



**9252 - MARTINEZ RODRIGUEZ OLGA GISELLA
DICTAMINADOR**



**9368 - LUZA HUILLCA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**

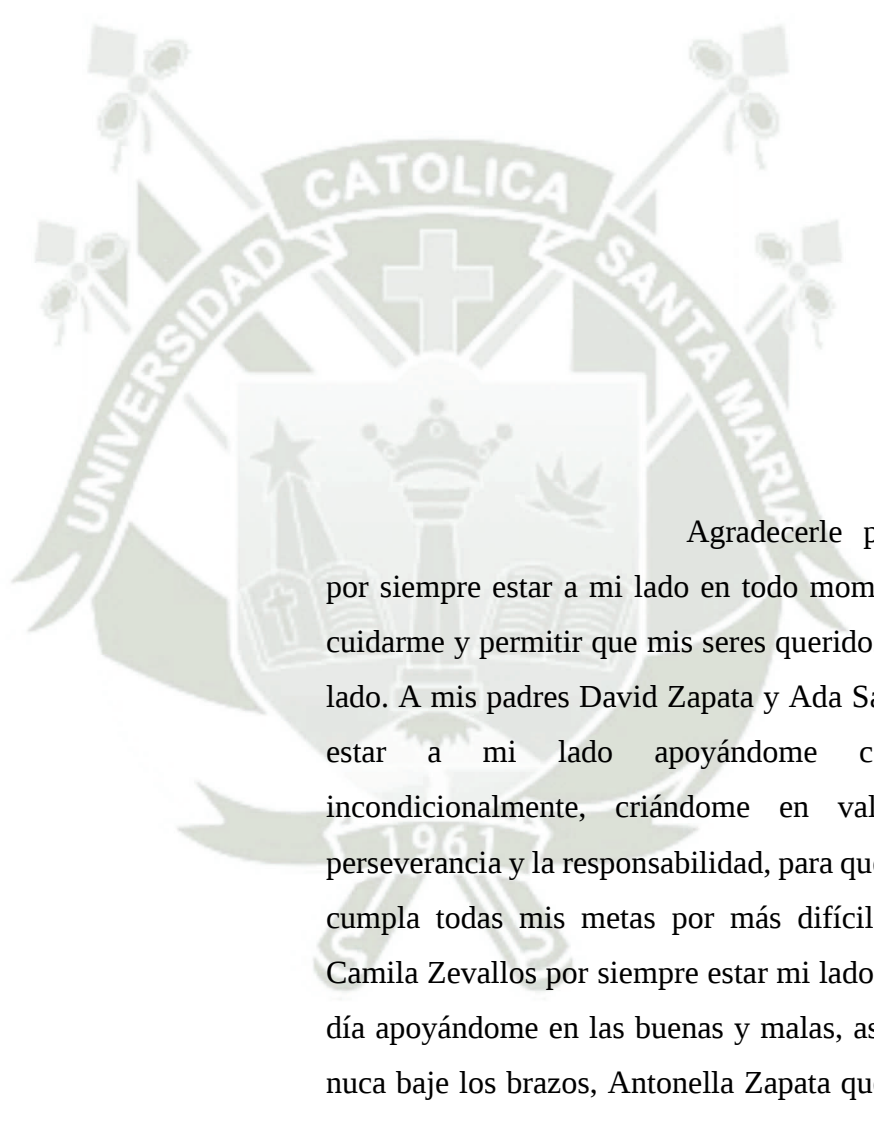


Dedicatoria

Primero dedicarle este trabajo a Dios padre todo poderoso, a mis padres, mi hermana, mi pareja, familia y amigos que siempre están para brindarme fuerzas y no darme por vencido.



Agradecimiento



Agradecerle primero a Dios por siempre estar a mi lado en todo momento, guiarme y cuidarme y permitir que mis seres queridos estén aun a mi lado. A mis padres David Zapata y Ada Salas por siempre estar a mi lado apoyándome con cariño e incondicionalmente, criándome en valores como la perseverancia y la responsabilidad, para que siga adelante y cumpla todas mis metas por más difíciles que sean. A Camila Zevallos por siempre estar mi lado desde el primer día apoyándome en las buenas y malas, asegurándose que nunca baje los brazos, Antonella Zapata que siempre está a mi lado en momentos gratos y experiencias de mi vida. a mi compañero y colega Gonzalo Pacheco que me apoyo y capacitaciones incondicionalmente en temas para la realización del presente trabajo de investigación y a mis compañeros que contribuyeron en mi formación profesional.

Epígrafe

Aprende a abrazar tu sufrimiento y fracasos porque un día te darás cuenta que son parte de la vida y del aprendizaje.

Kenji Orito Yokoi Daux



Resumen

La metodología que se propone a continuación se origina tomando como caso de estudio la cantera “El Porvenir” del distrito Yura en Arequipa, con el propósito de resolver la problemática acerca de la estabilidad de los taludes, se formula de la siguiente manera: ¿Cómo se realiza una correcta evaluación geotécnica para el análisis de la estabilidad del talud?

Para efectuar la investigación en la cantera y dar solución al problema planteado sobre la estabilidad del talud, se han seguido métodos tradicionalmente establecidos, los cuales se desarrollan y realizan en minería a tajo abierto, en minerales metálicos y en obras civiles.

Es así que, el presente estudio se fundamenta en la aplicación práctica de conceptos técnicos para la estabilidad de taludes, los cuales son: revisión de informes preliminares, caracterización geológica (litología), caracterización geotécnica del macizo rocoso, y por último se hace el análisis para la estabilidad del talud por medio del método cinemático y equilibrio límite para así determinar los mecanismos de fracturamiento y la estabilidad en el talud mediante el sustento técnico.

Desde un punto de vista económico, con esta propuesta metodológica se espera realizar primero una correcta caracterización del macizo rocoso a un bajo costo, para así iniciar con el análisis de datos por el método cinemático. Al iniciarse con el análisis de datos se podrá apreciar cómo se puede activar una falla o rotura dentro del macizo rocoso debido a las concentraciones de esfuerzos. En simultáneo se realizará el análisis de datos por el método de equilibrio límite con el cual se obtendrá el factor de seguridad (F.S.) del macizo rocoso y se verificará que cumpla la normativa peruana de estabilidad de taludes, caso contrario, se realizará un nuevo modelamiento hasta cumplir la normativa peruana.

Con esta propuesta se buscará no solo cumplir con la normativa peruana para el Factor de Seguridad “F.S.”, sino que también se complementarán ambos métodos para certificar la seguridad del talud, usando los nuevos datos obtenidos por el método de equilibrio límite para reemplazarlos en el método cinemático. Y finalmente comprobar que se pueda controlar o mitigar la activación o presencia de fallas en el talud a investigar.

Palabras Clave

Geotecnia, talud, estabilidad, macizo rocoso, modelamiento y factor de seguridad.

Abstract

The methodology proposed below originates from the "El Porvenir" quarry of the Yura district in Arequipa as a case study, with the purpose of solving the problem about the stability of the slopes, it is formulated as follows: How Is a correct geotechnical evaluation carried out for the slope stability analysis?

To implement the investigation in the quarry and solve the problem raised on the stability of the slope, proven methods have been followed, which are developed and carried out in open pit mining, metallic minerals and civil works.

Thus, this study is based on the practical application of technical concepts for slope stability, which are: review of preliminary reports, geological characterization (lithology), geotechnical characterization of the rock mass, and finally the analysis for the stability of the slope through the kinematic method and limit equilibrium in order to determine the presence of faults on the slope through technical support.

From an economic point of view, with this methodological proposal it is expected to first carry out a correct characterization of the rock mass at a low cost, in order to start with the data analysis by the kinematic method. When starting with the data analysis, it will be possible to appreciate how a fault or rupture can be activated within the rock mass due to stress concentrations. Simultaneously, the data analysis will be carried out by the limit equilibrium method with which the safety factor (F.S.) of the rock mass will be obtained and it will be verified that it complies with the Peruvian regulations on slope stability, otherwise, a new modeling will be carried out. until complying with Peruvian regulations.

This proposal will seek not only to comply with the Peruvian regulations for the Safety Factor "F.S.", but also to complement both methods to certify the safety of the slope, using the new data obtained by the numerical method to replace them in the kinematic method. And finally, verify that the activation or presence of faults in the slope to be investigated can be controlled or reduced.

Key words:

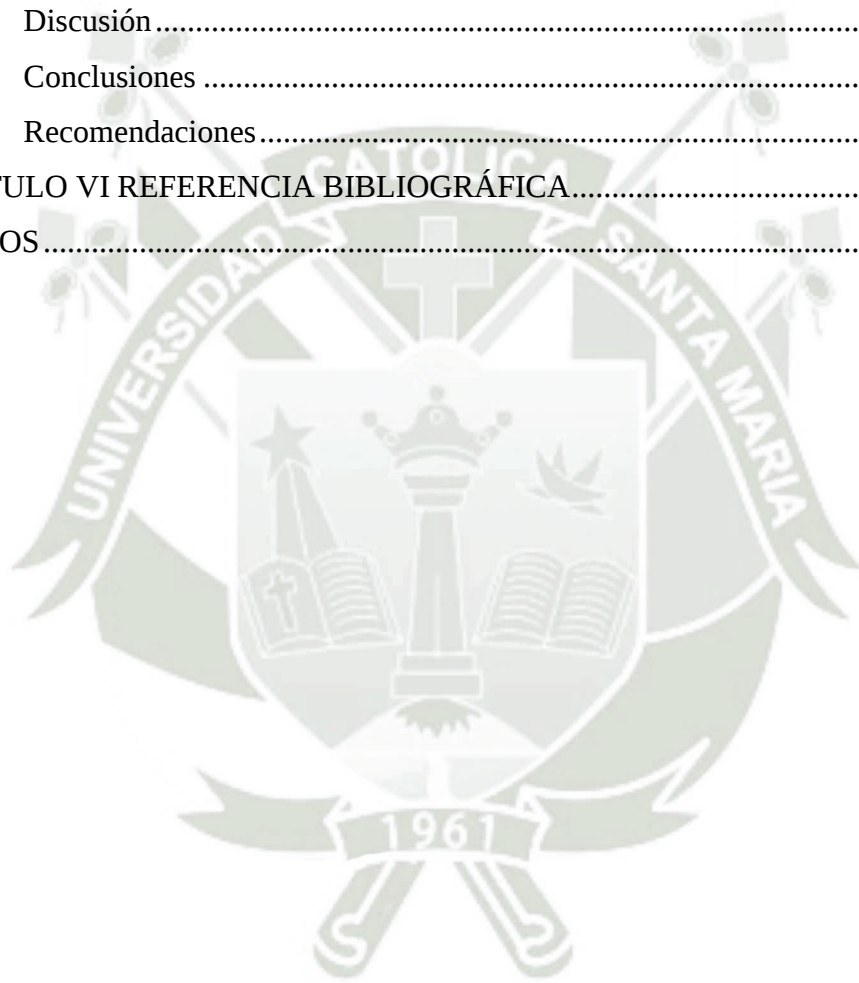
Geotechnics, slope, stability, rock mass, modelling and safety factor.

Índice General

DICTAMEN APROBATORIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
EPIGRAFE	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1. Planteamiento del Problema.....	9
1.2. Objetivos del Proyecto	11
1.2.1. Objetivo general	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. Preguntas de Investigación.....	12
1.4. Líneas de Investigación a la que Corresponde el Problema.....	12
1.5. Aporte del Desarrollo de la Tesis	12
1.6. Descripción de la Solución.....	12
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS	13
2.1. Estado del Arte	13
2.1.1. Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento castellano mediante el cálculo del factor de seguridad	13
2.1.2. Análisis probabilístico de la estabilidad de talud de la cantera espinal – Juliaca	13
2.2. Antecedentes de Investigación	13
2.3. Bases Teóricas.....	15
2.3.1. Generalidades en la estabilidad de taludes	15
2.3.2. Talud y componentes.....	15
2.3.3. Metodología de los estudios de estabilidad de taludes	16
2.3.4. Modelo Geológico	17
2.3.5. Modelo geotécnico	24
2.3.6. Propiedades de la roca intacta	32
2.3.7. Análisis de estabilidad de talud	33

2.3.8. Mecanismo de rotura en taludes	33
2.3.9. Modelo falla.....	35
2.3.10. Condiciones de análisis de estabilidad de taludes	37
2.3.11. Definiciones.....	37
2.3.12. Factor de seguridad.....	39
2.3.13. Optimización de procesos mineros.....	39
2.3.14. Seguridad minera	39
2.4. Hipótesis.....	40
2.5. Variables.....	40
2.5.1. Variables dependientes	40
2.5.2. Variables independientes.....	40
CAPÍTULO III MARCO METODOLOGICO	41
3.1. Alcances y Limitaciones	41
3.1.1. Alcances.....	41
3.1.2. Limitaciones	41
3.2. Tipo y Diseño de Investigación.....	41
3.2.1. Tipo de investigación	41
3.2.2. Diseño de la investigación.....	41
3.3. Población y Muestra.....	42
3.3.1. Población	42
3.3.2. Muestra	42
3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	42
3.4.1. Software dips v7.0	45
3.4.2. Software slide	46
3.4.3. Aplicación de la metodología del modelamiento	46
3.5. Análisis Geotécnico.....	48
3.6. Plan de Análisis Estadístico de los Datos.....	50
CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
4.1. Ubicación.....	51
4.2. Caracterización Geológica	53
4.3. Geología Local	53
4.3.1. Zona 1	53
4.3.2. Zona 2.....	59
4.3.3. Zona 3.....	65

4.4. Análisis de Estabilidad Del Talud	71
4.4.1. Análisis de estabilidad de talud por el método estereográfico o cinemático.....	71
4.4.2. Análisis de estabilidad de talud por el método de equilibrio límite	79
4.4.3. Análisis de estabilidad de talud por el método estereográfico o cinemático con los nuevos ángulos	91
CAPITULO V DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1. Discusión.....	100
5.2. Conclusiones	101
5.3. Recomendaciones	102
CAPITULO VI REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	104
ANEXOS.....	109



Índice de Tablas

Tabla 1 Descripción del grado de meteorización	19
Tabla 2 Parámetros básicos de la clasificación geomecánica.....	27
Tabla 3 Orientación de las diaclasas.....	28
Tabla 4 Valoración de los taludes de acuerdo a la orientación de las diaclasas.....	28
Tabla 5 Guía para valorar el estado de las discontinuidades	29
Tabla 6 Calidad de la roca en función de RMR.....	29
Tabla 7 Rangos de estimación de la resistencia en campo normas ISRM.....	30
Tabla 8 Variables dependientes e independientes	40
Tabla 9 Técnicas e instrumentos	43
Tabla 10 Resistencia a la compresión (MPa) en la Zona 1	56
Tabla 11 Estado de las Discontinuidades en la Zona 1	56
Tabla 12 Clasificación RMR para la Zona 1	57
Tabla 13 Buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra en la Zona 1	58
Tabla 14 Resistencia a la compresión (MPa) en la Zona 2	62
Tabla 15 Estado de las Discontinuidades en la Zona 2	62
Tabla 16 Clasificación RMR para la Zona 2	63
Tabla 17 Buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra en la Zona 2.....	64
Tabla 18 Resistencia a la compresión (MPa) en la Zona 3	67
Tabla 19 Estado de las Discontinuidades en la Zona 3	68
Tabla 20 Clasificación RMR para la Zona 3	69
Tabla 21 Buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra en la Zona 3.....	69
Tabla 22 Datos para análisis cinemático mediante el Software Dips	72
Tabla 23 Resultados de rotura planar por zona y familia critica	73
Tabla 24 Resultados de rotura de cuña por zona	75
Tabla 25 Resultados de rotura por vuelco por zona y familia critica	77
Tabla 26 Datos para el análisis de equilibrio límite mediante el Software Slide	82
Tabla 27 Datos para el nuevo análisis cinemático mediante el Software Dips	92
Tabla 28 Resultados de rotura planar modificado por zona y familia critica.....	93
Tabla 29 Resultados de rotura de cuña modificado por zona.....	95
Tabla 30 Resultados de rotura por vuelco modificado por zona	97

Índice de Figuras

Figura 1 Posible falla planar en la cantera.....	10
Figura 2 Posible falla por cuña en la cantera.....	10
Figura 3 Posible falla por vuelco en la cantera.....	11
Figura 4 Partes principales del talud	16
Figura 5 Esquema de Metodología para la Investigación de Estabilidad de Talud.....	17
Figura 6 El flujo de agua en fracturas en condiciones uniformes en macizo rocoso	20
Figura 7 Perfil de Rugosidad.....	23
Figura 8 <i>Parámetros geomecánicos para el RMR</i>	25
Figura 9 Clasificación del macizo rocoso del GSI.....	31
Figura 10 Sistema de clasificación GSI.....	31
Figura 11 Tilt Test para determinar el ángulo de fricción básico.....	33
Figura 12 Rotura planar.....	34
Figura 13 Roturas en cuña.....	34
Figura 14 Rotura por Vuelco.....	35
Figura 15 Distribución de ordenadas espectrales para el Perú.....	37
Figura 16 Macizo rocoso	38
Figura 17 Tabla de Bieniawski para la clasificación del macizo rocoso.....	43
Figura 18 Instrumentos Utilizados para completar la tabla de Bieniawski	44
Figura 19 Tabla del sistema de clasificación GSI	45
Figura 20 Esquema de la Metodología.....	47
Figura 21 Distribución en zonas de la Cantera “El Porvenir”	49
Figura 22 Punto BM-1A para realizar el levantamiento topográfico	50
Figura 23 Punto BM-2B para realizar el levantamiento topográfico	50
Figura 24 Realizando el levantamiento topográfico.....	51
Figura 25 Ubicación de la cantera El Porvenir.....	52
Figura 26 Estación total.....	53
Figura 27 Dip y Dip Direction en la Zona 1 con la brújula Brunton.....	54
Figura 28 Familias de discontinuidades en la Zona 1	54
Figura 29 Ensayo de compresión simple en la zona 1 con el martillo Schmidt.....	55
Figura 30 Separación de las juntas en la Zona 1	57
Figura 31 Ensayo Tilt Test.....	59
Figura 32 Dip y Dip Direction en la Zona 2 con la brújula Brunton.....	60

Figura 33	Familias de discontinuidades en la Zona 2	60
Figura 34	Ensayo de compresión simple en la zona 2 con el martillo Schmidt.....	61
Figura 35	Verificación de la abertura de las juntas en la zona 2 con el Bernier	63
Figura 36	Ensayo Tilt Test zona 2.....	65
Figura 37	Familias de discontinuidades en la Zona 3	66
Figura 38	Ensayo de compresión simple en la zona 3 con el martillo Schmidt.....	67
Figura 39	Verificación de la abertura de las juntas en la zona 3 con el Bernier	68
Figura 40	Ensayo Tilt Test zona 3.....	70
Figura 41	Rotura Planar Zona 1 Software Dips	73
Figura 42	Rotura Planar Zona 2 Software Dips	74
Figura 43	Rotura Planar Zona 3 Software Dips	74
Figura 44	Rotura por Cuña Zona 1 Software Dips.....	75
Figura 45	Rotura por Cuña Zona 2 Software Dips.....	76
Figura 46	Rotura por Cuña Zona 3 Software Dips.....	76
Figura 47	Rotura por Vuelco Zona 1 Software Dips.....	77
Figura 48	Rotura por Vuelco Zona 2 Software Dips.....	78
Figura 49	Rotura por Vuelco Zona 3 Software Dips.....	78
Figura 50	Perfil longitudinal y secciones.....	80
Figura 51	Levantamiento topográfico de la cantera vista en planta y orientación.....	81
Figura 52	Análisis por método equilibrio límite en la zona 1	83
Figura 53	Modelamiento de la zona 1 para el factor de seguridad.....	84
Figura 54	Modelamiento 2 de la zona 1 para el factor de seguridad.....	85
Figura 55	Análisis por método equilibrio límite en la zona 2	86
Figura 56	Modelamiento de la zona 2 para el factor de seguridad.....	87
Figura 57	Modelamiento 2 de la zona 2 para el factor de seguridad.....	88
Figura 58	Análisis por método equilibrio límite en la zona 3	89
Figura 59	Modelamiento de la zona 3 para el factor de seguridad.....	90
Figura 60	Modelamiento 2 de la zona 3 para el factor de seguridad.....	91
Figura 61	Rotura Planar modificado Zona 1 Software Dips	93
Figura 62	Rotura Planar modificado Zona 2 Software Dips	94
Figura 63	Rotura Planar modificado Zona3 Software Dips	94
Figura 64	Rotura por Cuña modificado Zona 1 Software Dips.....	95
Figura 65	Rotura por Cuña modificado Zona 2 Software Dips.....	96
Figura 66	Rotura por Cuña modificado Zona 3 Software Dips.....	96

Figura 67	Rotura por Vuelco modificado Zona 1 Software Dips	97
Figura 68	Rotura por Vuelco modificado Zona 2 Software Dips	98
Figura 69	Rotura por Vuelco modificado Zona 3 Software Dips	98



INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo: Realizar un modelamiento que nos permita determinar los mecanismos de fracturamiento mediante un análisis de datos probabilístico, apoyados en dos softwares de utilización geotécnica como son: el Dips V7.0 y el Slide.

La metodología propuesta busca democratizar la seguridad para las mineras pequeñas o informales en el Perú, a través del cálculo de un ángulo que acredite la estabilidad del talud para minas a cielo abierto. Con la aplicación de esta metodología se busca incrementar la producción a muy bajo costo, sin que eso signifique arriesgar la vida del personal minero.

En el primer capítulo se revisará la problemática en el caso de estudio y cómo la propuesta metodológica mejorará la estabilidad del talud sin perjudicar la producción. En el segundo capítulo, se explicarán los principios teóricos en los que se basa la metodología a proponer.

En el tercer capítulo se presentará el marco metodológico: Tipo de investigación del presente estudio, sus alcances, limitaciones y principalmente los instrumentos para la recopilación de datos (tabla de Bieniawski, tablas para el Dip/Dip Direction; y levantamientos topográficos). En el cuarto capítulo se muestra el proceso a seguir para precisar la calidad del macizo rocoso, que comienza desde el procesamiento de los datos recolectados en la tabla de Bieniawski y su clasificación GSI; así como el análisis desarrollado en el software Dips V7.0 para hallar la concentración de esfuerzos y distinguir el tipo de falla que se puede presentar. Hasta llegar al modelamiento en el software Slide con ayuda del levantamiento topográfico para verificar su factor de seguridad. Finalmente, en base al nuevo modelamiento se procede a reemplazar los datos en el software Dips V7.0 y certificar que se controla o mitigan la activación de las fallas. Como resultado serán las conclusiones y recomendaciones que formarán parte del último capítulo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La **seguridad** en las empresas mineras es la gestión principal para realizar los procesos de **extracción y producción**. Los **taludes** pueden tener **fallas** en diversos tipos, por ejemplo, el deslizamiento y/o desplome de material por el proceso o postproceso operativo de las canteras. De esa forma nace el presente estudio, con la **finalidad de plantear una metodología** que logre mitigar y/o evitar los accidentes laborales por el deslizamiento de material o desprendimiento del talud, así también, el método debe incluir la determinación de los factores de seguridad de los taludes para que cuenten con el sustento técnico que lo certifique.

El caso de estudio para aplicar la metodología propuesta es la cantera “El Porvenir”, ubicada en el distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa. Esta cantera, que extrae material desde hace 10 años, **sitúa en peligro la vida de los trabajadores** ya que no disponen de formación previo geotécnico para la firmeza de taludes ni de factores de seguridad (F.S.), los cuales permiten trabajar con mayor seguridad. Entonces, al observar la falta de controles técnicos y geotécnicos en la estabilidad de los taludes (Figura 1, 2 y 3), se identifica el problema principal, el cual debe ser resuelto para que sus operaciones se den de manera segura y **así evitar accidentes** durante el proceso de extracción. En las figuras a continuación se puede evidenciar el constante peligro a los que se someten el personal de la cantera “El Porvenir” durante su jornada laboral, ya que se puede visualizar la posible presencia de **fallas planar, cuña y vuelco**.

Figura 1

Posible falla planar en la cantera



Notas: En la figura se visualiza la presencia de una falla por rotura planar en la cantera “El Porvenir”

Fuente: Elaboración propia

Figura 2

Posible falla por cuña en la cantera



Notas: En la figura visualiza la presencia de una falla por cuña en la cantera “El Porvenir” Fuente:

Elaboración propia

Figura 3

Posible falla por vuelco en la cantera



Notas: En la figura visualiza la presencia de una falla por vuelco en la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

El presente estudio también puede ser aplicado en otras mineras no metálicas (canteras) con la misma calidad de macizo rocoso, clasificaciones RMR y GSI; y, por último, con la misma litología en la ciudad de Arequipa, Perú.

1.2. Objetivos del Proyecto

1.2.1. Objetivo general

Proponer una metodología que permita determinar mecanismos de fracturamiento y comprobar la estabilidad en un talud mediante un modelamiento geotécnico para el caso de estudio de la cantera “El Porvenir” en el distrito de Yura de la ciudad de Arequipa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Hacer un modelamiento geotécnico de la cantera “El Porvenir” y determinar el Factor de Seguridad (F.S.) del talud apoyado.
- Realizar un modelo para determinar los mecanismos de fracturamiento por medio del método cinemático.
- Evaluar y clasificar al macizo rocoso en la cantera “El Porvenir” con el sistema de clasificación del RMR.
- Realizar la clasificación del macizo rocoso en la cantera “El Porvenir” en función al método del GSI.

1.3. Preguntas de Investigación

- ¿En qué consiste un modelamiento geotécnico y de qué manera se realizará la identificación del factor de seguridad de la cantera “El Porvenir”?
- ¿Cómo se planea usar el método cinemático para determinar los mecanismos de fracturamiento?
- ¿De qué manera se realizará la evaluación y clasificación del RMR para la cantera “El Porvenir”?
- ¿De qué manera se realizará la clasificación del GSI para la cantera “El Porvenir”?

1.4. Líneas de Investigación a la que Corresponde el Problema

La línea de investigación a la que corresponde el problema a estudiar es la seguridad y optimización de procesos mineros – geotecnia.

1.5. Aporte del Desarrollo de la Tesis

El principal aporte de la presente tesis es contar con un sustento técnico para determinar la estabilidad de un talud, logrando mejorar los estándares de seguridad que cuentan las empresas. Asimismo, este estudio también puede aplicarse en canteras con el mismo material de extracción, litología y calidad de macizo rocoso, que aquellos en el objeto de estudio. En ese sentido, esta investigación puede ser utilizada como un modelo de estudio de referencia.

1.6. Descripción de la Solución

Los resultados de proponer la metodología planteada en la cantera “El Porvenir” suman a su proceso minero, ya que mejoran la seguridad dentro de la cantera, también se tendrán los sustentos técnicos para la definición de las alturas de taludes a futuro y así evitar los accidentes fatales dentro de la empresa para que los trabajadores no corran riesgo cuando tengan que realizar trabajos cerca del talud, de esta manera, se asegura la continuidad de la extracción y operación.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del Arte

Para el estado del arte, se tomaron como referencia artículos y estudios realizados para sustentar la base del presente estudio y apoyar las teorías utilizadas y la metodología a proponer.

2.1.1. Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento castellano mediante el cálculo del factor de seguridad

El vigente estudio tiene como objetivo calcular el factor de seguridad del yacimiento el Castellano, considerando y no considerando el factor sísmico de la región. Su modelo geotécnico y sus cálculos se efectuaron con la ayuda del software Slide v 6.0. Obteniendo como resultado valores 0.281 y 0.444 muy por debajo del factor mínimo de 1.3, concluyendo implementar medidas de estabilización como zanjas de drenaje entre otros. (Mucuta et al., 2020)

2.1.2. Análisis probabilístico de la estabilidad de talud de la cantera espinal – Juliaca

El vigente estudio tiene como finalidad determinar el factor de seguridad (F.S.) o disminución de la resistencia al corte (S.R.F.) y la probabilidad de falla (P.F.). Para el análisis se utilizaron los métodos cinemáticos y métodos numéricos. Adicionalmente, se realizó un análisis probabilístico por método de estimación de puntos para una mayor confiabilidad. Obteniendo los resultados del análisis de método numérico, una probabilidad de deslizamiento por volteo directo de 44.41%, mientras que el valor de seguridad promedio por los análisis probabilísticos en S.F.R. son, en condición estática, F.S. o S.R.F. 2.27 y para condiciones pseudoestáticas el F.S. o S.F.R. 1.21. Concluyendo el estudio que el talud se encuentra seguro en condiciones estáticas y pseudoestáticas, adicional a esto se observó grietas en la cresta del talud que fallaran al volteo directo. (Valeriano et al., s.f.)

2.2. Antecedentes de Investigación

Se revisaron ejemplos de metodologías similares a la planteada en la presente investigación, las cuales consideran estudios de geomecánica aplicados en taludes de canteras en el territorio peruano. Estos fueron tomados como referencia para realizar este plan de tesis. En cambio, se debe acotar que, a la fecha, no se encontró bibliografía de este estudio aplicado en la cantera “El Porvenir”.

Paredes (2019) desarrolló su investigación cuyo título fue “Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera el Arbolito – Juliaca”. El

método empleado en el siguiente estudio incluye: una compilación información sobre la geomecánica, características geológica y geotécnica, así mismo, utilizó métodos empíricos y cinemáticos. Luego de analizar 385 puntos de muestreo, Concluyendo que en las zonas caracterizadas del macizo rocoso se pudo identificar el factor de seguridad de los taludes para poder tomar acciones correctivas y así evitar los deslizamientos o desprendimientos de roca. Adicionalmente, recomienda un estudio ambiental de polución de polvos debido a la ubicación de la cantera en una zona urbana y cómo afecta a la población. Es importante considerar esta investigación como parte del estado del arte, ya que, se apoya en la Norma CE.020 suelos y taludes, y en el presente estudio también se hará uso de tal normativa para poder calcular el F.S en el talud de la cantera “El Porvenir” y así determinar si es estable o no.

Arenas (2019) realizó su tesis titulada “Evaluación geomecánica del macizo rocoso con fines de estabilización de talud en la cantera Mucra – Juliaca”. este trabajo utilizo métodos estereográficos para analizar la estabilidad de taludes para realizar la caracterización geológica, donde se obtuvieron los valores geotécnicos: $RQD=72$, $RMR=55$, $GSI=54$, $JCS=122$, $JRC=10$. Concluyendo así que, el macizo rocoso es de tipo III regular a buena calidad, adicionalmente, obtuvieron el ángulo de fricción y el factor de seguridad (F.S.) del talud. También se recomendó a la cantera Mucra diseñar sus taludes de acuerdo con los criterios técnicos y los resultados obtenidos durante el estudio para evitar accidentes fatales más adelante.

Alvarado & Villanueva (2019) elaboró la tesis titulada “Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018”, La zona observada se consideró inestable ya que su factor de seguridad (FS) estaba muy por debajo de lo mínimo y al utilizar el nuevo diseño este mejoró dando seguridad en la operación y poder evitar los accidentes fatales a futuro. También se encontraron las características geomecánicas por los métodos de Bieniawski y Romana, el primero resultó en una calidad de macizo media, y el segundo una descripción mala. Este antecedente sirve como base para el presente estudio, por lo métodos emplearán anteriormente mencionados.

Montoya (2019), elaboró la tesis “Influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo, 2019”. Legando a las determinaciones de parámetros geomecánicas como el $GSI=32$ y el $RMR=46$, siendo el macizo rocoso de calidad regular, adicionalmente, la cantera en general contaba con un factor de seguridad (F.S.) en sus taludes por debajo del mínimo, lo cual demuestra que puede sufrir un posible deslizamiento de material a futuro, por ende se presentaron posibles alternativas de

sostenimiento, los cuales son, cunetas al pie del talud, pernos sistemáticos y un muro de pie, la altura de este sea de 17 m y su berma de 20 m, gracias a esto el factor de seguridad (F.S.) aumenta y se evitaría posibles accidentes fatales a futuro.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Generalidades en la estabilidad de taludes

En su gran parte, las fallas en los taludes se generan en fallas preexistentes, ya sea en discontinuidades y/o planos débiles, se toma como ejemplo. que los taludes deben estar firmes, una falla está directamente orientada a la frecuencia, distribución en todo el macizo rocoso y la orientación espacial, tras sufrir una falla esto generara deslizamiento. (Jumikis, 1983)

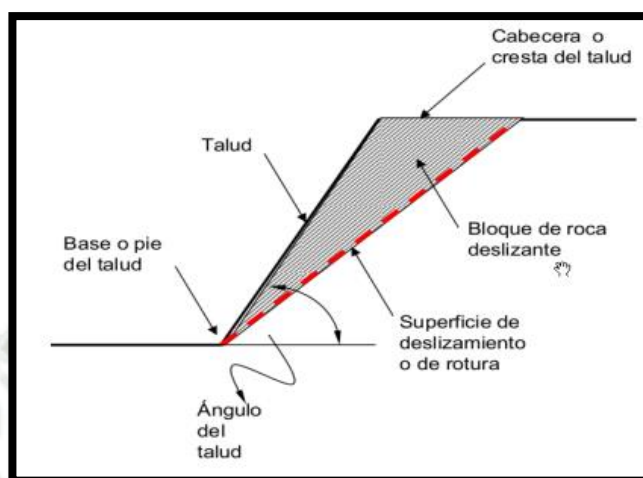
En la gran parte de las ocasiones, la estabilidad de taludes no puede llevarse a cabo a un nivel ordinario y/o básico, sino de manera específica como de talud por talud, ya que las inestabilidades suelen ir agrupadas con la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones determinadas. Cuando el factor de seguridad de un talud calculado sea por debajo de 1, es posible que se produzca su falla o desprendimiento. (Eberhardt, 2003)

2.3.2. Talud y componentes

Los taludes en rocas según su uso se diferencian de la siguiente manera:

- Taludes para minera a tajo abierto.
- Taludes para presas.
- Taludes en carreteras.
- Taludes en ferrocarriles.
- Etc.

Una de las principales condiciones para el uso de un talud, es una fabricación en una superficie plana en una zona de pendiente. A continuación, la Figura 4 se muestra sus partes principales:

Figura 4
Partes principales del talud


Nota: En la figura se puede visualizar las principales partes de un talud, las cuales se consideran para un correcto estudio o modelamiento de este Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

2.3.3. Metodología de los estudios de estabilidad de taludes

Para poder reconocer las causas y clases de fallas, y así cuantificar todas las medidas que determinan la estabilidad del talud y con esto determinar un correcto modelamiento y diseño del talud. Para esto ejecutar un estudio que puede comprender lo siguiente: Hacer un reconocimiento del área y alrededores del talud, ejecutar un análisis de la información histórica y de la características de la roca in situ que nos permita reconocer sus características geotécnicas y un mapeo topográfico adecuado, investigación de campo que incluye sondeos, muestreos y ensayos in situ para ponderar y comprobar los parámetros de la roca o suelo y finalmente un análisis e interpretación de la información adquirida mediante un modelamiento matemático. (Suarez, 1998)

El principal punto a resolver desde el principio es la estabilidad de talud es comprobar el modo o tipo de falla que se presentara dentro del macizo rocoso o suelo, al no realizar una correcta identificación del tipo de falla puede llevar el estudio por un camino erróneo, esto se lograra gracias a un correcto estudio y caracterización geológica y geotécnica de la roca in situ o de los alrededores mediante un estudio geotécnico. (Ramírez & Alejano, 2007)

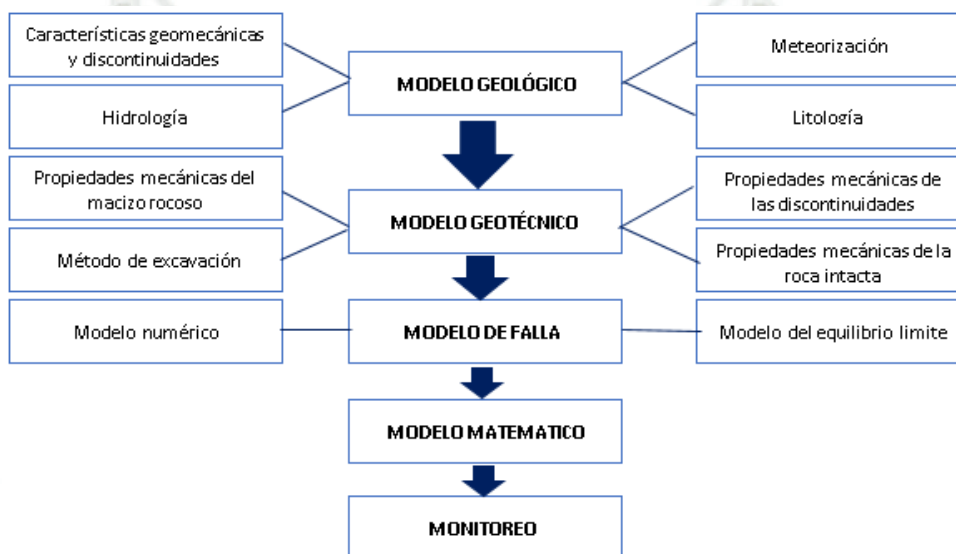
La firmeza de los taludes ha pasado por una evolución ascendente hasta la actualidad, de la misma manera los tipos de superficie, las fallas existentes hasta nuestros tiempos y los métodos para calcular la estabilidad de taludes. Es trascendental que el proceso de análisis de estabilidad esté regido por una metodología organizada que asegure

la veracidad y calidad de los resultados, tomando en cuenta 1. exploración del área, 2. información existente, 3. análisis de las características del suelo topografía y geotécnica, 4. Investigación de campo, 5. Investigación de laboratorio, 6. modelamiento matemático. (Hernández, 2014)

La Figura 5 muestra un esquema metodológico para la evaluación de estabilidad de taludes, y se utilizará como referencia; ya que la metodología planteada recoge más información teórica y adapta los métodos recogidos para el caso de estudio.

Figura 5

Esquema de Metodología para la Investigación de Estabilidad de Talud



Nota: En la figura se puede apreciar de manera gráfica, cuáles son los pasos que se siguen para realizar un correcto estudio y análisis sobre la estabilidad de los taludes Fuente: Ramírez & Alejano (2007).

2.3.4. Modelo Geológico

2.3.4.1. Caracterización geológica

Son varios los autores que han investigado la caracterización geológica. Se han recopilado las bases teóricas de dos autores, acompañados con los criterios de las normas del ISRM; a continuación, se muestra las bases de los autores.

Una correcta caracterización geológica nos permite definir tanto la geometría de la zona y/o superficie, así como la relación entre todos los contactos geológicos en el macizo rocoso. Adicionalmente, nos permite distinguir las unidades geotécnicas básicas que aparezcan en el macizo rocoso y la investigación. (Gonzáles de Vallejo et al., 2006)

La geología, estudia las propiedades de la tierra, estableciendo la existencia de materiales que pueden ayudar a la presencia de movimientos, los componentes

trascendentales son: Formación geológica, estructura y discontinuidades, geomorfología, entre otros (Suarez, 1998).

2.3.4.1.1. Litología

Se han investigado diversos conceptos sobre litología, entre ellos se tiene aquel que realiza el siguiente autor:

La definición de los suelos es el punto más trascendental para análisis y modelamiento; al ser un punto crítico, lo más recomendable es que lo realice un profesional calificado y con gran experiencia, la gran cantidad de esquemas se modifican en sus términos y definiciones, es que muchos profesionales tienen descripciones del macizo diferentes. (Suarez, 1998)

Por otra parte, es necesario también considerar la siguiente definición:

Es recomendable hacer una descripción efímera de la geología regional que manifiesta los tipos de roca que afloran en el área en estudio. Así mismo, realizar la breve descripción de cada tipo de roca, con énfasis en las particularidades típicas como material pétreo (dureza, degradabilidad, etc.). De la misma forma, se debe realizar una estimación del potencial error en la posición de los contactos litológicos. (Gonzáles de Vallejo et al., 2006)

2.3.4.1.2. Meteorización

El estado de meteorización de una roca es una información importante en cuanto se establece de forma definitiva sus características mecánicas. La identificación de la etapa de meteorización de la matriz rocosa se puede ejecutar de manera sistemática basándonos en las descripciones en la tabla 1. (Gonzáles de Vallejo et al., 2006)

Tabla 1
Descripción del grado de meteorización

Término	Descripción
No meteorizada	No se visualiza marcas de meteorización
Ligeramente meteorizada	Las discontinuidades se hallan pintadas o descoloridas y pueden incluir un pequeño relleno debido a la alteración del material. Leve decoloración desplegada a lo largo de la discontinuidad. Las discontinuidades pueden incluir relleno del material alterado.
Moderadamente meteorizada	Se puede visualizar capas de granos levemente. Decoloración desplegada a lo largo de la roca, y el material de roca es medianamente friable, la textura original de la roca persevera y es preservada, pero va ocurriendo desprendimiento de granos.
Altamente meteorizada	La roca se ha alterado al aspecto de un suelo, parte o todos los minerales están descompuestos. El material se encuentra en una condición disgregable.
Descompuesta	

Nota: La tabla nos indica las características principales del macizo rocoso para poder distinguir su nivel de meteorización en campo Fuente: González de Vallejo et al. (2002).

2.3.4.1.3. Hidrología

La cantidad o el flujo de agua en el macizo rocoso se sujeta a las aberturas de las discontinuidades. El esfuerzo que este necesita depende de la profundidad, desde cierta profundidad las discontinuidades aparecen cerradas debido a la permeabilidad del macizo rocoso o permeabilidad primaria. (Ramírez & De la Cuadra, 2007)

La aparición de agua puede afectar al macizo rocoso o las excavaciones de las siguientes maneras:

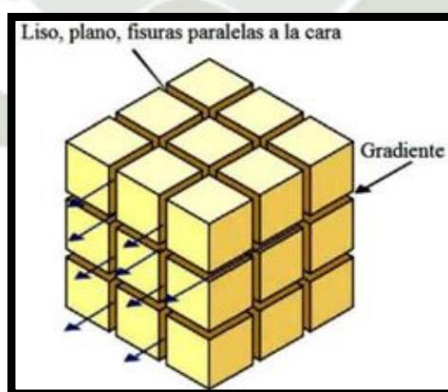
- Puede aumentar la probabilidad de fallas en la masa rocosa ya excavada debido a la alteración de la tensión efectiva, reduciendo o aumentando las sumatorias de esfuerzos en el macizo rocoso.
- Se puede generar saturación de esfuerzos.
- El flujo de agua generalmente ocasiona problemas en la estabilidad de los taludes de forma perjudicial.

El movimiento del agua subterránea en un cuerpo rocoso normalmente es regulado por la permeabilidad secundaria, ya que está es usualmente baja en roca intacta. Por otro lado, la permeabilidad es definida usualmente por la naturaleza, esto se especifica como la conductividad de las juntas, que es el flujo particular de las fracturas. (Kliche, 1999)

Una fractura se le puede examinar mediante una capa Absorbente Los estudios teóricos se centran habitualmente en la hipótesis de que la fractura puede ser manejada como una abertura delimitada por un plano liso, plano o láminas paralelas con la abertura uniforme, para definir las características mecánicas de la roca y el macizo rocoso se deben tener conocimiento de la geotecnia para comprender las fallas del talud. (Ramírez & Alejano, 2007)

Figura 6

El flujo de agua en fracturas en condiciones uniformes en macizo rocoso



Nota: La figura nos muestra como es la presencia de agua en el macizo rocoso, como es su paso y como esta va generando fisuras en el macizo Fuente: Read & Stacey (2009).

2.3.4.1.4. Caracterización geomecánica

Las peculiaridades geomecánicas del macizo rocoso son una agrupación de parámetros físicos que pueden ser calculados en laboratorios de mecánica de rocas o por pruebas de campo, con la finalidad de adquirir el comportamiento de una

categorización del macizo rocoso y fijar las propiedades geomecánicas. (Schon, 2015)

Los elementos geomecánicos de un tiempo temporal, las peculiaridades del macizo rocoso pasan por muchas variaciones gracias a la participación de un individuo; el tamaño de macizo rocoso que fue afectada por una obra será el volumen de investigación para cualquier proyecto. (Suarez, 2016)

2.3.4.1.5. Mapeo superficial de estructuras

Las técnicas de mapeo estructural que comprobaran todas las particularidades geológicas importantes son el mapeo "lineal" y "ventana". El primero se basa en mapear a lo largo del talud con una línea entre 50 y 100 m, el segundo trata de ejecutar un mapeo en el interior del fragmento a lo largo del talud. Las zonas que participan se examinan por similitud de estructura, las dimensiones de una ventana habitualmente son de 10 m. (Wyllie & Mah, 2007)

2.3.4.1.6. Caracteres geomecánicos de las discontinuidades

Orientación de las discontinuidades.

Este se basa en el espacio que precisa la dirección de buzamiento, que viene a ser la pendiente máxima del plano en relación del norte y por su buzamiento, que se considera como inclinación hacia abajo de dicha línea respecto al plano horizontal. siendo necesario una brújula para su medición. (Suarez, 2008)

Espaciado de las discontinuidades

Definido como un acumulado de discontinuidades sub paralelas, a separaciones promedios entre ellas. El espaciado de las discontinuidades viene a ser el factor responsable del tamaño y disposición de los bloques en el macizo rocoso. Este aspecto es el más importante cuando se tengan más factores que participan en aumentar la deformabilidad del macizo rocoso. Al ubicar una cinta métrica perpendicular a las discontinuidades en el afloramiento se obtiene el espaciado. (Ramírez & Alejano, 2007)

Persistencia de las discontinuidades

Es la prolongación superficial, medida por la longitud de la dirección del plano y según su buzamiento. Siendo fundamental, pero a veces se dificulta a partir de la observación de afloramientos, en los que usualmente se observan las líneas de los planos de discontinuidad según un buzamiento. (Gonzáles de Vallejo et al., 2006)

La persistencia o prolongación de las estructuras de cada familia de discontinuidades se integra en toda la estructura para medirse en la dirección del buzamiento. al tener dificultades en los taludes será beneficioso aclarar la dirección del buzamiento (Flores & Karzulovic, 2003).

Rugosidad de las discontinuidades

La rugosidad de los labios de una discontinuidad posee gran importancia a su resistencia al corte. Este atributo es pequeño cuanto más grande sea su apertura. esta rigurosidad también se presenta mediante dos variables: ondulación y aspereza. la primera explica que la rigurosidad a mayor escala que genera una fuerte dilatación, la segunda menciona que las rugosidades de menor escala pueden desvanecerse conforme se produce el desplazamiento cortante, el valor de resistencia se puede llegar a obtener en laboratorios con muestras discontinuos o a mayor escala mediante un ensayo de corte directo. (Ramírez & Alejano, 2007)

Para encontrar la rugosidad de las estructuras se exhorta la utilización de los perfiles que se muestran en Figura 4 y considerar 2 escalas:

- Escala intermedia (varios metros), la ondulación (waviness) de las estructuras son clasificadas en 3 clases: escalonadas (stepped), ondulosas (undulating), y planas (planar).
- Escala menor (varios centímetros), las disparidades (unevenness) de la estructura son clasificadas en 3 clases: rugosas (rouge), lisas (smooth), y pulidas (slikensided).

Figura 7
Perfil de Rugosidad

Descripción	Perfil	J_r	JRC 200mm	JRC 1 m
Rugosa		4	20	11
Suave		3	14	9
Pulida		2	11	8
	Escalonada	2	11	8
Rugosa		3	14	9
Suave		2	11	8
Pulida		1.5	7	6
	Ondulada	1.5	7	6
Rugosa		1.5	2.5	2.3
Suave		1.0	1.5	0.9
Pulida		0.5	0.5	0.4
	Plana	0.5	0.5	0.4

Nota: La figura nos muestra los diferentes perfiles del macizo rocoso para distinguir su rugosidad y considerarle un valor JRC Fuente: Barton & Choubey (1997)

Resistencia de los labios de la discontinuidad

La resistencia de una pared de una discontinuidad interviene directamente con su resistencia al corte y en su deformabilidad. Está sujeto directamente al tipo de matriz rocosa, el estado de alteración y al relleno. En discontinuidades sanas y limpias, la resistencia es igual en la matriz rocosa, pero habitualmente es menor por la meteorización de la superficie. (González de Vallejo et al., 2006)

Abertura de las discontinuidades

Explica el espacio perpendicular que aleja las paredes juntas de roca de una discontinuidad, cuando este espacio posee agua o aire, es conveniente marcar las aberturas de todas las discontinuidades interceptadas por la línea de adquisición de datos, se maneja esta técnica de observación. Las diferenciaciones de abertura que tienen grandes discontinuidades se suelen verificar a lo largo de estas. (Ramírez & Alejano, 2007)

Relleno en las discontinuidades

La existencia de relleno maneja el comportamiento de la discontinuidad, donde se describe y registra las características y su estado, las variaciones en sus características de los materiales blandos se modifican en la humedad, esto en el

corto plazo, sin embargo, en el largo plazo las modificaciones serán por los movimientos. Las principales propiedades del relleno que deben describirse en el afloramiento son: su naturaleza, espesor o anchura, resistencia al corte y permeabilidad. (Gonzáles de Vallejo et al., 2006)

2.3.5. *Modelo geotécnico*

2.3.5.1. *Familia de discontinuidades*

Un grupo de discontinuidades está conformado por orientaciones similares y la misma familia. Por esta razón se pueden designar, mostrando los polos de las discontinuidades vistas en el macizo rocoso en una red polar equilateral mediante la plantilla de Schmidt, que se perfilaran usando una plantilla de conteo equilateral para generar la asignación de polos que representara todas las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. (Ramírez & Alejano, 2007)

2.3.5.2. *Clasificación geomecánica del macizo rocoso*

Los métodos de clasificación de los macizos rocosos tienen el fin de estimar sus particularidades para comprobar de forma cuantitativa su aptitud. El término “macizo rocoso” hace referencia a la unión de uno o varios tipos de rocas cruzados por un plano de discontinuidad, incluyendo la obra de ingeniería o mina. (Ramírez & Alejano, 2007)

2.3.5.2.1. *Índice de designación de la calidad de la roca (RQD)*

Fue elaborado por Deere para impulsar la calidad de la masa rocosa, con base a los espectáculos de perforación diamantina. El RQD es descrito como el porcentaje de fragmentos de testigo intactos mayores a 100 mm en la longitud total, por el cual tendrá un tamaño de 54.7 mm de diámetro perforado con un cilindro de doble tubo. (Marinos & Hoek, 2000)

El RQD se tiene que realizar con la mayor de precauciones y cuidados, debido a que su valor depende de muchos factores como son la fracturación del macizo rocoso, la técnica del sondeo, entre otros (Ramírez & Alejano, 2007).

$$RQD = \frac{\sum \text{trozos de longitud} \geq 10 \text{ cm}}{\text{longitud total de la perforación}} * 100 \%$$

Se tiene distintas perspectivas para encontrar el RQD, uno de estos está a continuación: Cuando no se tenga testigos con facilidad, pero las trazas de las discontinuidades son fácilmente perceptibles en todo el afloramiento de la

superficie o en exploraciones de socavón, también se determina con el número de discontinuidades por unidad de volumen.

