

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS
ROCOSOS PARA DETERMIANR LA INESTABILIDAD
DE TALUDES PRESENTES EN LA VIA DE ACCESO
A UNA UNIDAD MINERA EN CHILETE -
CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Angel Omar Rudas Cueva

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

<https://orcid.org/0000-0003-4920-2204>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

| | | |
|---------------------------|--|---------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | Miguel Ricardo Portilla Castañeda | 172707 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|--------------------------|---------------|
| Jurado 2 | Rafael Ocas Boñon | 169542 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|-------------------------------------|---------------|
| Jurado 3 | Daniel Alejandro Alva Huaman | 128052 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

DEDICATORIA

Agradecer a DIOS, por permitir llegar hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional y de obtener uno de los anhelos más deseados.

De mismo modo a nuestros padres, por todo su amor, paciencia y sacrificio en todos estos años, por inculcar en nosotros el esfuerzo y valentía de no temer las adversidades porque DIOS está siempre conmigo.

Omar Rudas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito mi meta trazada.

Omar Rudas

Tabla de contenido

| | |
|---------------------------------------|----------|
| JURADO CALIFICADOR | 2 |
| DEDICATORIA | 3 |
| AGRADECIMIENTO | 4 |
| TABLA DE CONTENIDO | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| RESUMEN | 8 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1. Realidad problemática | 9 |
| 1.2. Formulación del problema | 9 |
| 1.3. Objetivos | 9 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 10 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 27 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 61 |
| REFERENCIAS | 66 |
| ANEXOS | 68 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Coordenadas UTM-WGS84..... | 20 |
| Tabla 2. Ruta a la zona de estudio..... | 21 |
| Tabla 3. Ensayo de Propiedades Físicas en Rocas (ISRM)..... | 31 |
| Tabla 4. Cartografiado Geomecánico..... | 32 |
| Tabla 5. Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR..... | 34 |
| Tabla 6. Mapeo Geomecánico de las discontinuidades..... | 38 |
| Tabla 7. Análisis de la rotura planar del Set J03 (Estático y Pseudo-estático) | 48 |
| Tabla 8. Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 Estático y Pseudo-estático..... | 51 |
| Tabla 9. Análisis de la rotura en cuña de los Sets J03 y J04 (Estático y Pseudo-estático) ... | 54 |
| Tabla10. Condiciones de Análisis para el Talud (Estático y Pseudo-estático) | 57 |
| Tabla 11. Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudo-estático) | 59 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Accesibilidad hasta la zona de estudio..... | 22 |
| Figura 2. temperatura máxima línea roja y la temperatura mínima línea azul..... | 23 |
| Figura 3. Plano geológico zona de la zona de estudio..... | 26 |
| Figura 4. Estimación de JRC para la familia J01 Y J02..... | 27 |
| Figura 5. Estimación de JRC para la familia J03 y J04..... | 28 |
| Figura 6. Estimación de la resistencia a la compresión..... | 29 |
| Figura 7. Estimación de la resistencia a la compresión..... | 30 |
| Figura 8. Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial..... | 33 |
| Figura 9. Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD..... | 33 |
| Figura 10. ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm..... | 34 |
| Figura 11. Parámetros de estabilidad según el SMR Romana..... | 36 |
| Figura 12. Recomendaciones para la construcción de cunetas al pie de talud..... | 36 |
| Figura13. Valor de GSI, se aprecia que el valor de GSI es 67..... | 36 |
| Figura 14. Análisis cinemático discontinuidades J3 rotura planar..... | 37 |
| Figura 15. fricción, orientación del talud, dirección y falla planar mediante la familia J2...39 | 39 |
| Figura 16. rotura de la familia J1 y J3 y la familia J3 y J4..... | 40 |
| Figura 17. condiciones geométricas y de fricción para producir fallas en cuña..... | 40 |
| Figura 18. Análisis cinemático la rotura en vuelco..... | 41 |
| Figura 19. condiciones geométricas y de fricción del 0% para una falla por vuelco..... | 41 |
| Figura 20. Zonas sísmicas del Perú..... | 43 |
| Figura21. coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad..... | 44 |
| Figura 22. Gráfico de espectro de peligro uniforme periodo de retorno de 475 años..... | 45 |
| Figura 23. Perspectiva del posible deslizamiento conformado por la familia J03..... | 45 |
| Figura 24. Factor de Seguridad de Mohr coulomb en condiciones secas y estáticas..... | 46 |
| Figura 25. Factor de Seguridad Mohr coulomb en condiciones saturadas y estáticas..... | 46 |
| Figura 26. Factor de Seguridad Mohr coulomb, condiciones secas y Pseudoestáticas..... | 47 |
| Figura 27. Factor de Seguridad modelo de Mohr coulomb, en condiciones saturadas..... | 47 |
| Figura 28. Sensibilidad del talud en condiciones pseudo- estáticas y saturadas..... | 48 |
| Figura 29. Factor de Seguridad Mohr coulomb, en condiciones secas y estáticas se produce la falla en cuña en estas condiciones..... | 49 |
| Figura 30. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en condiciones saturadas y estáticas no se produce la falla en cuña..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 31. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en condiciones saturadas no se produce la falla en cuña..... | 50 |
| Figura 32. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en condiciones saturadas no se produce la falla en cuña en estas condiciones..... | 51 |
| Figura 33. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb en condiciones secas y estáticas lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones..... | 52 |
| Figura 34. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en condiciones secas y estáticas por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones..... | 52 |
| Figura 35. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en condiciones saturadas y por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones..... | 53 |
| Figura 36. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb en condiciones saturadas no se produce la falla en cuña..... | 53 |
| Figura 37. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en condiciones saturadas y con un coeficiente no se produce la falla en cuña en estas condiciones..... | 55 |
| Figura 38. Factor de Seguridad por el método de Spencer en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 51°..... | 55 |
| Figura 39. Factor de Seguridad por el método de Morgenstern en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 51°..... | 56 |
| Figura 40. Factor de Seguridad por el método de Spencer para condiciones pseudo estáticas un coeficiente vertical de 0..... | 56 |
| Figura 41. Factor de Seguridad por el método de Morgenstern – Price para condiciones pseudo un coeficiente vertical de 0..... | 57 |
| Figura 42. Factor de Seguridad por el método de Spencer, en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 51°..... | 58 |
| Figura 43. Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 51°..... | 58 |
| Figura 44. Factor de Seguridad método de Morgenstern - Price, condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.3013 y un coeficiente vertical de 0..... | 59 |
| Figura 45. Muro de Contención..... | 60 |