Se realiza el cálculo del RQD basándonos en el número de fisuras por metro cúbico (J_v) definidas al ejecutar el levantamiento litológico - estructural en la zona predeterminada. Esto se usa para voladura y queda establecida de acuerdo con la relación entre RQD y J_v . (Palmstrom, 2005)

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

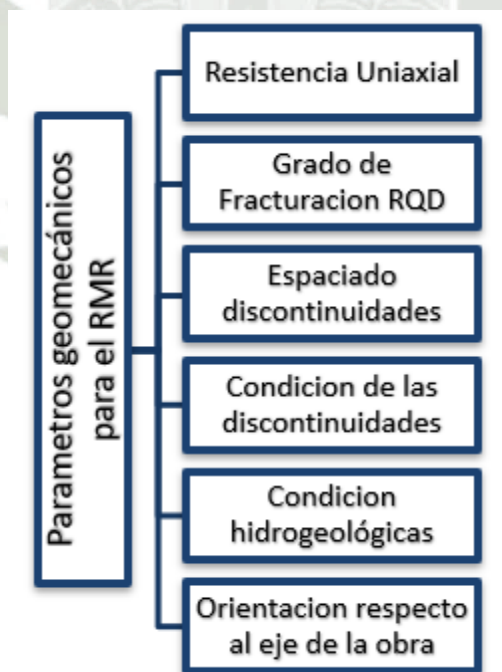
- J_v : Numero de discontinuidades encontradas en 1m³

2.3.5.2.2. *Clasificación de Biewniawski (RMR)*

Fue actualizada en 1979 y 1989, se basa en una metodología de catalogación de los macizos rocosos que autoriza conectar índices de calidad con medidas geotécnicas del macizo rocoso, usadas con mayor frecuencia en la mecánica de rocas, siendo las normas de excavación y sostenimiento. (Mohammadi & Hossaini, 2017)

Figura 8

Parámetros geomecánicos para el RMR



Nota: Principales parámetros para realizar una caracterización del macizo rocoso y definir su RMR Fuente: Bieniawski (1989).

Los parámetros anteriormente mencionados, se establecen con las siguientes tablas durante el mapeo en campo, excepto la resistencia de la roca. Tabla 2 parámetros básicos, Tabla 3 orientación de las diaclasas, en la Tabla 4 la valoración de los taludes en función a la orientación de las diaclasas, en la Tabla 5 la condición de discontinuidades, en la Tabla 6 se determina la calidad del macizo rocoso y finalmente la tabla 7 se toma como punto de referencia para el criterio de clasificación del macizo rocoso en función a su resistencia a la compresión simple (MPa) basado en la norma ISRM.



Tabla 2
Parámetros básicos de la clasificación geomecánica

PARAMETRO		VALORACION					
1	Resistencia de la roca sana (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	04-10	02-04	01-02	Ver compresión uniaxial
		Compresión simple	>250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1
2	Valoración RQD		15	12	7	4	2 1 0
	Valoración		90-100	75-90	50-75	25-50	<25
3	Separación de las juntas		20	17	13	8	3
	Valoración		> 2m	0.6-2m	0.2m-0.6m	0.06m-0.2m	<0.06m
4	Estado de las diaclasas		20	15	10	8	5
	Valoración		Muy rugosa discontinuas borde	Ligeramente rugosa e<1mm Borde duro	Ligeramente rugosa e<1mm Borde	Rellenos e<5mm Abiertas continua	Rellenos blandos e>5mm Continua
5	Presencia de agua	Caudal 10m túnel (presión de agua/tensión principal)	30	25	20	10	0
		Estado	Nulo	<10 L/ min	10-25 L/ min	25-125 L/ min	>125 L/ min
			0	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.2-0.5
			Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyente
Valoración			15	10	7	4	0

Nota: La tabla nos muestra los valores que se le asigna al macizo rocoso de acuerdo a sus características in situ de acuerdo a los parámetros principales Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 3
Orientación de las diaclasas

Dirección Perpendicular al eje de la obra				Dirección Paralela al Eje de la Obra		
Excav. Con buzamiento		Excav. Contra buzamiento				Buzamiento 0°-20° Cualquier dirección
Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy Desfavorable	Medio	Desfavorable

Nota: Esta tabla nos ayuda a definir como es la orientación de las diaclasas de acuerdo al eje de la obra y como considerarlo para darle un valor numérico Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 4
Valoración de los taludes de acuerdo a la orientación de las diaclasas

CALIFICATIVO	VALORACIÓN
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Nota: En esta tabla se define el valor numérico de acuerdo a la orientación de las diaclasas en función al eje de la obra, este valor se suma al final para hallar el RMR ajustado
Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 5
Guía para valorar el estado de las discontinuidades

PARAMETROS	VALORACION				
Longitud de discontinuidades	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valoración	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	< 0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm
Valoración	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Valoración	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Duro < 5mm	Duro >5mm	Blando <5mm	Blando >5mm
Valoración	6	4	2	1	0
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto
Valoración	6	5	3	1	0

Nota: Esta tabla nos indica los valores para el estado de las diaclasas Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 6
Calidad de la roca en función de RMR

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR
I	81-100	Muy Buena
II	61-80	Buena
III	41-60	Media
IV	21-40	Mala
V	0-20	Muy Mala

Nota: Esta tabla finalmente nos indica la calidad del macizo rocoso RMR en función a los valores anteriormente encontrados con las características del macizo rocoso Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 7

Rangos de estimación de la resistencia en campo normas ISRM

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA (MPa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña del pulgar	0.25 - 1.0
R1	Roca muy blanda	Se desmorona al golpear con la punta del martillo o se puede pelar con un cuchillo	1.0 - 5.0
R2	Roca blanda	Un golpe firme con la punta del martillo produce pequeñas marcas o puede ser pelado con dificultad con un cuchillo	5.0 - 25
R3	Roca moderadamente dura	Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo y el cuchillo no lo puede raspar	25 - 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla	50 - 100
R5	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes de martillo para fracturarla	100 - 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas	> 250

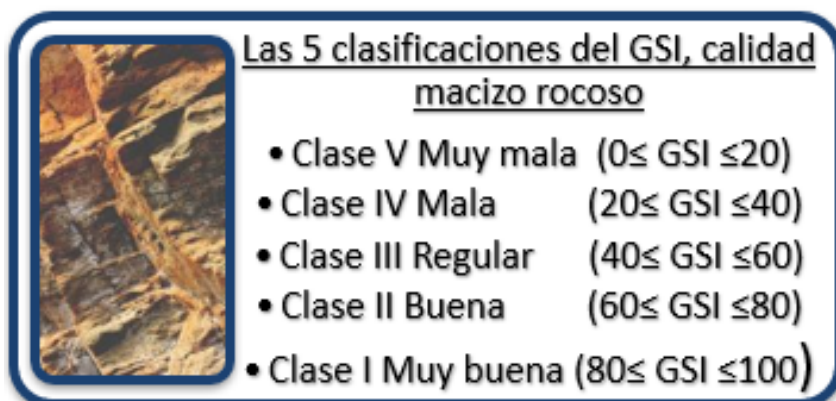
Nota: Esta tabla nos ayuda para referenciar la calidad o clasificación para el macizo rocoso en función a una prueba en campo con el martillo geológico Fuente: (Huamán & Ardiles, 2017)

2.3.5.2.3. Método GSI (geological strenght index)

Este método se fundamenta más en inspecciones geológicas, se basa en una meticulosa observación del macizo rocoso, principalmente cualitativa tomando las características litológicas, estructurales y condiciones de los planos de discontinuidad, que están dados en cortes de excavación y testigos de sondeos. contemplando dos aspectos principales como el grado y tipo de fragmentación y el estado de las superficies de discontinuidad. (Marinos & Hoek, 2000)

Figura 9

Clasificación del macizo rocoso del GSI



Nota: En la figura se puede apreciar otro tipo de clasificación para el macizo rocoso este caso se conoce como clasificación GSI Fuente: Marinos & Hoek (2000)

Marinos y Hoek consideran 2 aspectos principales para la organización, los cuales son el grado y tipo de fragmentación; y el estado de la superficie de discontinuidad. La cual se puede visualizar en la Figura 10; Sistema de clasificación del GSI.

Figura 10

Sistema de clasificación GSI

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000) Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambiar las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) TRES A MENOS SISTEMAS DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO)			
LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO)		LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP
MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50-75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)		F/B	F/R	F/P	F/MP
MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)		MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0-25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)		IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP

Nota: En esta tabla visualizamos los principales parámetros a tener en cuenta para realizar una clasificación GSI para el macizo rocoso Fuente: Marinos & Hoek (2000)

2.3.6. *Propiedades de la roca intacta*

Para especificar las características mecánicas de la roca intacta es mejor adquirir probetas de cada unidad geológica básica y pasarlas por pruebas de laboratorio, para definir por lo menos: El peso unitario, la resistencia a la compresión uniaxial, la deformabilidad. Se puede tomar como apoyo las recomendaciones de la ISRM de Brown, y las normas ASTM. (Flores & Karzulovic, 2003)

2.3.6.1. **Ensayo de laboratorio**

Los fragmentos recolectados por las distintas fases de extracción conducidas a laboratorio para sus respectivas pruebas. Los objetivos principales de realizar pruebas para brindar una categorización exacta del material extraído y establecer todos sus parámetros que interpreten el comportamiento mecánico y en ciertos casos el químico del material rocoso. (Suárez, 2013)

2.3.6.1.1. **Resistencia**

Normalmente este ítem se puede obtener con la ayuda de la picota de geólogo caracterizado por el ISRM desde el R0 al R6, opcionalmente se puede realizar ensayos de compresión simple con un martillo Schmidt o con ensayos de carga puntual. (Huamán & Ardiles, 2017)

2.3.6.2. **Ensayo de tilt test ángulo de fricción**

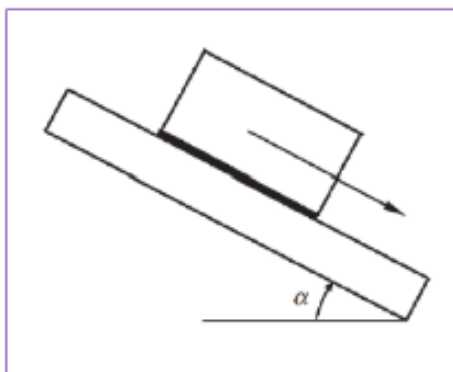
Este ensayo Tilt Test trata de juntar dos núcleos de roca con base horizontal, garantizando que los fragmentos no se deslizen y están en contacto, a continuación se deposita una tercera pieza de núcleo sobre las dos primeras piezas, de esta manera gira en torno al eje horizontal hasta que comience el deslizamiento de la pieza superior de núcleo a lo largo de los dos contactos de línea, ver figura 8. (Zhang, 2017)

$$\phi b = \arctan(1.155 \tan \alpha)$$

- ϕb : Ángulo de fricción básico
- α : Ángulo de inclinación en el cual el deslizamiento comienza

Figura 11

Tilt Test para determinar el ángulo de fricción básico



Nota: En la figura se visualiza la correcta manera de cómo realizar un ensayo tilt test y las condiciones óptimas para este y así hallar el ángulo de fricción del material Fuente: Zhang (2017)

2.3.7. Análisis de estabilidad de talud

Para realizar este análisis es necesario tener la evaluación de la estabilidad, para poder conocer esto es necesario conocer los métodos numéricos para realizar el análisis de estabilidad (Kanda & Stacey, 2016).

Para taludes más duraderos se den considerar coeficientes hasta 2.0, para tener una seguridad eficiente y brinde una mayor confianza en los datos geotécnicos, siendo aceptable el 1,3 como mínimo (González de Vallejo et al., 2002).

2.3.8. Mecanismo de rotura en taludes

El análisis de estabilidad de un talud da inicio con una correcta determinación de la forma de rotura y la elección de un modelo apropiado para dicho análisis (Escobar & Duque, 2016).

Se tienen diferentes tipos de falla como vuelco, planar y cuña, siendo adaptables a las fracturas de los macizos rocosos generando fallas. Circunstancias de cualquier tipo de una fractura o combinación de los mismos está sometida a la orientación relativa de cara del plano de junta dominante, familias de juntas dominantes, las particularidades de resistencia al corte de juntas, y su prolongación. (Brady & Brown, 2006)

A continuación, están los tipos de rotura:

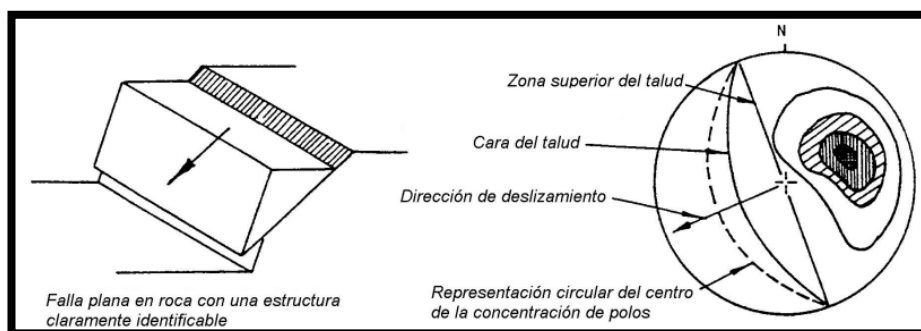
2.3.8.1. Rotura planar

Es escaso o difícil que se presente en taludes altos en rocas, ya que es necesario ciertas condiciones estructurales, las cuales son: la rotura esta dirección paralela o casi paralela a la cara del talud, el ángulo de buzamiento del

talud es mayor que el ángulo de buzamiento de la superficie de rotura, y este último mayor que el ángulo de fricción. (Rodríguez, 2000)

Figura 12

Rotura planar



Nota: En la figura se visualiza cuáles son factores influyentes para que se presente una rotura planar

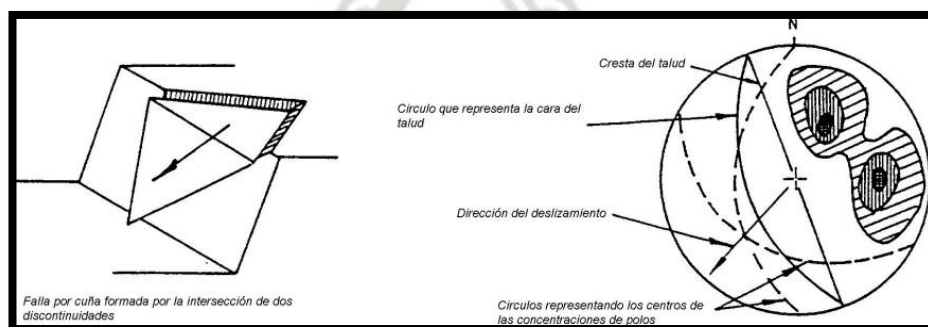
Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

2.3.8.2. Rotura en cuña

Se relaciona al desprendimiento de un bloque en forma de cuña, por dos planos de discontinuidad, con su línea de intersección a favor. Para que se genere este tipo de falla o rotura, los dos planos deben aparecer en la superficie del talud, respetando también las mismas condiciones que sucedían para la rotura planar ($\psi > \alpha > \phi$), siendo en este caso α la inclinación de la línea de intersección. (Wyllie & Mah, 2007)

Figura 13

Roturas en cuña



Nota: En la figura se visualiza cuáles son factores influyentes para que se presente una rotura en cuña

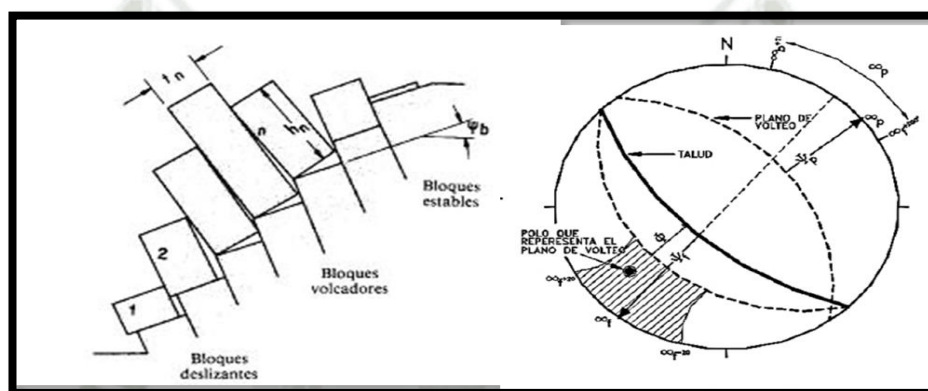
Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

2.3.8.3. Rotura por vuelco

Esta forma de falla o rotura se genera en taludes rocosos donde las discontinuidades muestran una inclinación antagónica a la inclinación del talud y una dirección paralela o sub-paralela al mismo. Habitualmente, el macizo se manifiesta en bloques individualizados por un sistema de discontinuidades ortogonal. (Wyllie & Mah, 2007)

Figura 14

Rotura por Vuelco



Nota: En la figura se visualiza cuáles son factores influyentes para que se presente una rotura por vuelco

Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

2.3.9. Modelo falla

2.3.9.1. Métodos para el análisis de estabilidad del talud.

Para utilizar este método se tiene que considerar la dependencia de este en varios factores, los cuales son: La etapa del proyecto, considerar la escala del talud y las particularidades de los materiales que son parte del talud. Los principales métodos de análisis incluyen: métodos empíricos, equilibrio límite y numéricos. (Read & Stacey, 2009)

A continuación, se tendrá la lista de métodos para el análisis de estabilidad del talud:

- Métodos Empíricos para la Estabilidad del Talud.
- Método de Proyecciones Estereográficas o Cinemático.
- Métodos de Equilibrio Límite o Analítico.
- Métodos Numéricos.

2.3.9.1.1. Método equilibrio límite o analítico

La estabilidad de un talud está basada principalmente en sus factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de discontinuidades y zonas de debilidad y anisotropía del talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico (resistencia y deformabilidad) del macizo rocoso. (Wyllie & Mah, 2004)

Las clases de inestabilidad posibles en taludes rocosos están íntimamente enlazados al tipo de estructuras geológicas, por lo que es importante, que, en la primera etapa del estudio, se identifique las posibles situaciones de inestabilidad, como las estructuras que pueden ocasionar la inestabilidad. Estas condiciones, con frecuencia se identifican simplemente a través de un simple análisis de los diagramas de contorno estructural (estereogramas).

Este método se apoya solamente en las leyes de la estática para fijar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No toma como principio deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. (Raghuvanshi, 2017)

2.3.9.1.2. Método de proyecciones estereográficas o cinemático

Proyección Estereográfica

Con la falla ya correctamente reconocida en el estereograma, este diagrama se puede emplear para verificar la dirección en la que un bloque se rodará y dará una instrucción de las condiciones de estabilidad. Esta técnica se conoce como análisis cinemático, estando directamente con el rodamiento de la roca y la cara será sencillamente evidente en el estereograma. No obstante, mientras que el análisis del estereograma es una buena guía de las condiciones de estabilidad, pero no azume la presencia de las fuerzas externas, de esta manera los pernos de la roca obtendrán estabilidad, por lo que el análisis cinemático busca los bloques inestables, seguido de un análisis minucioso de estos bloques utilizando el método de equilibrio límite. (Wyllie & Mah, 2004)

Análisis Cinemático

La estabilidad de un talud está fundamentalmente sometida por las discontinuidades guiadas por el macizo rocoso, estas requieren ser estimadas para precisar si la situación estructural es inestable. Este método se conoce como

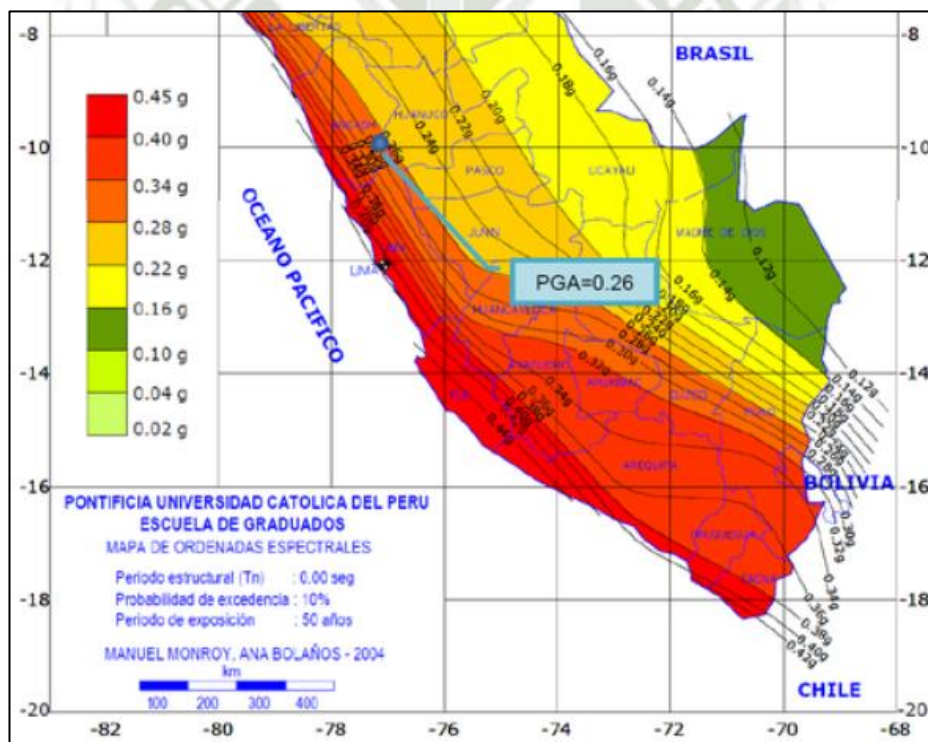
el estudio cinemático y es un análisis estrictamente geométrico que no contempla ninguna fuerza. el estudio cinemático indica que el talud de roca es inestable, se procede a hacer un análisis de estabilidad utilizando el Método de Equilibrio Límite (MEL) por lo que se evalúa el Factor de Seguridad (F.S.) empleando el método de proyecciones estereográficas. (Park et al., 2016)

2.3.10. Condiciones de análisis de estabilidad de taludes

Para realizar el análisis de estabilidad estático debemos tener claro; que este análisis representa a la estabilidad de las estructuras proyectadas y la fundación sin suponer la acción sísmica. este análisis pseudoestático; el procedimiento evalúa el factor de seguridad frente al deslizamiento. (Bolaños & Monroy, 2012)

Figura 15

Distribución de ordenadas espectrales para el Perú



Nota: En la figura se observa el valor por coeficiente sísmico que se presenta las regiones en la parte sur del Perú Fuente: Bolaños & Monroy (2012)

2.3.11. Definiciones

2.3.11.1. Discontinuidad

Es la expresión que generalmente se utiliza para denominar a cualquier separación o rotura mecánica en un macizo rocoso teniendo baja o nula resistencia a la tracción. también pueden ser de principio geológico como juntas,

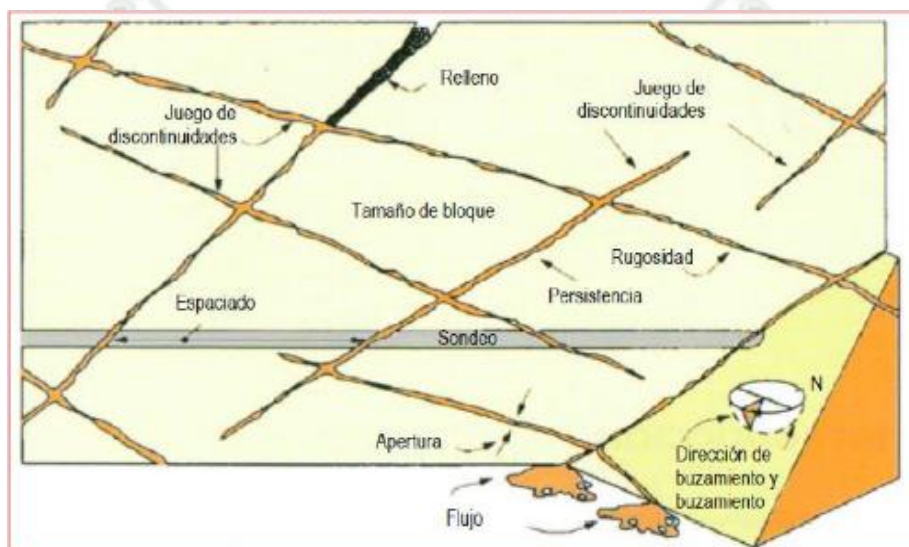
un plano de estratificación, planos de esquistosidad, fallas, provocadas por la presión del agua. (Zhang, 2017)

2.3.11.2. Macizo rocoso

En la ingeniería pétrea, considera varias discontinuidades, fallas, etc. en los macizos rocosos. Y estos pueden afectar directamente el comportamiento del macizo rocoso (Hoek et al., 2002).

Figura 16

Macizo rocoso



Nota: En la figura se observa las partes y características principales del macizo rocoso Fuente: Huamán & Ardiles (2017)

2.3.11.3. Orientación

Se considera orientación, al lugar que ocupa la discontinuidad en el espacio y frecuentemente es explicado por la dirección de buzamiento, también está dada por la línea de la pendiente máxima en el plano de la discontinuidad (Escobar & Duque, 2016).

2.3.11.4. Buzamiento

Es el ángulo que se forma a razón de la horizontal un plano geológico, a través de la dirección perpendicular de la capa del mismo plano que está dado por el Angulo de máxima inclinación. Si la dirección en la que se verifica el plano no es perpendicular se conseguiremos un ángulo menor, que se denomina buzamiento aparente donde sus valores son 0 a 90°. (Escobar & Duque, 2016)

2.3.11.5. Dirección de buzamiento

Viene a ser el ángulo entre el norte magnético y una línea conseguida por medio de la intersección de un estrato inclinado de un plano horizontal, el camino normalmente se expresa como un valor de un ángulo en relación con el norte. lo que quiere decir que la línea de dirección se orienta al este desde el norte. (Escobar & Duque, 2016)

2.3.11.6. Roca intacta

Es la parte del macizo rocoso no fracturados, situado entre las discontinuidades en un macizo rocoso típico, estas partes pueden ser de diferentes mediadas dependiendo de la calidad del macizo rocoso, como, por ejemplo, desde pocos milímetros en macizos rocosos de mala calidad, hasta varios metros en macizos rocosos de buena calidad. Las propiedades de la roca intacta se rigen por las características físicas de los materiales de los cuales están compuestos y la forma en que estos están unidos. (Zhang, 2017)

2.3.12. Factor de seguridad

Es determinada como la menor relación entre las fuerzas de resistencia al movimiento y las fuerzas resultantes que ejecutan el movimiento. Normalmente, si el factor de seguridad tiene una pendiente inestable se valoriza entre los intervalos de 0 y 1,0, por lo que todos los valores que se encuentran encima de 1,0 se consideran estables. (Raghuvanshi, 2017)

2.3.12.1. Normativa peruana

Según la normativa peruana, el factor de seguridad mínimo de un talud, permitido, debe ser de 1.5 para condiciones estáticas y de 1.25 cuando se consideran las condiciones sísmicas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

2.3.13. Optimización de procesos mineros

Se busca la optimización de la operación mediante las técnicas y herramientas necesarias para el análisis de la estabilidad del talud, ya que de esta manera se puede aumentar la producción conociendo de manera técnica las características del macizo rocoso. La cantera “El Porvenir” pueda maximizar así su producción de una manera segura sin un posible deslizamiento de material del talud.

2.3.14. Seguridad minera

Se busca mejorar la gestión de la seguridad utilizando las técnicas y herramientas para el análisis de la estabilidad del talud, ya que con esto se puede asegurar el bienestar

de los trabajadores dentro de la operación debido a que se tendrá el sustento técnico para asegurar la estabilidad del talud y poder trabajar cerca de este. La cantera “El Porvenir” no cuenta con un estudio de su talud, con lo cual no hay un sustento técnico para determinar el factor de seguridad (F.S.). Dicho estudio garantizará el análisis y sustento técnico para la estabilidad del talud y así mejorar la seguridad dentro de la cantera.

2.4. Hipótesis

Mediante la propuesta de una metodología que contemple un modelamiento geotécnico, se podrán determinar los mecanismos de fracturamiento y la estabilidad del talud de una cantera.

2.5. Variables

2.5.1. Variables dependientes

- Modelo de fallas
- Factor de seguridad

2.5.2. Variables independientes

- Macizo rocoso

Tabla 8

Variables dependientes e independientes

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTES	MACIZO ROCOSO	Discontinuidad	* Alteraciones y meteorización
		Propiedades estructurales	* Dirección y buzamiento
		Propiedades mecánicas del macizo rocoso	* RQD
			* RMR
DEPENDIENTES	MODELO DE FALLA		* GSI
			* Mapeo geológico y criterio visual
			* Brújula
			* Martillo Schmidt
DEPENDIENTES	FACTOR DE SEGURIDAD		* Tabla de clasificación GSI
			* Tablas Biewniaewski
			* Base de datos
			* Software Slide - método equilibrio limite
DEPENDIENTES	FACTOR DE SEGURIDAD		* Software Dips 7.0 – método cinemático
			* Análisis de Estabilidad de taludes Raghuvanshi

Nota: En la tabla se aprecian las principales variables a trabajar para el presente estudio. Fuente:

Elaboración propia

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. Alcances y Limitaciones

3.1.1. Alcances

El alcance de la investigación es el planteamiento y propuesta de una metodología para determinar los mecanismos de fracturamiento y la estabilidad en el talud, mediante un estudio geotécnico en la cantera “El Porvenir”, ubicada en el distrito Yura de la ciudad de Arequipa, Perú.

Además, se utilizará la estadística descriptiva, que utiliza la distribución de frecuencias y medidas de tendencia central, para demostrar los resultados que se obtengan luego del estudio de varios puntos del macizo rocoso.

3.1.2. Limitaciones

El presente estudio cuenta con las siguientes limitaciones:

- El estudio solo contempla el análisis geotécnico de la cantera “El Porvenir” y no de zonas aledañas a la cantera.
- No se cuenta con evidencias históricas o información acerca de los deslizamientos producidos anteriormente en la cantera.
- No se cuenta con un expediente técnico sobre el método de explotación elegido en la cantera y las medidas de seguridad correspondientes.

3.2. Tipo y Diseño de Investigación

3.2.1. Tipo de investigación

Este proyecto tiene como base una investigación de tipo aplicada, ya que se cuenta con el aporte de teorías científicas sobre el estudio de metodologías para determinar la estabilidad de taludes. (Tamayo, 2003)

Por otra parte, la investigación tiene un propósito práctico definido, que es ser aplicado en el talud de la cantera “El Porvenir” y así producir un cambio en la altura y/o inclinación del talud, de ser necesario, para mejorar la seguridad.

3.2.2. Diseño de la investigación

3.2.2.1. Investigación cualitativa

Se entiende como investigación cualitativa, cuya investigación buscar evaluar y describir datos no estandarizados. Ya que en el presente estudio se está analizando situaciones y características inherentes de la naturaleza. Para este tipo de investigación se utiliza muestras pequeñas no representativas, ya que su

propósito es obtener una comprensión más profunda de los hechos suscitados en la cantera. (Hernández et al., 2014)

3.2.2.2. Nivel de investigación

El presente estudio es no experimental, “ya que se observa el fenómeno tal como se da en su contexto natural para después analizarlos, no se manipulan deliberada o intencionalmente las variables independientes”. (Hernández et al., 2014)

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

El presente estudio se realiza, en la Cantera “El Porvenir”, ubicada en el distrito de Yura, provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. Siendo mi población los tres taludes que se vienen explotando, en la cantera “El Porvenir”.

3.3.2. Muestra

Se considera como la muestra del estudio, los puntos y familias de discontinuidades donde se llevarán a cabo los muestreos y pruebas para realizar el modelamiento geotécnico.

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos mediante la observación y pruebas que se realizará directamente en campo sobre el macizo rocoso, se estudiará el estado de las discontinuidades, la rugosidad, el relleno, abertura, alteración, presencia de agua, la resistencia a la compresión y su RQD. Esto se realizará mediante tablas geomecánicas de la clasificación de Biewniawski, martillo Schmidt, flexómetro, brújula Brunton y una libre de apuntes. Finalmente, el procesamiento y análisis de datos se realizará mediante el método cinemático con la ayuda del Software Dips V7.0 para poder interpretar la concentración de esfuerzos y distinguir el tipo de falla y el método de equilibrio límite con la ayuda del Software Slide para realizar el modelamiento de los taludes.

Tabla 9
Técnicas e instrumentos

TÉCNICA	DEFINICIÓN	INSTRUMENTOS
Observación	Se definirá los déficits y data técnica faltante a cerca del talud, de esta manera se definirá su geológica y calidad de macizo rocoso para así hacer una correcta evaluación geotécnica y definir el factor de seguridad del talud	*Registros previos de accidentes *Registros previos de control de talud *Tablas geomecánicas y geotécnicas *Análisis cinemáticos *Análisis de equilibrio límite

Notas: En la tabla se detalla la principal técnica a utilizar para la recolección de datos, así como los instrumentos a utilizar Fuente: Elaboración propia

Figura 17
Tabla de Bieniawski para la clasificación del macizo rocoso

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	<1
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%			
	Puntuación	20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas	> 2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25 - 125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
	Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables			
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12			
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60			

Nota: En la figura se muestra la tabla a utilizar para la recolección de datos en campo Fuente: Bieniawski (1989)

En la figura 18 se presenta los instrumento a utlizar para realizar el mapeo y las caracterizacion de los taludes en la cantera “El porvenir” los caules son.

- Martillo Schmidt: Nos permite medir la resistencia a la compresion de la roca o macizo.
- Brujula Brunton: Con esta brujula podemos determinar la orientacion y buzamineto asi como el Dip/Dip Direction.
- Bernier: Este instrumento nos ayuda a determinar la abertura de las juntas.
- Cinta métrica: Se utiliza para determinar la altura del talud y longitud de las discontinuidades.

Figura 18

Instrumentos Utilizados para completar la tabla de Bieniawski



Nota: En la figura se muestra los instrumentos a utilizar para realizar la caracterización del macizo rocoso Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Tabla del sistema de clasificación GSI

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000) Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una dirección desfavorable con respecto a la excavación, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteración como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambiar las condiciones por el cambio de humedad. La presión del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)				REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)				POBRE (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTER.) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO DE LIMO, PANIZO O BRECHA. (Rc 25 A 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)				MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA (MAS DE 5.0 CM) RELLENO DE ARCILLAS DE PANIZO. (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)			
 LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO)		LF/B				LF/R				LF/P				LF/MP			
 MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50-75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)		F/B				F/R				F/P				F/MP			
 MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)		MF/B				MF/R				MF/P				MF/MP			
 INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)		IF/B				IF/R				IF/P				IF/MP			

Notas: En la figura se muestra la tabla a utilizar para la caracterización del GSI Fuente: Marinos & Hoek (2000)

3.4.1. Software dips v7.0

Dips es un software elaborado para ejecutar análisis y observar conceptos estructurales, como si estuviéramos empleando una red estereográfica o estereoscópica. Este software facilita al usuario gestionar, analizar y observar todos los datos geológicamente estructurales como si se estuviera realizando los métodos de unos estereoscopios manuales. Asimismo, posee varias propiedades computacionales, como el análisis estadístico de las familias de orientación, orientación media y cálculo de confianza, la variación de conglomerados, análisis cinemático. (Geoxnet, 2018)

3.4.2. *Software slide*

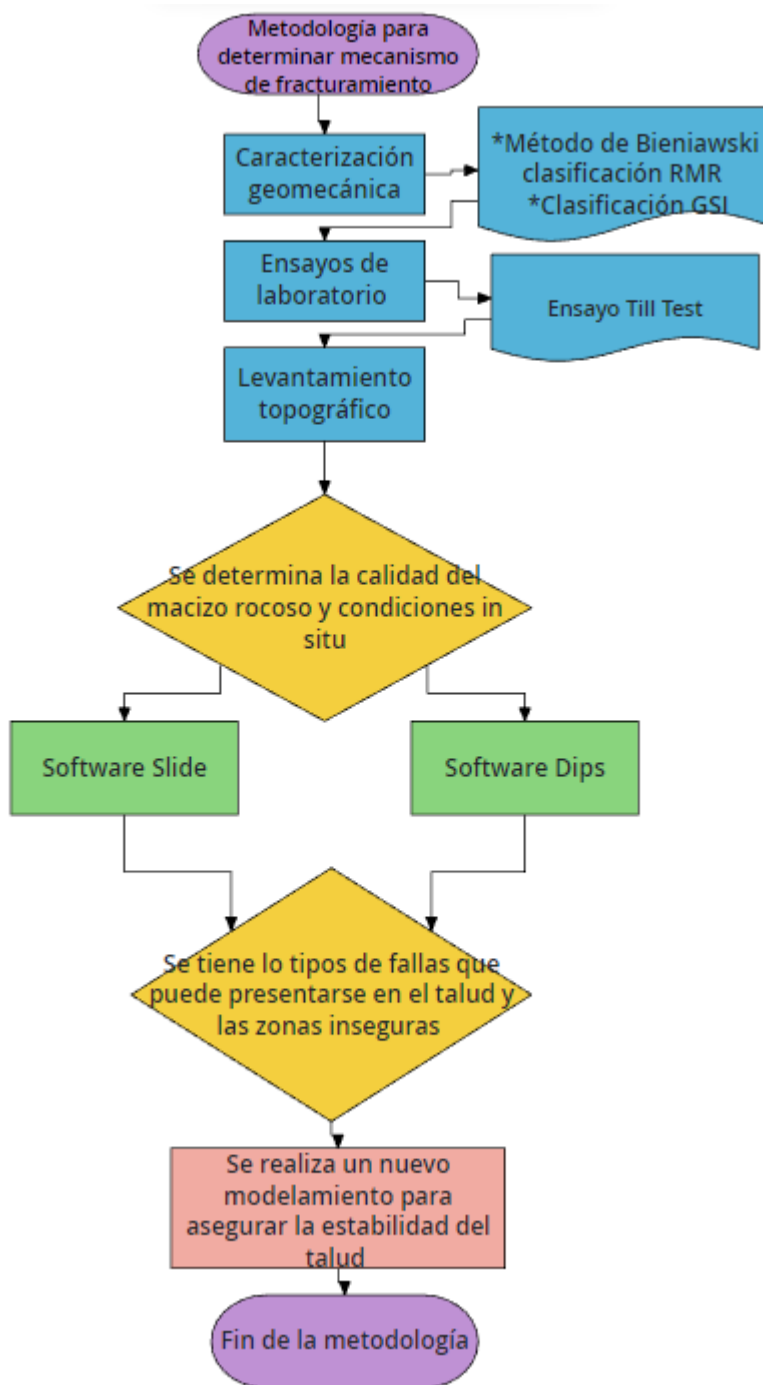
El Slide es un software que nos permite analizar la estabilidad de Taludes en 2D, que usa técnicas de equilibrio límite para realizar los cálculos de la estabilidad. Contiene adicionalmente análisis de presencia de aguas subterráneas por elementos finitos en estado permanente, y una facultades de análisis de sensibilidad, probabilísticos y análisis retrospectivos. Su principal campo de ejecución es la minería y obra civil es muy variado, habilitando valorar un gran número de problemas geotécnicos, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc. (Tierra y Tecnología, 2016)

3.4.3. *Aplicación de la metodología del modelamiento*

La presente metodología tiene como objetivo explicar y fundamentar desde el punto de vista técnico porque sucede el desprendimiento o deslizamiento de material de los taludes de la cantera mediante los siguientes procesos: Esta metodología inicia con una caracterización geomecánica de todo el macizo rocoso o la zona que se esté minando para lo cual se utiliza el método de Bieniawski para encontrar el RMR con las herramientas anteriormente expuestas en el acápite 3.4 métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y la clasificación GSI, luego pasamos a usar los ensayos de laboratorio para hacer la prueba Tilt Test y de esta forma tener el ángulo de reposo del material importante para los cálculos más adelante, luego procedemos con un levantamiento topográfico de toda la cantera y determinar las características de todo el macizo rocoso y también las condiciones físicas actuales de la cantera, posteriormente se procede a la utilización de los software Dips y Slide con lo cual se realizara el análisis de los datos y nos facilitara determinar los mecanismos de fracturamiento que se puede presentar en la cantera y que zona es la menos segura y así finalmente procedemos a realizar un nuevo modelamiento de la cantera para así mitigar de esta forma las activación o presencia de las fallas.

Figura 20

Esquema de la Metodología



Nota: En la figura se muestra el proceso que sigue la metodología para determinar los mecanismos de fracturamiento. Fuente: Elaboración propia

3.5. Análisis Geotécnico

Para realizar el análisis geotécnico se optó por dividir la cantera en 3 zonas, debido a que la explotación de la cantera se hace de esta forma, la explotación el primer día es en la zona 1, el segundo día es en la zona 2 y el tercer día en la zona 3 y así repetitivamente, nunca se realiza la explotación de 2 zonas en un mismo día y así poder realizar la caracterización geotécnica de una manera más específica y por taludes. Y finalmente realizar la caracterización geotécnica con base en los principios de Biewniawski, ensayos de laboratorio para el ángulo de fricción, la resistencia a la compresión y apoyados con los Software para distinguir la forma de activación de la falla y tomar medidas preventivas adecuadas.

A continuación, se detalla la distribución de la cantera por zonas, de acuerdo a, cómo van realizando su explotación.

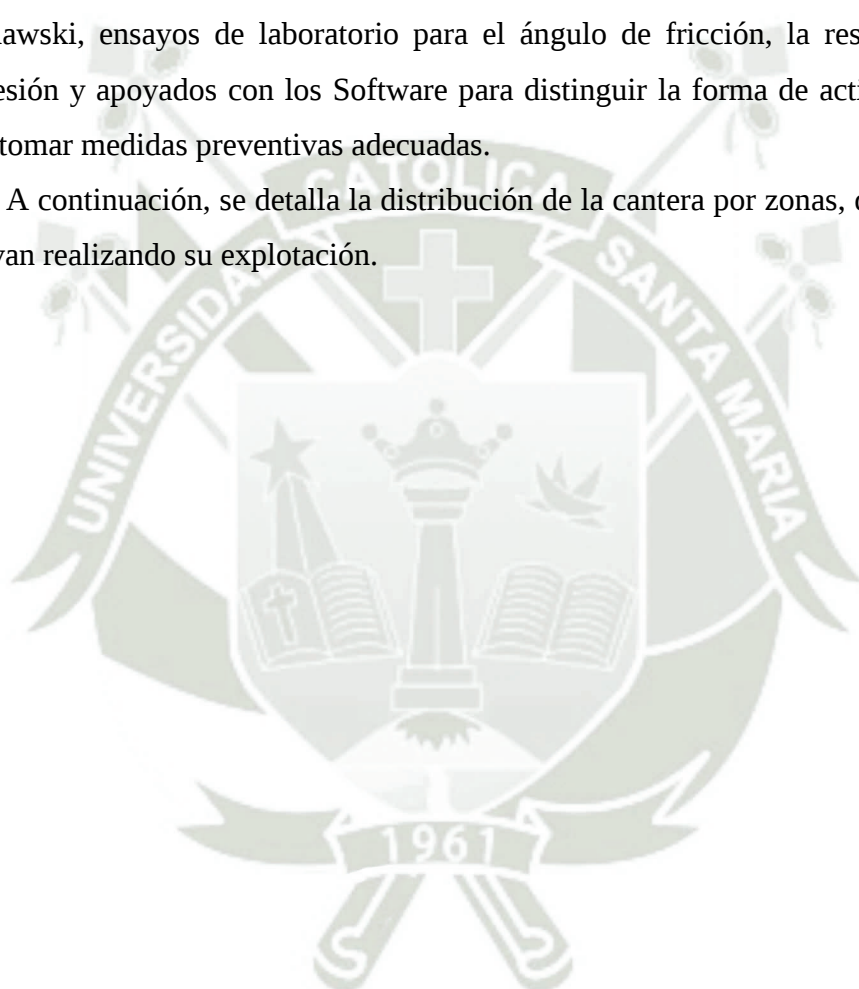
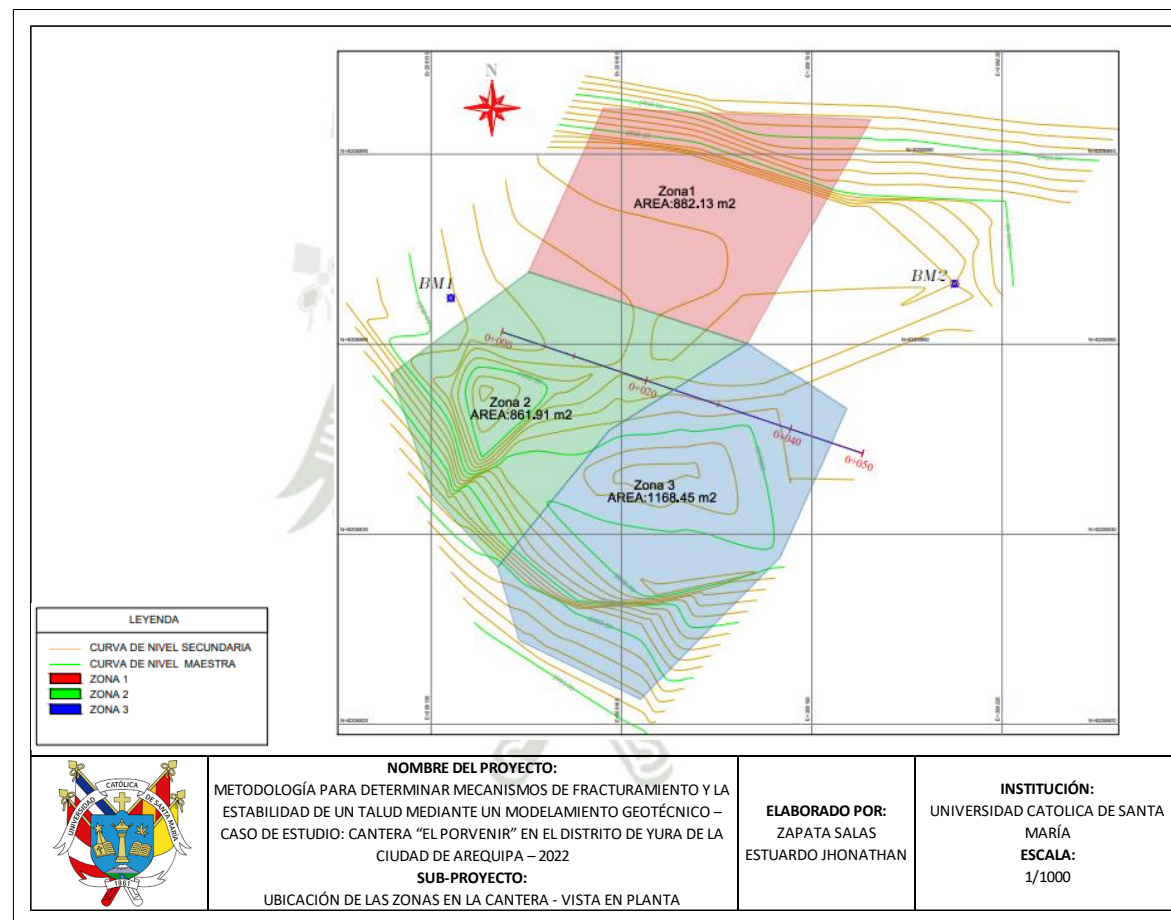


Figura 21

Distribución en zonas de la Cantera “El Porvenir”



Nota: En la figura se muestra el levantamiento topográfico de la cantera “El Provenir” y la distribución de la cantera en zonas de acuerdo a su explotación Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Punto BM-1A para realizar el levantamiento topográfico



Nota: En la figura se muestra el punto con el que se abre la cuadrícula para el levantamiento de la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Punto BM-2B para realizar el levantamiento topográfico



Nota: En la figura se muestra el punto con el que se cierra la cuadrícula para el levantamiento de la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

3.6. Plan de Análisis Estadístico de los Datos

Este análisis se realizará con la ayuda de los Software Dips y el Slide. Ya que gracias a estos softwares se puede obtener una agrupación estadística detallada, de tal forma trabajar y analizar la información de manera más ordenada.

Gracias al Slide, el análisis estadístico nos permite obtener la distribución de esfuerzos por polos y una posible falla y mediante el análisis estadístico del Slide con los datos obtenidos en campo, su correcto modelamiento y factor de seguridad.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Ubicación

La cantera El Porvenir se encuentra en el distrito de Yura en el Cerro Hualhuani con las coordenadas UTM 209713.1 al este y 8206363.4 al norte, a 37 Km al noroeste de la ciudad de Arequipa. El acceso es de 29 Km por carretera afirmada, luego 2 Km por carretera afirmada por la ruta al Gramadal y para completar 6 Km por trocha hasta llegar a la cantera. En la figura 25 se muestra la ubicación exacta de la cantera y adicionalmente en la figura 26 se muestra un mapa referencial de cómo llegar a la cantera “El Porvenir” desde las aguas termales en el distrito de Yura

Figura 24

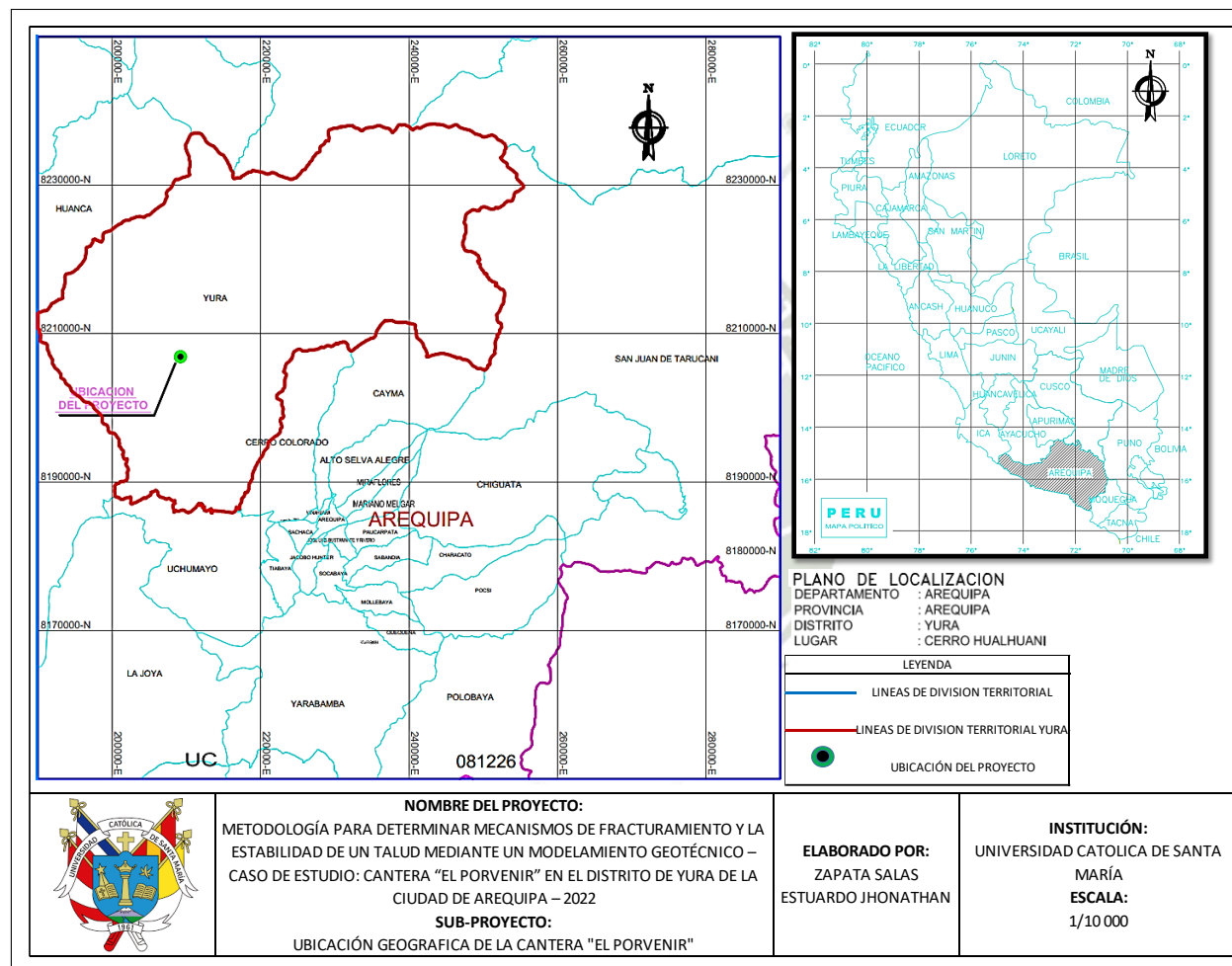
Realizando el levantamiento topográfico



Nota: En la imagen se muestra el proceso del levantamiento topográfico Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Ubicación de la cantera El Porvenir



Nota: En la figura se muestra la ubicación geográfica de la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Estación total



Nota: En la imagen se muestra la estación total usada para el levantamiento topográfico Fuente: Elaboración propia

4.2. Caracterización Geológica

El método para utilizar para la caracterización es la de mapeo superficial de estructuras expuestas, para este método se realiza una descripción cuantitativa de las estructuras que controlan la estabilidad del talud y la falla, para esto se utilizara el scan line (mapeo lineal), se optó por este método para tener mayor cantidad y representatividad de datos.

4.3. Geología Local

La cantera “El Porvenir” localizada en el distrito de Yura, de la ciudad de Arequipa, está compuesta en su mayor parte por arenisca cuarzosa, color blanco, con grano fino a medio y acompañadas por óxido de hierro, ligeramente alteradas y un alto grado de compactación. Adicional a esto, los estratos de arenisca se encuentran intercalados con paquetes de lutitas.

Las areniscas de este afloramiento pertenecen a la formación Labra del grupo Yura estratigráficamente.

4.3.1. Zona 1

Primero se realizó el estudio de las discontinuidades, para lo cual se tomó 4 familias de discontinuidades o planos de debilidad para la muestra y tomando en cada familia de discontinuidad 15 puntos, haciendo un total de 60 puntos en la zona 1, los

cuales de muestran en el Anexo 1, con la ayuda del Software Dips se procesó la información (Dip/Dip Direction) para poder visualizar la concentración de polos.

Figura 27

Dip y Dip Direction en la Zona 1 con la brújula Brunton

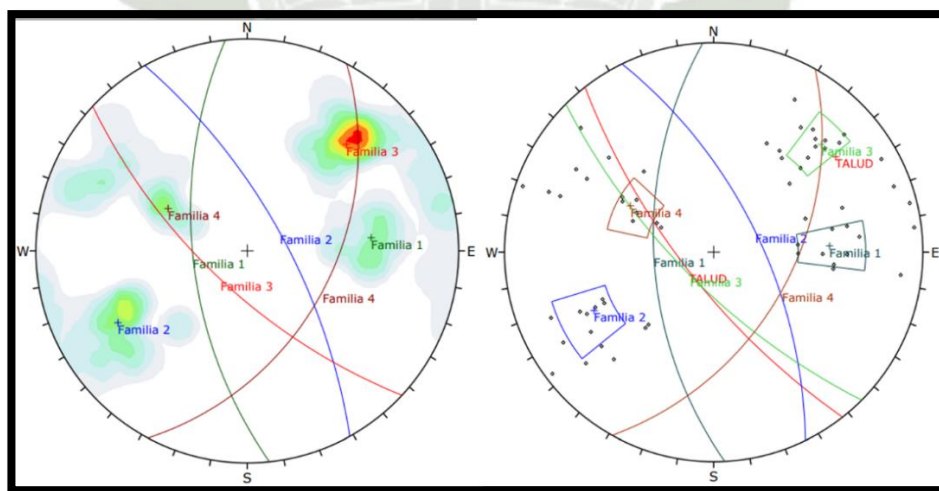


Nota: En la figura se muestra el uso de la brújula Brunton para el Dip y Dip Direction de las diaclasas

Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Familias de discontinuidades en la Zona 1



Nota: En la figura se observa la concentración de esfuerzos en la cantera “El Provenir” Fuente:

Elaboración propia con el Software Dips

En la figura 28 se puede visualizar como están la distribución de Dip/Dip Direction en las familias del talud y el criterio para agruparlas y determinar las concentraciones de esfuerzos y deducimos que la mayor concentración de esfuerzos está

al Noreste en la zona 1, para ser más preciso la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la familia 3 de la zona 1, lo cual se puede interpretar que esta es la familia donde podríamos llegar a tener un mayor problema o índice de presencia de fracturamiento por algún tipo de falla. También se cuenta con la orientación de cada familia, la familia 1 con la siguiente orientación (61/264), la familia 2 con la siguiente orientación (70/61), la familia 3 con la siguiente orientación (69/223) y la familia 4 representada de color guinda con la siguiente orientación (46/118).

4.3.1.1. Clasificación de Biewniawski zona 1

Se tomó como base la clasificación RMR de Biewniawski, las pruebas de resistencia de compresión de la roca se realizaron con la ayuda de un martillo Schmidt en campo, para la determinación del RQD se tomó los parámetros de Palmstrom, con una prueba Tilt Test se logró hallar el ángulo de fricción y la tabla de clasificación del GSI de Marinos y Hoek, para un mapeo más visual de las estructuras en la zona 1.

Se realizaron un total de 30 ensayos con el martillo Schmidt para la determinación de la resistencia a la compresión de la cantera “El Porvenir”, todos los resultados adjuntos en el anexo 2, arrojándonos como resultados los siguientes datos.

Figura 29

Ensayo de compresión simple en la zona 1 con el martillo Schmidt



Nota: En la figura se muestra la ejecución del ensayo de compresión simple Fuente: Elaboración propia

Tabla 10
Resistencia a la compresión (MPa) en la Zona 1

	RESISTENCIA MAXIMA(MPa)	RESISTENCIA MINIMA(MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO(MPa)
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	40	32	36

Nota: En la tabla se muestra los resultados de los ensayos realizados de resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

Para la determinar el RQD, se realizó en un metro cubico, es decir se realizó un conteo de fisuras en los 3 ejes principal tanto en “X”, “Y” y “Z”. Usando la fórmula de Palmstrom de la siguiente manera.

$$Jv = \frac{JvX}{1} + \frac{JvY}{1} + \frac{JvZ}{1}$$

$$Jv = \frac{4}{1} + \frac{6}{1} + \frac{4}{1}$$

$$Jv = 14$$

$$RQD = 115 - 3.3 (Jv)$$

$$RQD = 115 - 3.3 (14)$$

$$RQD = 68.8$$

El análisis de datos se realizó en base a una media aritmética con los datos obtenidos en campo, dicho mapeo se detalla en el anexo 2 y en el anexo 3 tenemos el valor numérico para el análisis y resultados. Para el estado de las discontinuidades se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 11
Estado de las Discontinuidades en la Zona 1

PARAMETRO	RESULTADO	VALORAZION
LONGITUD	5 m	2.5
ABERTURA	0.6 mm	4.2
RUGOSIDAD	Rugosa	4.6
RELLENO	< 5 mm	3.8
ALTERACION	Ligeramente	5
TOTAL	Ligeramente rugoso	20.1

Nota: En la tabla se muestra los valores de las diaclasas de acuerdo con sus estados o características in situ Fuente: Bieniawski (1979).

Con los datos anteriormente hallados proseguimos con encontrar el RMR para la Zona 1 en la Cantera “El Porvenir”, para lo cual seguiremos usando como base la clasificación y principios de Bieniawski, con lo cual se obtuvieron los siguientes datos.

Figura 30

Separación de las juntas en la Zona 1



Nota: En esta imagen se aprecia el estado de las juntas y su separación in situ Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12

Clasificación RMR para la Zona 1

PARAMETRO	RESULTADO	VALORACION
RESISTENCIA (MPa)	36	4
RQD	68.8	13
SEPARACION JUNTAS	1.05	14
ESTADO DIACLASAS	LIGERAMENTE RUGOSO	20.1
PRESENCIA DE AGUA	SECO	15
TOTAL		66.1

Nota: En esta tabla se muestra los valores obtenidos para la caracterización RMR Fuente: Bieniawski (1979).

Una vez realizado el cálculo del RMR en la zona 1 obteniendo como resultado el valor de 67, por consiguiente, según la clasificación de Bieniawski, nos dice que este macizo rocoso es de una Buena calidad. Ahora se prosigue con la identificación del RMR ajustado, para esto se toma en cuenta el buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra. Obteniendo los siguientes valores en el mapeo

Tabla 13
Buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra en la Zona 1

Dirección al eje de la obra		Valoración
Paralelo	A favor del 39° buzamiento Favorable	-25

Nota: En esta tabla se muestra la orientación de las diaclasas en función al eje de la obra y su valor

Fuente: Bieniawski (1979)

Una vez obtenido la valoración del buzamiento de la diaclasa, se procede a encontrar el RMR ajustado para la Zona 1 de la cantera “El Porvenir” y se realiza de la siguiente manera.

$$RMR \text{ Basico} = 4 + 13 + 14 + 20.1 + 15$$

$$RMR \text{ Basico} = 66.1$$

$$RMR \text{ Ajustado} = RMR \text{ Basico} + \text{Buzamiento de las diaclasas}$$

$$RMR \text{ Ajustado} = 66.1 + (-25)$$

$$RMR \text{ Ajustado} = 41.1$$

Con esto tenemos que el RMR básico es de 66.1, mientras que el RMR ajustado es de 41.1, para la zona 1 de la cantera “El Porvenir”. Ahora pasaremos a definir la calidad del macizo rocoso por medio de las tablas del GSI, tomando en consideración el mapeo realizado en campo, la resistencia a la roca en MPa y el RQD obtenidos anteriormente.

Mediante el mapeo realizado en campo tenemos los siguientes datos para el análisis.

- Según la estructura: Es una roca moderadamente fracturada con un RQD de 68.8 %.
- Según la calidad de la roca: Es una roca mala o pobre, ya que la resistencia a la compresión de la roca es de 36 MPa.

Con estos datos concluimos que para la clasificación del GSI la zona 1 de la cantera “El Porvenir” en el rango de F/P, ósea, su valor está oscilando entre los 40 y 50, por lo cual su clasificación sería de Clase III o Roca regular.

Ahora procederemos a hallar el ángulo de fricción mediante la prueba de tilt test de Zhang, el cual se realizó en un laboratorio, con lo cual obtuvimos el ángulo α para reemplazarlo en la ecuación de la siguiente manera. En la figura 31 se muestra cómo se realiza en ensayo tilt test en laboratorio.

Figura 31

Ensayo Tilt Test



Nota: En la figura se muestra cómo se realiza un ensayo tilt test en laboratorio Fuente: Elaboración propia

$$\phi b = \arctan(1.155 \tan \alpha)$$

$$\phi b = \arctan(1.155 \tan 35)$$

$$\phi b = \arctan(1.155 * 0.700207)$$

$$\phi b = \arctan(0.80873908)$$

$$\phi b = 38.96^\circ$$

4.3.2. Zona 2

Primero se realizó el estudio de las discontinuidades, para lo cual se tomó 4 familias de discontinuidades o planos de debilidad para la muestra y tomando en cada familia de discontinuidad 15 puntos, haciendo un total de 60 puntos en la zona 2, los cuales se muestran en el Anexo 1, con la ayuda del Software Dips se procesó la información (Dip/Dip Direction) para poder visualizar la concentración de polos.

Figura 32

Dip y Dip Direction en la Zona 2 con la brújula Brunton

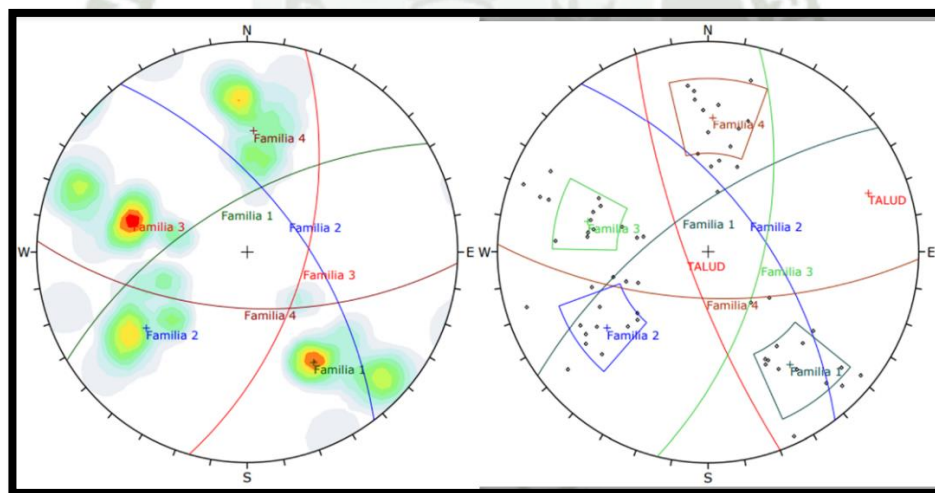


Nota: En la figura se muestra el uso de la brújula Brunton para el Dip y Dip Direction de las diaclasas

Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Familias de discontinuidades en la Zona 2



Nota: En la figura se observa la concentración de esfuerzos en la cantera "El Provenir" Fuente: Elaboración propia con el Software Dips

En la figura 32 se puede visualizar como están la distribución de Dip/Dip Direction en las familias del talud y el criterio para agruparlas y determinar las concentraciones de esfuerzos y deducimos que la mayor concentración de esfuerzos está al Noroeste en la zona 2, para ser más preciso la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la familia 3 y 1 de la zona 2, lo cual se puede interpretar que estas son las familias donde podríamos llegar a tener un mayor problema o índice de presencia de

fracturamiento por algún tipo de falla. También se cuenta con la orientación de cada familia, la familia 1 con la siguiente orientación (63/329), la familia 2 con la siguiente orientación (62/53), la familia 3 con la siguiente orientación (59/109) y la familia 4 representada de color guinda con la siguiente orientación (60/183).

4.3.2.1. Clasificación de Biewniawski zona 2

Se tomó como base la clasificación RMR de Biewniawski, las pruebas de resistencia de compresión de la roca se realizaron con la ayuda de un martillo Schmidt en campo, para la determinación del RQD se tomó los parámetros de Palmstrom, con una prueba Tilt Test se logró hallar el ángulo de fricción y la tabla de clasificación del GSI de Marinos y Hoek para un mapeo más visual de las estructuras en la zona 2.

Se realizaron un total de 30 ensayos con el martillo Schmidt para la determinación de la resistencia a la compresión de la cantera “El Porvenir” todos los resultados adjuntos en el Anexo 4, arrojándonos como resultados los siguientes datos.

Figura 34

Ensayo de compresión simple en la zona 2 con el martillo Schmidt



Nota: En la figura se muestra la ejecución del ensayo de compresión simple Fuente: Elaboración propia

Tabla 14
Resistencia a la compresión (MPa) en la Zona 2

	RESISTENCIA MAXIMA(MPa)	RESISTENCIA MINIMA(MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO(MPa)
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	38	32	35

Nota: En la tabla se muestra los resultados de los ensayos realizados de resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

Para la determinar el RQD igual que en la zona anterior, se realizó en un metro cubico, es decir se realizó un conteo de fisuras en los 3 ejes principal tanto en “X”, “Y” y “Z”. Usando la fórmula de Palmstrom de la siguiente manera.

$$Jv = \frac{JvX}{1} + \frac{JvY}{1} + \frac{JvZ}{1}$$

$$Jv = \frac{5}{1} + \frac{6}{1} + \frac{4}{1}$$

$$Jv = 15$$

$$RQD = 115 - 3.3 (Jv)$$

$$RQD = 115 - 3.3 (15)$$

$$RQD = 65.5$$

El análisis de datos se realizó en base a una media aritmética con los datos obtenidos en campo, dicho mapeo se detalla en el anexo 4 y en el anexo 5 tenemos el valor numérico para el análisis y resultados. Para el estado de las discontinuidades se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 15
Estado de las Discontinuidades en la Zona 2

PARAMETRO	RESULTADO	VALORAZION
LONGITUD	4 m	2.4
ABERTURA	0.8 mm	4.2
RUGOSIDAD	Rugosa	4.5
RELLENO	Ninguno	5.4
ALTERACION	Ligeramente	5
TOTAL	Ligeramente rugoso	21.4

Nota: En la tabla se muestra los valores de las diaclasas de acuerdo con sus estados o características in situ
Fuente: Bieniawski (1979)

Figura 35
Verificación de la abertura de las juntas en la zona 2 con el Bernier


Nota: En esta imagen se aprecia la abertura de las juntas utilizando el Bernier Fuente: Elaboración Propia

De igual manera como se realizó en la Zona 1 se procede a realizar los cálculos para el RMR en la Zona 2 en la Cantera “El Porvenir”, para lo cual seguiremos usando como base la clasificación y principios de Bieniawski, con lo cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 16
Clasificación RMR para la Zona 2

PARAMETRO	RESULTADO	VALORACION
RESISTENCIA (MPa)	35	4
RQD	65.5	13
SEPARACION JUNTAS	1.5	15.5
ESTADO DIACLASAS	LIGERAMENTE RUGOSO	21.4
PRESENCIA DE AGUA	SECO	15
TOTAL		68.9

Nota: En esta tabla se muestra los valores obtenidos para la caracterización RMR Fuente: Bieniawski (1979)

Ahora se prosigue con la identificación del RMR ajustado, para esto se toma en cuenta el buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra. Obteniendo los siguientes valores en el mapeo.

Tabla 17
Buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra en la Zona 2

Dirección al eje de la obra		Valoración
Paralelo	A favor del 30° buzamiento Medio	-25

Nota: En esta tabla se muestra la orientación de las diaclasas en función al eje de la obra y su valor

Fuente: Bieniawski (1979)

Ahora procedemos a calcular el RMR ajustado y lo realizamos de la misma manera que en la zona anterior.

$$RMR \text{ Basico} = 4 + 13 + 15.5 + 21.4 + 15$$

$$RMR \text{ Basico} = 68.9$$

$$RMR \text{ Ajustado} = RMR \text{ Basico} + \text{Buzamiento de las diaclasas}$$

$$RMR \text{ Ajustado} = 68.9 + (-25)$$

$$RMR \text{ Ajustado} = 43.9$$

Con esto tenemos que el RMR básico es de 68.9, mientras que el RMR ajustado es de 43.9, para la zona 2 de la cantera “El Porvenir”. Ahora pasaremos a definir la calidad del macizo rocoso por medio de las tablas del GSI, tomando en consideración el mapeo realizado en campo, la resistencia a la roca en MPa y el RQD obtenidos anteriormente.

Mediante el mapeo realizado en campo tenemos los siguientes datos para el análisis.

- Según la estructura: Es una roca moderadamente fracturada con un RQD de 65.5 %.
- Según la calidad de la roca: Es una roca mala o pobre, ya que la resistencia a la compresión de la roca es de 35 MPa.

Con estos datos concluimos que para la clasificación del GSI la zona 1 de la cantera “El Porvenir” en el rango de F/P, ósea, su valor está oscilando entre los 40 y 50, por lo cual su clasificación seria de Clase III o Roca regular.

Ahora procederemos a hallar el ángulo de fricción mediante la prueba de tilt test de Zhang como se muestra en la figura 36, el cual se realizó en un laboratorio, con lo cual obtuvimos el ángulo α para reemplazarlo en la ecuación de la siguiente manera.

Figura 36

Ensayo Tilt Test zona 2



Nota: En la figura se muestra cómo se realiza un ensayo tilt test para la zona 2 en laboratorio Fuente: Elaboración propia

$$\phi b = \arct(1.155 \tan \alpha)$$

$$\phi b = \arct(1.155 \tan 42)$$

$$\phi b = \arct(1.155 * 0.900404)$$

$$\phi b = \arct(1.03996667)$$

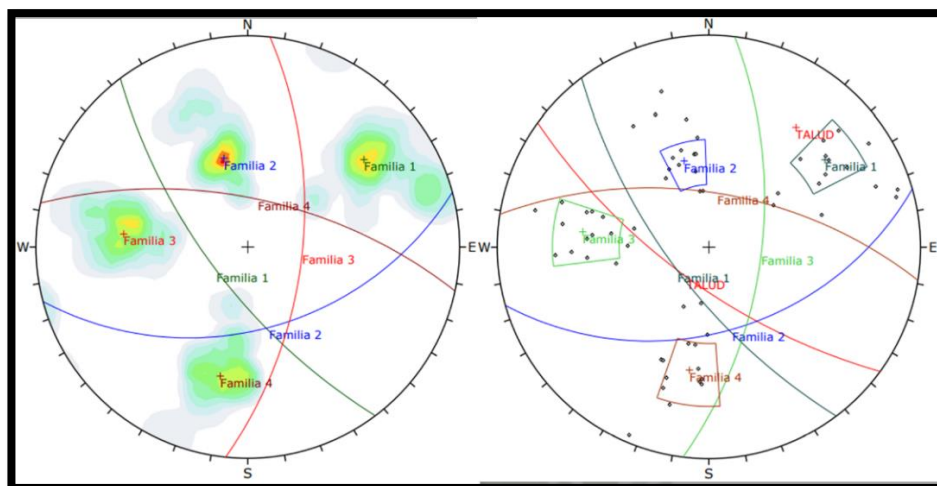
$$\phi b = 46.12^\circ$$

4.3.3. Zona 3

Primero se realizó el estudio de las discontinuidades, para lo cual se tomó 4 familias de discontinuidades o planos de debilidad para la muestra y tomando en cada familia de discontinuidad 15 puntos, haciendo un total de 60 puntos en la zona 3, los cuales se muestran en el Anexo 1, con la ayuda del Software Dips se procesó la información (Dip/Dip Direction) para poder visualizar la concentración de polos.

Figura 37

Familias de discontinuidades en la Zona 3



Nota: En la figura se observa la concentración de esfuerzos en la cantera “El Provenir Fuente: Elaboración propia con el Software Dips

En la figura 35 se puede visualizar como están la distribución de Dip/Dip Direction en las familias del talud y el criterio para agruparlas y determinar las concentraciones de esfuerzos y deducimos que la mayor concentración de esfuerzos está al Noroeste en la zona 3, para ser más preciso la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la familia 2 de la zona 3, lo cual se puede interpretar que esta es la familia donde podríamos llegar a tener un mayor problema o índice de presencia de fracturamiento por algún tipo de falla. También se cuenta con la orientación de cada familia, la familia 1 con la siguiente orientación (63/233), la familia 2 con la siguiente orientación (47/165), la familia 3 con la siguiente orientación (61/96) y la familia 4 representada de color guinda con la siguiente orientación (64/12).

4.3.3.1. Clasificación de Biewniawski zona 3

Se tomó como base la clasificación RMR de Biewniawski, las pruebas de resistencia de compresión de la roca se realizaron con la ayuda de un martillo Schmidt en campo, para la determinación del RQD se tomó los parámetros de Palmstrom, con una prueba Tilt Test se logró hallar el ángulo de fricción y la tabla de clasificación del GSI de Marinos y Hoek para un mapeo más visual de las estructuras en la zona 3.

Se realizaron un total de 30 ensayos con el martillo Schmidt para la determinación de la resistencia a la compresión de la cantera “El Porvenir” todos

los resultados adjuntos en el Anexo 6, arrojándonos como resultados los siguientes datos.

Figura 38

Ensayo de compresión simple en la zona 3 con el martillo Schmidt



Nota: En la figura se muestra la ejecución del ensayo de compresión simple Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Resistencia a la compresión (MPa) en la Zona 3

	RESISTENCIA MAXIMA(MPa)	RESISTENCIA MINIMA(MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO(MPa)
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	44	30	37

Nota: En la tabla se muestra los resultados de los ensayos realizados de resistencia a la compresión

Fuente: Bieniawski (1979)

Para la determinar el RQD igual que en la zona anterior, se realizó en un metro cubico, es decir se realizó un conteo de fisuras en los 3 ejes principal tanto en “X”, “Y” y “Z”. Usando la fórmula de Palmstrom de la siguiente manera.

$$Jv = \frac{JvX}{1} + \frac{JvY}{1} + \frac{JvZ}{1}$$

$$Jv = \frac{3}{1} + \frac{6}{1} + \frac{3}{1}$$

$$Jv = 12$$

$$RQD = 115 - 3.3 (Jv)$$

$$RQD = 115 - 3.3 (12)$$

$$RQD = 75.4$$

El análisis de datos se realizó en base a una media aritmética con los datos obtenidos en campo, dicho mapeo se detalla en el anexo 6 y en el anexo 7 tenemos el valor numérico para el análisis y resultados. Para el estado de las discontinuidades se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 19

Estado de las Discontinuidades en la Zona 3

PARAMETRO	RESULTADO	VALORACION
LONGITUD	4 m	2.4
ABERTURA	0.8 mm	4
RUGOSIDAD	Rugosa	4.6
RELLENO	Ninguno	5.2
ALTERACION	Ligeramente	5
TOTAL	Ligeramente rugoso	21.2

Nota: En la tabla se muestra los valores de las diaclasas de acuerdo a sus estados o características in situ Fuente: Bieniawski (1979)

Figura 39

Verificación de la abertura de las juntas en la zona 3 con el Bernier



Nota: En esta imagen se aprecia la abertura de las juntas utilizando el Bernier Fuente: Elaboración propia

De igual manera como se realizó en la Zona 1 se procede a realizar los cálculos para el RMR en la Zona 2 en la Cantera “El Porvenir”, para lo cual seguiremos usando como base la clasificación y principios de Bieniawski, con lo cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 20
Clasificación RMR para la Zona 3

PARAMETRO	RESULTADO	VALORACION
RESISTENCIA (MPa)	37	4
RQD	75.4	17
SEPARACION JUNTAS	1.5	15.7
ESTADO DIACLASAS	LIGERAMENTE RUGOSO	21.2
PRESENCIA DE AGUA	SECO	15
TOTAL		72.9

Nota: En esta tabla se muestra los valores obtenidos para la caracterización RMR Fuente: Bieniawski (1979)

Ahora se prosigue con la identificación del RMR ajustado, para esto se toma en cuenta el buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra. Obteniendo los siguientes valores en el mapeo.

Tabla 21
Buzamiento de las diaclasas con respecto al eje de la obra en la Zona 3

Dirección al eje de la obra		Valoración
Paralelo	A favor del 40° buzamiento Medio	-25

Nota: En esta tabla se muestra la orientación de las diaclasas en función al eje de la obra y su valor Fuente: Bieniawski (1979)

Ahora procedemos a calcular el RMR ajustado y lo realizamos de la misma manera que en la zona anterior.

$$RMR \text{ Basico} = 4 + 17 + 15.7 + 21.2 + 15$$

$$RMR \text{ Basico} = 72.9$$

$$RMR \text{ Ajustado} = RMR \text{ Basico} + \text{Buzamiento de las diaclasas}$$

$$RMR \text{ Ajustado} = 72.9 + (-25)$$

$$RMR \text{ Ajustado} = 47.9$$

Con esto tenemos que el RMR básico es de 72.9, mientras que el RMR ajustado es de 47.9, para la zona 3 de la cantera “El Porvenir”. Ahora pasaremos a definir la calidad del macizo rocoso por medio de las tablas del GSI, tomando en consideración el mapeo realizado en campo, la resistencia a la roca en MPa y el RQD obtenidos anteriormente.

Mediante el mapeo realizado en campo tenemos los siguientes datos para el análisis.

- Según la estructura: Es una roca moderadamente fracturada con un RQD de 75.4 %.
- Según la calidad de la roca: Es una roca mala o pobre, ya que la resistencia a la compresión de la roca es de 37 MPa.

Con estos datos concluimos que para la clasificación del GSI la zona 1 de la cantera “El Porvenir” en el rango de LF/P, ósea, su valor está oscilando entre los 50 y 60, por lo cual su clasificación seria de Clase III o Roca regular.

Ahora procederemos a hallar el ángulo de fricción mediante la prueba de tilt test de Zhang como se muestra en la figura 40, el cual se realizó en un laboratorio, con lo cual obtuvimos el ángulo α para reemplazarlo en la ecuación de la siguiente manera.

Figura 40

Ensayo Tilt Test zona 3



Nota: En la figura se muestra cómo se realiza un ensayo tilt test para la zona 3 en laboratorio Fuente:
Elaboración propia

$$\phi b = \arctan(1.155 \tan \alpha)$$

$$\phi b = \arctan(1.155 \tan 40)$$

$$\phi b = \arctan(1.155 * 0.839099)$$

$$\phi b = \arctan(0.96916004)$$

$$\phi b = 44.10^\circ$$

4.4. Análisis de Estabilidad Del Talud

Para el análisis de la estabilidad del talud se tomará como base el método equilibrio límite y adicionalmente el método estereográfico o cinemático explicado en el capítulo 3 del presente trabajo, estos apoyados con los Software Slide y Dips respectivamente.

Este análisis tiene como finalidad conocer las condiciones in situ de la cantera como la estabilidad de sus taludes, el tipo de falla que puede presentarse. De esta forma, realizar el nuevo diseño de la cantera con los estándares de seguridad óptimos para esta.

4.4.1. Análisis de estabilidad de talud por el método estereográfico o cinemático

Este análisis por este método es de suma importancia, ya que nos permitirá determinar los mecanismos de fracturamiento que puede presentarse o activarse en los taludes de la cantera El Porvenir. Estas fallas pueden ser por deslizamiento de bloques o planos, generación de cuñas o por vuelcos. Esto se logrará con la ayuda del Software Dips, con lo cual se analizan las 3 zonas y las 4 familias dentro de cada zona y los datos a usar dentro del Software son:

Tabla 22
Datos para análisis cinemático mediante el Software Dips

ZONA	FAMILIA	DIP	DIP DIR	ALTURA DEL TALUD (M)	ANGULO DE FRICCION (°)	ANGULO TALUD (SLOP DIP °)	SLOP DIP DIR (°)	LATERAL LIMIT
ZONA 1	1	58	267	22	39	73	232	20
	2	62	64	22	39	73	232	20
	3	72	225	22	39	73	232	20
	4	49	119	22	39	73	232	20
ZONA 2	1	67	324	25	46	78	250	20
	2	62	53	25	46	78	250	20
	3	61	104	25	46	78	250	20
	4	65	182	25	46	78	250	20
ZONA 3	1	69	233	19	44	70	216	20
	2	46	164	19	44	70	216	20
	3	62	97	19	44	70	216	20
	4	61	9	19	44	70	216	20

Nota: En esta tabla se muestra los datos utilizados para el análisis cinemático para el talud en la cantera "El Porvenir" Fuente: Elaboración propia

Con este método no se puede realizar la determinación del Factor de seguridad (FS)

4.4.1.1. Rotura planar o deslizamiento de bloques

Para la identificación la posible presencia de una rotura planar, en las 3 zonas de la cantera se tomó los datos en la tabla 20 para trabajar dentro del Software Dips, con esto se puede reconocer que familias dentro de las 3 zonas están expuestas a este tipo de falla y cuanto le afecta a cada zona. Este resultado se expresa en porcentaje en la tabla 22 expuesta a continuación. Como se aprecia en la tabla 23, se identifica que en la zona 1 la mayor concentración de esfuerzos y porcentaje de presencia de una rotura planar está en la familia 3 como se muestra en la figura 38, en la zona 2 se muestra que no cuenta con una familia critica ni porcentaje de presencia de falla y en la zona 3 se muestra que la mayor concentración de esfuerzos y porcentaje de presencia de rotura planar está en la familia 1 como se muestra en la figura 40.

Tabla 23

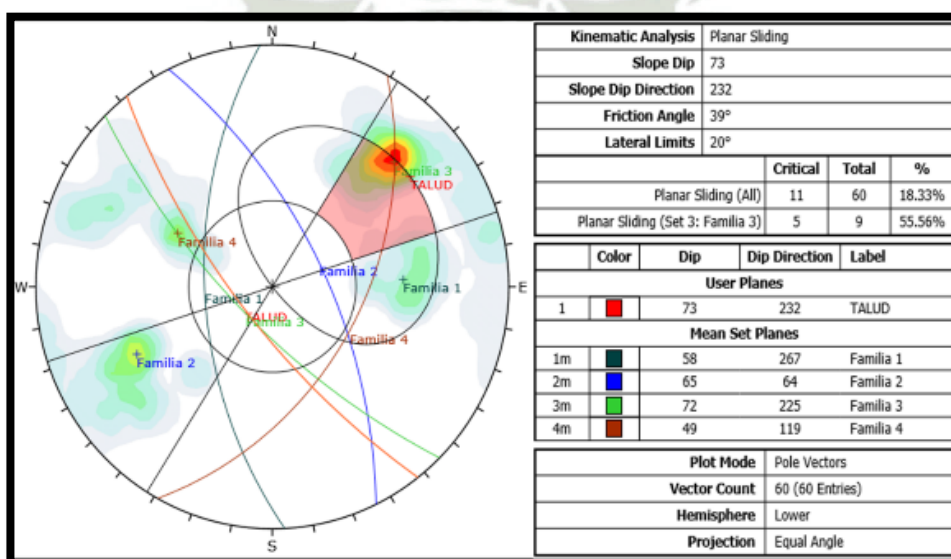
Resultados de rotura planar por zona y familia critica

ZONA		PORCENTAJE	FAMILIA CRITICA	PORCENTAJE
ZONA 1	Total	18.33%	Familia 3	55.56%
ZONA 2	Total	0%	-	-
ZONA 3	Total	3.33%	Familia 1	12.50%

Nota: En la tabla se visualiza el porcentaje de presencia de falla planar en el talud de la cantera “El Provenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Rotura Planar Zona 1 Software Dips

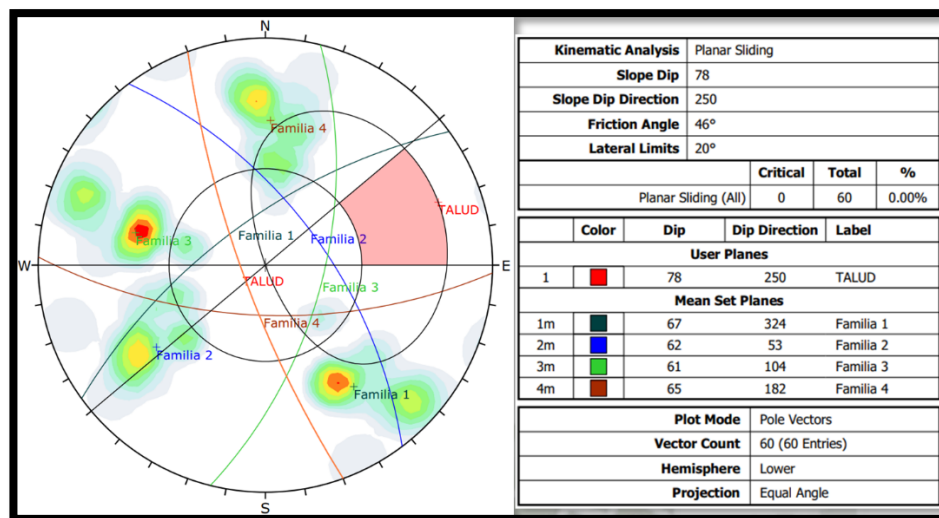


Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla planar y la familia más crítica

Fuente: Elaboración propia

Figura 42

Rotura Planar Zona 2 Software Dips

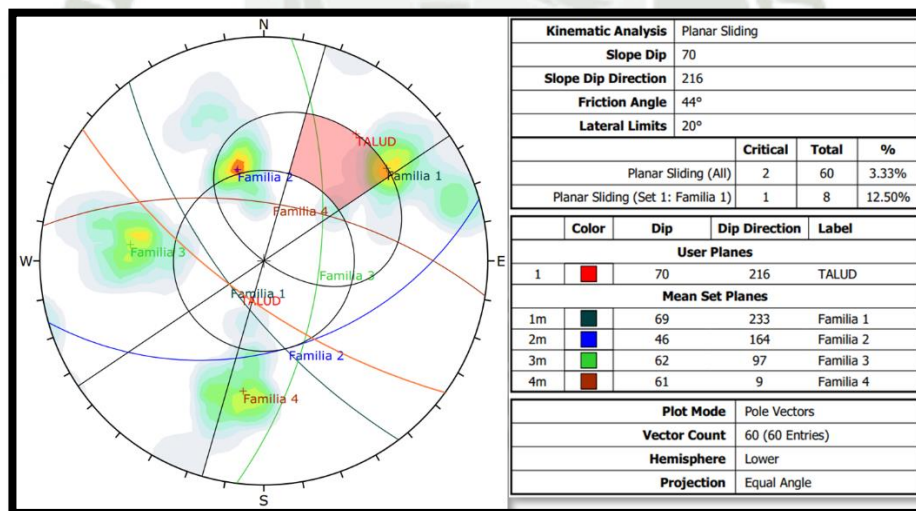


Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla planar y la familia más crítica

Fuente: Elaboración propio

Figura 43

Rotura Planar Zona 3 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla planar y la familia más crítica

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2. Rotura de cuña

Para la identificación la posible presencia de una rotura por cuña, en las 3 zonas de la cantera se tomó los datos en la tabla 20 para trabajar dentro del Software Dips, con esto se puede reconocer que familias dentro de las 3 zonas están expuestas a este tipo de falla y cuanto le afecta a cada zona. Este resultado se expresa en porcentaje en la tabla 23 expuesta a continuación. En la tabla 24 se aprecia el porcentaje de presencia de fallas de cuña por zona, con lo cual se infiere que, en la zona 1 la presencia de esta falla es más crítica en la familia 3 como se muestra en la figura 41, en la zona 2 la familia más crítica es la familia 4 como se aprecia en la figura 42 y para la zona 3 la familia más crítica es la familia 1 y 2 como se aprecia en la figura 43

Tabla 24

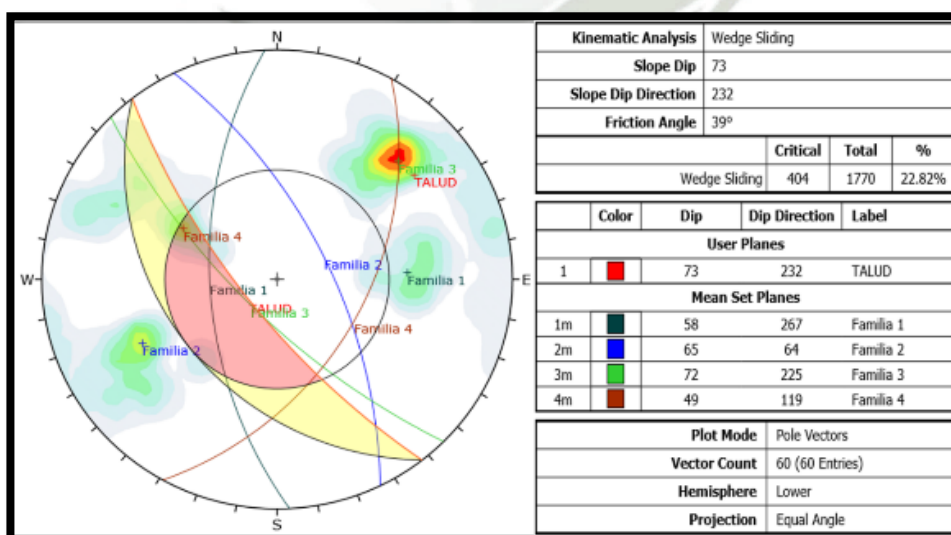
Resultados de rotura de cuña por zona

ZONA	PORCENTAJE	
ZONA 1	TOTAL	22.82%
ZONA 2	TOTAL	6.16%
ZONA 3	TOTAL	16.38%

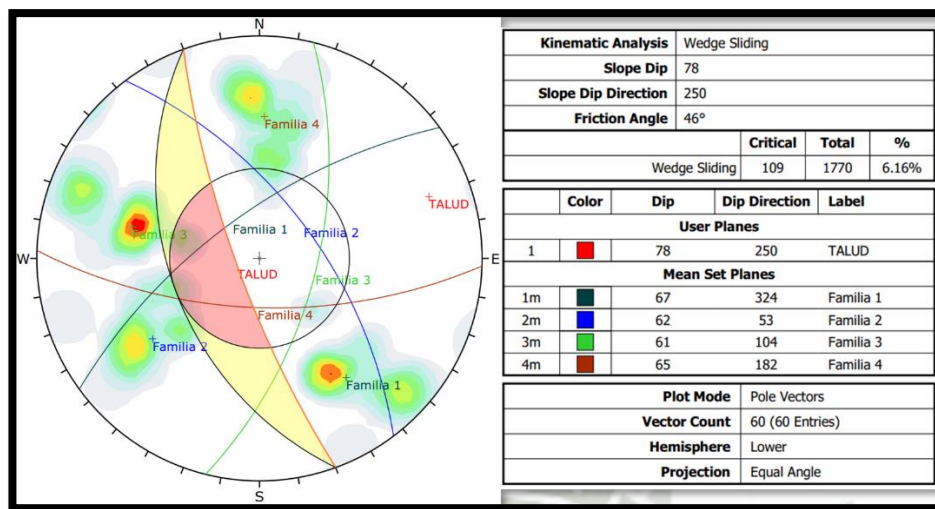
Nota: En la tabla se visualiza el porcentaje de presencia de falla o rotura por cuña en el talud de la cantera “El Provenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 44

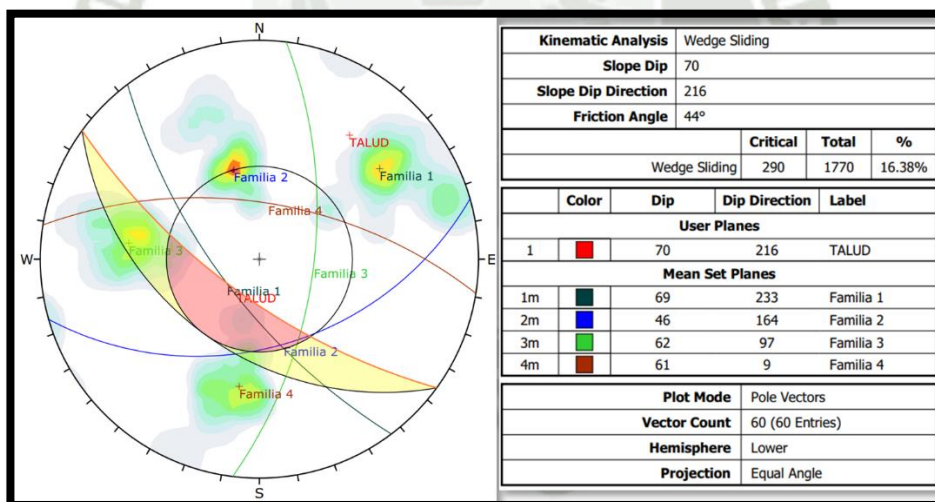
Rotura por Cuña Zona 1 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla o rotura por cuña y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 45
Rotura por Cuña Zona 2 Software Dips


Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla o rotura por cuña y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 46
Rotura por Cuña Zona 3 Software Dips


Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla o rotura por cuña y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

4.4.1.3. Rotura por vuelco

Para la identificación la posible presencia de una rotura por cuña, en las 3 zonas de la cantera se tomó los datos en la tabla 20 para trabajar dentro del Software Dips, con esto se puede reconocer que familias dentro de las 3 zonas están expuestas a este tipo de falla y cuanto le afecta a cada zona. Este resultado se expresa en porcentaje en la tabla 24 expuesta a continuación. Como se aprecia

en la tabla 25, se identifica que en la zona 1 la mayor concentración de esfuerzos y porcentaje de presencia de una rotura por vuelco está en la familia 2 como se muestra en la figura 44, en la zona 2 la mayor concentración de esfuerzos y porcentaje de presencia de una rotura por vuelco está en la familia 2 como se muestra en la figura 45 y en la zona 3 se muestra que la mayor concentración de esfuerzos y porcentaje de presencia de rotura por vuelco está en la familia 1 como se muestra en la figura 46.

Tabla 25

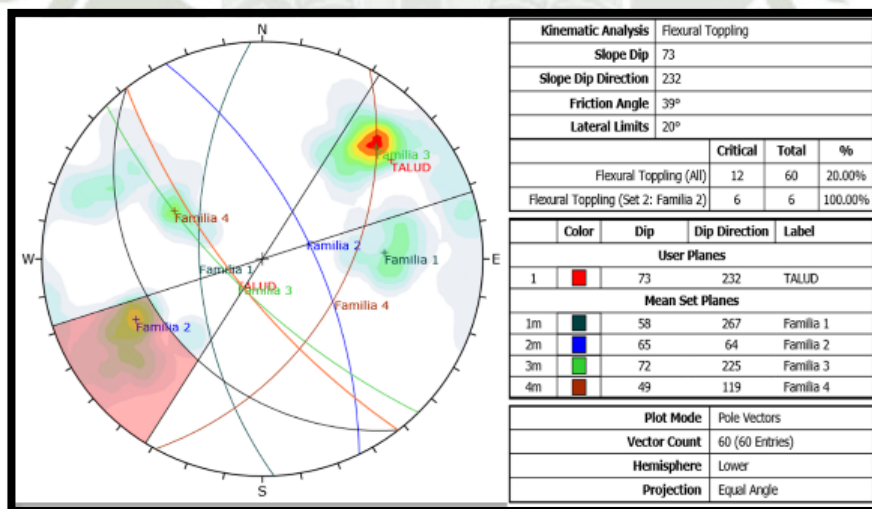
Resultados de rotura por vuelco por zona y familia critica

ZONA		PORCENTAJE	FAMILIA CRITICA	PORCENTAJE
ZONA 1	Total	20.00%	Familia 2	100.00%
ZONA 2	Total	13.33%	Familia 2	55.56%
ZONA 3	Total	5.00%	Familia 1	25.00%

Nota: En la tabla se visualiza el porcentaje de presencia de falla o rotura por vuelco en el talud de la cantera “El Provenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 47

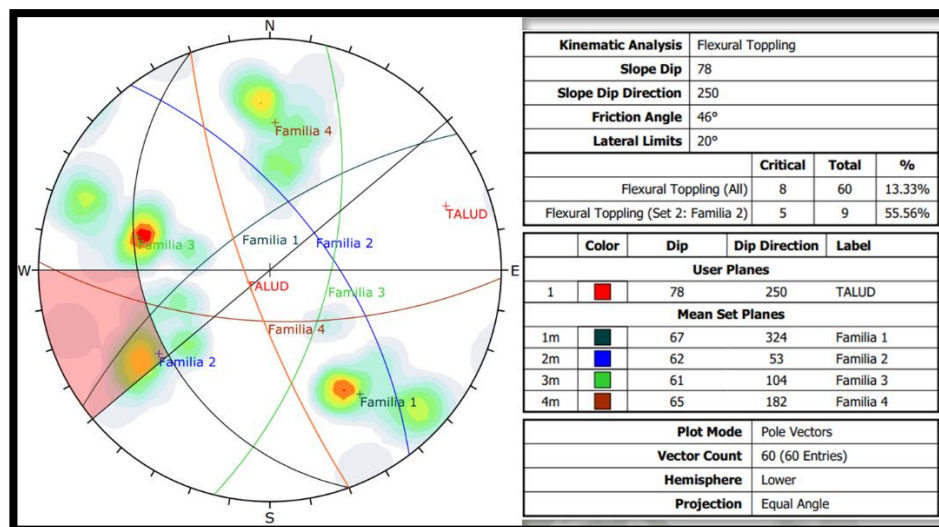
Rotura por Vuelco Zona 1 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla o rotura por vuelco y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 48

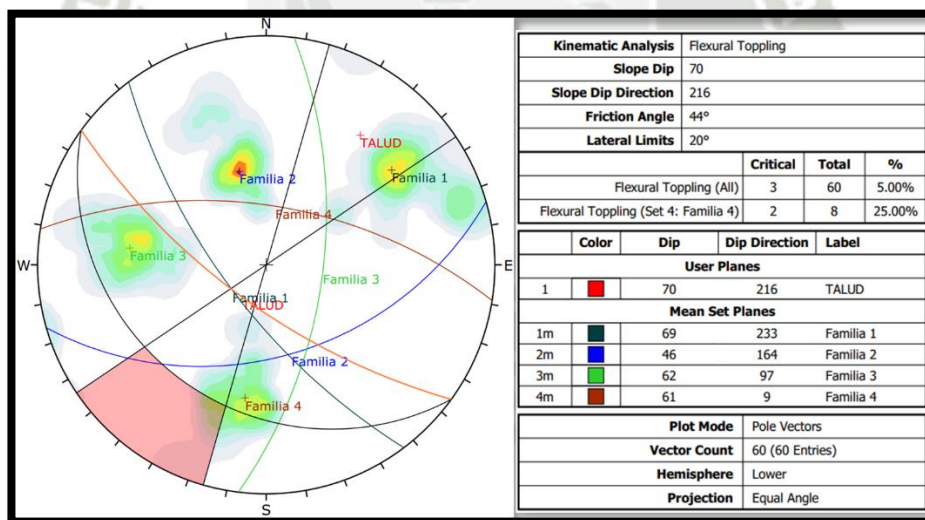
Rotura por Vuelco Zona 2 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla o rotura por vuelco y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 49

Rotura por Vuelco Zona 3 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la falla o rotura por vuelco y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

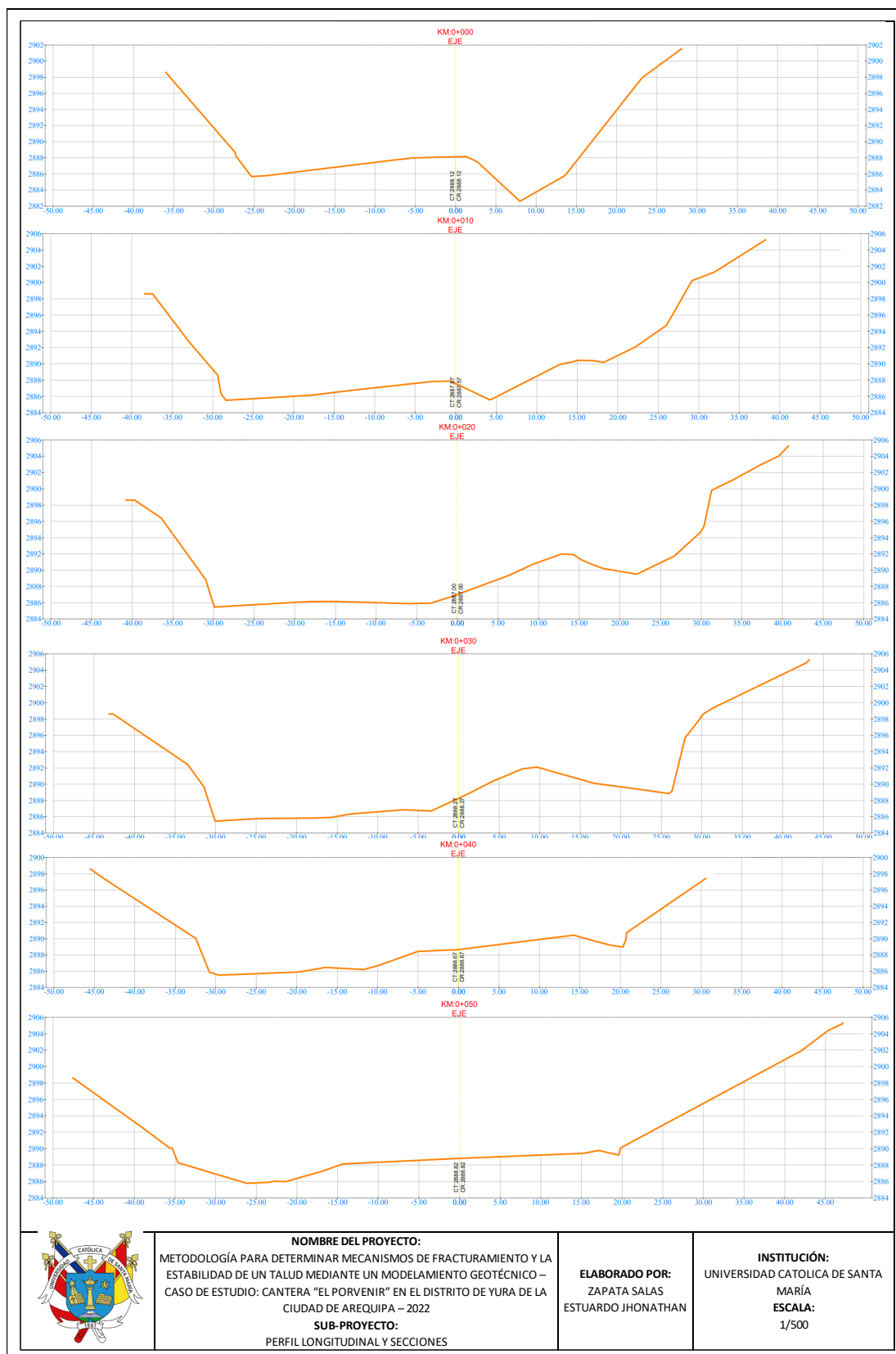
4.4.2. *Análisis de estabilidad de talud por el método de equilibrio límite*

Este método es de gran relevancia para localizar las fallas de bloques simples a lo largo de distintas discontinuidades. La estabilidad de un talud de roca puede ser evaluada utilizando métodos de equilibrio límite. El método caracteriza un modo de rotura, la geometría de la rotura es diversa (dentro de los límites prescritos), y la más baja relación entre la resistencia disponible y las fuerzas impulsoras dado como un Factor de Seguridad. (Vardon, Wang, & Hicks, 2017)

Al igual que en el estudio por el método cinemático, para el caso del método de equilibrio límite se realizó el análisis en las 3 zonas de la cantera y para dichos cálculos se tomaron los siguientes datos para el software Slide, el cual sirvió para realizar los cálculos. Estas tres zonas se delimitaron previamente en el capítulo 3, y se mostraron en la Figura 21 y para realizar el modelamiento se hizo el levantamiento topográfico con vista en planta y perfil de secciones como se muestra en las figuras 49 y 48 respectivamente. Distribución en zonas de la Cantera “El Porvenir”.

Figura 50

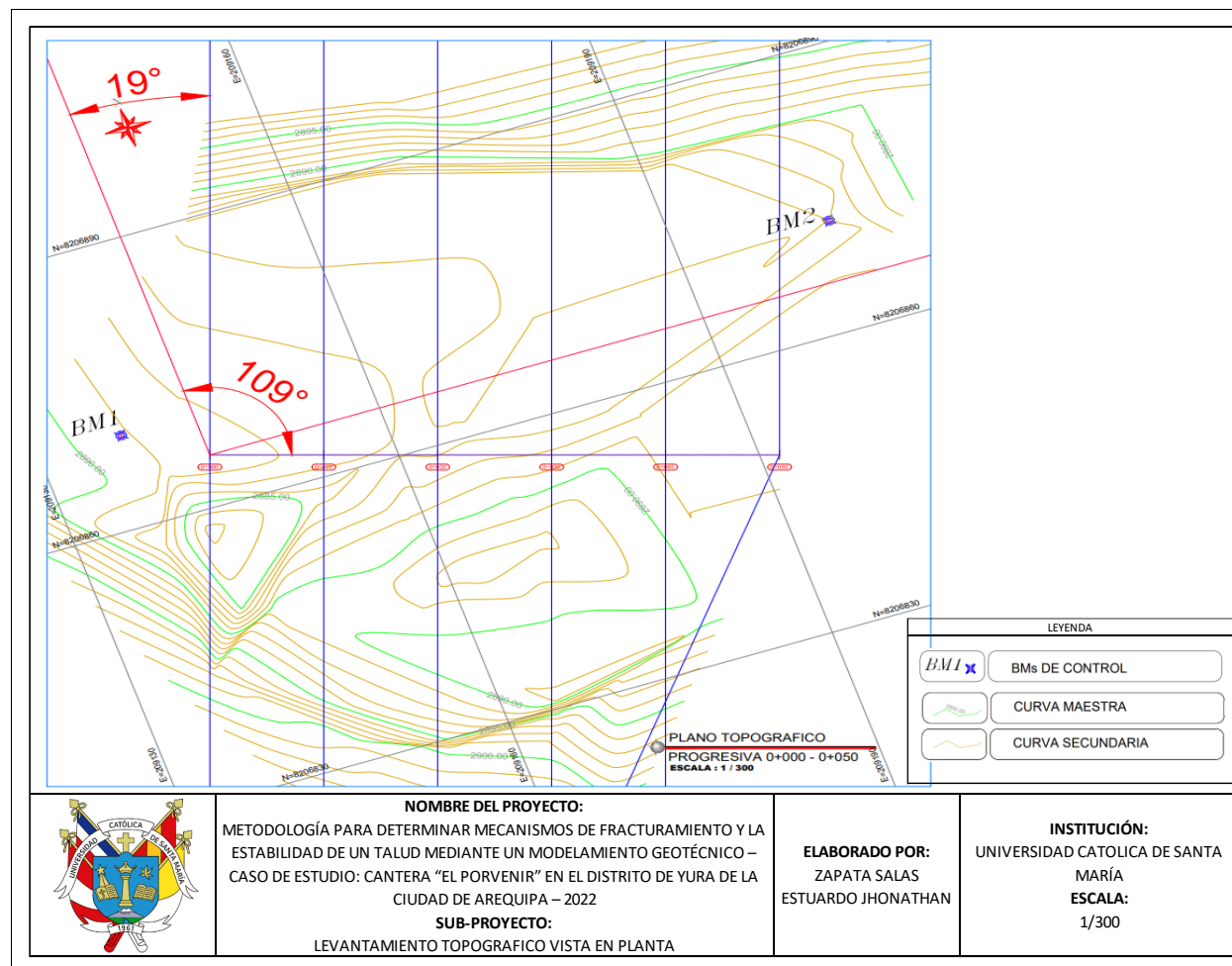
Perfil longitudinal y secciones



Nota: En la figura se muestra los perfiles realizados en el levantamiento topográfico en la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 51

Levantamiento topográfico de la cantera vista en planta y orientación



Nota: En la figura se muestra el levantamiento topográfico y la orientación de la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

Tabla 26
Datos para el análisis de equilibrio límite mediante el Software Slide

ZONA	UCS (KPa)	GSI	INTACT ROCK CONSTANT	DISTURBANCE FACTOR	mb	s	a	WATER SURFACE
ZONA 1	36000	45	10	0.7	0.487	0.0003453	0.5081	0
ZONA 2	35000	45	10	0.7	0.487	0.0003453	0.5081	0
ZONA 3	37000	55	10	0.7	0.844	0.0014711	0.504	0

Nota: En esta tabla se muestra los datos utilizados para el análisis de equilibrio límite para el talud en la cantera “El Porvenir” Fuente: Elaboración propia

UCS: Resistencia a la compresión, realizado durante la clasificación del macizo rocoso con el martillo Schmidt.

GSI: Clasificación GSI realizada después de la clasificación del macizo rocoso por Bieniawski y un mapeo en campo.

INTACT ROCK CONSTANTE: Factor o constante de la roca intacta.

DISTURBANCE FACTOR: Factor de disturbancia se considera 0.7, se considera este valor para extracción por raspado o taludes de obras civiles.

mb: Constante macizo rocoso, valor calculado por el software Slide o con la formula $\exp\left(\frac{GSI-100}{28}\right)$, fuente CGI.

s: Constante macizo rocoso, valor calculado por el software Slide o $\exp^{(GSI-100)}$, fuente CGI.

a: Constante macizo rocoso, valor calculado por el software Slide o un valor de 0.5, fuente CGI.

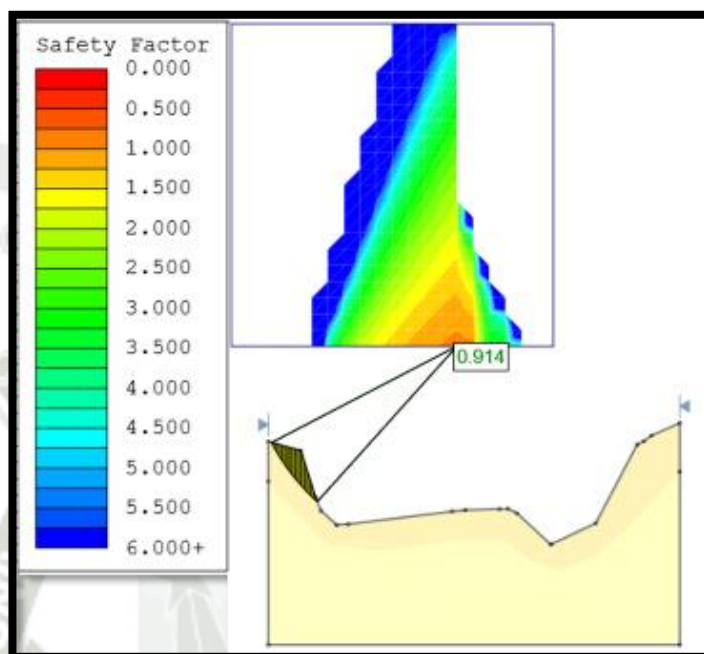
WATER SURFACE: Presencia de agua en la superficie del macizo rocoso.

4.4.2.1. Zona 1

Con ayuda del Software Slide se obtuvo los siguientes resultados en función a las condiciones actuales de la cantera.

Figura 52

Análisis por método equilibrio límite en la zona 1



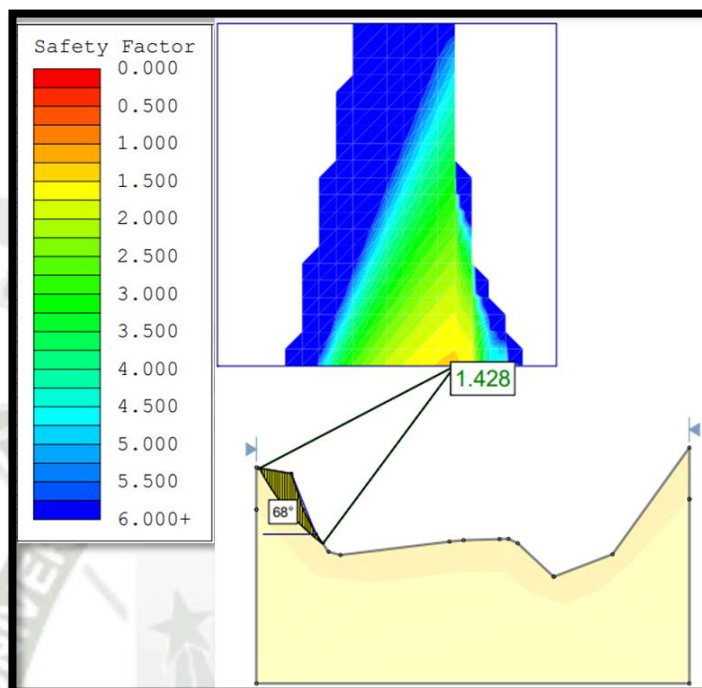
Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con las características, clasificación y levantamiento topográfico del macizo rocoso in situ Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el factor de seguridad para la Zona 1 de la cantera “El Porvenir” es de 0.91, siendo el valor mínimo aceptable 1.25 dentro de la normativa peruana, cuando se consideran factores sísmicos como en este caso, con el valor actual obtenido se puede concluir que nuestro talud actualmente no es seguro por lo cual se opta realizar un nuevo modelamiento modificando el ángulo de talud actual de 73°, al cual se le fue reduciendo 5° en cada nuevo modelamiento hasta llegar a un máximo de reducción de 20° por fines operativos, así se pudo observar en el nuevo modelamiento que en la zona 1 con un ángulo de talud de 68° el factor de seguridad es de 1.42, para un ángulo de talud de 63° se obtuvo un factor de seguridad de 1.51 y para un ángulo de talud de 58° se obtuvo un factor de seguridad de 1.70, estos modelamientos de adjuntan en los anexos 21, 22,23 y 24. Por lo cual se optó por trabajar con un ángulo de talud de 68° ya que cumple con el factor de seguridad. mínimo

establecido en la norma y no se tendrían que generar grandes cambios a las características del talud.

Figura 53

Modelamiento de la zona 1 para el factor de seguridad



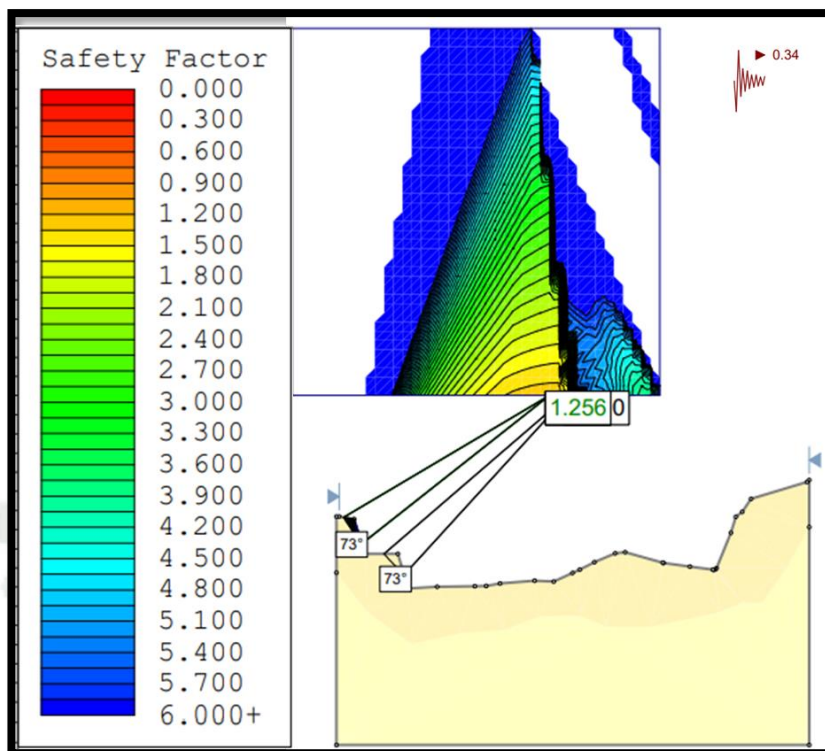
Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con el nuevo modelamiento del macizo rocoso, con el nuevo ángulo de talud Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, al realizar el modelamiento y el cambio de ángulo del talud de 73° a 68° logramos obtener un factor de seguridad de 1.42, siendo más que óptimo y aceptable para realizar trabajos en el talud.

Adicionalmente se realiza un nuevo modelamiento cambiando la altura del talud, pasando de tener un talud de 22 metros en la zona 1 a 2 taludes de 11 metros cada uno en la zona 1, con este modelamiento adicional comprobamos que el factor de seguridad en el talud también se modifica pasando de un 0.91 a un 1.25 cumpliendo con la normativa mínima. Con esto podemos tomar cualquiera de las 2 modelamiento como válidos para mejorar la estabilidad ya sea un cambio de ángulo o la modificación en la altura del talud.

Figura 54

Modelamiento 2 de la zona 1 para el factor de seguridad



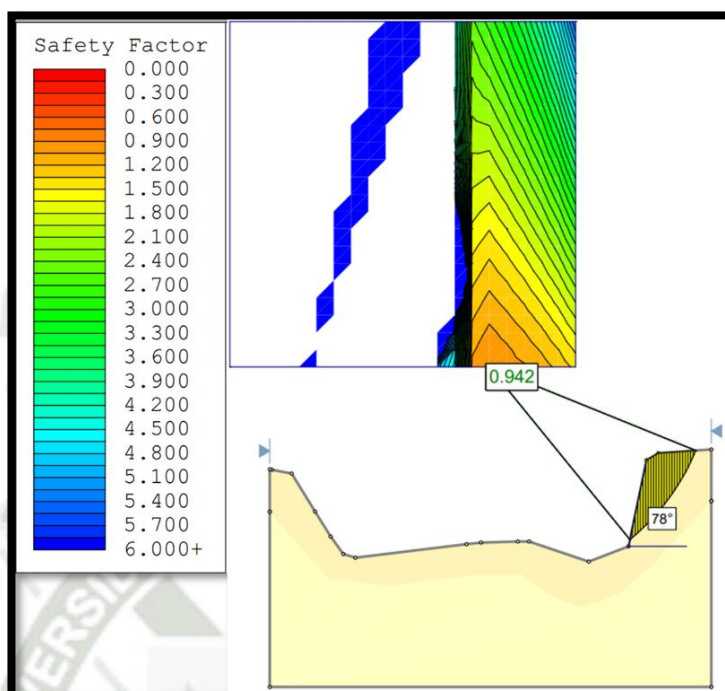
Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con el nuevo modelamiento con el cambio en la altura del talud del macizo rocoso. Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2. Zona 2

Con ayuda del Software Slide se obtuvo los siguientes resultados en función a las condiciones actuales de la cantera.

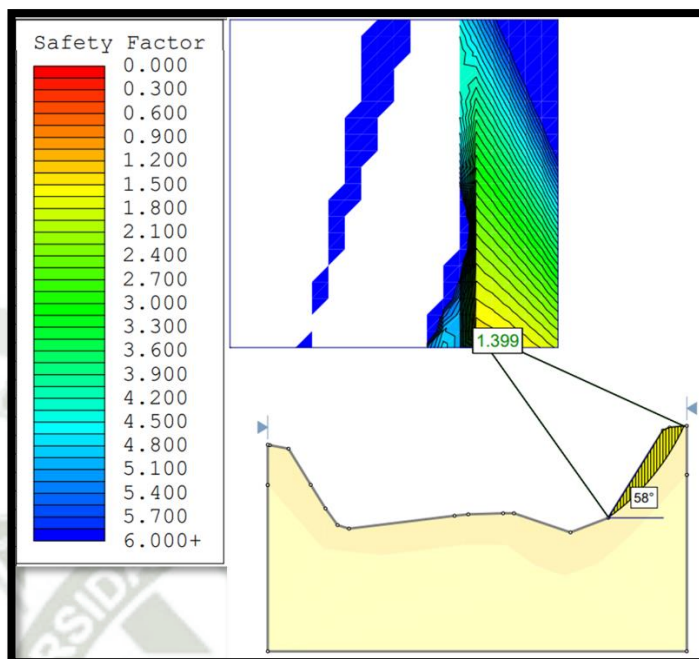
Figura 55

Análisis por método equilibrio límite en la zona 2



Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con las características, clasificación y levantamiento topográfico del macizo rocoso in situ Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el factor de seguridad para la Zona 2 de la cantera “El Porvenir” es de 0.94, siendo el valor mínimo aceptable 1.25 dentro de la normativa peruana cuando se consideran factores sísmicos, como es este caso, con el valor actual obtenido se puede concluir que nuestro talud actualmente no es seguro por lo cual se opta realizar un nuevo modelamiento modificando el ángulo de talud actual de 78°. al cual se le fue reduciendo 5° en cada nuevo modelamiento hasta llegar a un máximo de reducción de 20° por fines operativos, así se pudo observar en el nuevo modelamiento que en la zona 2 con un ángulo de talud de 73° el factor de seguridad es de 1.06, para un ángulo de talud de 68° se obtuvo un factor de seguridad de 1.11, para un ángulo de talud de 63° se obtuvo un factor de seguridad de 1.20 y para un ángulo de talud de 58° el factor de seguridad es de 1.39, estos modelamientos de adjuntan en los anexos 25,26,27,28 y 29. Por lo cual se optó por trabajar con un ángulo de talud de 58° ya que cumple con el factor de seguridad. mínimo establecido en la norma y no se tendrían que generar grandes cambios a las características del talud.

Figura 56
Modelamiento de la zona 2 para el factor de seguridad


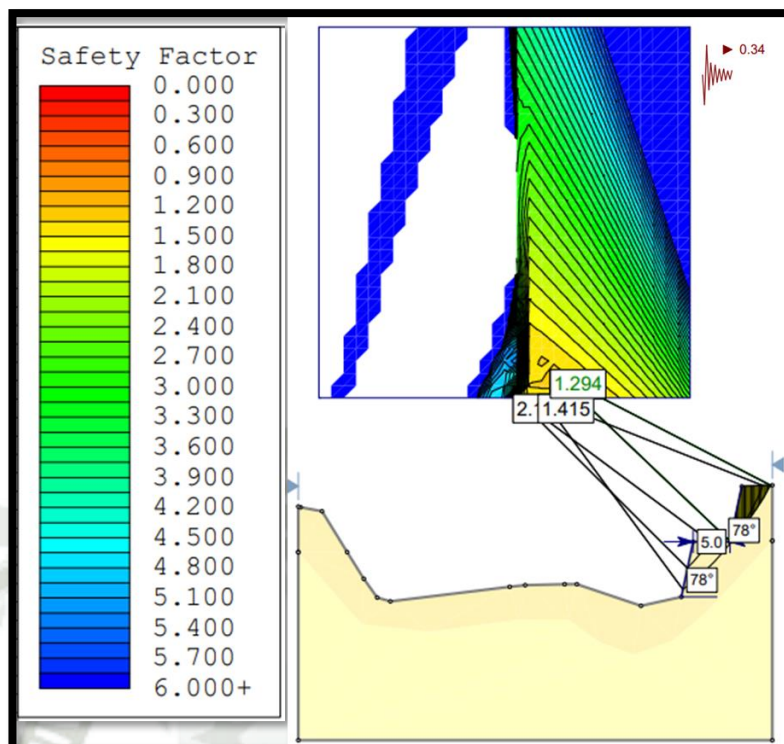
Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con el nuevo modelamiento del macizo rocoso, con el nuevo ángulo de talud Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, al realizar el modelamiento y el cambio de ángulo del talud de 78° a 58° logramos obtener un factor de seguridad de 1.39, siendo más que óptimo y aceptable para realizar trabajos en el talud, adicionalmente se encuentra en el límite de la modificación de ángulo de talud como se mencionó anteriormente.

Adicionalmente se realiza un nuevo modelamiento cambiando la altura del talud, pasando de tener un talud de 25 metros en la zona 2 a 2 taludes de 12.5 metros cada uno en la zona 2, con este modelamiento adicional comprobamos que el factor de seguridad en el talud también se modifica pasando de un 0.94 a un 1.41 en el talud cumpliendo con la normativa mínima. Con esto podemos tomar cualquiera de las 2 modelamiento como válidos para mejorar la estabilidad ya sea un cambio de ángulo o la modificación en la altura del talud.

Figura 57

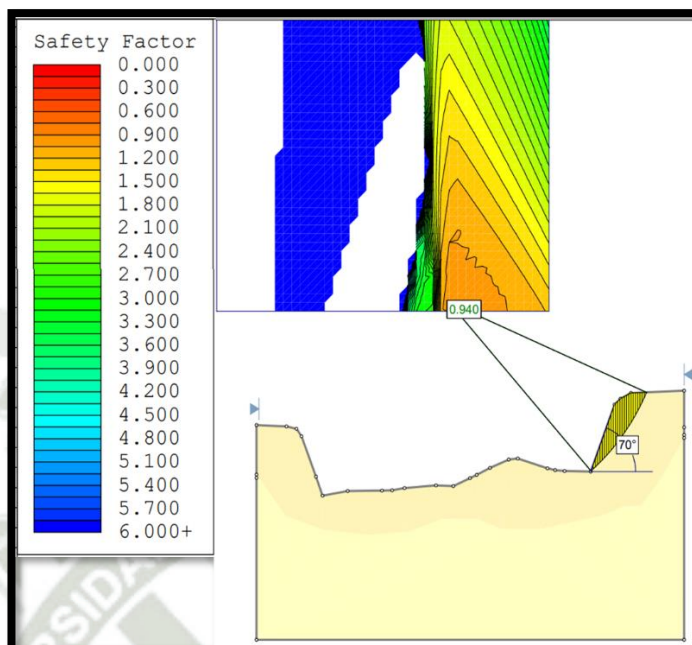
Modelamiento 2 de la zona 2 para el factor de seguridad



Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con el nuevo modelamiento con el cambio en la altura del talud del macizo rocoso. Fuente: Elaboración propia

4.4.2.3. Zona 3

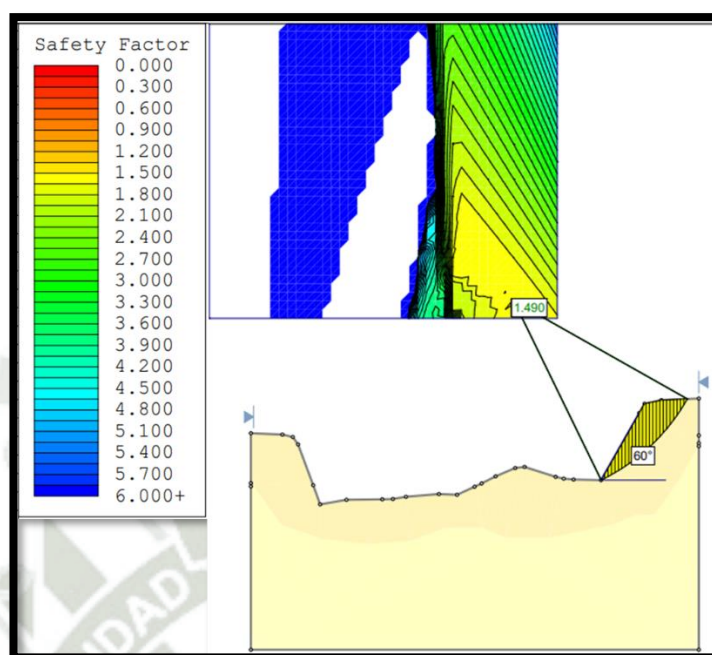
Con ayuda del Software Slide se obtuvo los siguientes resultados en función a las condiciones actuales de la cantera.

Figura 58
Análisis por método equilibrio límite en la zona 3


Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con las características, clasificación y levantamiento topográfico del macizo rocoso in situ Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el factor de seguridad para la Zona 3 de la cantera “El Porvenir” es de 0.94, siendo el valor mínimo aceptable 1.25 dentro de la normativa peruana cuando se consideran factores sísmicos, como en este caso, con el valor actual obtenido se puede concluir que nuestro talud actualmente no es seguro por lo cual se opta realizar un nuevo modelamiento modificando el ángulo de talud actual de 70°, al cual se le fue reduciendo 5° en cada nuevo modelamiento hasta llegar a un máximo de reducción de 20° por fines operativos, así se pudo observar en el nuevo modelamiento que en la zona 3 con un ángulo de talud de 65° el factor de seguridad es de 1.00, para un ángulo de talud de 60° se obtuvo un factor de seguridad de 1.49 y para un ángulo de talud de 55° se obtuvo un factor de seguridad de 1.59, estos modelamientos de adjuntan en los anexos 30,31,32 y 33. Por lo cual se optó por trabajar con un ángulo de talud de 60° ya que a partir de este nuevo ángulo ya se cumple el factor de seguridad.

Figura 59 Modelamiento de la zona 3 para el factor de seguridad



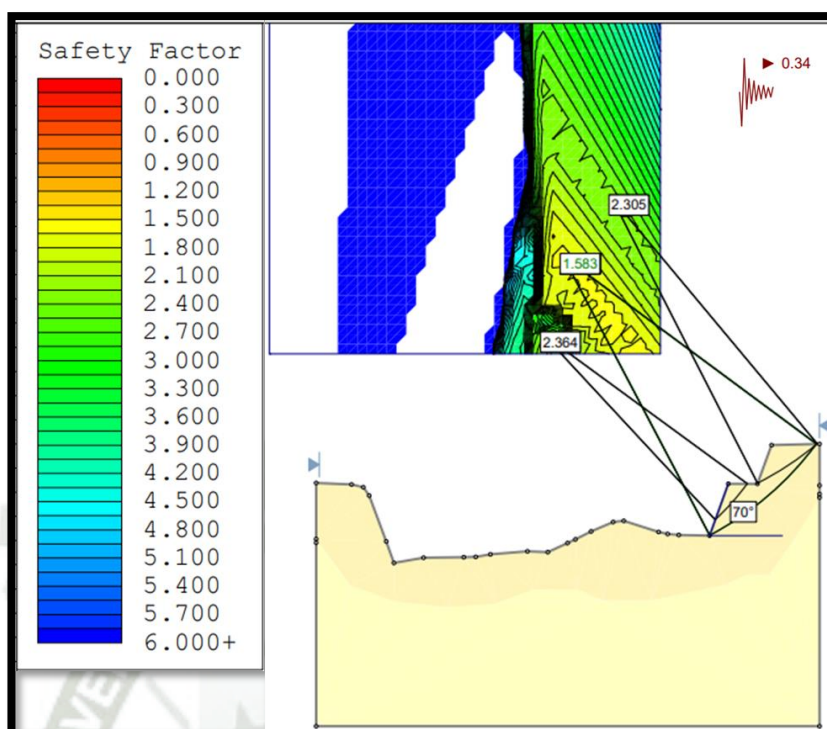
Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con el nuevo modelamiento del macizo rocoso, con el nuevo ángulo de talud Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, al realizar el modelamiento y el cambio de ángulo del talud de 70° a 60° logramos obtener un factor de seguridad de 1.49, el cual cumple con la normativa, se puede decir que es seguro y estable para realizar trabajos de explotación en el talud.

Adicionalmente se realiza un nuevo modelamiento cambiando la altura del talud, pasando de tener un talud de 19 metros en la zona 3 a dos taludes de 9.5 metros cada uno en la zona 3, con este modelamiento adicional comprobamos que el factor de seguridad en el talud también se modifica pasando de un 0.94 a un 1.58 cumpliendo con la normativa mínima. Con esto podemos tomar cualquiera de las 2 modelamiento como válidos para mejorar la estabilidad ya sea un cambio de ángulo o la modificación en la altura del talud.

Figura 60

Modelamiento 2 de la zona 3 para el factor de seguridad



Nota: En esta imagen se muestra el factor de seguridad con el nuevo modelamiento con el cambio en la altura del talud del macizo rocoso. Fuente: Elaboración propia

Con el análisis realizado, con el método de equilibrio límite apoyado en el Software Slide para la cantera “El Porvenir” en las tres zonas, se puede decir que, con los modelamientos se pudo definir si los taludes de la cantera “El Porvenir”, pueden ser estables y cumplen con la normativa con respecto al factor de seguridad.

4.4.3. Análisis de estabilidad de talud por el método estereográfico o cinemático con los nuevos ángulos

Una vez realizado el modelamiento para obtener un factor de seguridad óptimo, realizamos el cálculo de análisis de talud por el método cinemático nuevamente, pero considerando los nuevos ángulos del modelamiento encontrados mediante el método de equilibrio límite, descartando la zona 2 para el nuevo análisis ya que no cumplió con el factor de seguridad, de esta manera comprobamos si efectivamente se redujo y/o controló la falla o tipo de rotura presente en el macizo rocoso.

A continuación, se detalla los datos que se ingresan al Dips para realizar el análisis por el método cinemático.

Tabla 27

Datos para el nuevo análisis cinemático mediante el Software Dips

ZONA	FAMILIA	DIP	DIP DIR	ALTURA DEL TALUD (M)	ANGULO DE FRICCION (°)	ANGULO TALUD (SLOP DIP °)	SLOP DIP DIR (°)	LATERAL LIMIT
ZONA 1	1	58	267	22	39	68	232	20
	2	62	64	22	39	68	232	20
	3	72	225	22	39	68	232	20
	4	49	119	22	39	68	232	20
ZONA 2	1	67	324	25	46	58	250	20
	2	62	53	25	46	58	250	20
	3	61	104	25	46	58	250	20
	4	65	182	25	46	58	250	20
ZONA 3	1	69	233	19	44	60	216	20
	2	46	164	19	44	60	216	20
	3	62	97	19	44	60	216	20
	4	61	9	19	44	60	216	20

Nota: En esta tabla se muestra los datos utilizados para el análisis cinemático, con el nuevo ángulo de talud encontrado con el análisis de equilibrio límite para el talud en la cantera “El Porvenir Fuente: Elaboración propia

4.4.3.1. Rotura planar o deslizamiento de bloques ajustado

Como se muestra en la tabla 28 gracias a la modificación del ángulo del talud se pudo mitigar en gran manera la presencia o porcentaje de falla planar comparando los resultados en las tablas 23 y 28 y esta corrección se dio en todos los taludes de la cantera.

Tabla 28

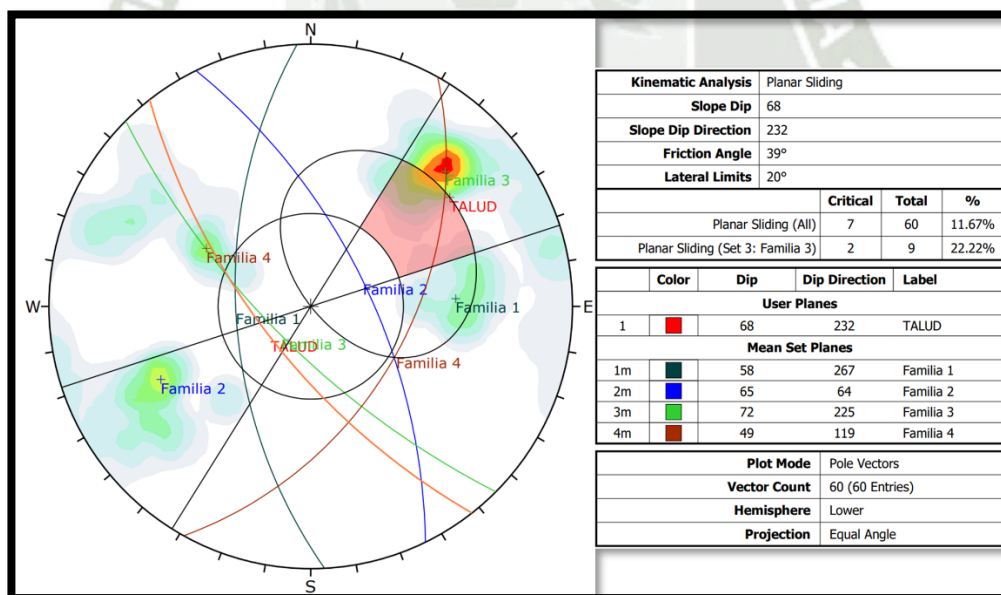
Resultados de rotura planar modificado por zona y familia crítica

ZONA		PORCENTAJE	FAMILIA CRITICA	PORCENTAJE
ZONA 1	Total	11.67%	FAMILIA 3	22.22%
ZONA 2	Total	0.00%	-	-
ZONA 3	Total	1.67%	-	-

Nota: En la tabla se visualiza el nuevo porcentaje de presencia de falla planar en el talud de la cantera “El Provenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 61

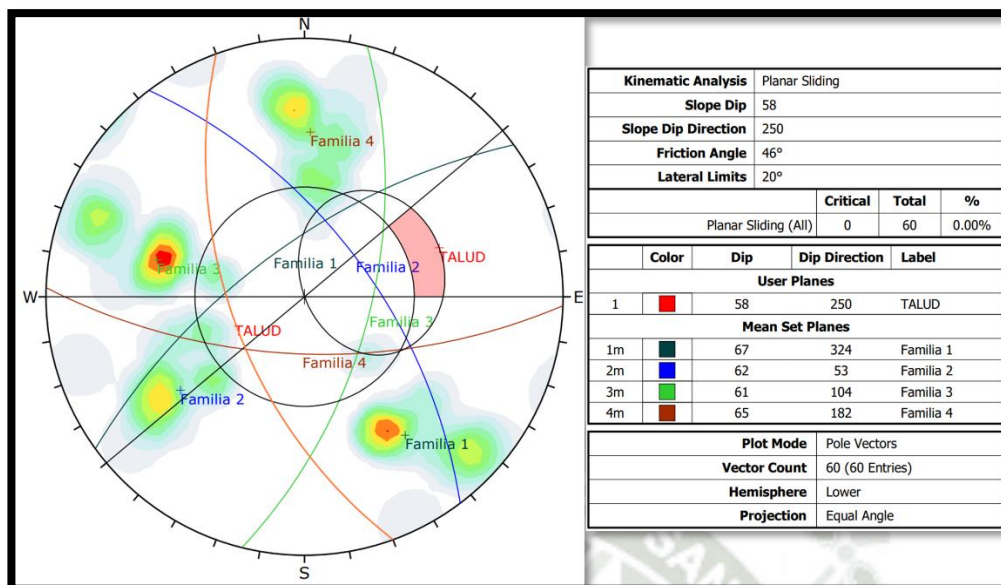
Rotura Planar modificado Zona 1 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla planar y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 62

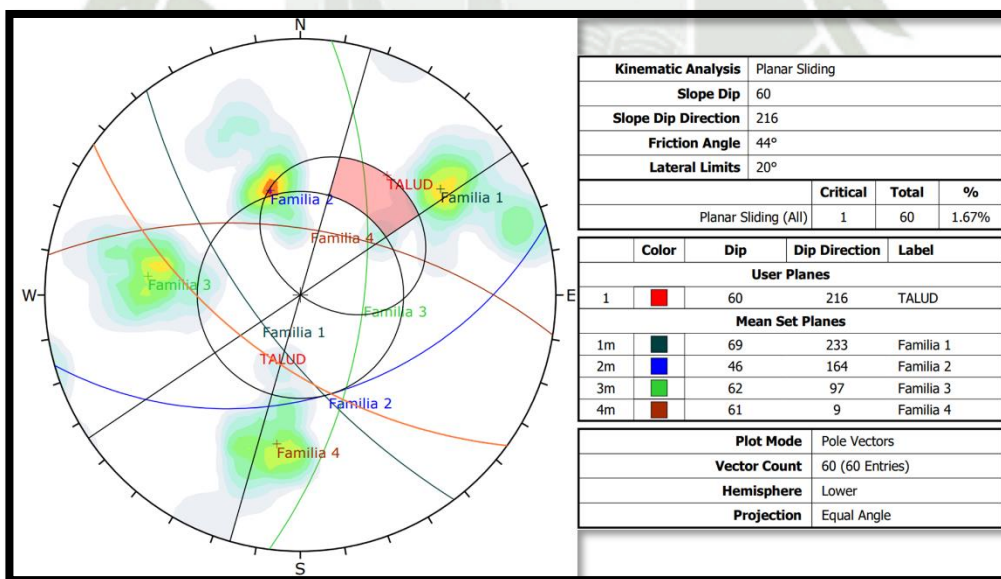
Rotura Planar modificado Zona 2 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla planar y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 63

Rotura Planar modificado Zona3 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla planar y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

4.4.3.2. Rotura de cuña ajustado

Como se muestra en la tabla 29 gracias a la modificación del ángulo del talud se pudo mitigar en gran manera la presencia o porcentaje de fallar por cuña comparando los resultados en las tablas 24 y 29 y esta corrección se dio en todos los taludes de la cantera.

Tabla 29

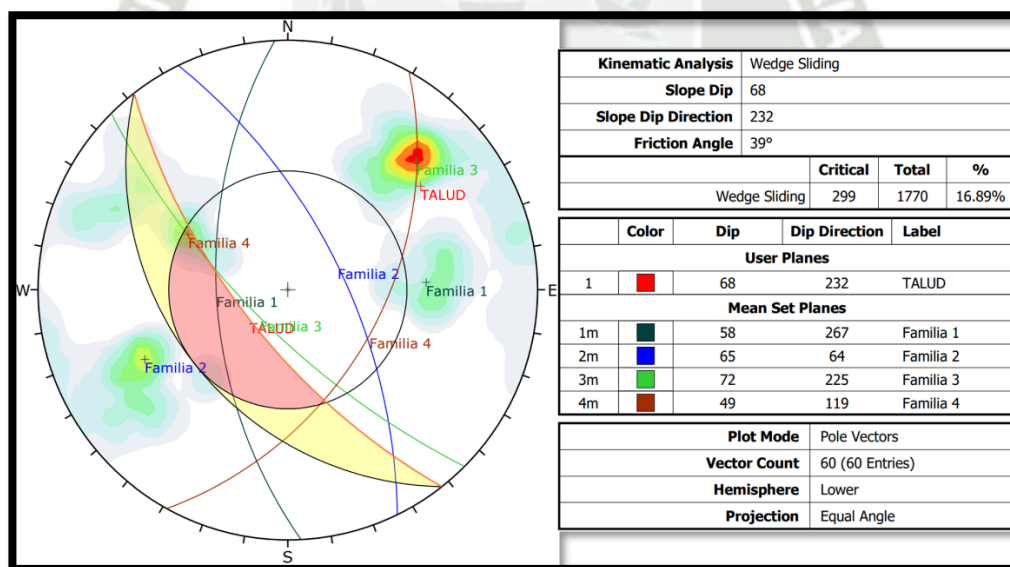
Resultados de rotura de cuña modificado por zona

ZONA		PORCENTAJE
ZONA 1	TOTAL	16.89%
ZONA 2	TOTAL	2.37%
ZONA 3	TOTAL	5.65%

Nota: En la tabla se visualiza el nuevo porcentaje de presencia de falla o rotura por cuña en el talud de la cantera “El Provenir” Fuente: Elaboración propia

Figura 64

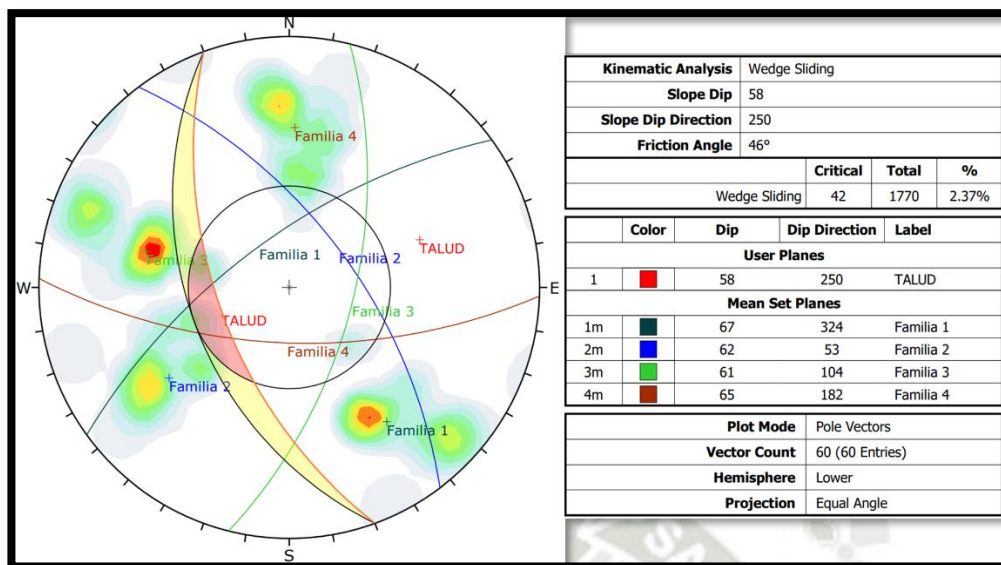
Rotura por Cuña modificado Zona 1 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla o rotura por cuña y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 65

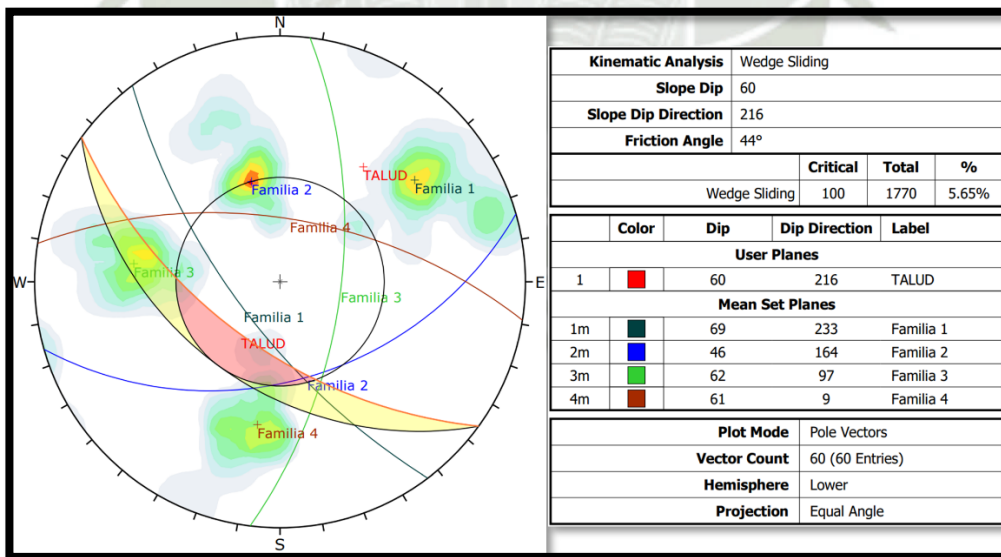
Rotura por Cuña modificado Zona 2 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla o rotura por cuña y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 66

Rotura por Cuña modificado Zona 3 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla o rotura por cuña y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

4.4.3.3. Rotura por vuelco ajustado

Como se muestra en la tabla 30 gracias a la modificación del ángulo del talud se pudo mitigar en gran manera la presencia o porcentaje de fallar por cuña comparando los resultados en las tablas 25 y 30 y esta corrección se dio en todos los taludes de la cantera.

Tabla 30

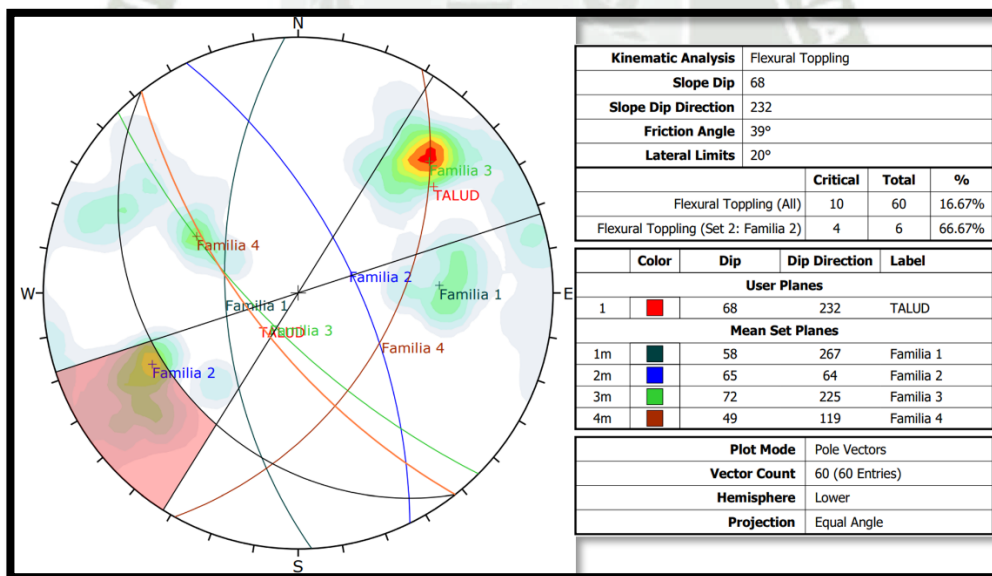
Resultados de rotura por vuelco modificado por zona

ZONA		PORCENTAJE	FAMILIA CRITICA	PORCENTAJE
ZONA 1	Total	16.67%	FAMILIA 2	66.67%
ZONA 2	Total	3.33%	-	-
ZONA 3	Total	1.67%	-	-

Nota: En la tabla se visualiza el nuevo porcentaje de presencia de falla o rotura por vuelco en el talud de la cantera "El Provenir" Fuente: Elaboración propia

Figura 67

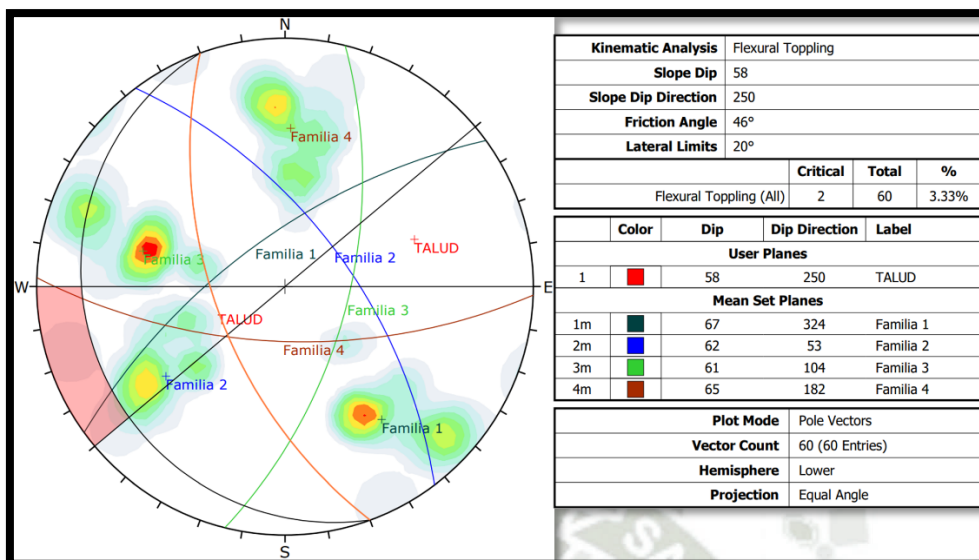
Rotura por Vuelco modificado Zona 1 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla o rotura por vuelco y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 68

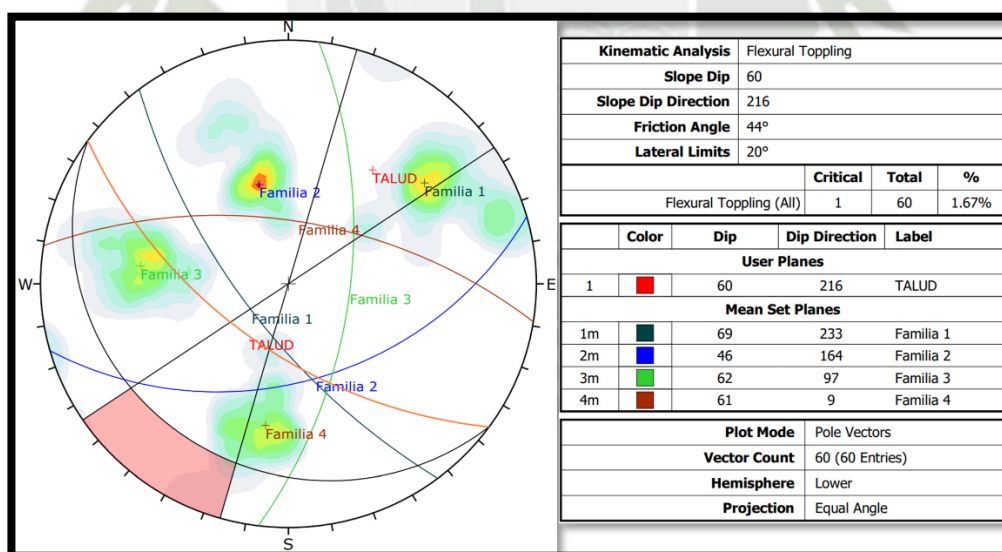
Rotura por Vuelco modificado Zona 2 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla o rotura por vuelco y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Figura 69

Rotura por Vuelco modificado Zona 3 Software Dips



Nota: En la imagen se muestra de forma visual la presencia de la nueva falla o rotura por vuelco y la familia más crítica Fuente: Elaboración propia

Con la comparación realizada entre los resultados in situ de la cantera “El Porvenir” y los nuevos datos generados por el modelamiento con el método de equilibrio límite, mediante el análisis del método cinemático apoyado con el Software Dips, se puede comprobar que el porcentaje de tipo de falla o rotura baja considerablemente, generando así una medida de control para estas, siendo así efectivo el factor de seguridad encontrado con el Software Slide.



CAPITULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

La metodología propuesta en esta investigación, que fue aplicada a la cantera “El Porvenir”, puede ser replicada y/o adaptada en otras canteras con similares características, debido a **dos factores fundamentales**:

En principio, se debe resaltar la **importancia** de la propuesta metodológica, ya **que cumplió con la finalidad** de dar un soporte técnico y seguro al modelamiento de los taludes en la cantera. Se observó la deficiencia de conocimientos en temas geotécnicos y de seguridad en el personal de la cantera, llegando a presentar en ocasiones desprendimientos y deslizamientos de material durante su jornada laboral, poniendo en peligro su vida. Esta situación es similar y se repite en las mineras metálicas o no metálicas artesanales y/o informales.

En el presente estudio se puede apreciar, por medio del análisis de equilibrio limite realizado en el software slide que el factor de seguridad en los 3 taludes de la cantera "El Porvenir" no cumplen con la normativa de seguridad para considerarlos estables, por lo cual se procedió a realizar un nuevo modelamiento modificando los ángulos de los taludes, se realizó varias modelaciones con reducciones de 5° para así verificar que se cumpla con el factor de seguridad mínimo de 1.25 y no genere un gran cambio en las características físicas de los taludes, con este nuevo modelamiento se observó lo siguiente.

- Para la zona 1, con un ángulo inicial de 73° y un factor de seguridad de 0.91, con un ángulo de 68° tiene un factor de seguridad de 1.42, con un ángulo de 63° tiene factor de seguridad de 1.51 y con un ángulo de 58° tiene un factor de seguridad de 1.70. Con lo cual se aprecia que en la zona 1 que el factor de seguridad mejora en 0.26 en promedio con cada reducción de 5° en el ángulo de talud.
- Para la zona 2, con un ángulo inicial de 78° y un factor de seguridad de 0.94, con un ángulo de 73° tiene un factor de seguridad de 1.06, con un ángulo de 68° tiene factor de seguridad de 1.11, con un ángulo de 63° tiene un factor de seguridad de 1.20 y con un ángulo de 58° tiene un factor de seguridad de 1.39. Con lo cual se aprecia que en la zona 2 que el factor de seguridad mejora en 0.12 en promedio con cada reducción de 5° en el ángulo de talud.

- Para la zona 3, con un ángulo inicial de 70° y un factor de seguridad de 0.94, con un ángulo de 65° tiene un factor de seguridad de 1.00, con un ángulo de 60° tiene factor de seguridad de 1.49 y con un ángulo de 55° tiene un factor de seguridad de 1.59. Con lo cual se aprecia que en la zona 3 que el factor de seguridad mejora en 0.21 en promedio con cada reducción de 5° en el ángulo de talud.

Para poder continuar con las operaciones de manera segura y óptima dentro de la cantera “El Porvenir”, al realizar el cambio del ángulo de talud para las 3 zonas de la cantera “El Porvenir”, se realizó un nuevo análisis de estabilidad de talud por el método cinemático mediante el Dips y se observó que el porcentaje de la aparición de las fallas o rotura se reduce considerablemente:

- En la rotura planar, con el nuevo ángulo de talud en la zona 1 de un 18.33% baja a un 11.67%. En la zona 2 se mantuvo con un 0.00%. Para la zona 3 de un 3.33% baja a un 1.67%.
- En la rotura por cuña, con el nuevo ángulo de talud en la zona 1 de un 22.82% baja a un 16.89%, para la zona 2 de un 6.16% baja a un 2.37% y para la zona 3 de un 16.38% baja a un 5.65%.
- En la rotura por vuelco, con el nuevo ángulo de talud en la zona 1 de un 20.00% baja a un 16.67%, para la zona 2 de un 13.33% baja a un 3.33% y para la zona 3 de un 5.00% baja a un 1.67%.

Con esto se observa que el nuevo ángulo de talud para cada zona no solo ayuda con el F.S. sino también como un control para reducir el porcentaje de aparición o activación de los mecanismos de fracturamiento.

5.2. Conclusiones

Una vez realizado el procesamiento y análisis de los datos recabados en la cantera “El Provenir” se puede concluir lo siguiente:

- Se realizó un modelamiento geotécnico en las tres zonas de la cantera “El porvenir” considerando las propiedades geotécnicas del macizo rocoso haciendo uso del software Slide, el cual se basa en el método de equilibrio límite. Los factores de seguridad (F.S.) pseudoestáticos según la normativa vigente deben que tener un valor no menor a 1.25 para considerarlos seguros. Los resultados fueron los siguientes: en la zona 1 el F.S. es de 0.91, para la zona 2 el F.S. es de 0.94 y para la zona 3 el F.S. es de 0.94; los cuales reflejan que los taludes de la cantera “El Porvenir” se consideran como inestables.

- Se realizó un modelo para analizar por el método cinemático, el cual se llevó a cabo en el software Dips. Se determinó en qué porcentaje se pueden presentar los tipos de fracturamiento en condiciones normales, siendo estas: 1) por rotura planar en la zona 1 de un 18.33%, en la zona 2 de un 0%, y en la zona 3 de un 3.33%; 2) por rotura por cuña en la zona 1 de un 22.82%, en la zona 2 de un 6.16%, y en la zona 3 de un 16.38%; 3) por rotura por vuelco en la zona 1 de un 20.00%, en la zona 2 de un 13.33%, y en la zona 3 de un 5.00%.
- Se clasificó para el macizo rocoso en función RMR y RMR ajustado en los 3 taludes de la cantera “El Porvenir”, ya que son indicadores de cómo las obras afectan directamente a las diaclasas. La clasificación es la siguiente: 1) en la zona 1 se obtuvo un RMR de 66.1 y el RMR ajustado es de 41.1, y según la clasificación de Biewniawski pasa de una calidad buena a media; 2) en la zona 2 el RMR obtenido es de 68.9 y su RMR ajustado es de 43.9, y similarmente al caso anterior, pasa de una calidad buena a media; 3) en la zona 3 el RMR obtenido es de 72.9 y su RMR ajustado es de 47.9, y de igual manera a las zonas anteriores, pasa de una calidad buena a media.
- La clasificación del GSI para la cantera “El Porvenir” se realizó en los 3 taludes, obteniendo los siguientes resultados: 1) para la zona 1 se tiene una clasificación F/P cuyo valor oscila entre los 40 y 50, siendo esta de clase III o regular; 2) para la zona 2 se tiene una clasificación F/P, de igual manera a la zona anterior, su valor oscila entre los 40 y 50, siendo esta de clase III o regular; 3) para la zona 3 se presenta una clasificación LF/P cuyo valor oscila entre los 50 y 60, siendo esta de clase III o regular.
- Con todo lo anteriormente expuesto, se puede dar respuesta al objetivo general, que, gracias a la propuesta de la metodología, se determinó los porcentajes de aparición de mecanismo de fracturamiento en los taludes de la cantera “El Porvenir”, así como la estabilidad de los taludes mediante un modelamiento geotécnico comprobando que actualmente los taludes no son seguros, todo esto basado en principios teóricos y ensayos en campo.

5.3. Recomendaciones

Para poder continuar con las operaciones de manera segura y óptima dentro de la cantera “El Porvenir”, se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda realizar evaluaciones geomecánicas tanto con la clasificación de RMR de Bieniawski así como el método del GSI, periódicamente de dos veces al mes, ya que el macizo rocoso puede cambiar conforme se va avanzando en la explotación de los taludes.
- Se recomienda realizar ensayos de compresión uniaxial para una mejor determinación de la resistencia a la compresión y deformabilidad, en caso se tenga una gran variación del macizo rocoso o aumente su resistencia a la compresión. Ya que la entre mayor sea la resistencia de la roca es mayor el margen de error del martillo Smith.
- Se recomienda realizar levantamientos topográficos periódicos, de una o dos veces al mes, para controlar que se mantengan los nuevos ángulos de talud para las 3 zonas, de esta manera se puede trabajar de manera segura, ya que el talud se mantendrá estable pudiendo realizar trabajos en simultáneo en las tres zonas; y no trabajar solamente una zona por día como se viene realizando actualmente.
- En caso se tengan dificultades para realizar el levantamiento topográfico, ensayos, clasificación RMR o GSI, por condiciones de terreno se recomienda la utilización de un dron para realizar esas tareas.

CAPITULO VI

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

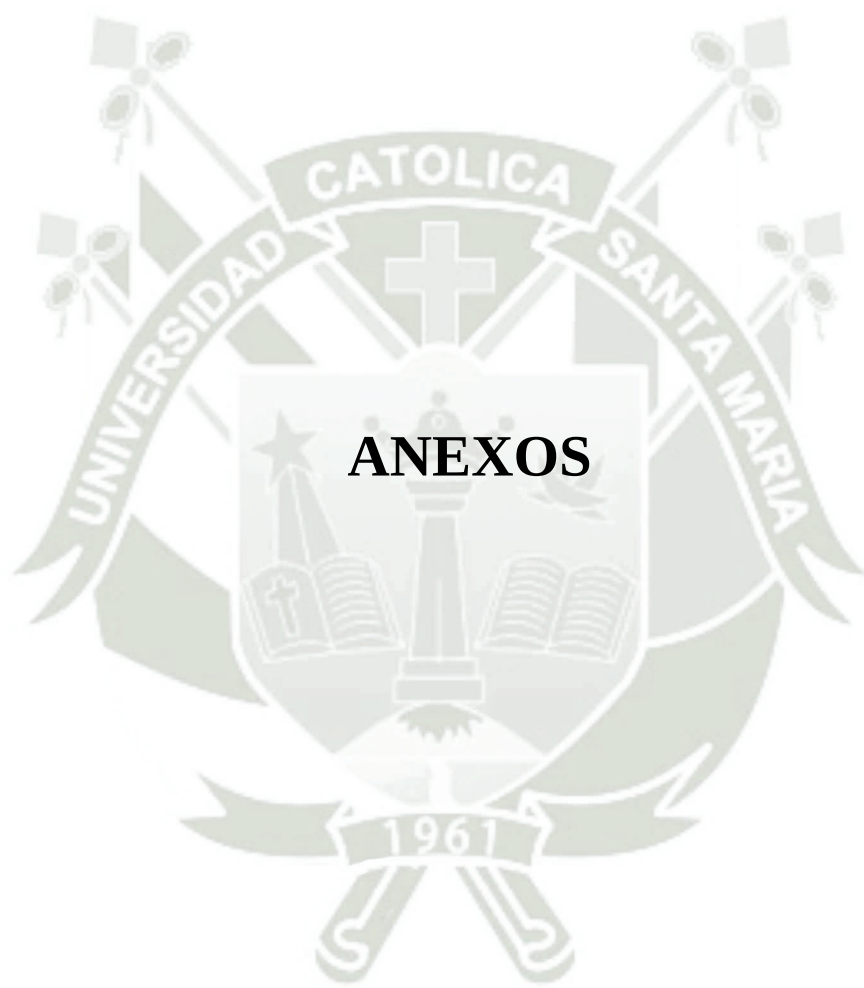
- Alvarado Márquez, M. I., & Villanueva Huatay, L. (2019). *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Privada de Piura].
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14988>
- Arenas Lope, F. (2019). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso con fines de estabilización de talud en la cantera Mucra, Juliaca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11703>
- Barton, N., & Choubey, V. (1997). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Canada: Rock Mechanics 6.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF01261801>
- Bieniawski, Z. T. (1979). *The geomechanics classification in rock engineering applications*. Proceedings of the 4th international congress on rock mechanics.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Clasifications*. Canada.: John Wiley & Sons, Inc.
https://books.google.com.pe/books?id=pejDUvjwPdMC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Bolaños, A., & Monroy, O. (2012). *Espectros de peligro sísmico uniforme*. [Tesis magistral, Pontificia Universidad Católica del Peru].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1331>
- Brady, B. H., & Brown, E. T. (2006). *Rock Mechanics for underground mining: Third edition*. New York: Springer Science+Business Media.
https://miningandblasting.files.wordpress.com/2009/09/rock-mechanics_for-underground-mining.pdf
- Crosta, G. B., Imposimato, S., & Roddeman, D. G. (2003). *Numerical modelling of large landslides stability and runout*. Natural Hazards and Earth System Sciences. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-523-2003>
- Eberhardt, E. (2003). *Rock Slope Stability Analysis*. University of British Canada.
https://www.researchgate.net/publication/233582429_Integrated_back_and_forward_analysis_of_rock_slope_stability_and_rockslide_runout_at_Afternoon_Creek_Washington

- Escobar Potes, C. E., & Duque Escobar, G. (2016). *Análisis De Estabilidad De Taludes. Geotecnia Para El Trópico Andino*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57334>
- Flores, A. G., & Karzulovic, L. (2003). *Guías geotécnicas para una transición desde rajo abierto a minería subterránea*. [Tesis de grado, Universidad de Chile]. http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-solar_ad/pdfAmont/cf-solar_ad.pdf
- Geoxnet. (2018). *Geología – publicaciones*. <https://post.geoxnet.com/dips-6-0/>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson Education. Madrid.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2006). *Ingeniería Geológica*. Madrid.: Pearson educación. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf
- Hernández Julian, A. (2014). *Metodología para el análisis de estabilidad de taludes*. [Tesis de grado, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas]. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/1563>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hoek, E., Carranza, C., & Corkum, B. (2002). *Hoek-brown failure criterion – 2002 edition*. Narms-Tac, 267–273. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(74\)91782-3](https://doi.org/10.1016/0148-9062(74)91782-3)
- Huamán, A., & Ardiles, R. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima: Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf
- Jiang, M., Jiang, T., Crosta, G., Shi, Z., Chen, H., & Zhang, N. (2015). *Modeling failure of jointed rock slope with two main joint sets using a novel DEM bond contact model*. Elsevier B.V. Engineering Geology. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.04.013>
- Jumikis, A. (1983). *Rock mechanics (Trans Tech)*. United States of America: Trans Tech Publications.

- [https://books.google.hn/books?id=MgFSAAAAMAAJ&source=gb_s_book_oth
er_versions_r&cad=4](https://books.google.hn/books?id=MgFSAAAAMAAJ&source=gb_s_book_oth
er_versions_r&cad=4)
- Kanda, M. J., & Stacey, T. R. (2016). *The influence of various factors on the results of stability analysis of rock slopes and on the evaluation of risk*. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n11a10>
- Kliche, C. A. (1999). *Rock Slope Stability (3ra ed.)*. United States of America: Shaffer Parkway.
- Kundu, J., Sarkar, K., & Singh, T. (2017). *Static and Dynamic Analysis of Rock Slope - A Case Study*. Procedia Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.240>
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). *A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Melbourne: Technomic Publishing Co.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma CE. 020 Suelos y Taludes*.
- Mohammadi, M., & Hossaini, M. F. (2017). *Modification of rock mass rating system: Interbedding of strong and weak rock layers*. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.06.002>
- Montoya Yupanqui, M. (2019). *Influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23579>
- Mucuta, H. V., Quesada, W., & Cartaya, P. (12 de 2020). *Minería y Geología. Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad*: <http://scielo.sld.cu/pdf/mg/v36n4/1993-8012-mg-36-04-441.pdf>
- Palmstrom, A. (2005). *“Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnels and Underground Space .*
- Paredes Choque, G. (2019). *Evaluación Geomecánica y Análisis de la Estabilidad del Talud en la Cantera el Arbolito – Juliaca*. Juliaca: Universidad Nacional del Altiplano.
- Park, H. J., Lee, J. H., Kim, K. M., & Um, J. G. (2016). *Assessment of rock slope stability using GIS-based probabilistic kinematic analysis*. Engineering Geology, 203, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.08.021>

- Raghuvanshi, T. K. (2017). *Plane failure in rock slopes - A review on stability analysis techniques*. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.06.004>
- Ramírez , O. P., & Alejano, M. L. (2007). *Mecánica de Rocas : Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ramírez, O. P., & De la Cuadra, L. I. (2007). *Mecánica de rocas aplicada a la minería*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Read, E., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for Open Pit Slope Design*. Australia: Adrienne de Kretser, Rigting Wriring.
- Rodríguez, H. (2000). *Análisis de estabilidad de taludes*. Madrid: Blume.
- Schon, J. H. (2015). *Physical properties of rocks*. (J. Cubitt, Ed.) Elsevier. https://books.google.com.pe/books?id=L11GJItCu-AC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=Physical+properties+of+rocks+cubitt&source=bl&ots=VJgGLb4VeA&sig=ACfU3U3Fy-IM4KaWetQ1JwUR4S6lw4NtYw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjKj9Wa_aT0AhWHHbkGHSyzApEQ6AF6BAG0EAM&authuser=1#v=onepage&q=
- Suarez, D. J. (2008). *Análisis Geotécnico*. Instituto de Investigacion, 2.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: In Ingenieria de Suelos.
- Suárez, L. O. (2013). *Decripcion del Macizo Rocosó Introducción a la Ingeniería de Rocas de Superficie y Subterránea*. Medillín: 2da ed.
- Suarez-Burgoa, L. O. (2016). *Analisis de estabilidad de taludes, con aplicaciones en matlab*,167.
- Tamayo, M. T. (2003). *Evaluación y administración de proyectos de investigación*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Tierra y Tecnología. (2016). *SLIDE la mejor aplicación de estabilidad de taludes*. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes/#:~:text=Slide%20es%20un%20software%20de,el%20c%C3%A1lculo%20de%20la%20estabilidad.&text=Incluye%20an%C3%A1lisis%20de%20agua%20subterr%C3%A1nea,sensibilidad%2C%20proba>
- Valeriano, F., Tica, S., Loaiza, F., Olguin, H., Japura, S., Llanos, L., & Obregon, C. (s.f.). *Ingemmet*. Análisis probabilístico de la estabilidad del talud de la Cantera Espinal - Juliaca. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG17-204.pdf>

- Vardon, P. J., Wang, B., & Hicks, M. (2017). *Slope failure simulations with MPM*. Journal of Hydrodynamics. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60755-2](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60755-2)
- Wyllie, D., & Mah, C. (2004). *Rock Slope Engineering (4ta ed.)*. New York: Taylor and Francis Group.
- Wyllie, D., & Mah, C. (2007). *Structural Geology and data interpretation*. In *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.13.4.369>
- Zhang, L. (2017). *Rock Discontinuities. Engineering Properties of Rocks*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802833-9.00004-3>
- Zhao, L., Zuo, S., Li, L., & Lin, Y. (2016). *System reliability analysis of plane slide rock slope using Barton-Bandis failure criterion*. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.06.003>



1. PUNTOS DIP/DIP DIR PARA ENCONTRAR LA CONCENTRACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE DIPS

		DISCONTINUIDAD	PUNTO	DIP	DIP DIR
ZONA 1	FAMILIA 1	D	1	44	265
		D	2	44	271
		D	3	88	263
		D	4	66	251
		D	5	60	276
		D	6	50	250
		D	7	88	256
		D	8	65	271
		D	9	84	277
		D	10	60	278
		D	11	70	264
		D	12	85	250
		D	13	60	259
		D	14	55	271
	FAMILIA 2	D	15	66	259
		D	16	70	57
		D	17	78	49
		D	18	52	42
		D	19	70	66
		D	20	80	59
		D	21	70	43
		D	22	88	53
		D	23	60	67
		D	24	70	50
		D	25	95	61
		D	26	50	42
		D	27	68	64
		D	28	80	68
	FAMILIA 3	D	29	60	65
		D	30	64	65
		D	31	72	215
		D	32	77	229
		D	33	79	208
		D	34	74	225
		D	35	80	228
		D	36	70	224
		D	37	74	219
		D	38	60	226
		D	39	72	227
		D	40	65	225
		D	41	52	228
		D	42	58	216
	FAMILIA 4	D	43	60	206
		D	44	72	222
		D	45	60	213
		D	46	48	124
		D	47	82	133
		D	48	54	121
		D	49	70	120
		D	50	75	121
		D	51	88	109
		D	52	34	117
		D	53	45	111
		D	54	80	110
		D	55	54	139
		D	56	68	132
		D	57	76	110
		D	58	45	117
		D	59	53	119
		D	60	31	115

		DISCONTINUIDAD	PUNTO	DIP	DIP DIR
ZONA 2	FAMILIA 1	D	1	35	320
		D	2	60	332
		D	3	70	323
		D	4	80	318
		D	5	80	311
		D	6	62	333
		D	7	58	324
		D	8	64	307
		D	9	40	307
		D	10	86	309
		D	11	66	329
		D	12	88	335
		D	13	64	314
		D	14	84	315
	FAMILIA 2	D	15	61	331
		D	16	70	60
		D	17	50	75
		D	18	60	63
		D	19	70	56
		D	20	65	56
		D	21	70	46
		D	22	45	70
		D	23	50	46
		D	24	55	47
		D	25	72	53
		D	26	82	50
		D	27	84	73
		D	28	60	73
	FAMILIA 3	D	29	48	49
		D	30	40	66
		D	31	35	103
		D	32	46	106
		D	33	38	101
		D	34	60	116
		D	35	77	108
		D	36	80	117
		D	37	60	109
		D	38	58	101
		D	39	86	110
		D	40	60	105
		D	41	58	113
		D	42	80	108
	FAMILIA 4	D	43	60	99
		D	44	60	97
		D	45	72	94
		D	46	70	184
		D	47	46	199
		D	48	47	187
		D	49	50	174
		D	50	54	192
		D	51	32	189
		D	52	72	175
		D	53	80	194
		D	54	75	175
		D	55	44	182
		D	56	62	194
		D	57	68	178
		D	58	77	173
		D	59	59	180
		D	60	66	197

		DISCONTINUIDAD	PUNTO	DIP	DIP DIR
ZONA 3	FAMILIA 1	D	1	62	240
		D	2	84	237
		D	3	85	255
		D	4	79	228
		D	5	86	253
		D	6	70	234
		D	7	80	250
		D	8	70	232
		D	9	74	240
		D	10	58	254
		D	11	73	227
		D	12	62	226
		D	13	40	237
		D	14	45	232
	FAMILIA 2	D	15	66	238
		D	16	45	160
		D	17	75	163
		D	18	30	171
		D	19	42	148
		D	20	30	174
		D	21	45	153
		D	22	68	158
		D	23	51	164
		D	24	49	158
		D	25	55	174
		D	26	63	170
		D	27	68	148
		D	28	48	171
	FAMILIA 3	D	29	40	170
		D	30	48	172
		D	31	60	94
		D	32	50	98
		D	33	48	80
		D	34	62	106
		D	35	80	102
		D	36	70	99
		D	37	72	87
		D	38	60	85
		D	39	72	107
		D	40	66	88
		D	41	60	107
		D	42	58	96
	FAMILIA 4	D	43	40	104
		D	44	42	91
		D	45	55	106
		D	46	60	5
		D	47	50	12
		D	48	30	8
		D	49	66	18
		D	50	60	23
		D	51	64	3
		D	52	65	4
		D	53	88	23
		D	54	34	23
		D	55	75	14
		D	56	66	3
		D	57	50	8
		D	58	60	22
		D	59	70	18
		D	60	45	1

2. CARACTERISTICAS DE BIENIAWSKI PARA LA ZONA 1

	DISCONTINUIDAD	PUNTO	Resistencia a la compresion	RQD	Separacion de las juntas	Estado de las diaclasas					Presencia de agua
						Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
			* > 250 (15) * 100-250 (12) * 50-100 (7) * 25-50 (4) * 5-25 (2)	* 90-100.....(20) * 75-90 (17) * 50-75 (13) * 25-50 (8) * <25 (3)	* > 2m.....(20) * 0.6-2m(15) * 0.2-0.6m (10) * 0.06-0.2m (8) * <0.06m(5)	* <1m.....(6) * 1-3m(4) * 3-10m (2) * 10-20m (1) * >20m(0)	* Nada.....(6) * <0.1mm(5) * 0.1-1.0mm..... (4) * 1-5mm (1) * >5mm(0)	* Muy rugosa.....(6) * Rugosa(5) * Ligeramente... (3) * Ondulada..... (1) * Suave.....(0)	* Ninguno.....(6) * Duro<5mm....(4) * Duro>5mm....(2) * Blando<5mm..... (1) * Blando>5mm.....(0)	* Inalterado.....(6) * Ligeramente....(5) * Moderadamente..(3) * Muy alterado..... (1) * Descompuesto.....(0)	* Seco.....(15) * Ligeramente....(10) * Humedo.....(7) * Goteando..... (4) * Fluyente.....(0)
ZONA 1	FAMILIA 1	D 1	30	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 2	38	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 3	36	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 4	34	68.8	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 5	38	68.8	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
		D 6	34	68.8	10	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 7	40	68.8	15	4	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
		D 8	32	68.8	10	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 9	34	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 10	32	68.8	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 11	34	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
		D 12	36	68.8	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 13	32	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 14	34	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 15	40	68.8	15	2	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 2	D 16	38	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 17	38	68.8	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 18	40	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 19	36	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 20	40	68.8	15	6	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 21	36	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
		D 22	40	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 23	36	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 24	32	68.8	15	2	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 25	38	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 26	32	68.8	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 27	38	68.8	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
		D 28	32	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 29	34	68.8	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 30	36	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 3	D 31	40	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 32	32	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 33	34	68.8	15	6	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 34	32	68.8	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 35	34	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 36	36	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D 37	32	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 38	34	68.8	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 39	40	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 40	38	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 41	30	68.8	15	2	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 42	38	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 43	36	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 44	34	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 45	38	68.8	10	4	Angosta	Rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 4	D 46	34	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 47	38	68.8	10	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 48	40	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 49	36	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 50	40	68.8	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 51	36	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 52	40	68.8	10	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D 53	36	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 54	32	68.8	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 55	38	68.8	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 56	32	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro>5	Ligeramente alterado	Seco
		D 57	38	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 58	32	68.8	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 59	34	68.8	15	6	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D 60	36	68.8	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco

3. VALORES PARA LA CARACTERISTICAS DE BIENIAWSKI PARA LA ZONA 1

		DISCONTINUIDAD	PUNTO	Resistencia a la compresion	RQD	Separacion de las juntas	Estado de las diaclasas					Presencia de agua
							Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
				* > 250 (15) * 100-250 (12) * 50-100 (7) * 25-50 (4) * 5-25 (2)	* 90-100....(20) * 75-90(17) * 50-75 (13) * 25-50 (8) * <25(3)	* > 2m.....(20) * 0.6-2m(15) * 0.2-0.6m (10) * 0.06-0.2m (8) * <0.06m(5)	* <1m.....(6) * 1-3m(4) * 3-10m (2) * 10-20m (1) * >20m(0)	* Nada.....(6) * <0.1mm(5) * 0.1-1.0mm.....(4) * 1-5mm (1) * >5mm(0)	* Muy rugosa.....(6) * Rugosa(5) * Ligeramente...(3) * Ondulada..... (1) * Suave.....(0)	* Ninguno.....(6) * Duro<5mm....(4) * Duro>5mm....(2) * Blando<5mm.... (1) * Blando>5mm.....(0)	* Inalterado.....(6) * Ligeramente....(5) * Moderadamente..(3) * Muy alterado.... (1) * Descompuesto.....(0)	* Seco.....(15) * Ligeramente....(10) * Humedo.....(7) * Goteando..... (4) * Fluyente.....(0)
ZONA 1	FAMILIA 1											
	D	1	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	2	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	3	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	4	4	13	15	4	4	5	4	5	15	
	D	5	4	13	15	2	4	3	2	5	15	
	D	6	4	13	10	4	4	5	4	5	15	
	D	7	4	13	15	4	5	3	2	5	15	
	D	8	4	13	10	2	4	3	4	5	15	
	D	9	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	10	4	13	15	4	4	5	4	5	15	
	D	11	4	13	10	2	4	5	2	5	15	
	D	12	4	13	15	2	4	3	4	5	15	
	D	13	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	14	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	15	4	13	15	2	5	3	2	5	15	
	FAMILIA 2											
	D	16	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	17	4	13	15	4	4	5	4	5	15	
	D	18	4	13	10	2	4	5	4	5	15	
	D	19	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	20	4	13	15	6	4	3	4	5	15	
	D	21	4	13	15	2	4	5	2	5	15	
	D	22	4	13	10	2	4	5	4	5	15	
	D	23	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	24	4	13	15	2	5	3	4	5	15	
	D	25	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	26	4	13	15	4	4	5	4	5	15	
	D	27	4	13	15	2	4	3	2	5	15	
	D	28	4	13	10	2	4	5	4	5	15	
	D	29	4	13	15	4	4	5	4	5	15	
	D	30	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	FAMILIA 3											
	D	31	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	32	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	33	4	13	15	6	4	5	4	5	15	
	D	34	4	13	15	2	4	3	4	5	15	
	D	35	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	36	4	13	10	2	4	5	6	5	15	
	D	37	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	38	4	13	15	4	4	5	4	5	15	
	D	39	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	40	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	41	4	13	15	2	5	3	4	5	15	
	D	42	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	43	4	13	10	2	4	5	4	5	15	
	D	44	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	45	4	13	10	4	4	5	2	5	15	
	FAMILIA 4											
	D	46	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	47	4	13	10	2	4	3	4	5	15	
	D	48	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	49	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	50	4	13	15	2	4	3	4	5	15	
	D	51	4	13	15	2	4	5	4	5	15	
	D	52	4	13	10	4	4	5	6	5	15	
	D	53	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	54	4	13	15	2	4	3	4	5	15	
	D	55	4	13	15	2	5	5	4	5	15	
	D	56	4	13	15	2	4	5	2	5	15	
D	57	4	13	15	2	4	5	4	5	15		
D	58	4	13	15	2	4	5	4	5	15		
D	59	4	13	15	6	5	5	4	5	15		
D	60	4	13	10	2	4	5	4	5	15		

4. CARACTERÍSTICAS DE BIENIAWSKI PARA LA ZONA 2

ZONA 2		DISCONTINUIDAD	PUNTO	Resistencia a la compresion	RQD	Separacion de las juntas	Estado de las diaclasas					Presencia de
				* > 250 (15) * 100-250 (12) * 50-100 (7) * 25-50 (4) * 5-25 (2)	* 90-100 (20) * 75-90 (17) * 50-75 (13) * 25-50 (8) * <25 (3)	* > 2m (20) * 0.6-2m (15) * 0.2-0.6m (10) * 0.06-0.2m (8) * <0.06m (5)	* <1m (6) * 1-3m (4) * 3-10m (2) * 10-20m (1) * >20m (0)	* Nada (6) * <0.1mm (5) * 0.1-1.0mm (4) * 1-5mm (1) * >5mm (0)	* Muy rugosa (6) * Rugosa (5) * Ligeramente... (3) * Ondulada (1) * Suave (0)	* Ninguno (6) * Duro<5mm (4) * Duro>5mm (2) * Blando<5mm (1) * Blando>5mm (0)	* Inalterado (6) * Ligeramente (5) * Moderadamente.. (3) * Muy alterado (1) * Descompuesto (0)	* Seco (15) * Ligeramente (10) * Humedo (7) * Goteando (4) * Fluyente (0)
FAMILIA 1	D	1	30	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	2	34	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	3	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	4	38	65.5	20	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	5	32	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	6	36	65.5	20	2	Muy angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	7	32	65.5	15	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	8	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	9	36	65.5	15	2	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	10	36	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	11	34	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	12	34	65.5	20	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	13	36	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	D	14	32	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco	
	D	15	34	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco	
	FAMILIA 2	D	16	36	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	17	32	65.5	10	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	18	34	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	19	38	65.5	15	2	Muy angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	20	34	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	21	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	22	32	65.5	15	2	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	23	32	65.5	20	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	24	34	65.5	15	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	25	34	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	26	32	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	27	38	65.5	15	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	28	32	65.5	20	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	29	38	65.5	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	30	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 3	D	31	36	65.5	15	2	Muy angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	32	36	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	33	34	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	34	34	65.5	20	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	35	36	65.5	15	4	Muy angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	36	32	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	37	34	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	38	36	65.5	15	2	Muy angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	39	32	65.5	10	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	40	34	65.5	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	41	38	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	42	34	65.5	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	43	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	44	32	65.5	15	2	Muy angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	45	32	65.5	20	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 4	D	46	30	65.5	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	47	34	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	48	38	65.5	20	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	49	38	65.5	15	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	50	32	65.5	15	2	Muy angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	51	36	65.5	20	4	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	52	32	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	53	38	65.5	20	2	Muy angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	54	34	65.5	15	4	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	55	34	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	56	32	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	57	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	58	32	65.5	10	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	59	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	60	38	65.5	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco

5. VALORES PARA LA CARACTERISTICAS DE BIENIAWSKI PARA LA ZONA 2

ZONA 2	DISCONTINUIDAD	PUNTO	Resistencia a la compresion	RQD	Separacion de las juntas	Estado de las diaclasas					Presencia de agua
			* > 250 (15) * 100-250 (12) * 50-100 (7) * 25-50 (4) * 5-25 (2)	* 90-100.....(20) * 75-90(17) * 50-75 (13) * 25-50 (8) * <25(3)	* > 2m.....(20) * 0.6-2m(15) * 0.2-0.6m (10) * 0.06-0.2m (8) * <0.06m(5)	Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
						* <1m.....(6) * 1-3m(4) * 3-10m (2) * 10-20m (1) * >20m(0)	* Nada.....(6) * <0.1mm(5) * 0.1-1.0mm..... (4) * 1-5mm (1) * >5mm(0)	* Muy rugosa.....(6) * Rugosa(5) * Ligeramente...(3) * Ondulada..... (1) * Suave.....(0)	* Ninguno.....(6) * Duro<5 mm.....(4) * Duro>5 mm.....(2) * Blando<5 mm..... (1) * Blando>5 mm.....(0)	* Inalterado.....(6) * Ligeramente.....(5) * Moderadamente..(3) * Muy alterado..... (1) * Descompuesto.....(0)	* Seco.....(15) * Ligeramente.....(10) * Humedo.....(7) * Goteando..... (4) * Fluyente.....(0)
FAMILIA 1	D	1	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	2	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	3	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	4	4	13	20	4	4	5	6	5	15
	D	5	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	6	4	13	20	2	5	5	6	5	15
	D	7	4	13	15	4	4	5	6	5	15
	D	8	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	9	4	13	15	2	5	3	6	5	15
	D	10	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	11	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	12	4	13	20	2	4	3	6	5	15
	D	13	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	14	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	15	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	16	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	17	4	13	10	4	4	5	4	5	15
	D	18	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	19	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	20	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	21	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	22	4	13	15	2	5	3	6	5	15
	D	23	4	13	20	2	4	5	4	5	15
	D	24	4	13	15	4	4	5	6	5	15
	D	25	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	26	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	27	4	13	15	2	5	5	4	5	15
	D	28	4	13	20	2	4	5	6	5	15
	D	29	4	13	15	4	4	5	4	5	15
	D	30	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	31	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	32	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	33	4	13	15	2	4	3	4	5	15
	D	34	4	13	20	2	4	5	4	5	15
	D	35	4	13	15	4	5	5	6	5	15
	D	36	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	37	4	13	15	2	4	3	4	5	15
	D	38	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	39	4	13	10	2	4	5	6	5	15
	D	40	4	13	15	4	4	5	4	5	15
	D	41	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	42	4	13	10	2	4	5	4	5	15
	D	43	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	44	4	13	15	2	5	3	4	5	15
	D	45	4	13	20	4	4	5	6	5	15
	D	46	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	47	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	48	4	13	20	2	4	5	6	5	15
	D	49	4	13	15	4	4	5	6	5	15
	D	50	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	51	4	13	20	4	4	3	4	5	15
	D	52	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	53	4	13	20	2	5	5	4	5	15
	D	54	4	13	15	4	4	3	6	5	15
	D	55	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	56	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	57	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	58	4	13	10	2	4	3	6	5	15
	D	59	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	60	4	13	15	2	4	5	6	5	15
FAMILIA 2	D	16	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	17	4	13	10	4	4	5	4	5	15
	D	18	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	19	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	20	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	21	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	22	4	13	15	2	5	3	6	5	15
	D	23	4	13	20	2	4	5	4	5	15
	D	24	4	13	15	4	4	5	6	5	15
	D	25	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	26	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	27	4	13	15	2	5	5	4	5	15
FAMILIA 3	D	31	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	32	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	33	4	13	15	2	4	3	4	5	15
	D	34	4	13	20	2	4	5	4	5	15
	D	35	4	13	15	4	5	5	6	5	15
	D	36	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	37	4	13	15	2	4	3	4	5	15
	D	38	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	39	4	13	10	2	4	5	6	5	15
	D	40	4	13	15	4	4	5	4	5	15
	D	41	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	42	4	13	10	2	4	5	4	5	15
FAMILIA 4	D	43	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	44	4	13	15	2	5	3	4	5	15
	D	45	4	13	20	4	4	5	6	5	15
	D	46	4	13	15	2	4	3	6	5	15
	D	47	4	13	15	2	4	5	6	5	15
	D	48	4	13	20	2	4	5	6	5	15
	D	49	4	13	15	4	4	5	6	5	15
	D	50	4	13	15	2	5	5	6	5	15
	D	51	4	13	20	4	4	3	4	5	15
	D	52	4	13	15	2	4	5	4	5	15
	D	53	4	13	20	2	5	5	4	5	15
	D	54	4	13	15	4	4	3	6	5	15

6. **CARACTERISTICAS DE BIENIAWSKI PARA LA ZONA 3**

		DISCONTINUIDAD	PUNTO	Resistencia a la compresion	RQD	Separacion de las juntas	Estado de las diaclasas					Presencia de agua
				* > 250 (15) * 100-250 (12) * 50-100 (7) * 25-50 (4) * 5-25 (2)	* 90-100.....(20) * 75-90(17) * 50-75 (13) * 25-50 (8) * <25 (3)	* > 2m.....(20) * 0.6-2m(15) * 0.2-0.6m (10) * 0.06-0.2m (8) * <0.06m(5)	Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	* Seco.....(15) * Ligeramente....(10) * Humedo.....(7) * Goteando..... (4) * Fluyente.....(0)
ZONA 3	FAMILIA 1	D	1	34	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	2	38	75.4	20	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	3	38	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	4	30	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	5	44	75.4	15	4	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	6	32	75.4	20	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	7	38	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	8	42	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	9	32	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	10	34	75.4	20	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	11	44	75.4	15	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	12	42	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	13	42	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	14	36	75.4	20	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	15	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 2	D	16	34	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	17	36	75.4	15	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	18	36	75.4	20	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	19	32	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	20	38	75.4	20	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	21	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	22	42	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	23	34	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	24	34	75.4	15	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	25	44	75.4	20	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	26	38	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	27	42	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	28	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	29	34	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	30	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 3	D	31	34	75.4	15	4	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	32	34	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	33	44	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	34	38	75.4	10	4	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	35	42	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	36	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	37	34	75.4	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	38	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	39	34	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	40	38	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	41	38	75.4	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	42	30	75.4	20	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	43	44	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	44	32	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	45	38	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
	FAMILIA 4	D	46	42	75.4	15	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	47	32	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	48	34	75.4	20	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	49	44	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	50	42	75.4	15	4	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	51	42	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	52	36	75.4	10	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	53	36	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	54	34	75.4	20	4	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	55	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	56	36	75.4	15	2	Angosta	Ligeramente rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	57	32	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco
		D	58	38	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	59	36	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Ninguno	Ligeramente alterado	Seco
		D	60	42	75.4	15	2	Angosta	Rugosa	Duro<5	Ligeramente alterado	Seco

7. VALORES PARA LA CARACTERISTICAS DE BIENIAWSKI PARA LA ZONA 3

ZONA 3	DISCONTINUIDAD	PUNTO	Resistencia a la compresion	RQD	Separacion de las juntas	Estado de las diaclasas					Presencia de agua
			* > 250 (15) * 100-250 (12) * 50-100 (7) * 25-50 (4) * 5-25 (2)	* 90-100 (20) * 75-90 (17) * 50-75 (13) * 25-50 (8) * <25 (3)	* > 2m (20) * 0.6-2m (15) * 0.2-0.6m (10) * 0.06-0.2m (8) * <0.06m (5)	Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
						* <1m (6) * 1-3m (4) * 3-10m (2) * 10-20m (1) * >20m (0)	* Nada (6) * <0.1mm (5) * 0.1-1.0mm (4) * 1-5mm (1) * >5mm (0)	* Muy rugosa (6) * Rugosa (5) * Ligeramente (3) * Ondulada (1) * Suave (0)	* Ninguno (6) * Duro <5mm (4) * Duro >5mm (2) * Blando <5mm (1) * Blando >5mm (0)	* Inalterado (6) * Ligeramente (5) * Moderadamente (3) * Muy alterado (1) * Descompuesto (0)	* Seco (15) * Ligeramente (10) * Humedo (7) * Goteando (4) * Fluyente (0)
FAMILIA 1	D	1	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	2	4	17	20	4	4	5	4	5	15
	D	3	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	4	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	5	4	17	15	4	4	3	4	5	15
	D	6	4	17	20	2	4	5	6	5	15
	D	7	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	8	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	9	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	10	4	17	20	2	4	5	6	5	15
	D	11	4	17	15	4	4	5	6	5	15
	D	12	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	13	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	14	4	17	20	2	4	3	6	5	15
	D	15	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	16	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	17	4	17	15	4	4	5	6	5	15
	D	18	4	17	20	2	4	3	4	5	15
	D	19	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	20	4	17	20	2	4	5	6	5	15
	D	21	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	22	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	23	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	24	4	17	15	4	4	5	6	5	15
	D	25	4	17	20	2	4	5	6	5	15
	D	26	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	27	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	28	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	29	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	30	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	31	4	17	15	4	4	3	6	5	15
	D	32	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	33	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	34	4	17	10	4	4	5	6	5	15
	D	35	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	36	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	37	4	17	15	4	4	5	4	5	15
	D	38	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	39	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	40	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	41	4	17	15	4	4	5	4	5	15
	D	42	4	17	20	2	4	5	4	5	15
	D	43	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	44	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	45	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	46	4	17	15	4	4	5	4	5	15
	D	47	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	48	4	17	20	2	4	5	4	5	15
	D	49	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	50	4	17	15	4	4	3	4	5	15
	D	51	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	52	4	17	10	2	4	5	4	5	15
	D	53	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	54	4	17	20	4	4	5	4	5	15
	D	55	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	56	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	57	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	58	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	59	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	60	4	17	15	2	4	5	4	5	15
FAMILIA 2	D	16	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	17	4	17	15	4	4	5	6	5	15
	D	18	4	17	20	2	4	3	4	5	15
	D	19	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	20	4	17	20	2	4	5	6	5	15
	D	21	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	22	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	23	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	24	4	17	15	4	4	5	6	5	15
	D	25	4	17	20	2	4	5	6	5	15
	D	26	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	27	4	17	15	2	4	5	6	5	15
FAMILIA 3	D	31	4	17	15	4	4	3	6	5	15
	D	32	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	33	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	34	4	17	10	4	4	5	6	5	15
	D	35	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	36	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	37	4	17	15	4	4	5	4	5	15
	D	38	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	39	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	40	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	41	4	17	15	4	4	5	4	5	15
	D	42	4	17	20	2	4	5	4	5	15
FAMILIA 4	D	43	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	44	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	45	4	17	15	2	4	3	6	5	15
	D	46	4	17	15	4	4	5	4	5	15
	D	47	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	48	4	17	20	2	4	5	4	5	15
	D	49	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	50	4	17	15	4	4	3	4	5	15
	D	51	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	52	4	17	10	2	4	5	4	5	15
	D	53	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	54	4	17	20	4	4	5	4	5	15
	D	55	4	17	15	2	4	5	6	5	15
	D	56	4	17	15	2	4	3	4	5	15
	D	57	4	17	15	2	4	5	4	5	15
	D	58	4	17	15	2	4	5	6	5	15

ANEXO 8



NOMBRE DEL PROYECTO:
METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022

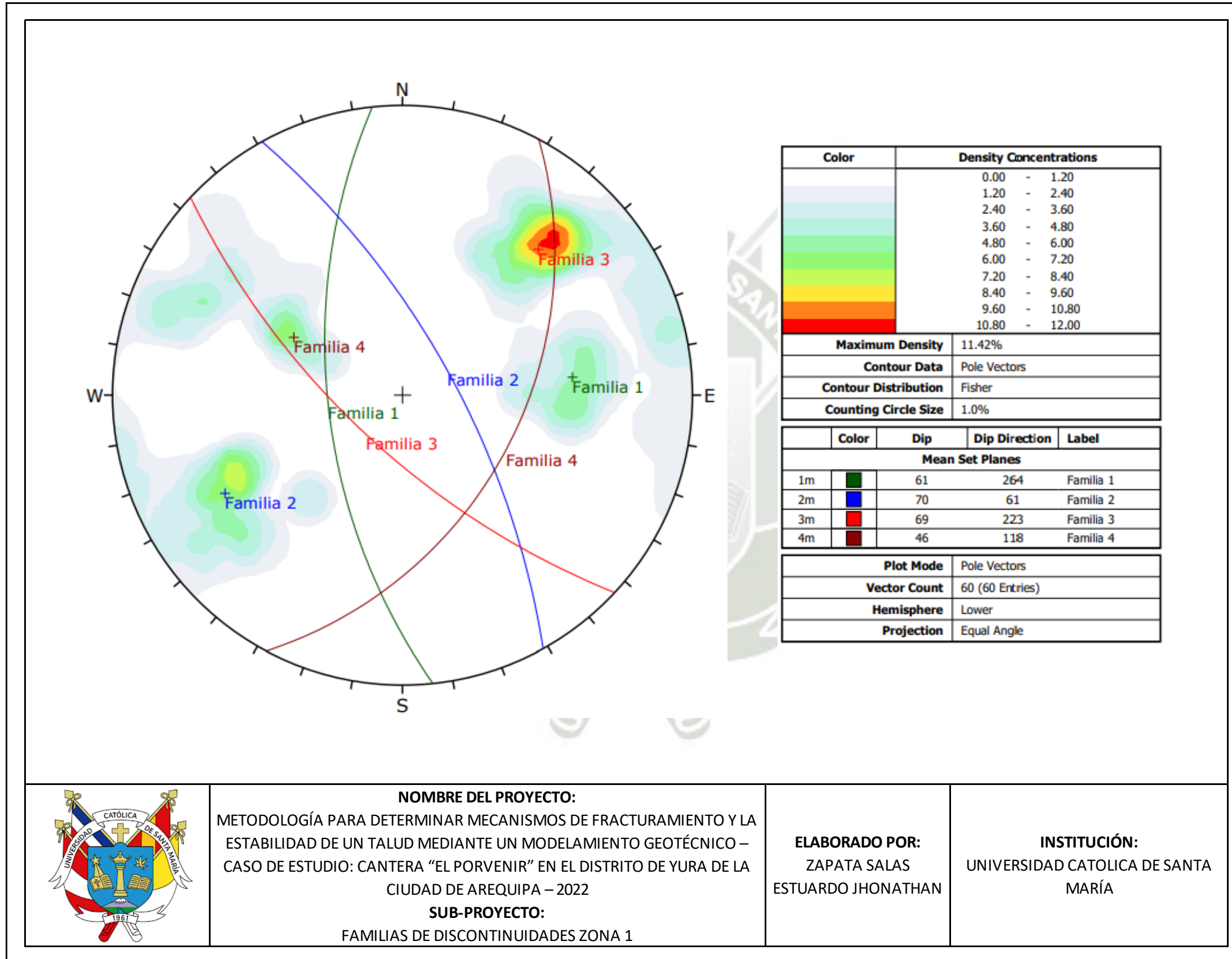
SUB-PROYECTO:
PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES

ELABORADO POR:
ZAPATA SALAS
ESTUARDO JHONATHAN

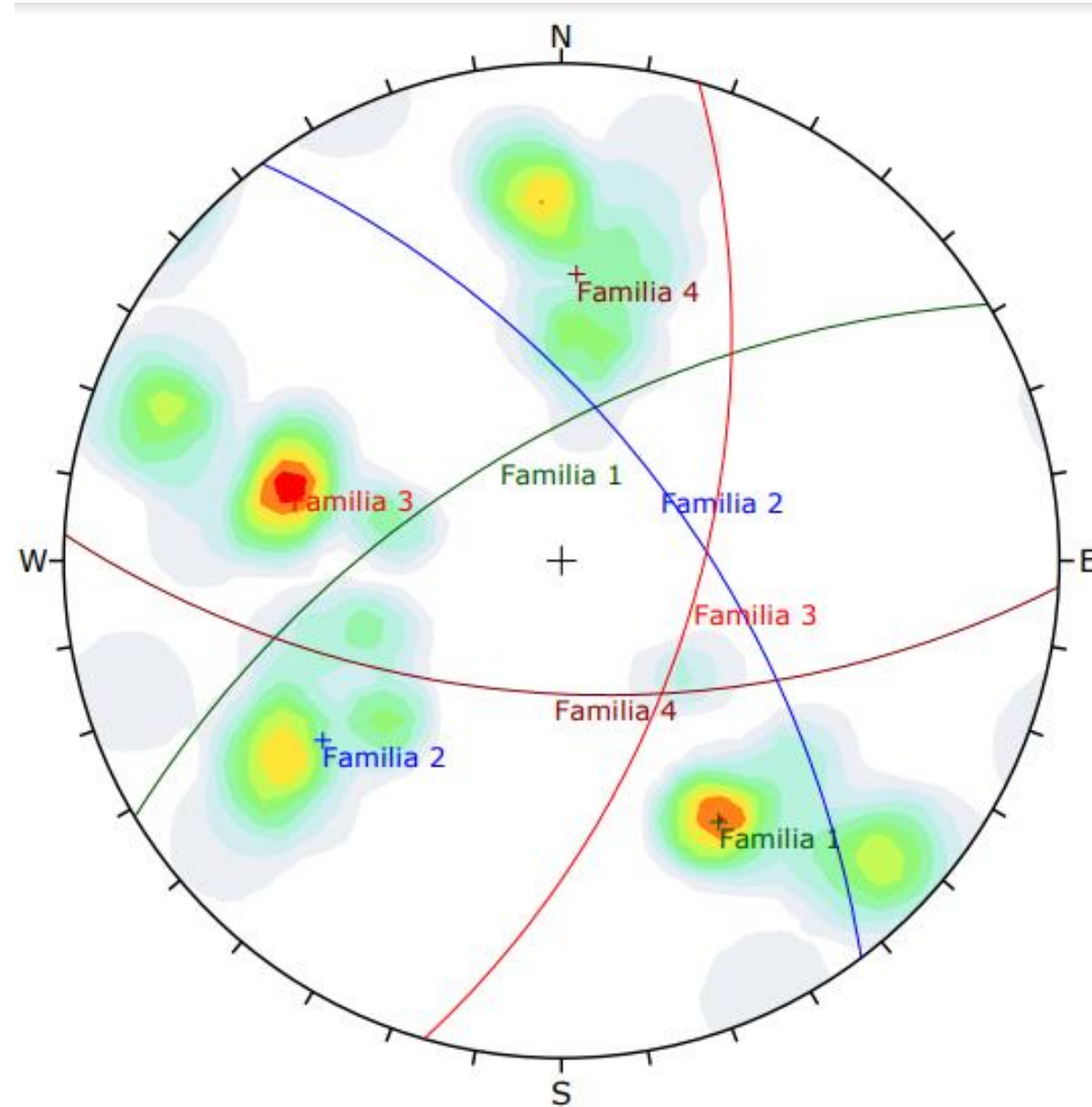
INSTITUCIÓN:
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA
MARÍA

ESCALA:
1/500

ANEXO 9



ANEXO 10



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 1.80
	1.80 - 2.70
	2.70 - 3.60
	3.60 - 4.50
	4.50 - 5.40
	5.40 - 6.30
	6.30 - 7.20
	7.20 - 8.10
	8.10 - 9.00
Maximum Density 8.78%	
Contour Data Pole Vectors	
Contour Distribution Fisher	
Counting Circle Size 1.0%	

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		63	329	Familia 1
2m		62	53	Familia 2
3m		59	106	Familia 3
4m		60	183	Familia 4

Plot Mode Pole Vectors	
Vector Count 60 (60 Entries)	
Hemisphere Lower	
Projection Equal Angle	

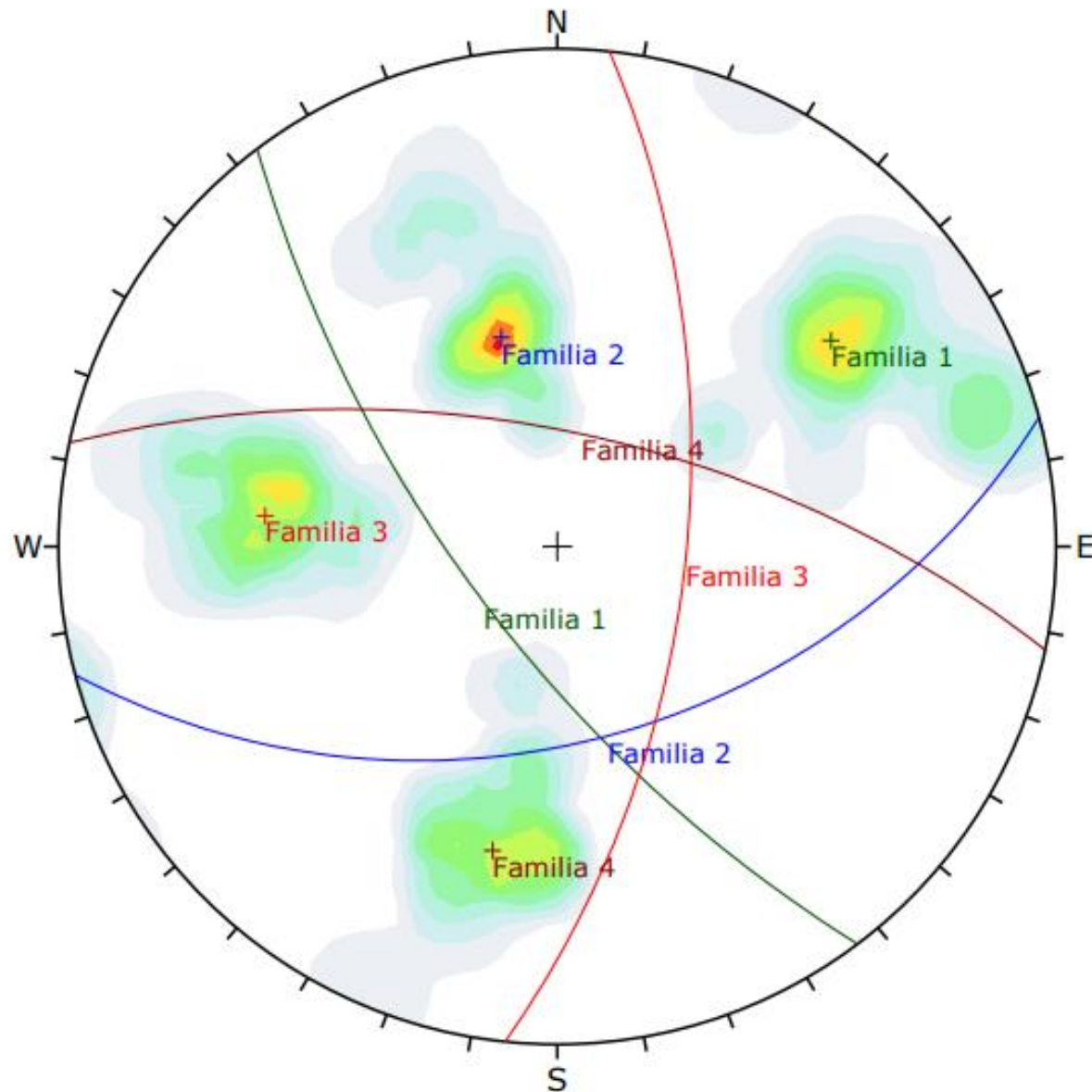


NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022
SUB-PROYECTO:
 FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES ZONA 2

ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA
 MARÍA

ANEXO 11



Color	Density Concentrations	
	0.00	- 1.00
	1.00	- 2.00
	2.00	- 3.00
	3.00	- 4.00
	4.00	- 5.00
	5.00	- 6.00
	6.00	- 7.00
	7.00	- 8.00
	8.00	- 9.00
	9.00	- 10.00
Maximum Density		9.36%
Contour Data		Pole Vectors
Contour Distribution		Fisher
Counting Circle Size		1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		69	233	Familia 1
3m		47	165	Familia 2
4m		61	96	Familia 3
5m		64	12	Familia 4

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count		60 (60 Entries)
Hemisphere		Lower
Projection		Equal Angle



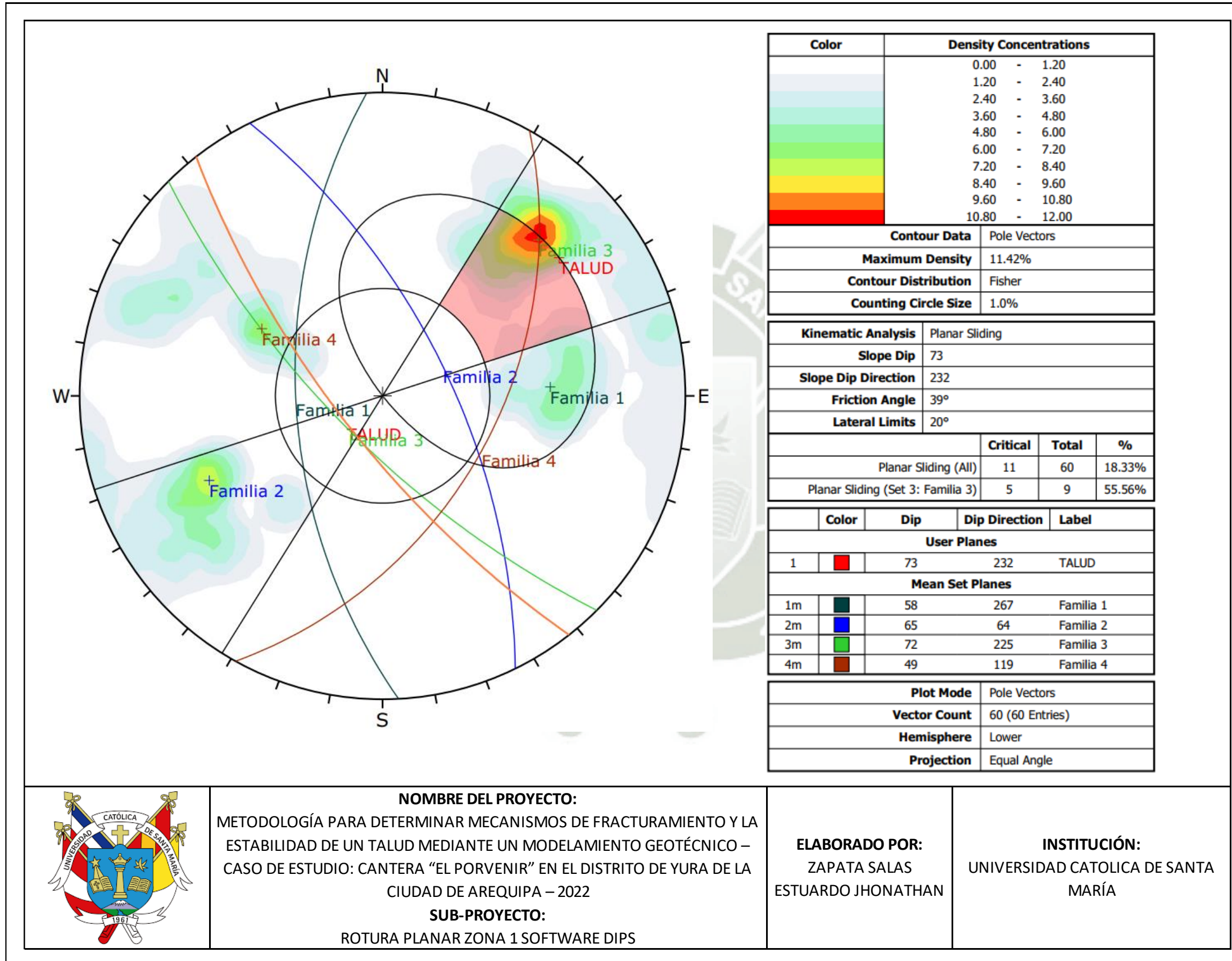
NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022

SUB-PROYECTO:
 FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES ZONA 3

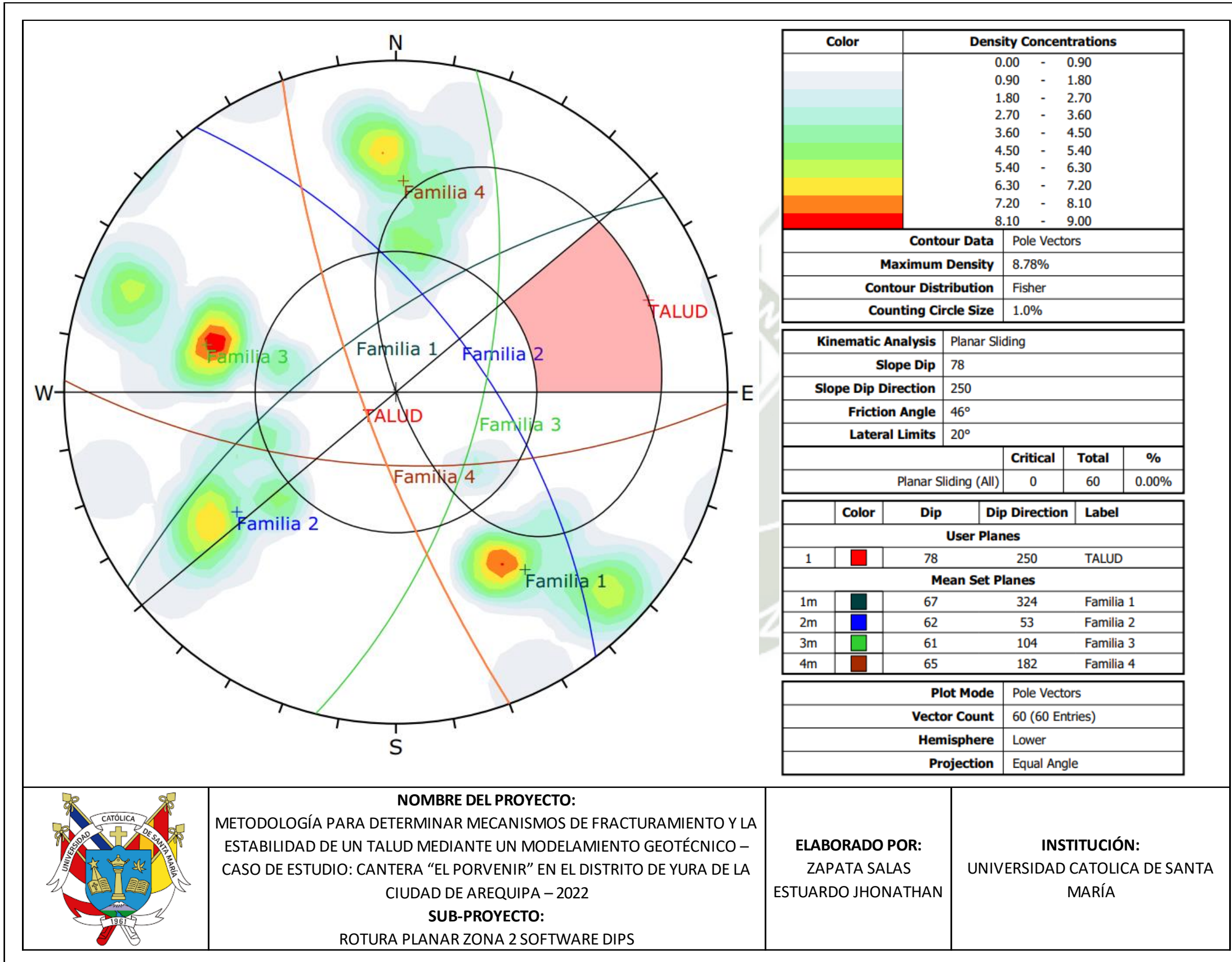
ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA
 MARÍA

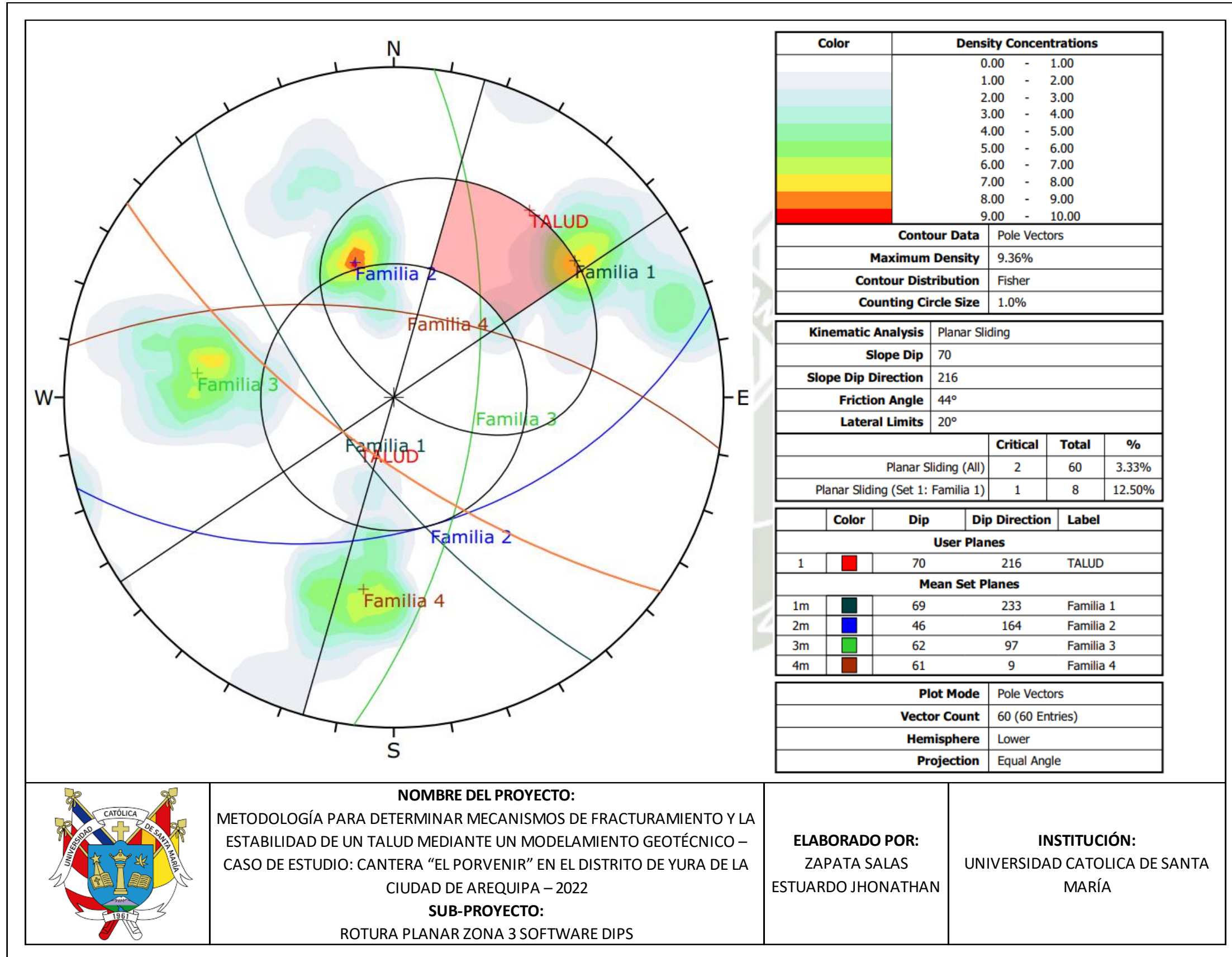
ANEXO 12



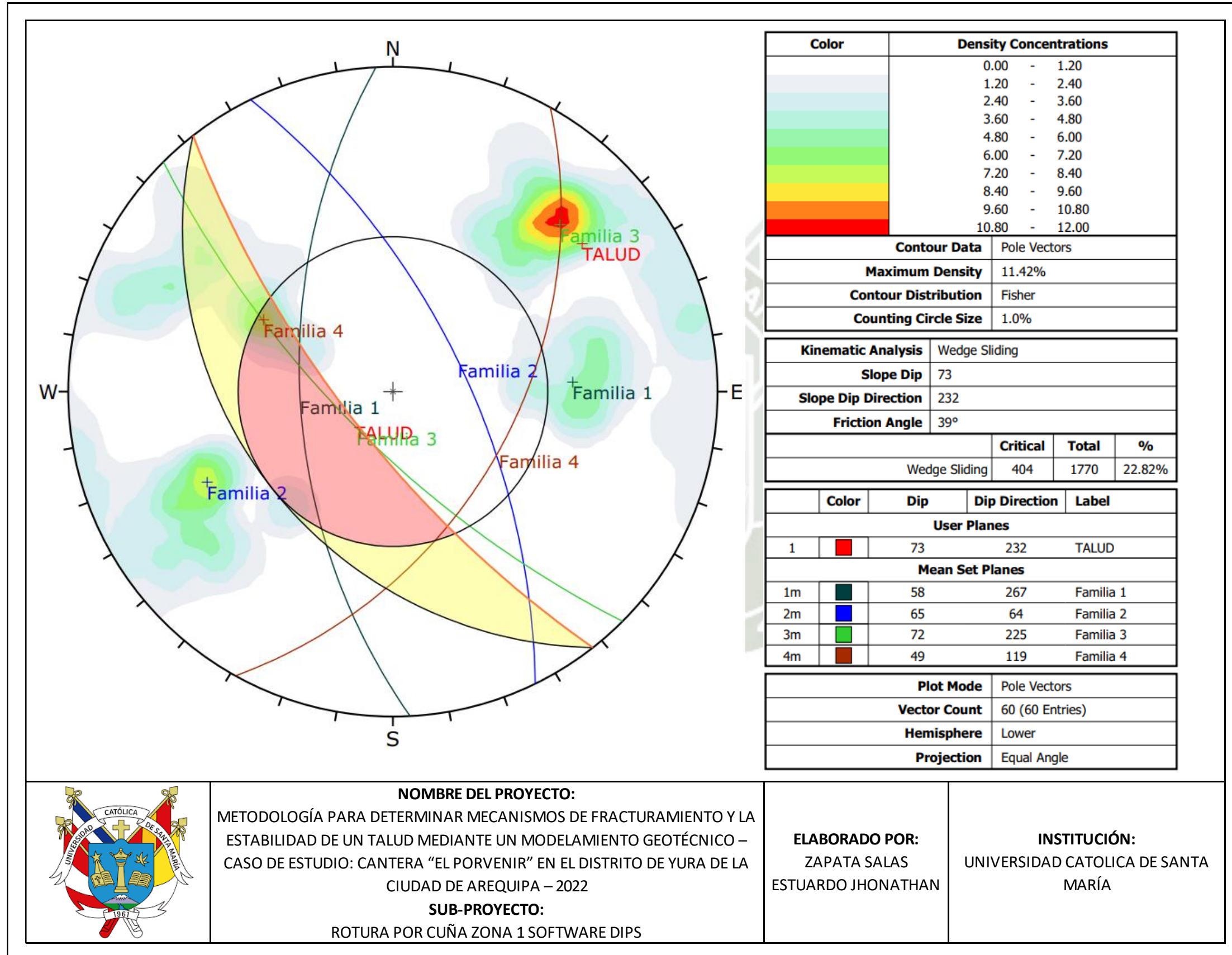
ANEXO 13



ANEXO 14



ANEXO 15



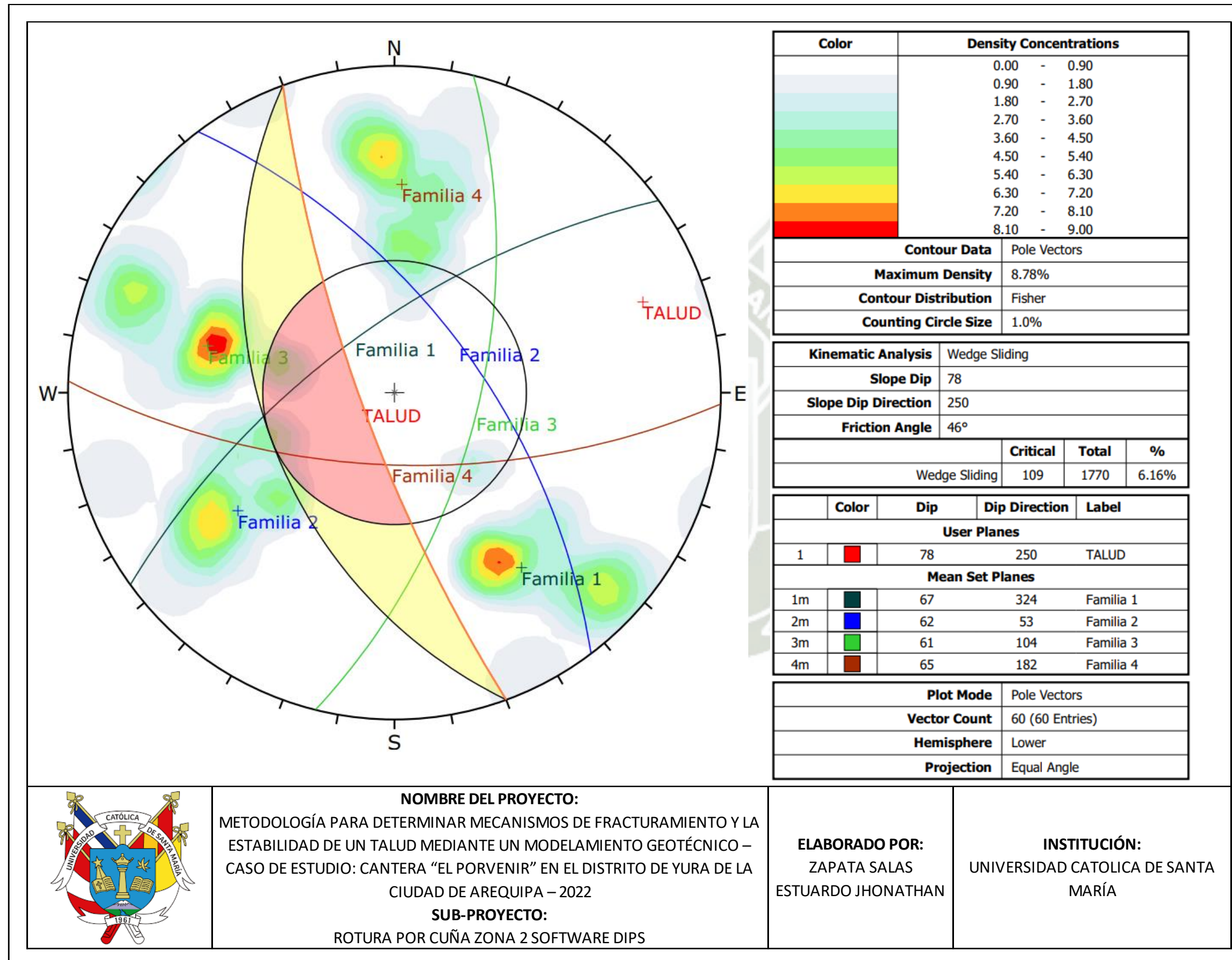
NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022

SUB-PROYECTO:
 ROTURA POR CUÑA ZONA 1 SOFTWARE DIPS

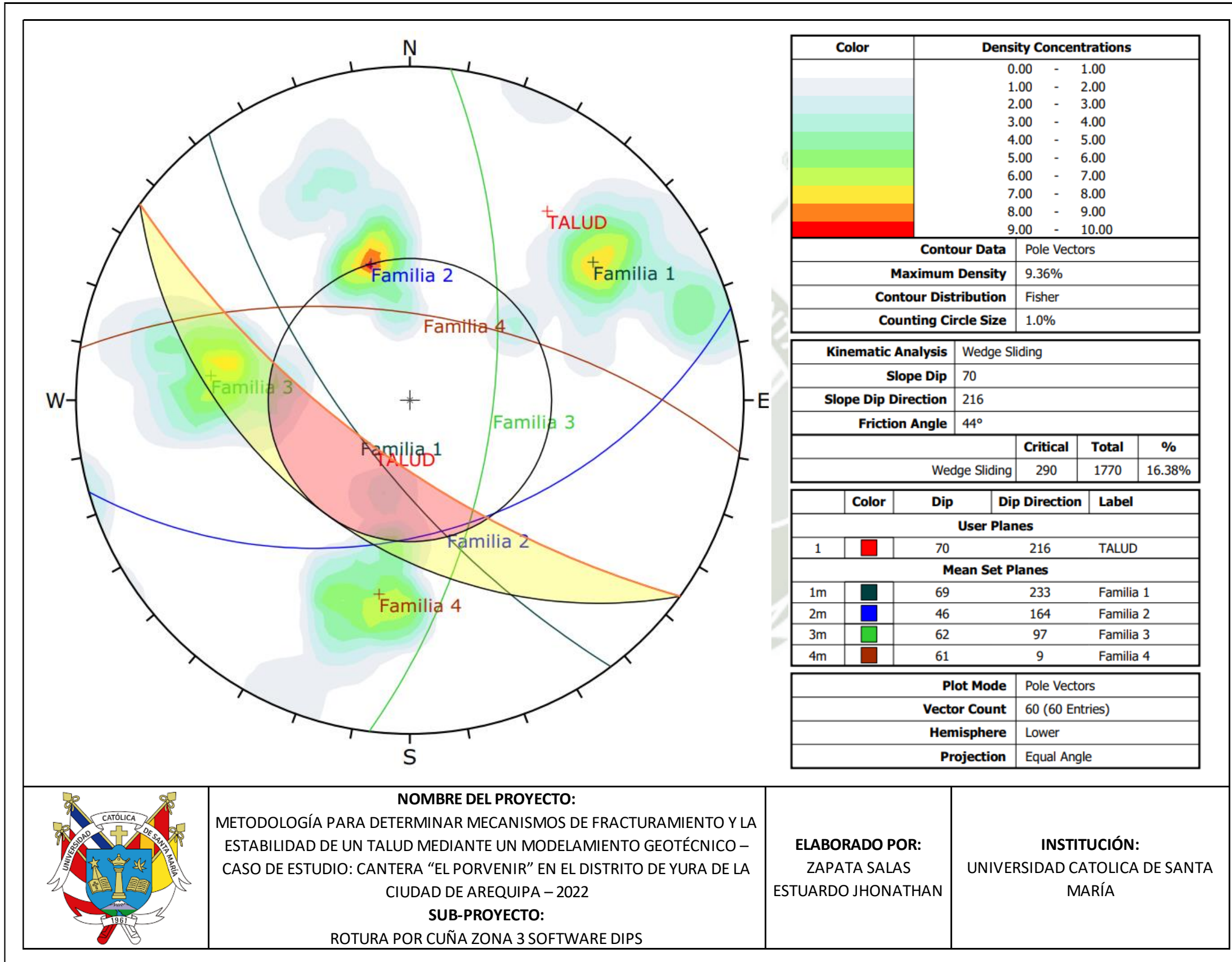
ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA

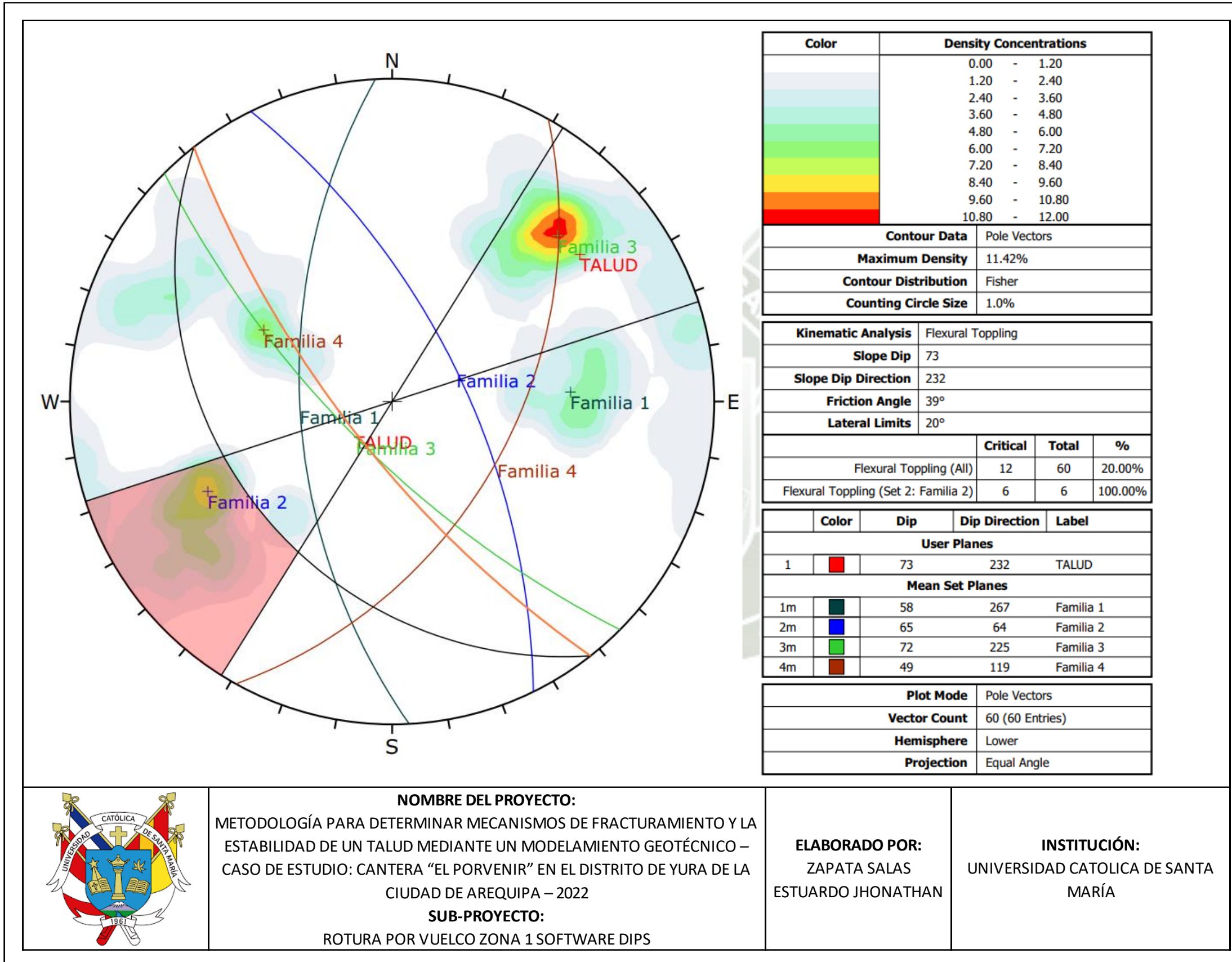
ANEXO 16



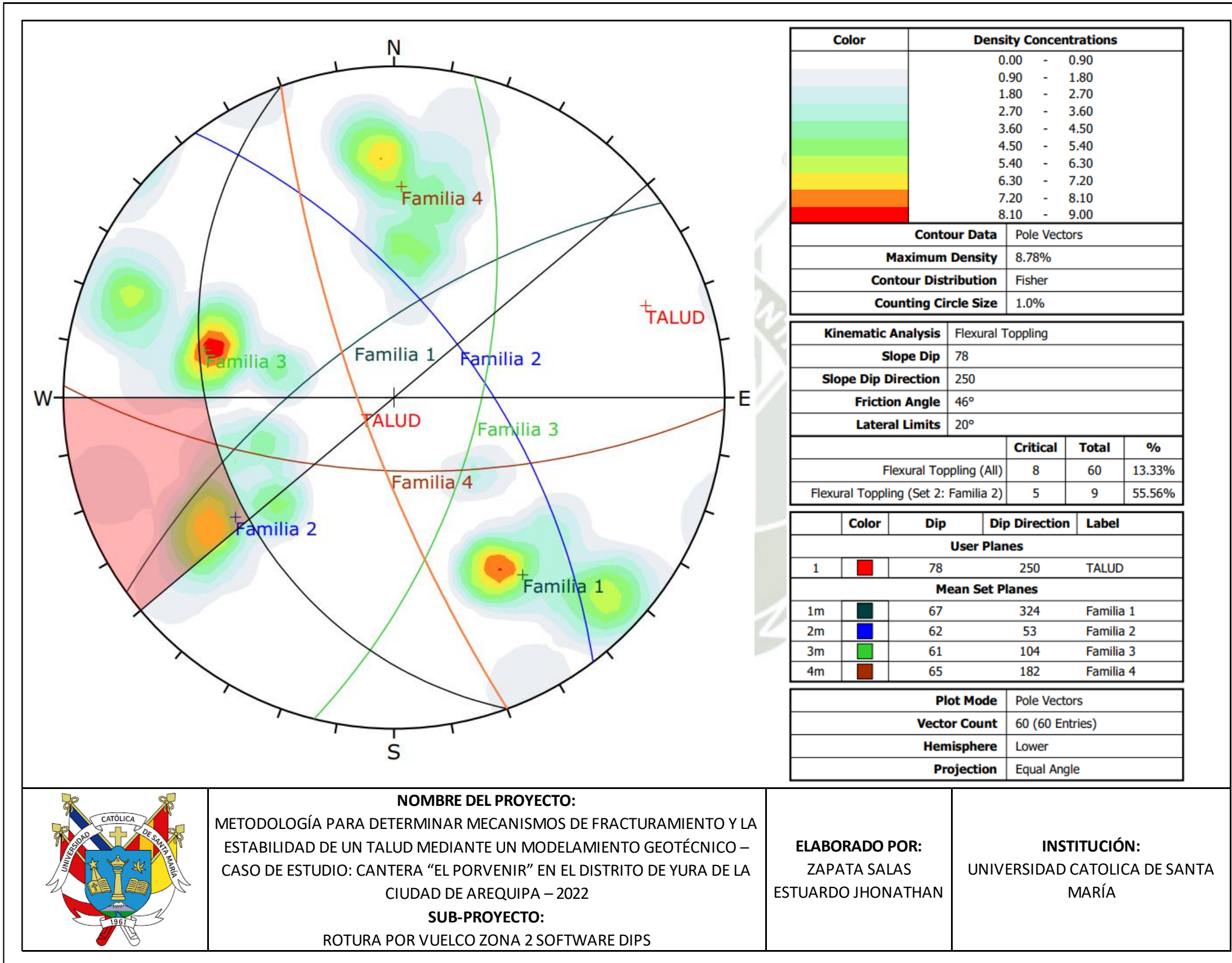
ANEXO 17



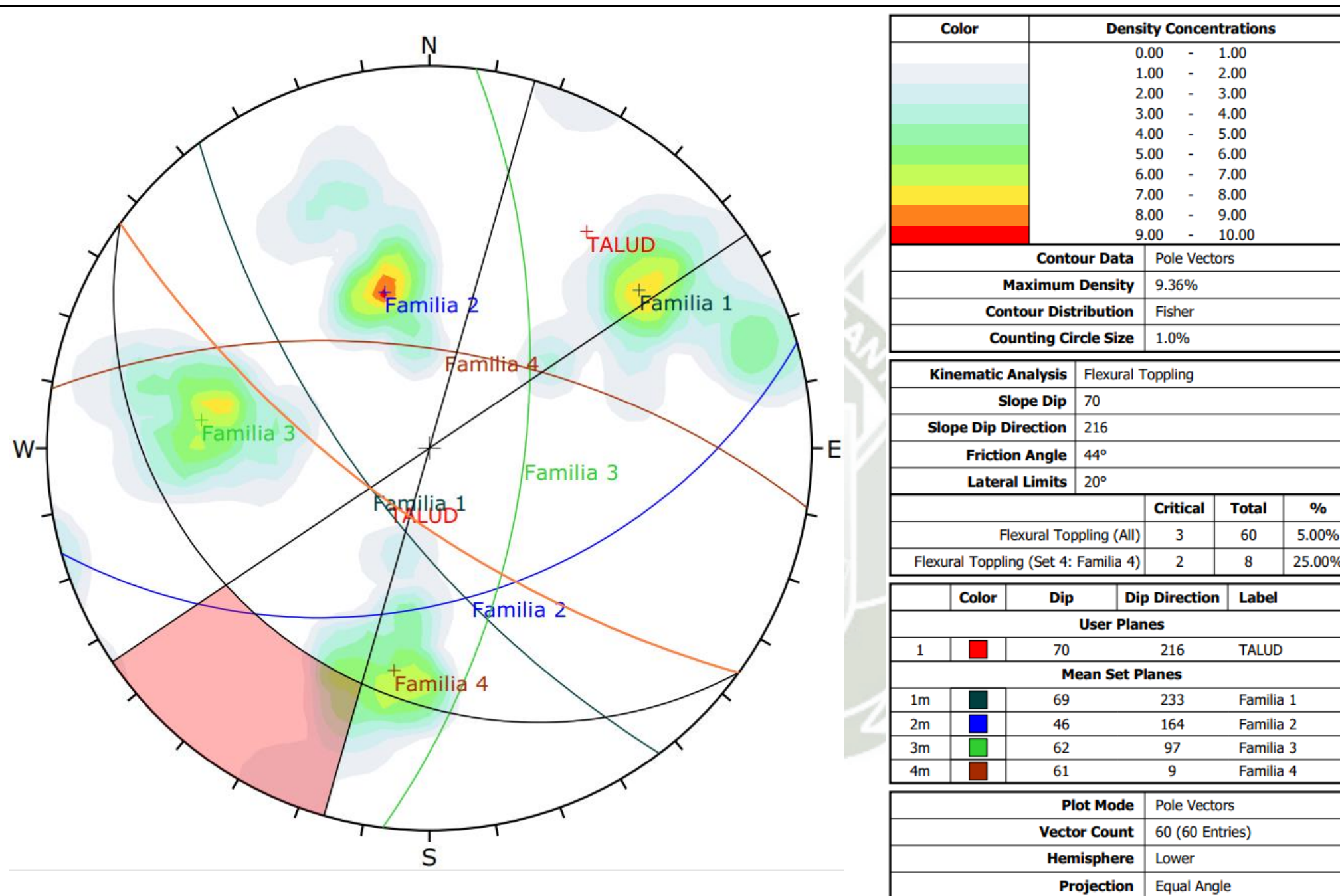
ANEXO 18



ANEXO 19



ANEXO 20



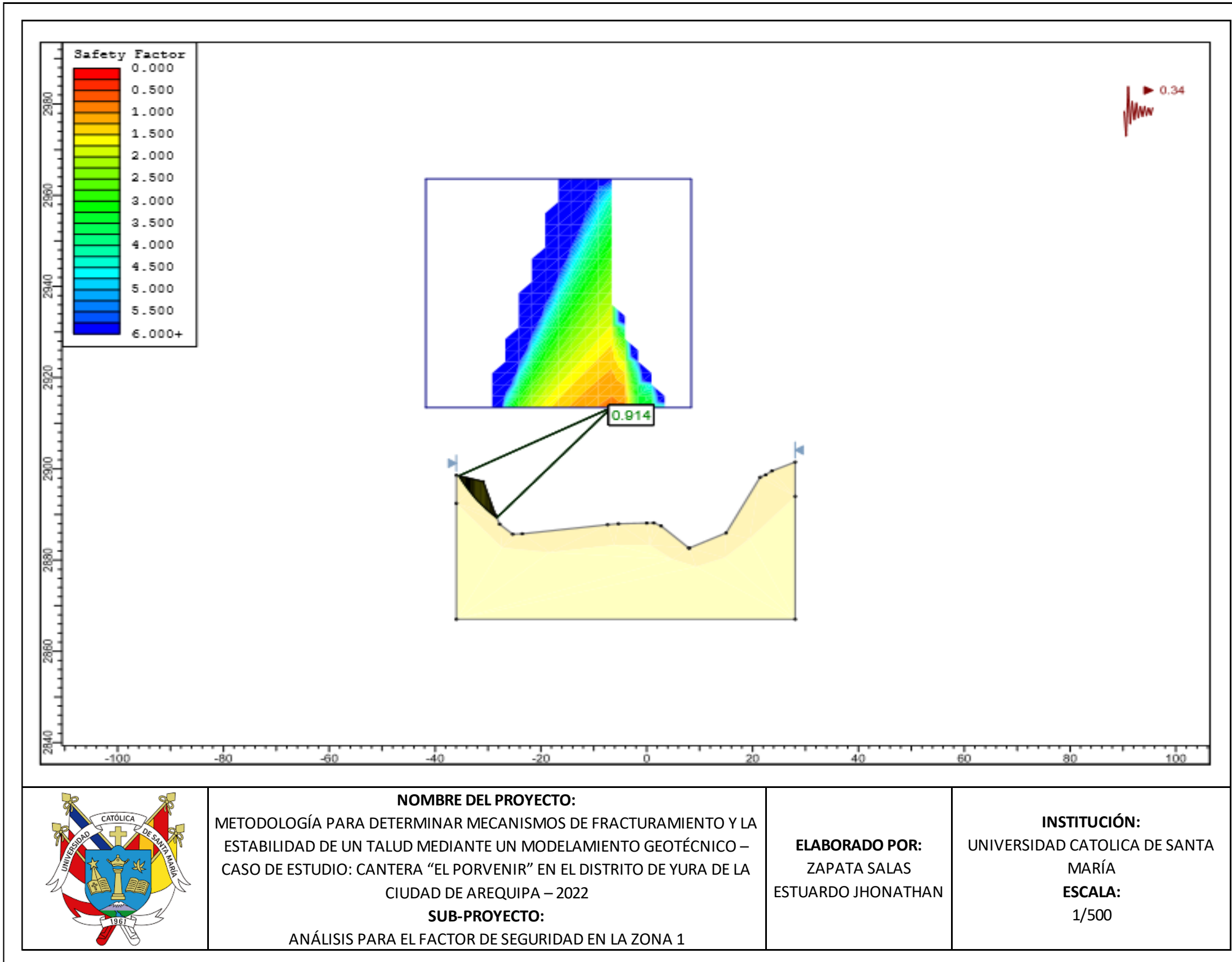
NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022

SUB-PROYECTO:
 ROTURA POR VUELCO ZONA 3 SOFTWARE DIPS

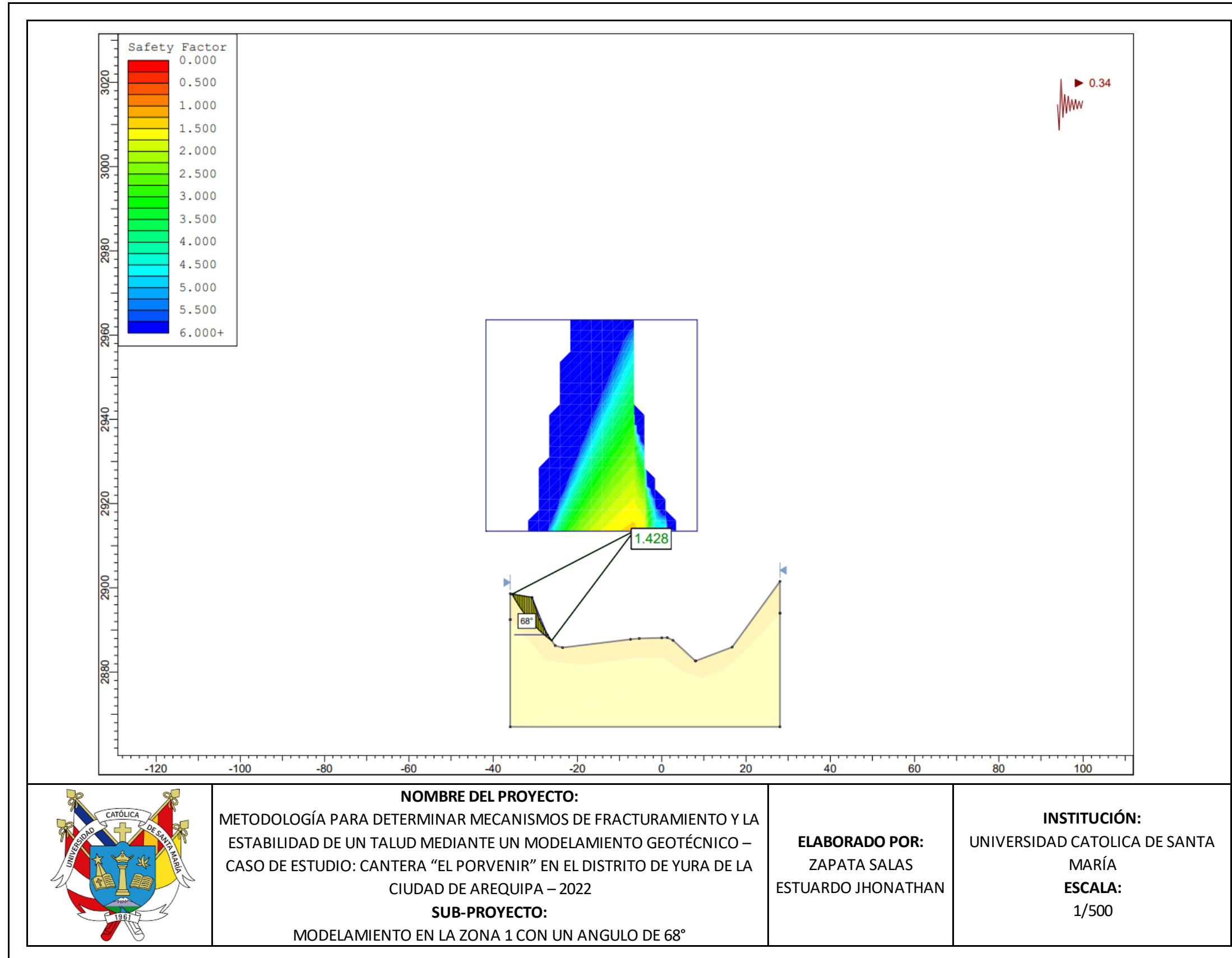
ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA
 MARÍA

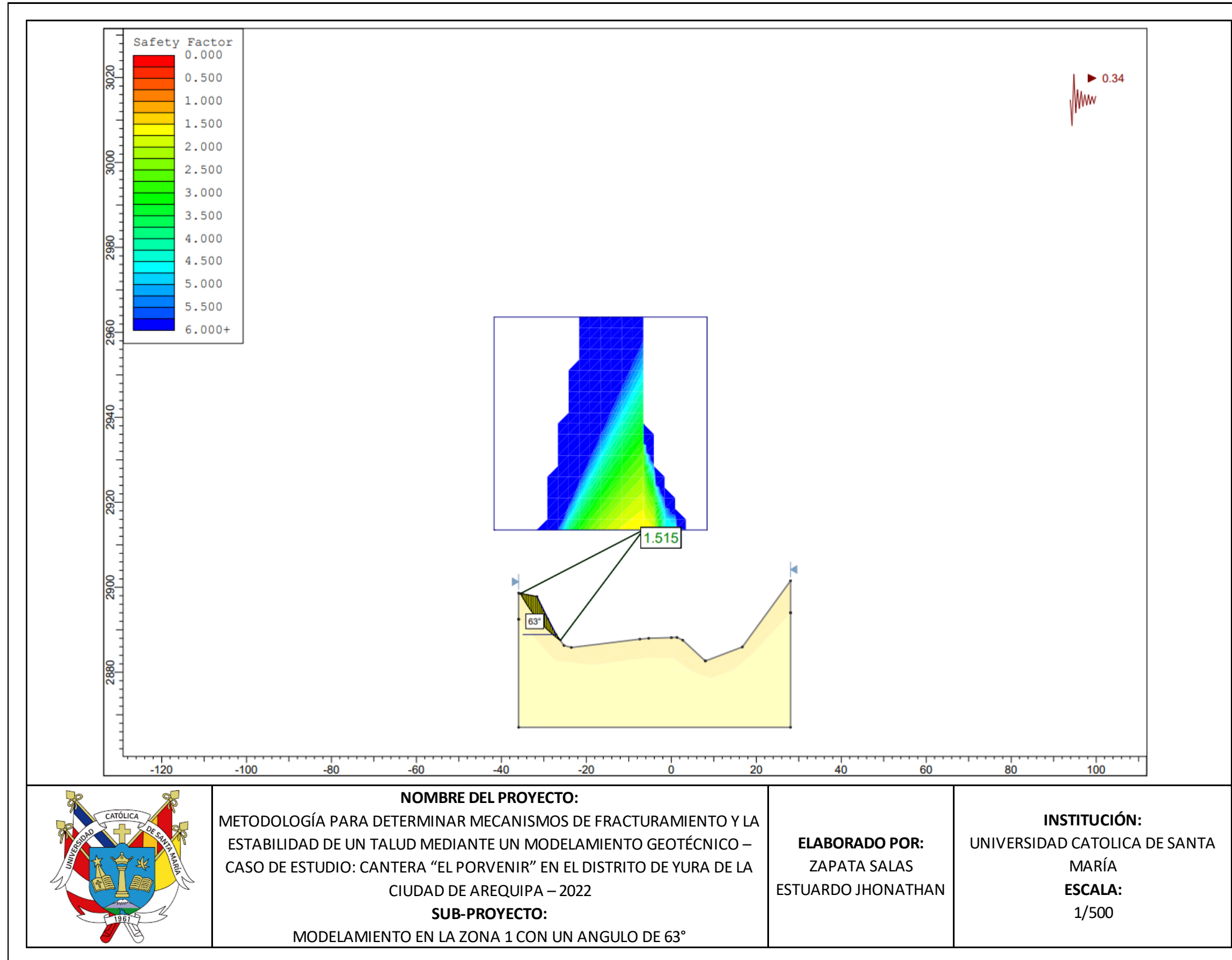
ANEXO 21



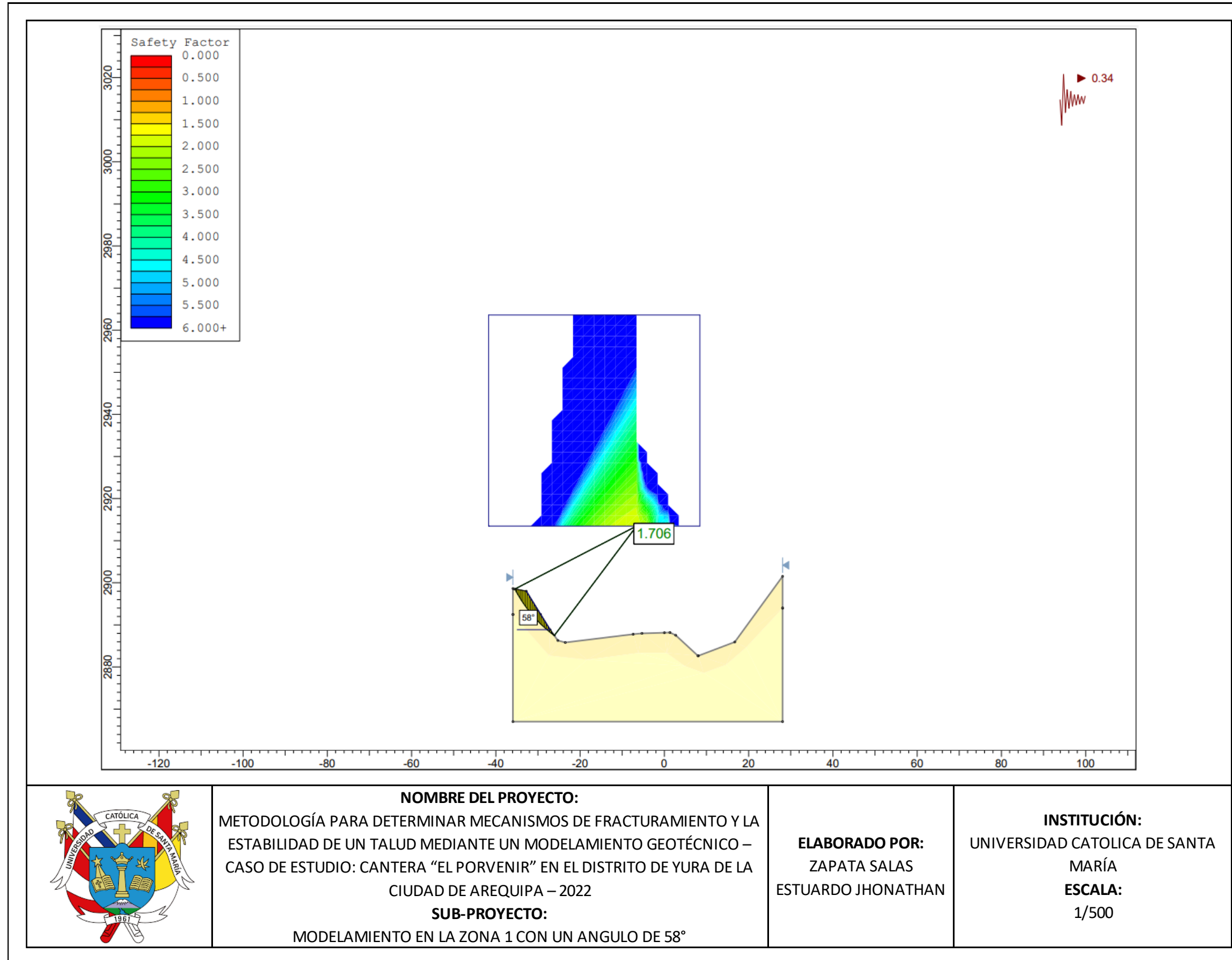
ANEXO 22



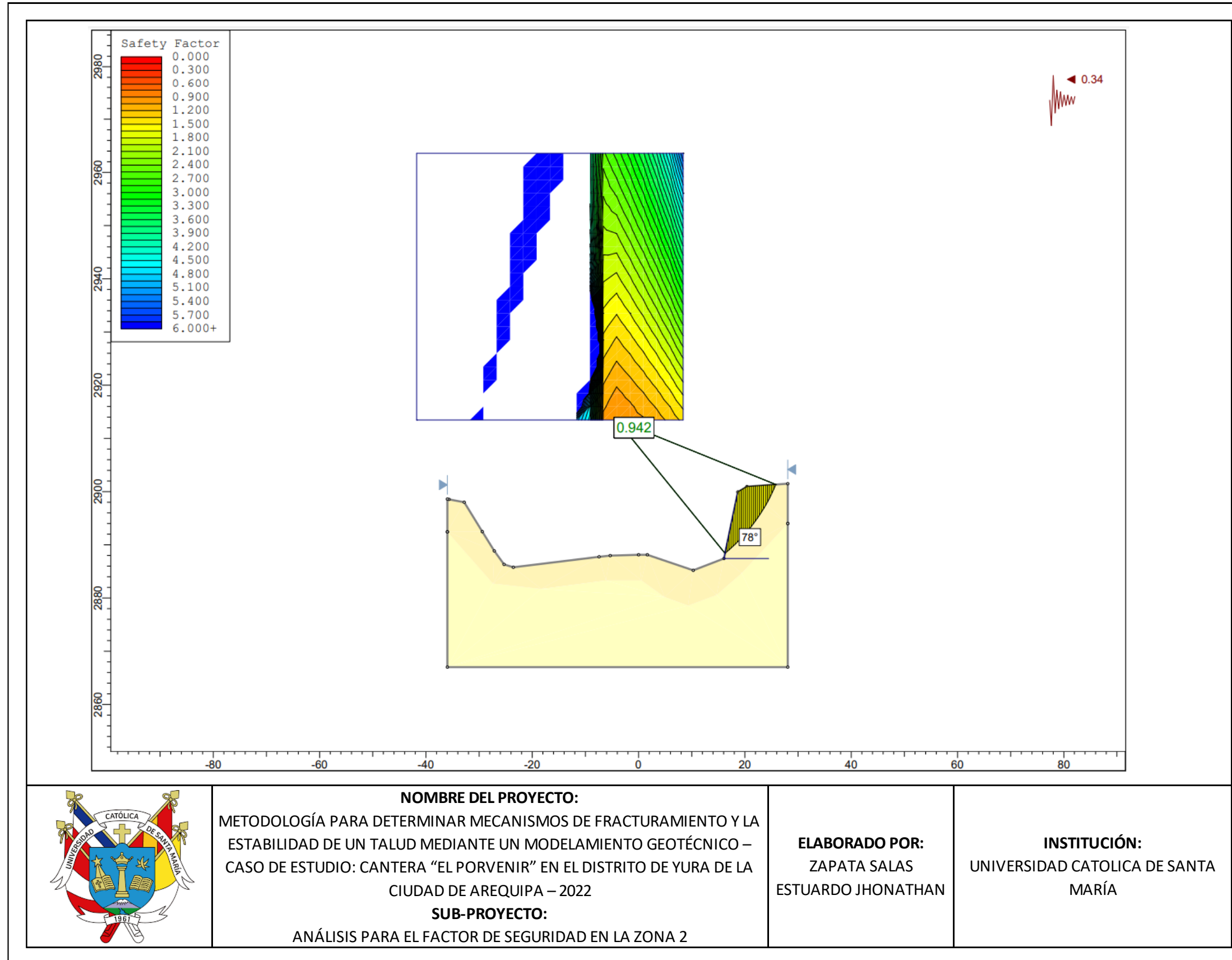
ANEXO 23



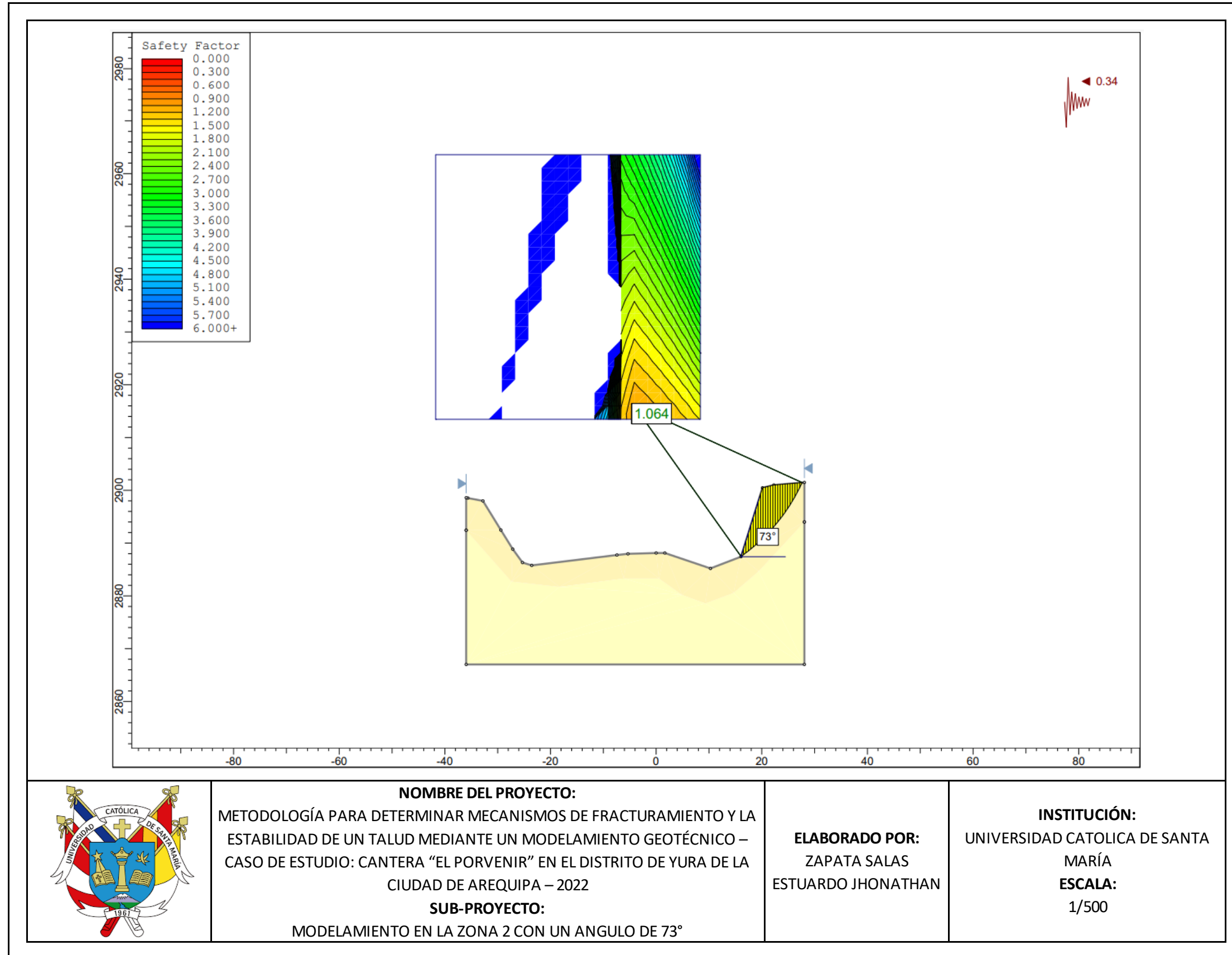
ANEXO 24



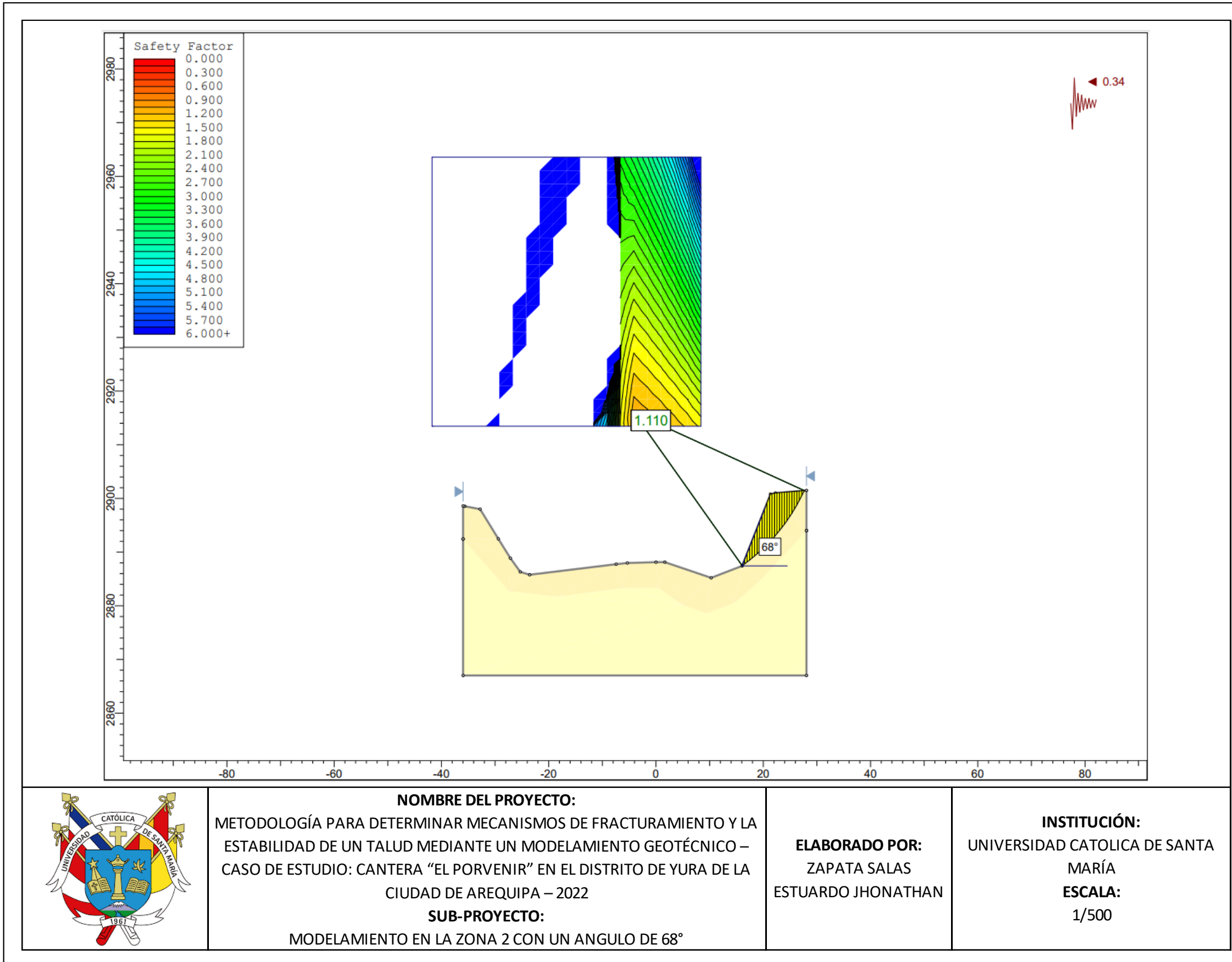
ANEXO 25



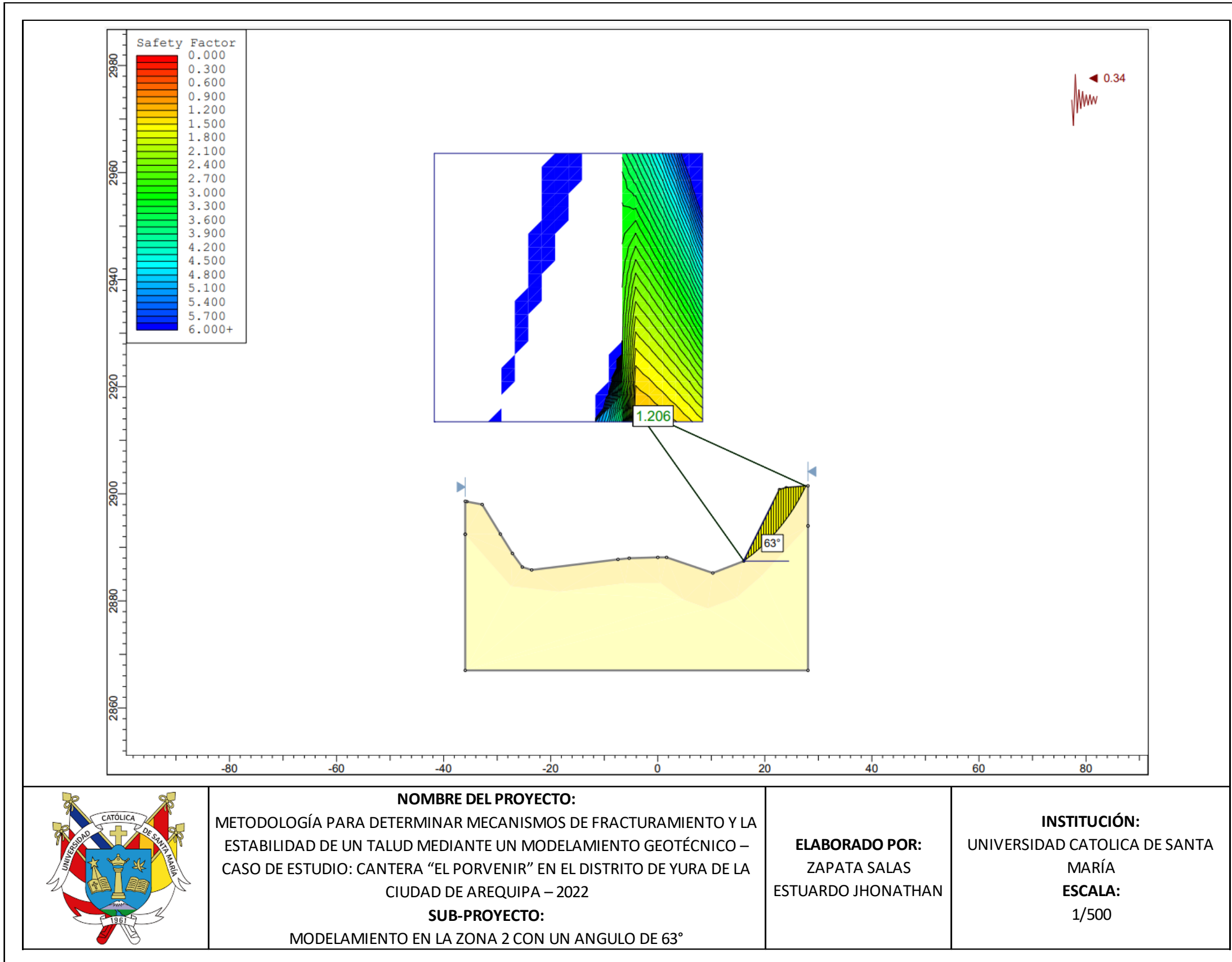
ANEXO 26



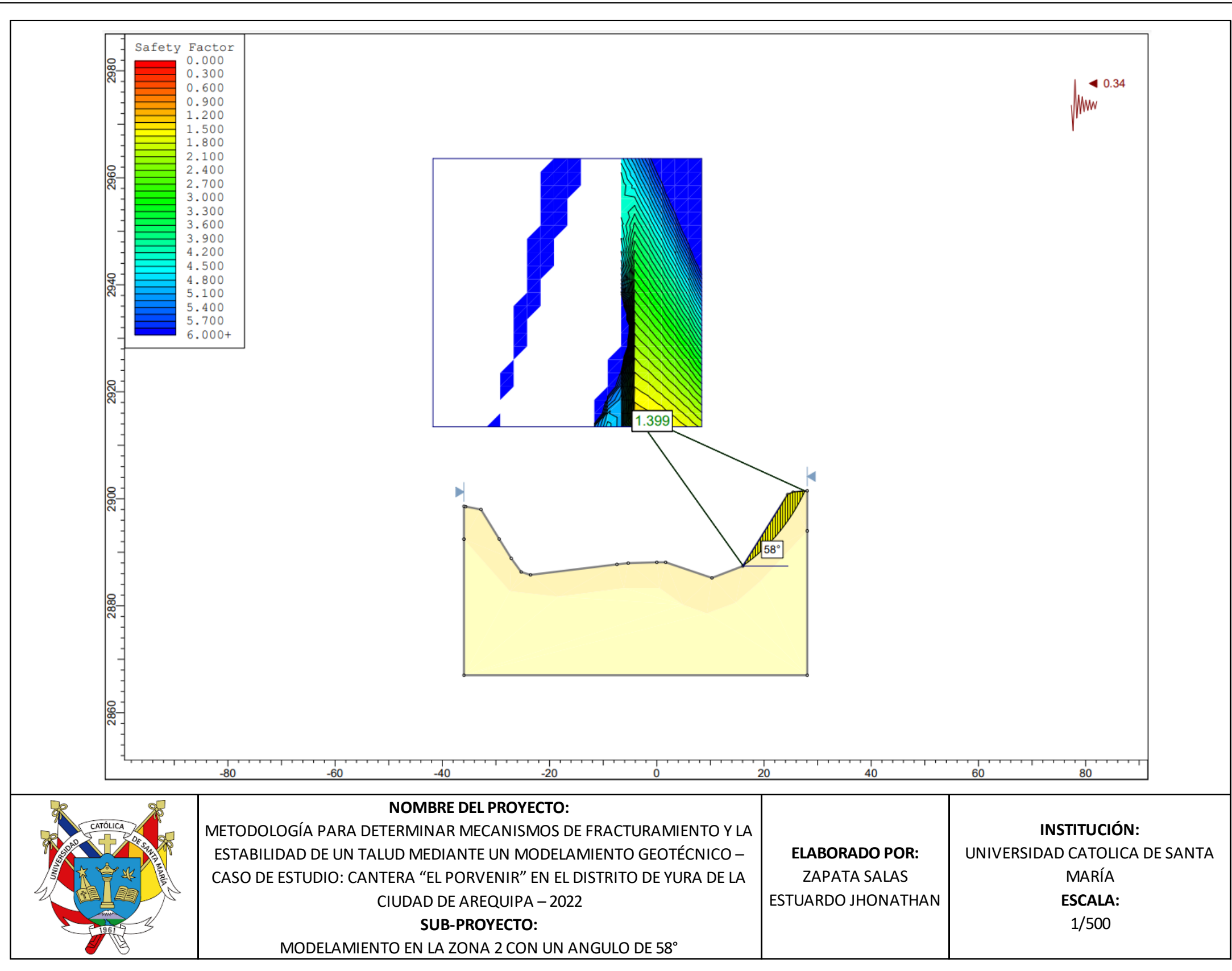
ANEXO 27



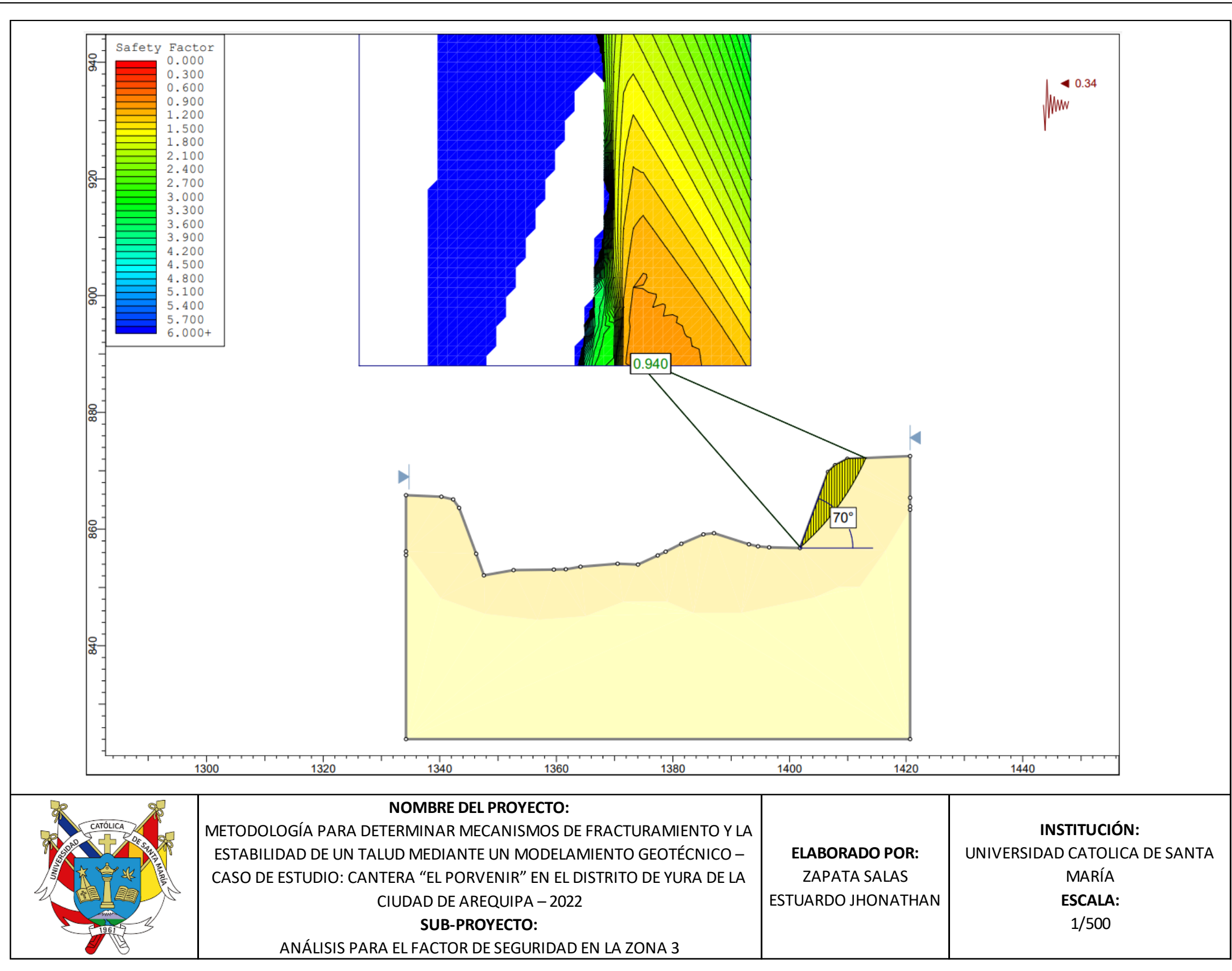
ANEXO 28



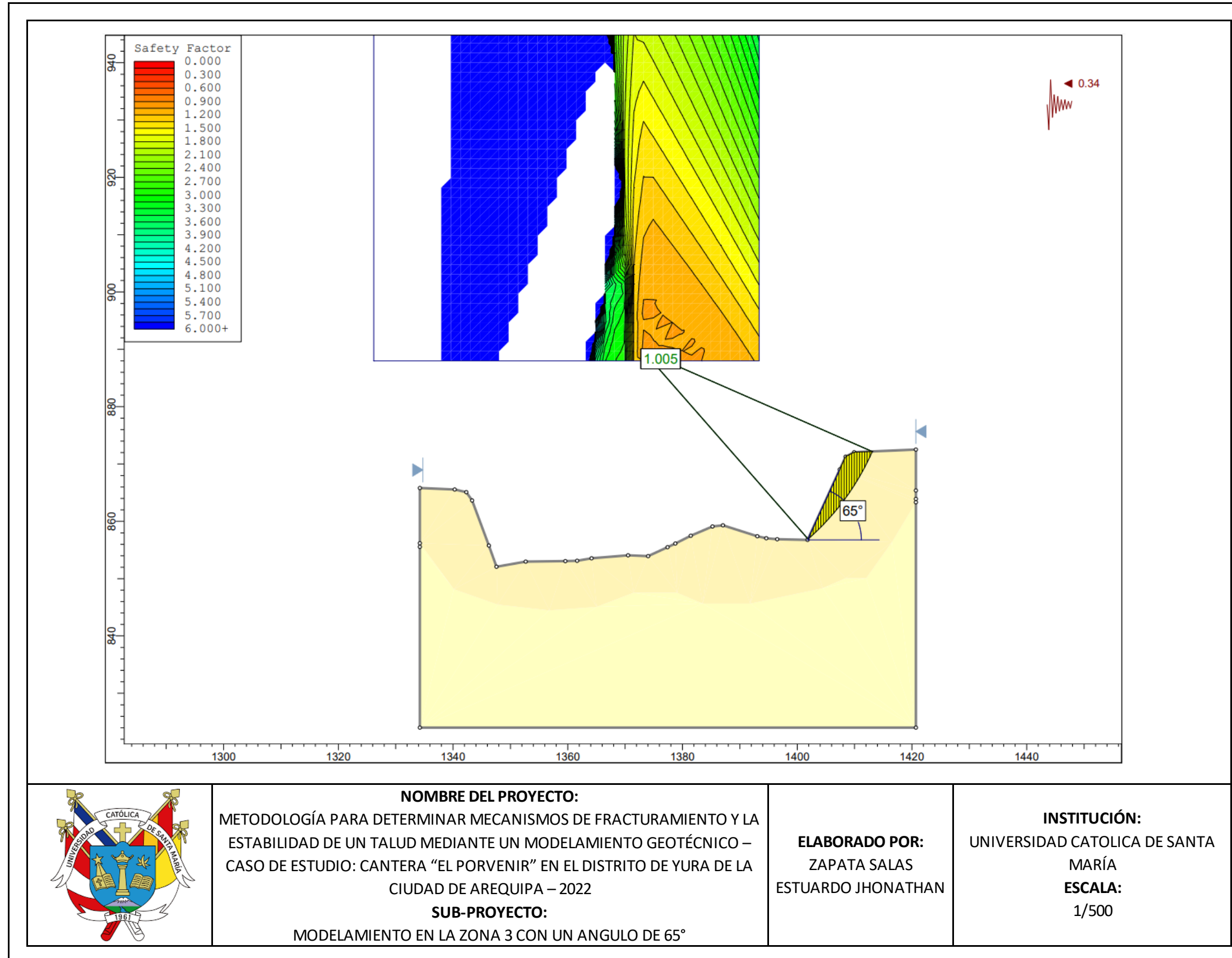
ANEXO 29



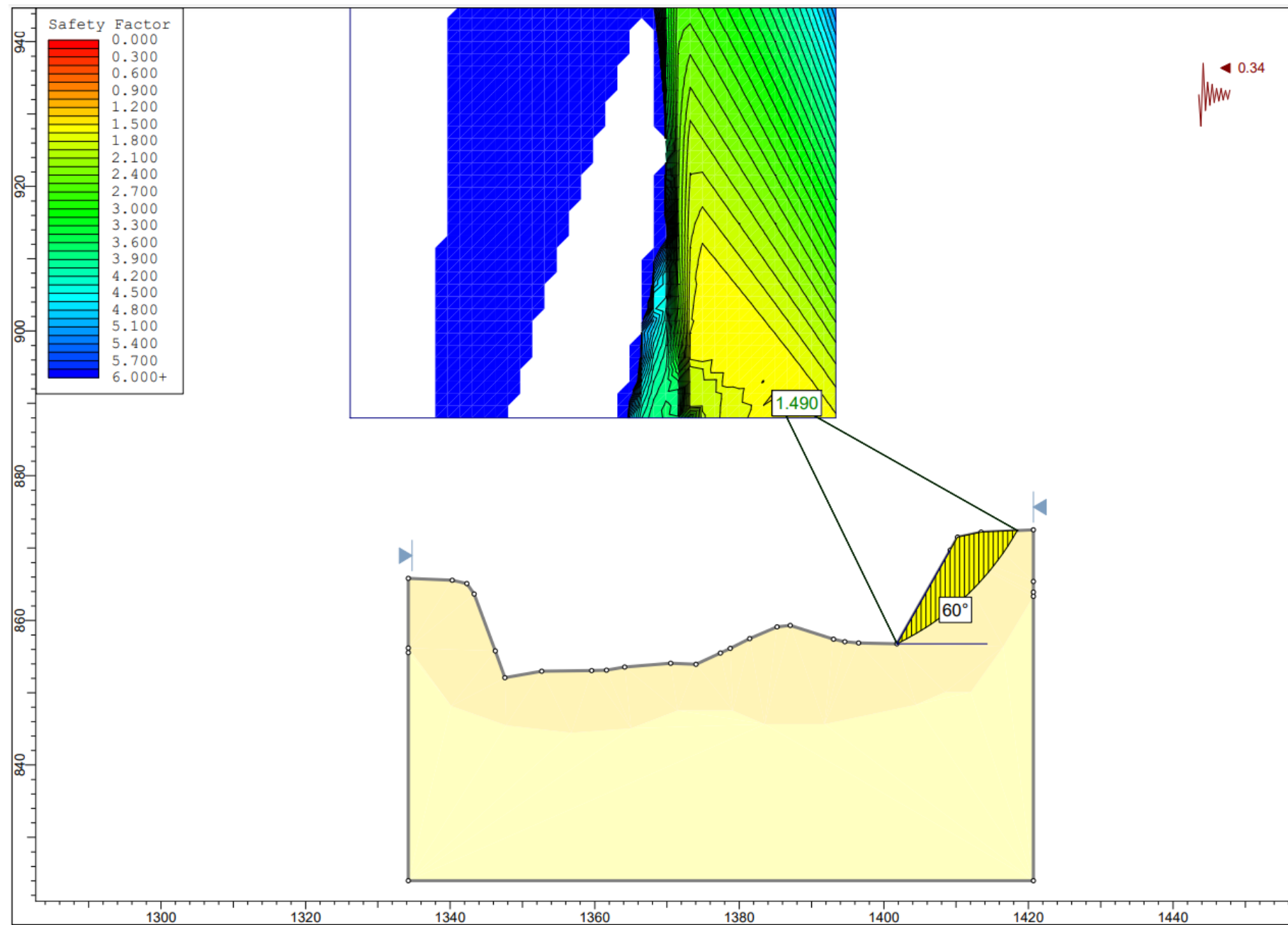
ANEXO 30



ANEXO 31



ANEXO 32

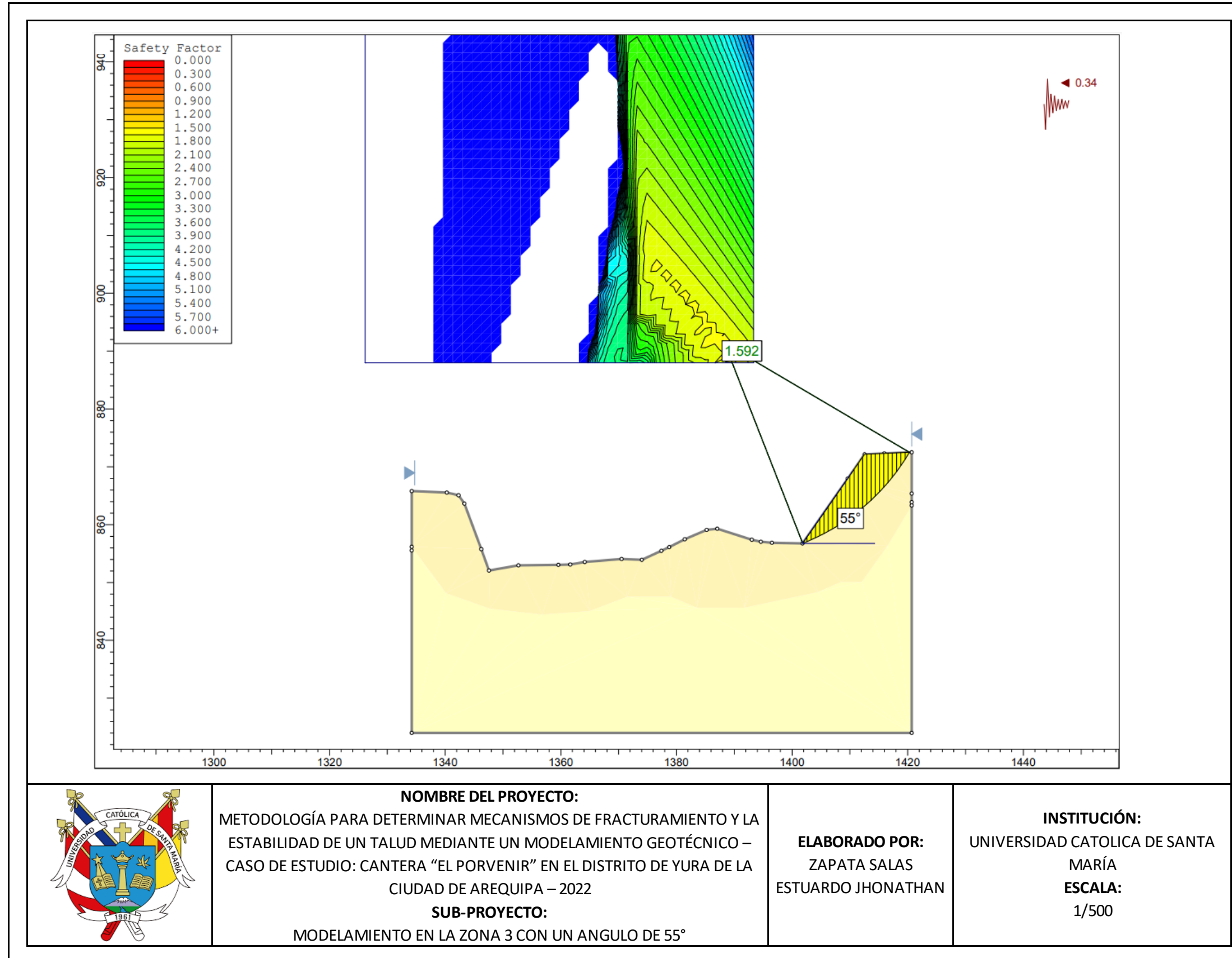


NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022
SUB-PROYECTO:
 MODELAMIENTO EN LA ZONA 3 CON UN ANGULO DE 60°

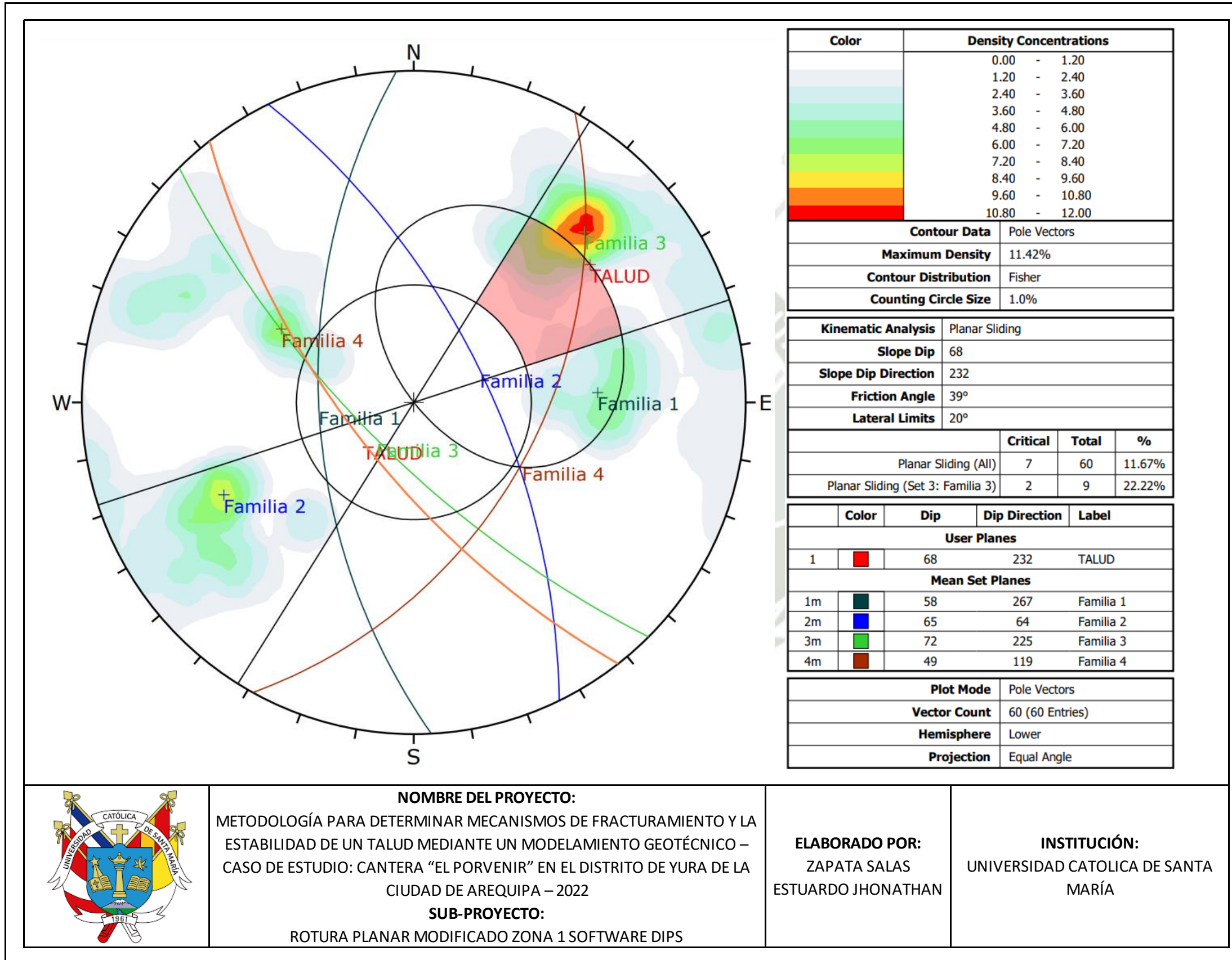
ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA
ESCALA:
 1/500

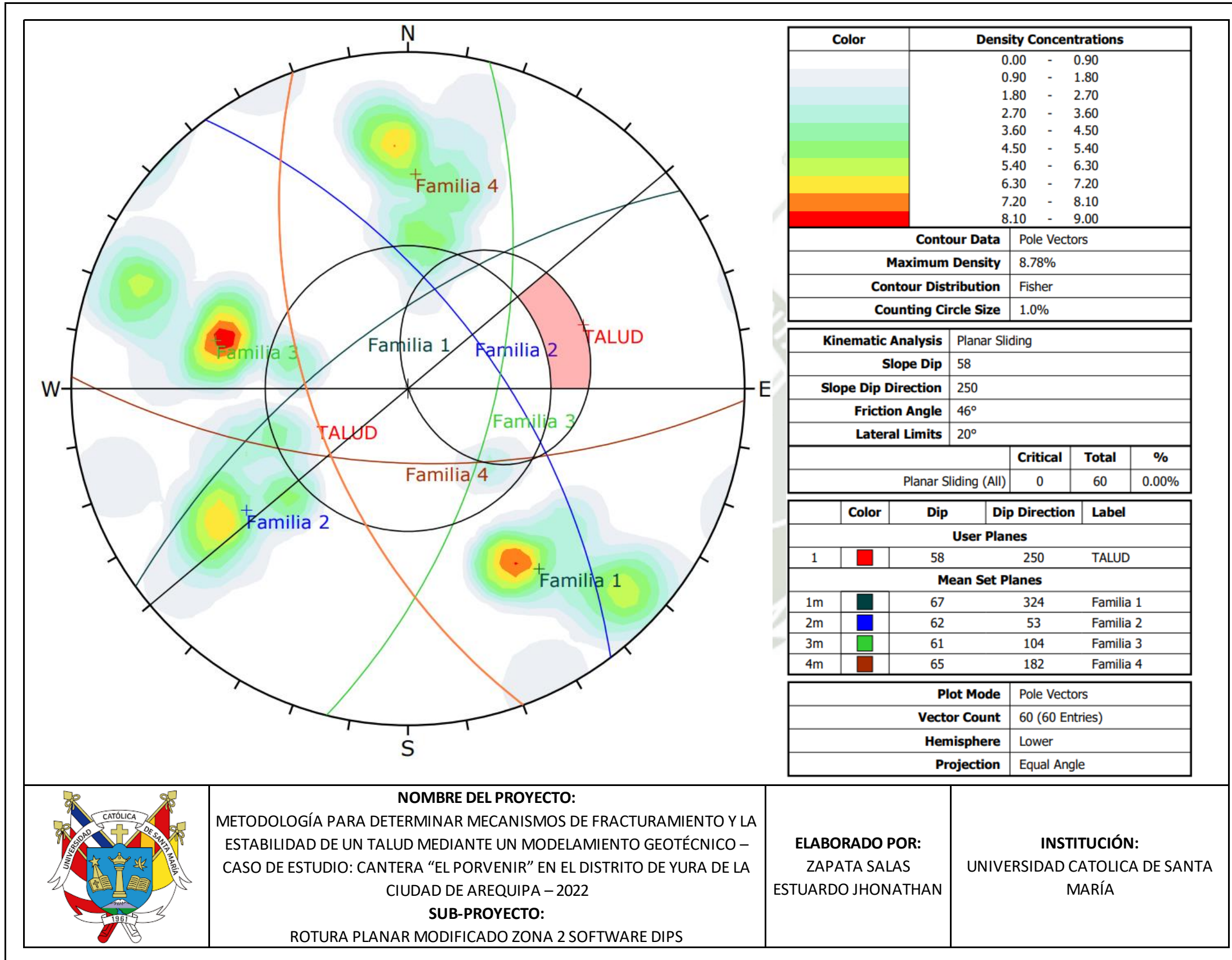
ANEXO 33



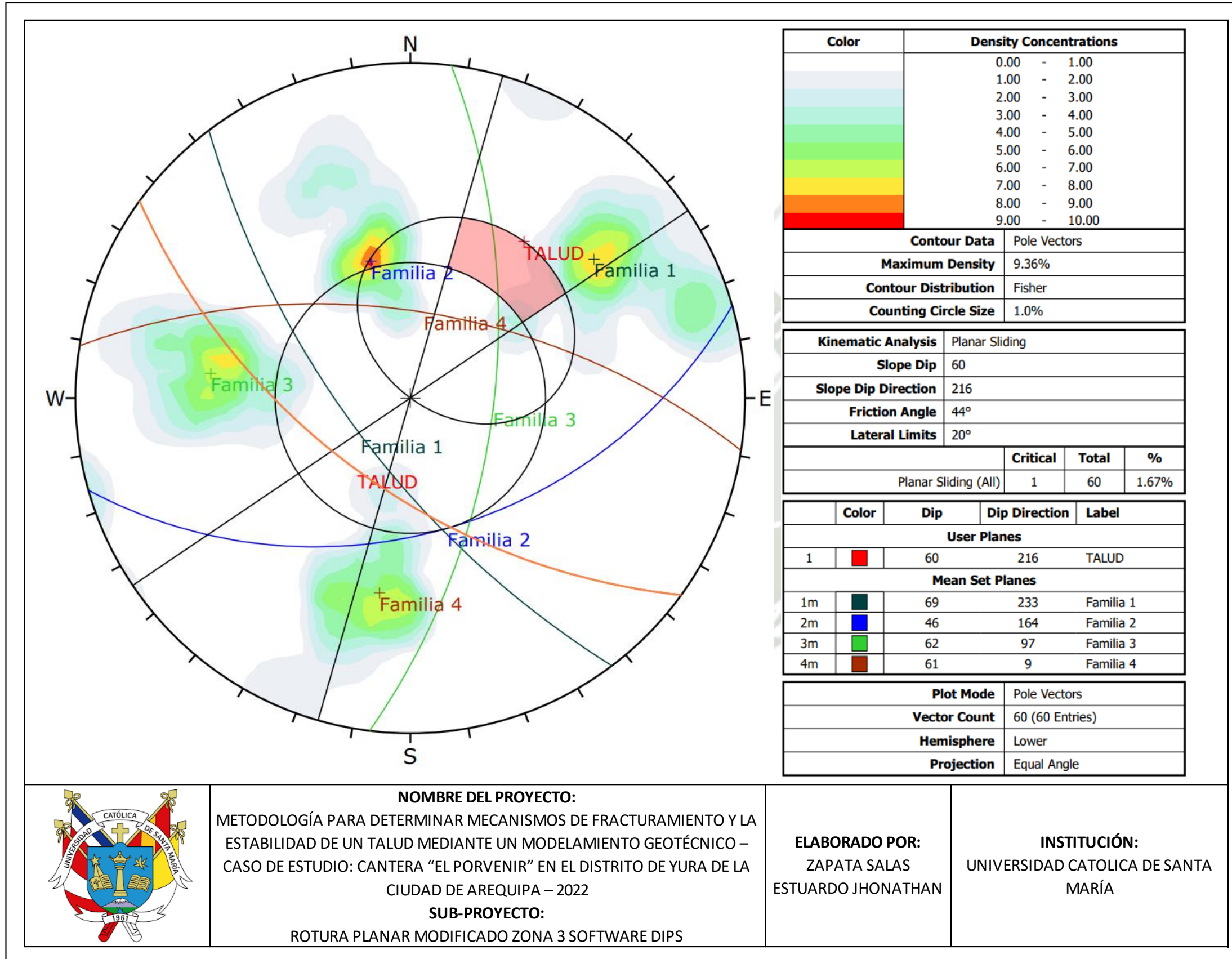
ANEXO 34



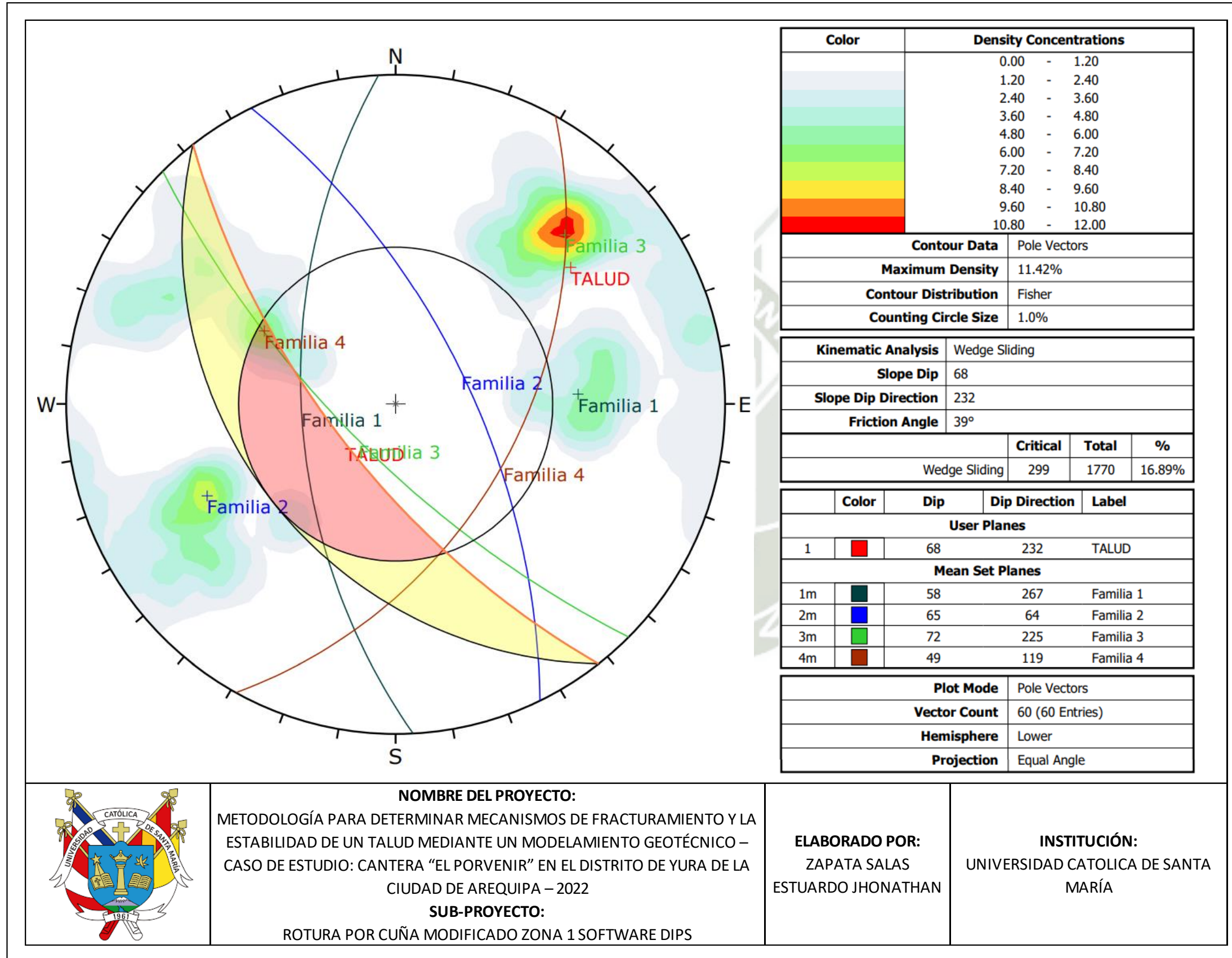
ANEXO 35



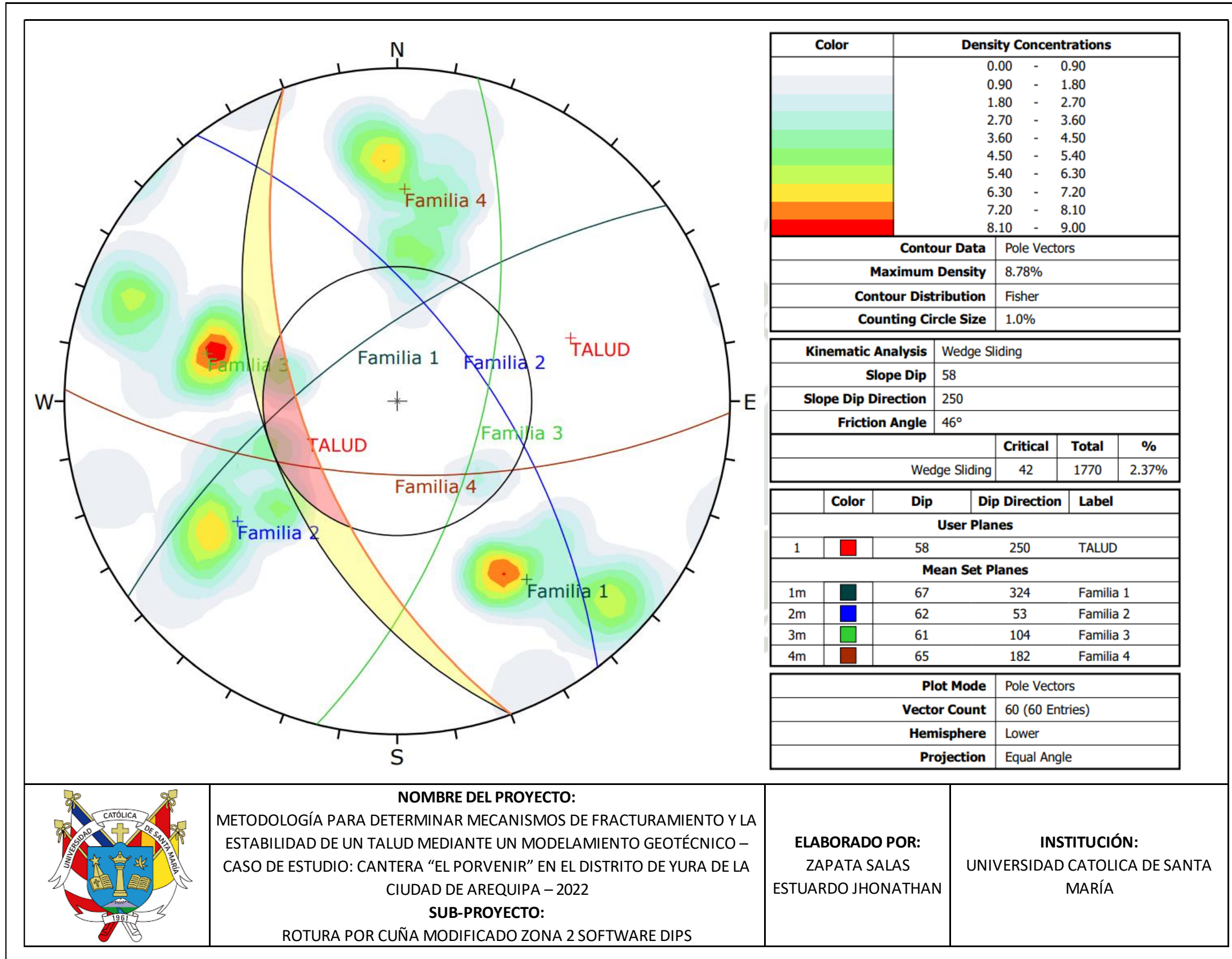
ANEXO 36



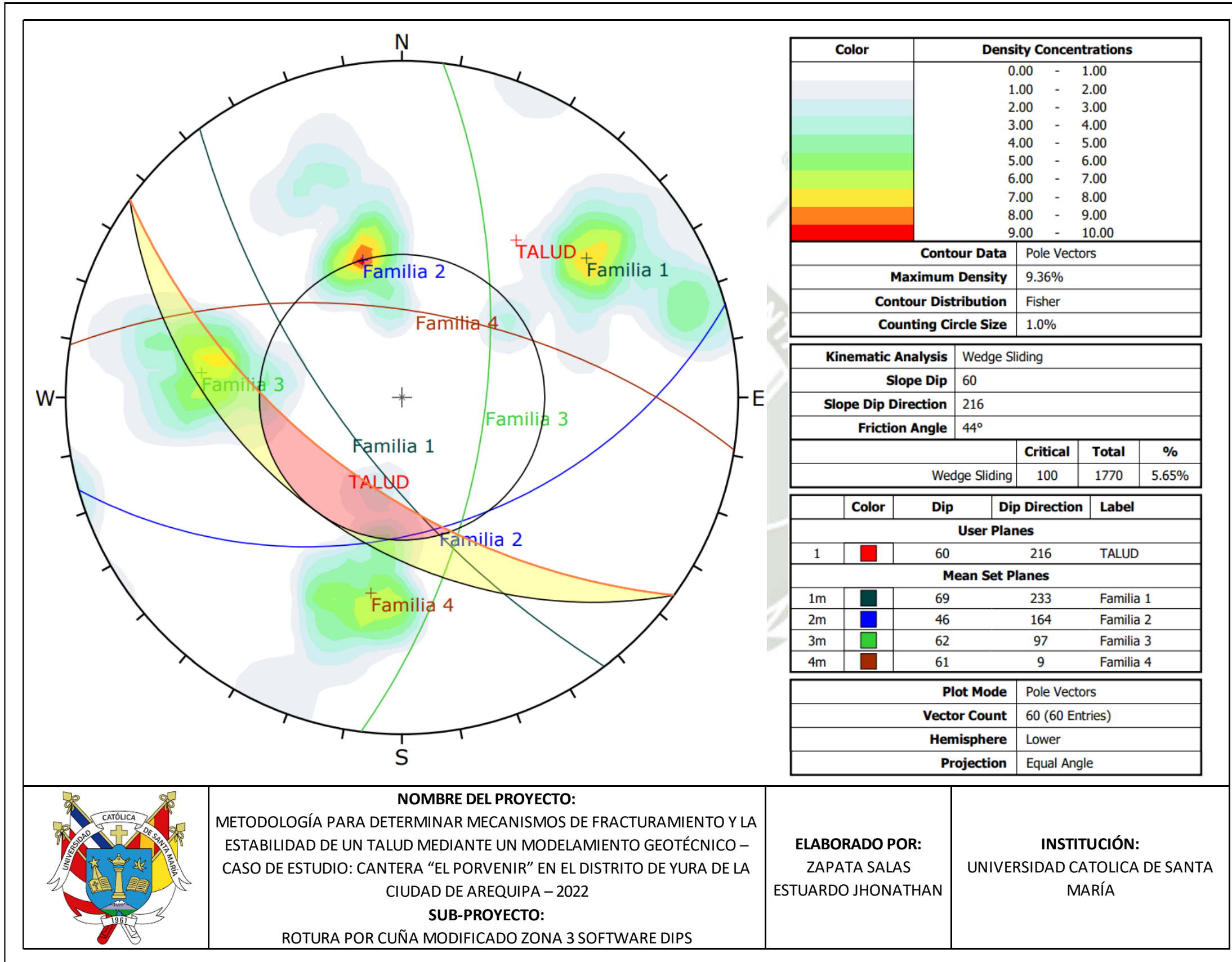
ANEXO 37



ANEXO 38



ANEXO 39



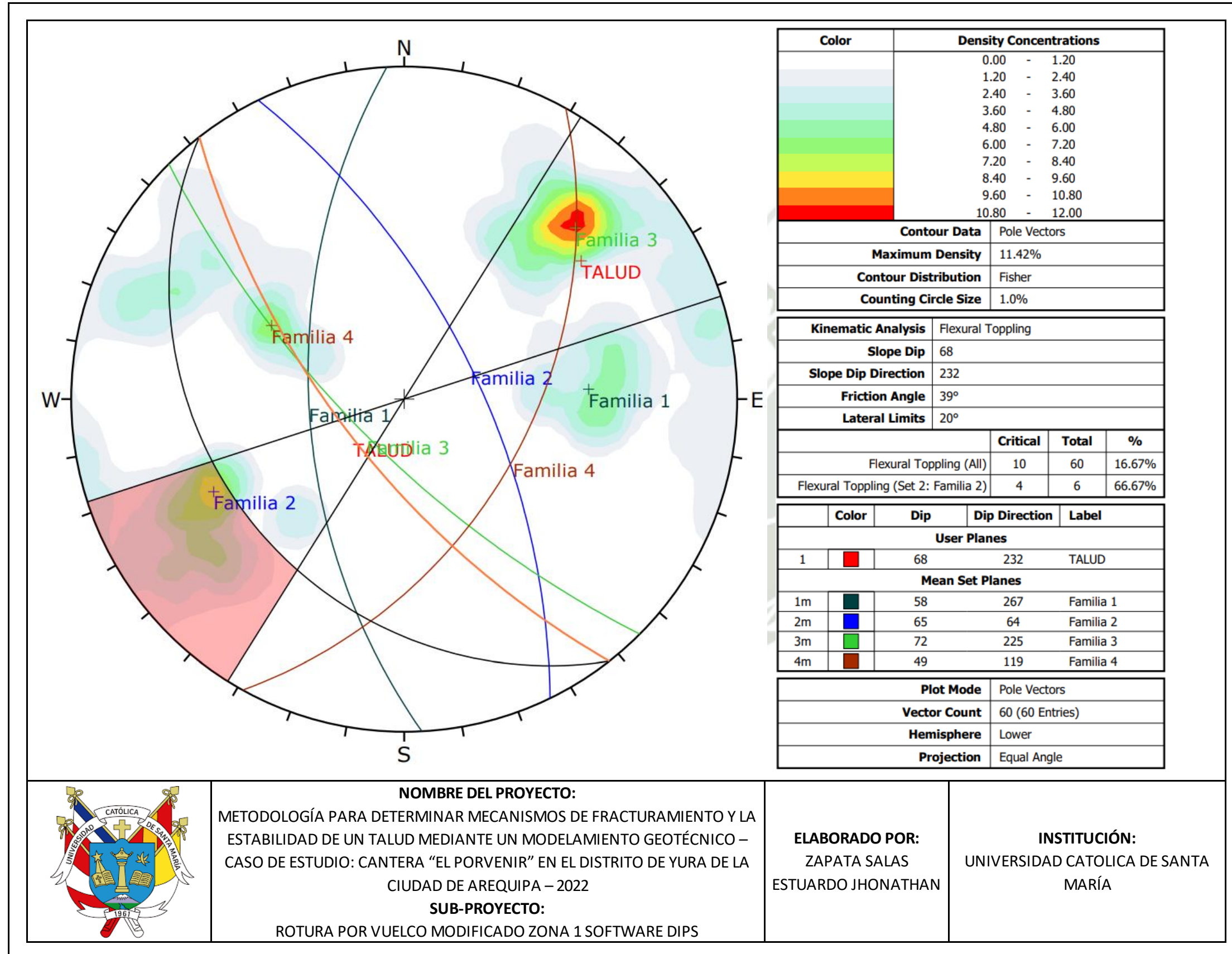
NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022

SUB-PROYECTO:
 ROTURA POR CUÑA MODIFICADO ZONA 3 SOFTWARE DIPS

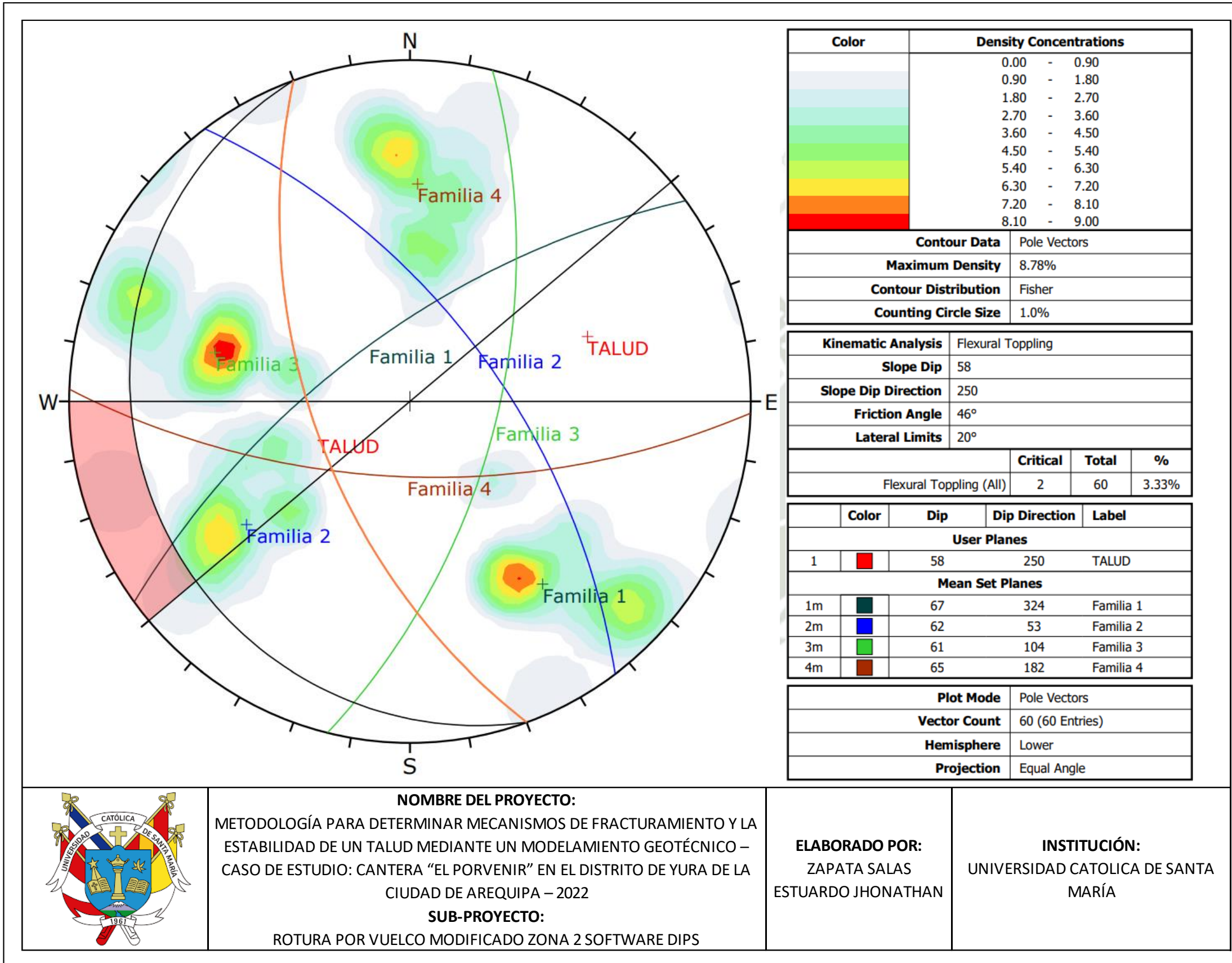
ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA

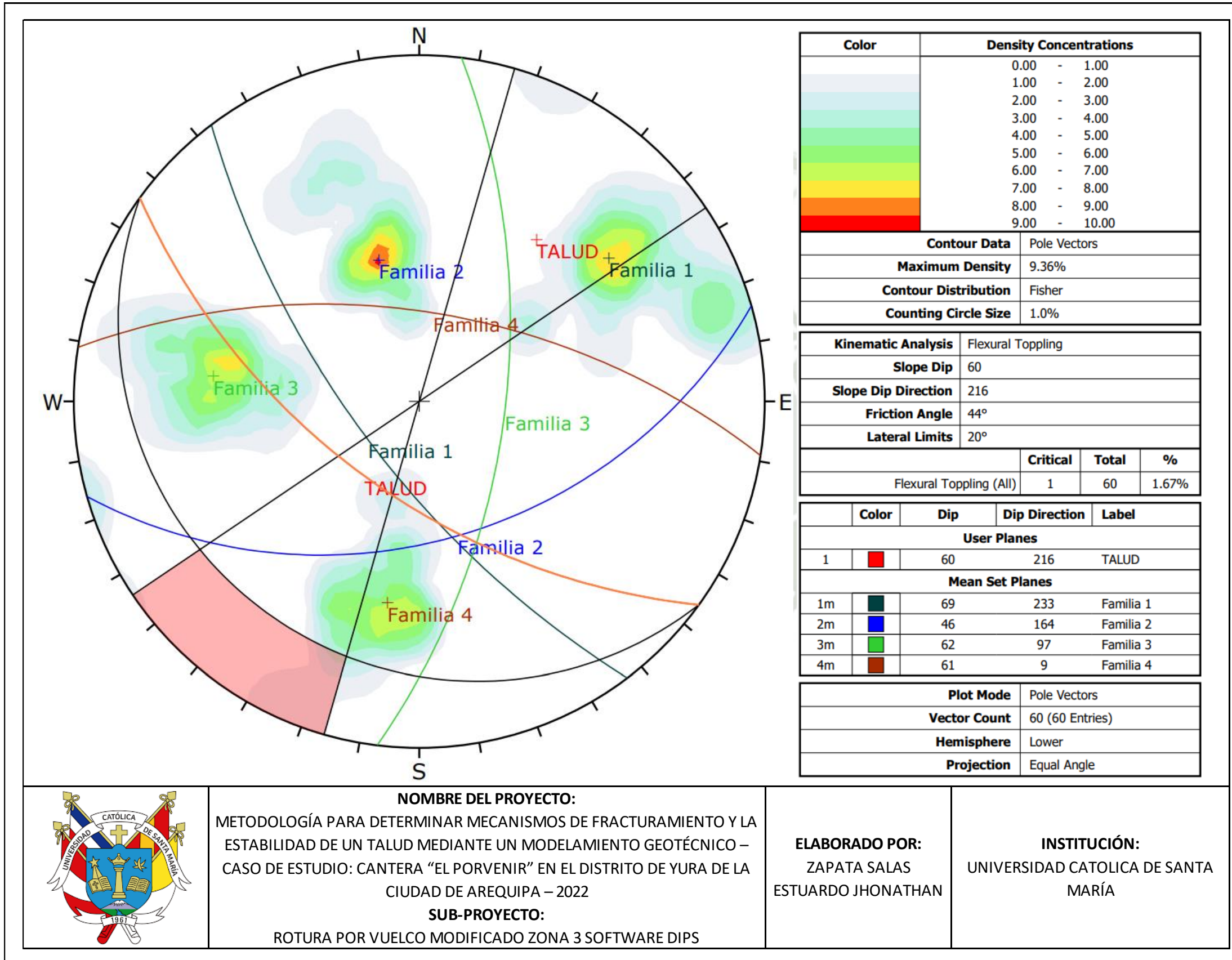
ANEXO 40



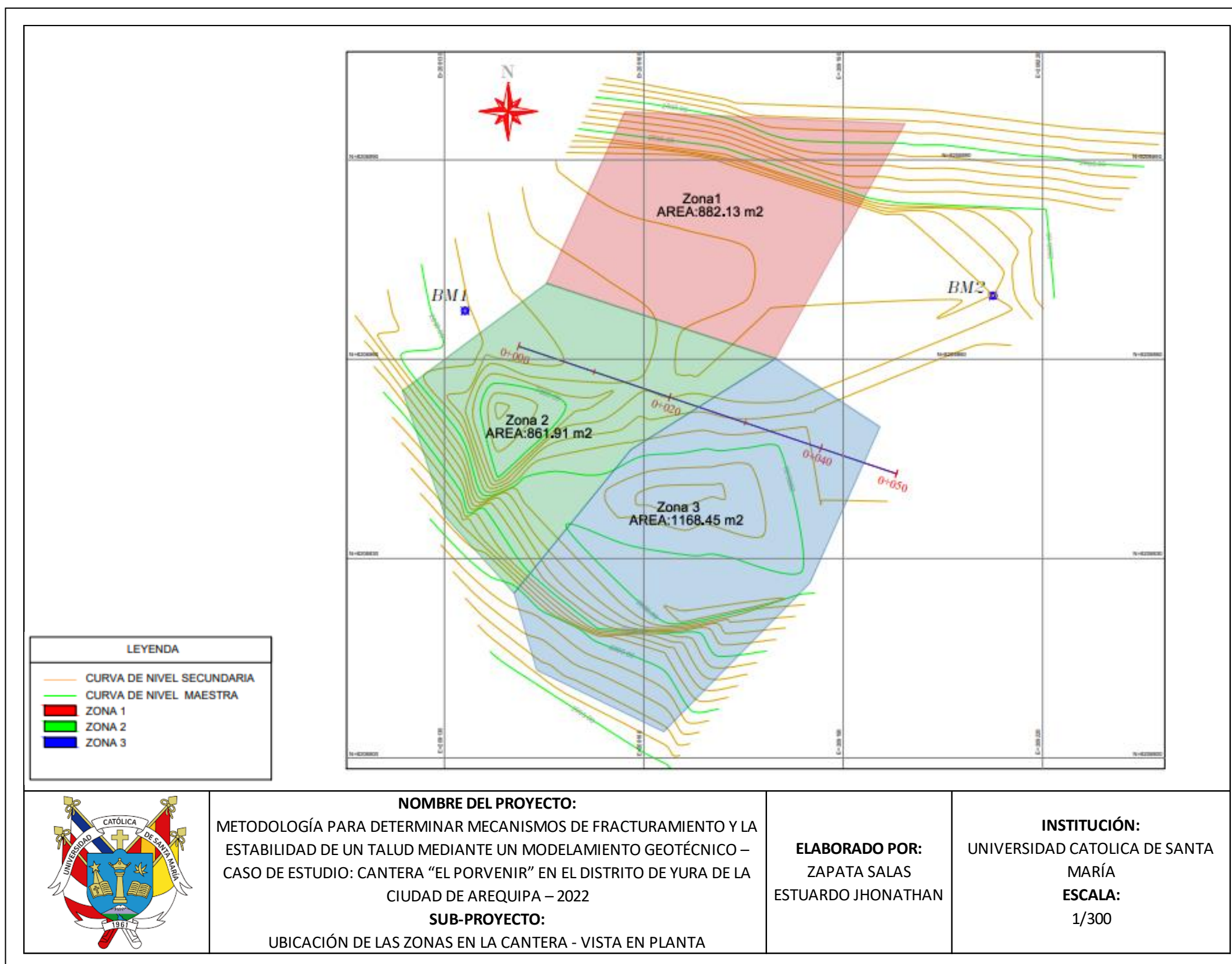
ANEXO 41



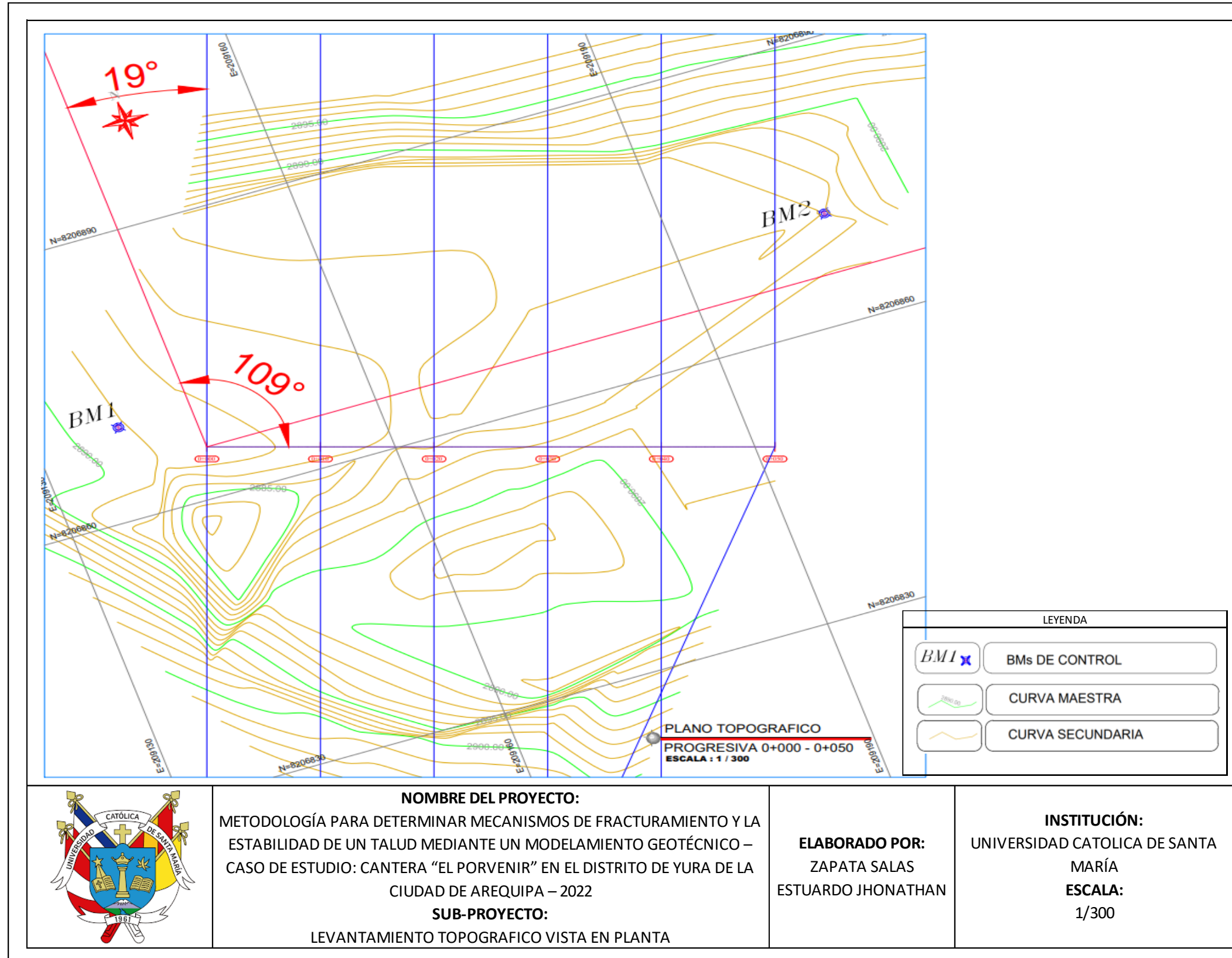
ANEXO 42



ANEXO 43



ANEXO 44

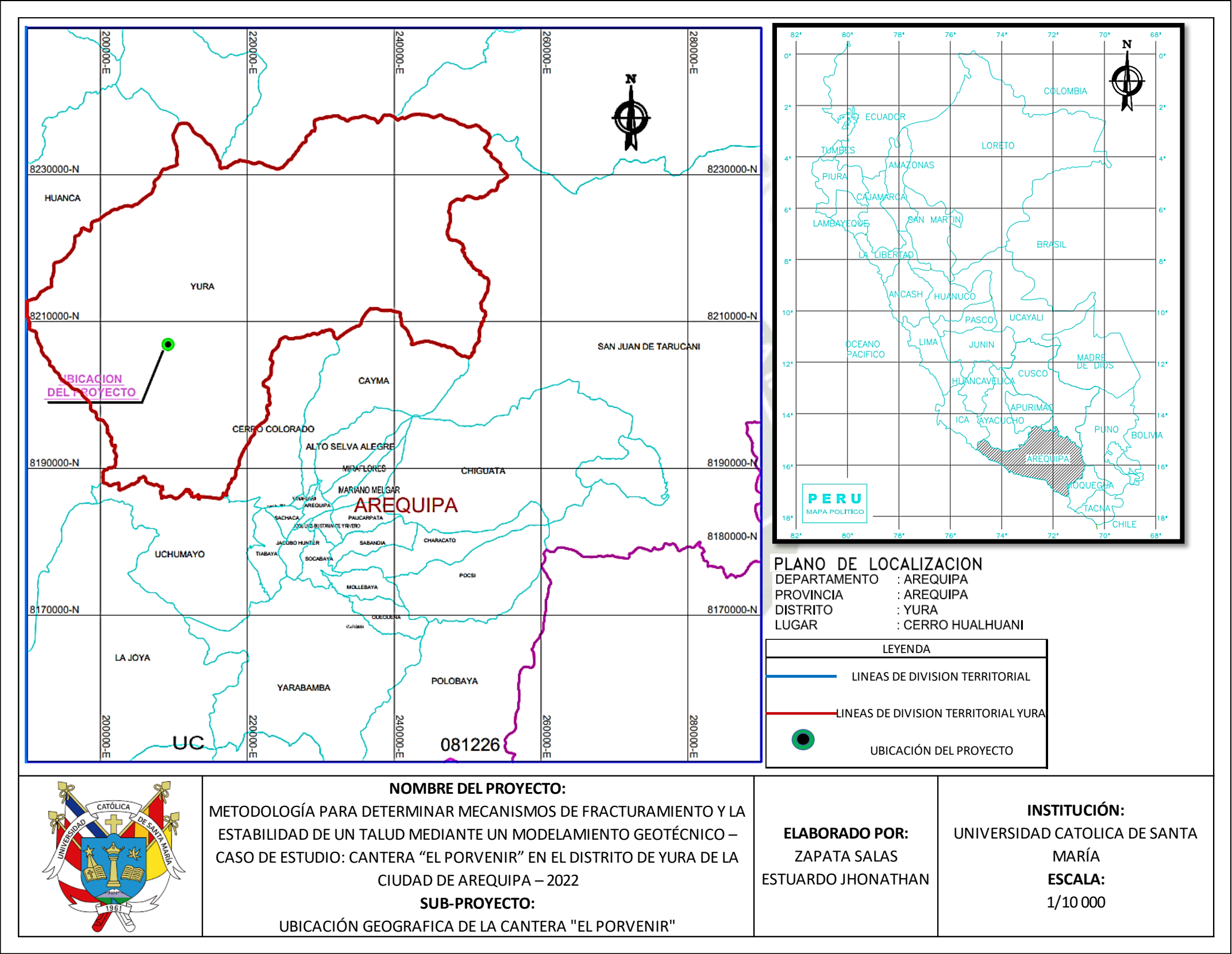


NOMBRE DEL PROYECTO:
 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD MEDIANTE UN MODELAMIENTO GEOTÉCNICO – CASO DE ESTUDIO: CANTERA “EL PORVENIR” EN EL DISTRITO DE YURA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA – 2022
SUB-PROYECTO:
 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO VISTA EN PLANTA

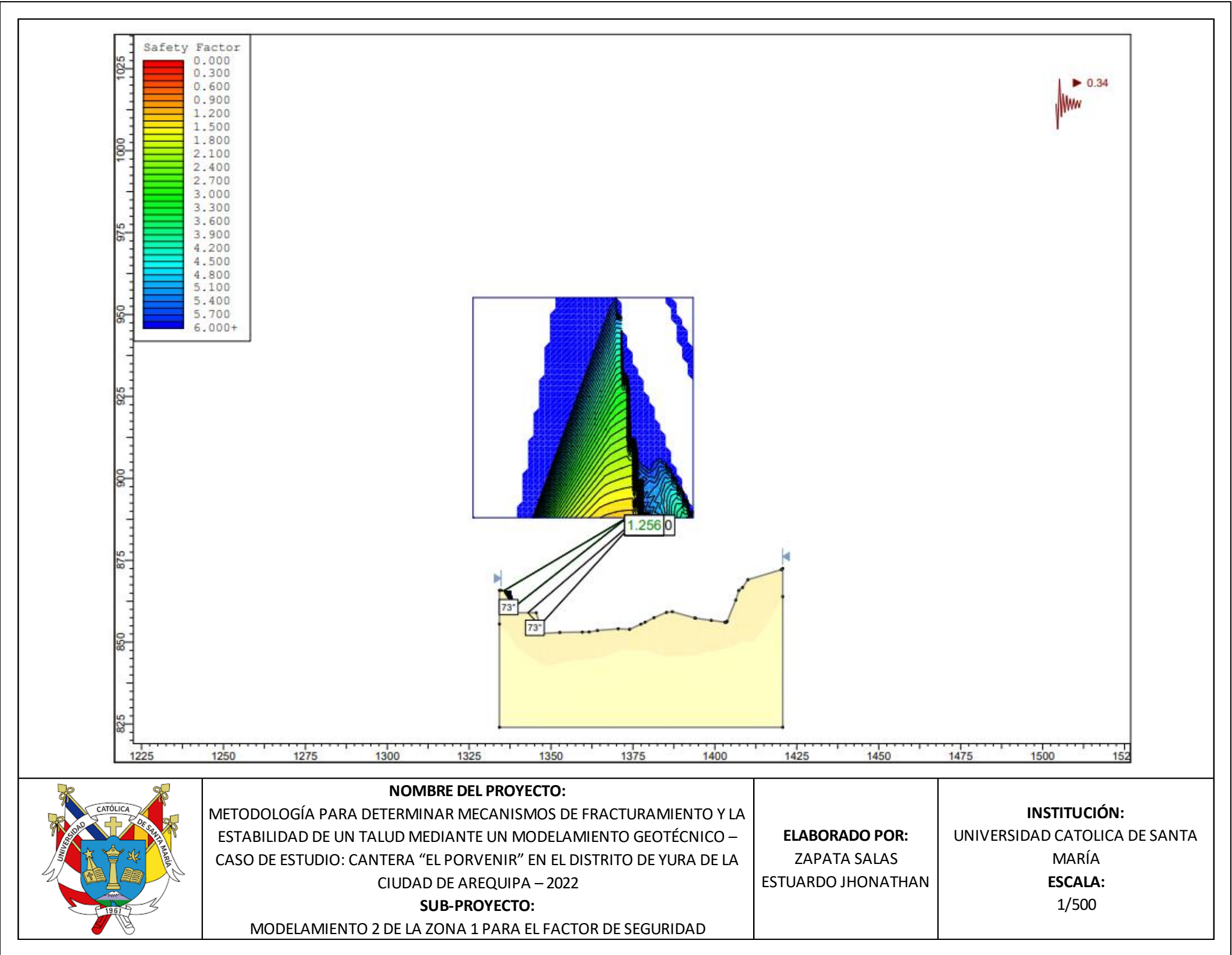
ELABORADO POR:
 ZAPATA SALAS
 ESTUARDO JHONATHAN

INSTITUCIÓN:
 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA
ESCALA:
 1/300

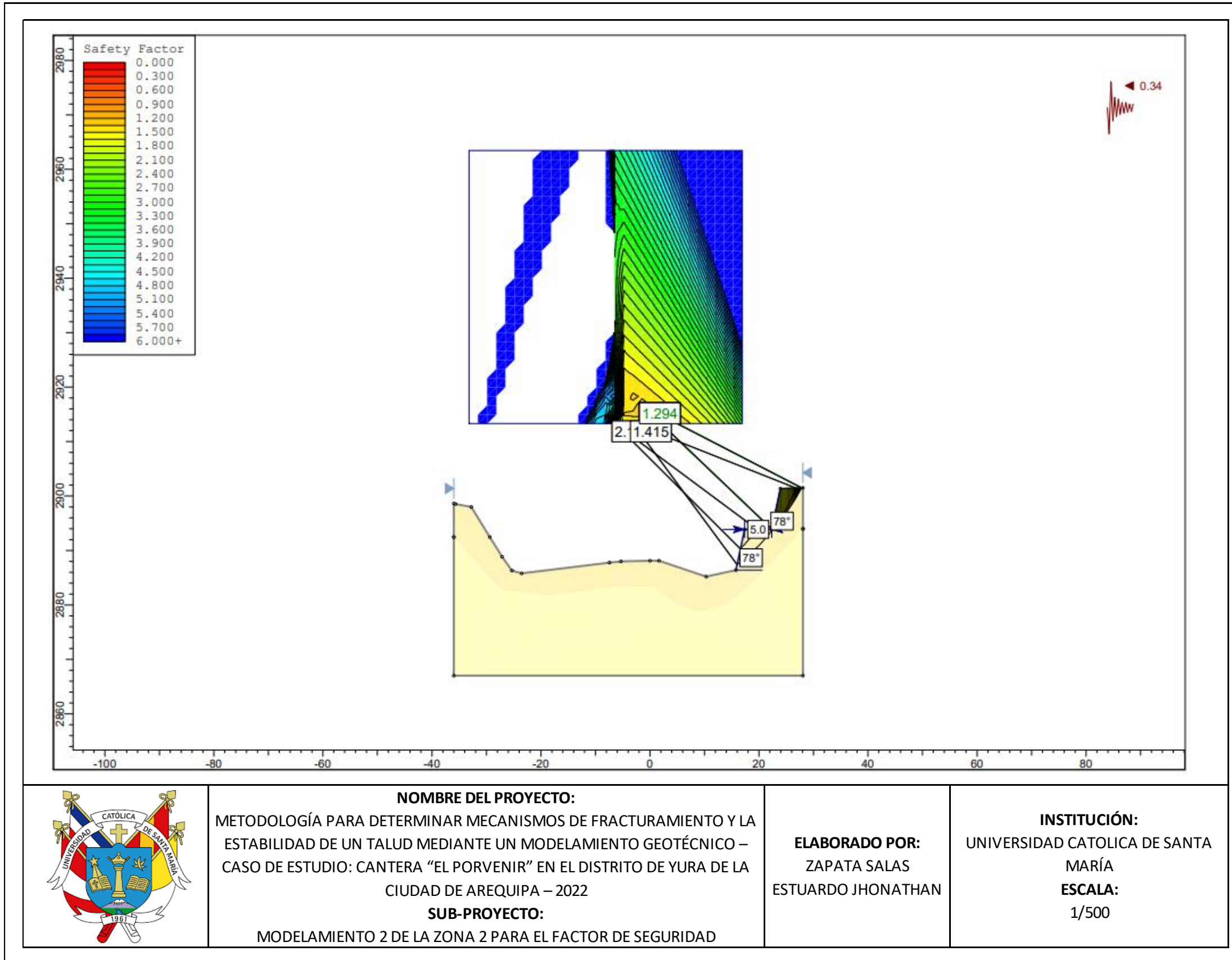
ANEXO 45



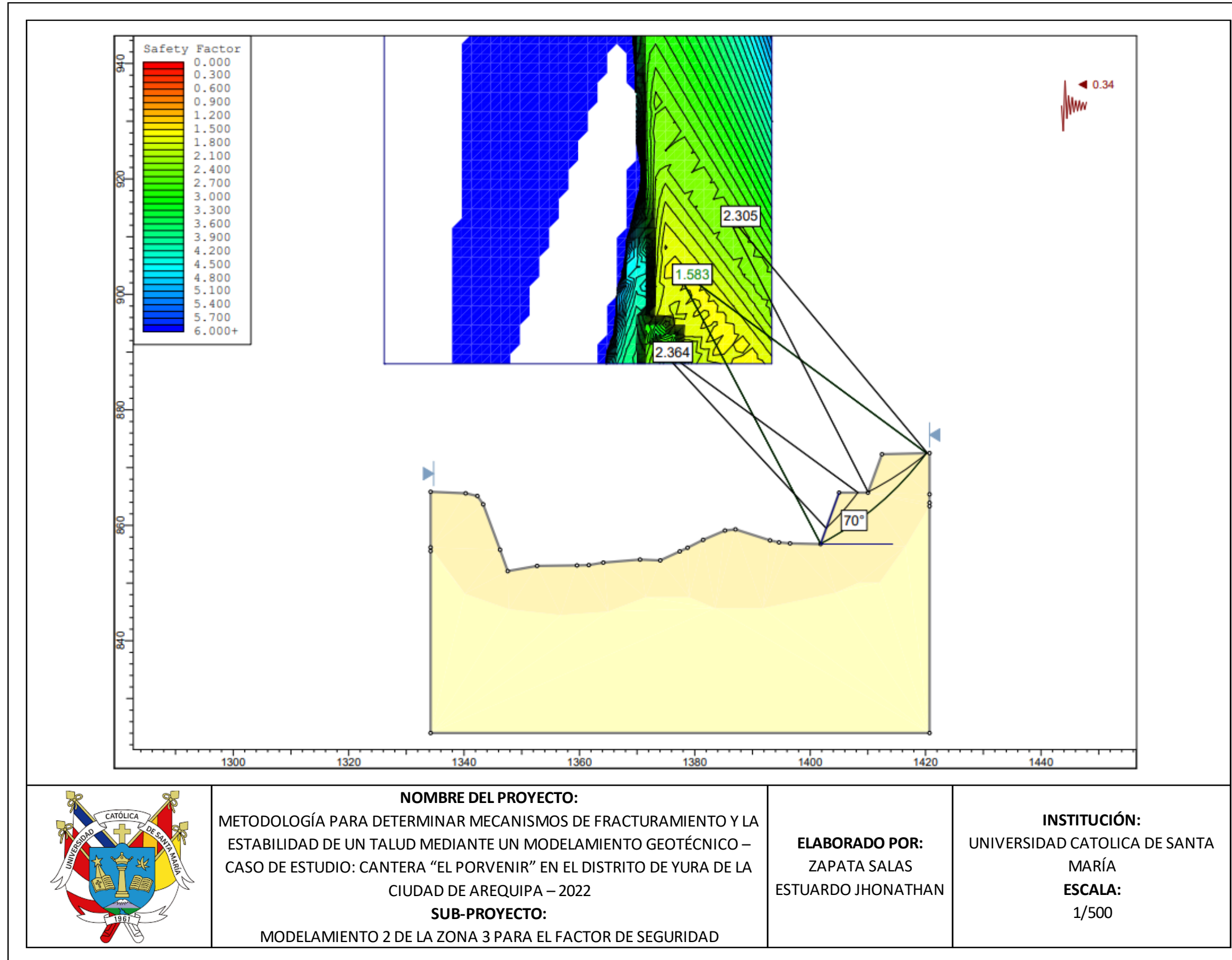
ANEXO 46



ANEXO 47



ANEXO 48



	PETS: PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD	
	Área: OPERACIONES MINA	Versión: 01
	Código: MIN PETS -01	Anexo: 49

1. **PERSONAL**

- 1.1 Encargado de la explotación.
- 1.2 Operario de retroexcavadora.
- 1.3 Operario de torreta.
- 1.4 Operario de sierra rozadora.

2. **EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

Cabeza:

- 2.1 Casco tipo minero.
- 2.2 Barbiquejo.
- 2.3 Lentes de Seguridad Spy City Oscuro.
- 2.4 Respirador con filtro contra polvo.

Cuerpo:

- 2.5 Mameluco de drill.

Extremidades:

- 2.6 Zapatos con punta de acero.
- 2.7 Guantes de cuero o neoprene.

3. **EQUIPO/HERRAMIENTAS/PROGRAMAS**

Herramientas:

- 3.1 Martillo Schmidt.
- 3.2 Brújula Brunton.
- 3.3 Bernier.
- 3.4 Cinta métrica.
- 3.5 Tabla de descripción del grado de meteorización
- 3.6 Tablas del perfil de rugosidad
- 3.7 Tabla del sistema de clasificación GSI.
- 3.8 Tabla de Bieniawski para la clasificación del macizo rocoso.
- 3.9 Computadora y/o laptop.

Programas:

- 3.10 Software dips v7.0.
- 3.11 Software slide

	PETS: PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD	
	Área: OPERACIONES MINA	Versión: 01
	Código: MIN PETS -01	Anexo: 49

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Verificar sus EPP's antes de ingresar al turno de trabajo.
- 4.2 Inspeccionar el área de trabajo, sus equipos y conexiones y registrar en el formato de IPERC continuo.
- 4.3 Verificar la hidrología de la zona o macizo rocoso para así determinar si se cuenta con presencia de agua.
- 4.4 Verificar y determinar el nivel de meteorización del macizo rocoso.
- 4.5 Realizar una evaluación geológica de la zona para así determinar las características geológicas y la composición del macizo rocoso.
- 4.6 Se realiza el mapeo por Scan line el cual consiste el realizar una línea por todo el macizo roco y se toma todas las fallas o diaclasas que corten a la línea como familias representativas para analizar y determinar todas sus características, de preferencia la línea de mapeo debe ser opuesta a la orientación de las diaclasas o fallas más pronunciadas.
- 4.7 Se realiza la evaluación del macizo rocoso para determinar sus propiedades mecánicas.
- 4.8 Para reconocer las propiedades mecánicas del macizo rocoso primero se realiza la determinación de su RQD basado en los fundamentos teóricos de Palmstrom en 2005, el cual se basa en determinar el número de fracturas en un macizo rocoso en un m³.
- 4.9 Se determinar las propiedades de las discontinuidades como son las longitud de estas con ayuda de la cintra métrica, la abertura el cual se encuentra con ayuda del bernier, la rugosidad del macizo el cual se hace con ayuda de las tablas del perfil de rugosidad de Barton & Choubey en 1997, el relleno de las discontinuidades el cual se realiza midiendo la longitud del relleno con la cinta métrica y las alteración el cual se hace en función a la tabla de descripción de la rugosidad de González de Vallejo en 2002.
- 4.10 Se realiza los ensayos para determinar las propiedades de la roca intacta que son su valor de la resistencia a la compresión el cual se realiza con el martillo Schmidt y su ángulo de fricción el cual se encuentras realizando tilt test de Zhang en 2017.
- 4.11 Se determina el método de explotación actual y cuanta influencia tiene este en la estabilidad del talud, hay sea si se usa o no explosivos y tenerlo en consideración para posteriores análisis.

	PETS: PARA DETERMINAR MECANISMOS DE FRACTURAMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE UN TALUD	
	Área: OPERACIONES MINA	Versión: 01
	Código: MIN PETS -01	Anexo: 49

- 4.12 Con los valores anteriormente encontrados se determina el RMR del macizo rocoso basado en los principios teóricos de Bieniawski en 1989 y se toma en consideración el RMR ajustado para el análisis donde se toma en cuenta la dirección de las fallas en función al eje de la obra.
- 4.13 Se procede a determinar la clasificación del macizo rocoso en función al método del GSI ((geological strenght index) basado en los estudios de Marinos & Hoek en 2000.
- 4.14 Procedemos a encontrar el DIP/DIP Dir de las estructuras o familias con ayuda de la brújula brunton y con esos datos procesamos la data en el Software Dips oara determinar la concentración de esfuerzos y verificar la estructura más crítica del macizo rocoso.
- 4.15 Con la determinación del RMR y GSI procedemos al análisis de estabilidad del talud por medio del método cinemático de Wyllie & Mah en 2004 apoyados en el software Dips y así observar el porcentaje de presencia de tipo de roturas y fallas tiene el macizo rocoso.
- 4.16 4.15 Con la determinación del RMR y GSI procedemos al análisis de estabilidad del talud por medio del método de equilibrio límite de Wyllie & Mah en 2004 apoyados en el software Slide determinamos si con las condiciones actuales el macizo rocoso cumple la normativa pseudoestatica en caso contrario se procede a realizar un nuevo modelamiento modificando el ángulo de talud o la altura del talud y así cumplir con la normativa.
- 4.17 De haberse realizado el nuevo modelamiento cambiando el ángulo o altura de talud reemplazar el nuevo dato en el software dips y verificar que el porcentaje de falla o rotura disminuyo lo cual indica que este nuevo dato mejora y disminuye los mecanismos de fracturamiento.

5. **RESTRICCIONES**

- 5.1 De contarse con terrenos muy inestables o condiciones no favorables de preferencia realizar el mapeo o caracterización del macizo rocoso con ayuda de un dron para no poner en peligro la vida del trabajador.
- 5.2 Para mejores determinaciones de la calidad y resistencia del macizo rocoso se puede aumentar ensayos de compresión triaxial.
- 5.3 Tener en cuenta para todo análisis el factor sísmico de la zona.
- 5.4 Realizar estas clasificaciones geomecánicas periódicamente ya que el macizo rocoso puede presentar alteraciones o puede cambiar conforme avance la explotación.