RESUMEN

investigación que tiene como objetivo “Realizar la evaluación geomecánica de los macizos rocosos para determinar la inestabilidad de taludes presentes en la vía de acceso a una unidad minera en Chilete – Cajamarca 2022” con metodología de estudio el cual pertenece al tipo no experimental, con un nivel de investigación que es totalmente descriptiva, cuantitativa.

Mediante la evaluación geomecánica se logró determinar la inestabilidad de taludes presentes resultando 02 taludes el primero en una roca con discontinuidades y el segundo en roca alterada, los parámetros geomecánicos dan un valor de resistencia a la compresión uniaxial de 146 Mpa, un RQD del 72%, los tipos de rotura en la zona de estudio es una falla planar por el sistema de diaclasa J03. Por otro lado también se evidenció 02 cuñas deslizantes que se puede producir por el sistema de diaclasas J03 y J04, y otra cuña mediante los sistemas de discontinuidades J01 y J03 en tanto que ninguna de las cuatro familias de discontinuidades cumple las condiciones para producir una rotura en vuelco. el valor de SMR fue para rotura planar según el análisis de rotura teniendo un valor de $SMR=54.6$, con un factor de corrección $F1$ de 0.000144 , y un factor $F2= 1$, debido a que el buzamiento de la discontinuidad posee un valor mayor a 45° y un valor $F3= -60$ considerando la sustracción de los buzamientos de las discontinuidades, asimismo la propuesta para estabilizar en función de los valores de factor de seguridad obtenidos, los cuales resultaron inestables con un valor de $FS=0.62$ para rotura planar y un $FS= 2.719$ para rotura en cuña, se realizó un análisis de sensibilidad para alcanzar un factor de seguridad que sea estable para el talud en material de roca, el buzamiento del talud a una pendiente de 60° y construir zanjas de coronación en la corona del talud y este se mantenga menor al 40%.

PALABRAS CLAVES: evaluación, macizo, rocosos, inestabilidad, taludes.

1.1. Realidad problemática

Merchán Pesántez & Sánchez Molina, (2013), “Presenta la evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Las Victorias”, ubicado en Cuenca - Ecuador, mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado y la determinación del factor de seguridad de los taludes; información que será evaluada mediante mediciones in situ e información existente, para esto se aplica: Método del círculo de fricción, Método de Markland y los softwares Dips v5.103 y GEO5. Con los resultados que se obtienen se puede afirmar que existe estabilidad global en los taludes del macizo, así como mediante un estudio más minucioso se logra precisar que existe inestabilidad local en determinados sectores por causa de desprendimientos y voladuras. Dentro de las recomendaciones que se proponen para la estabilidad están: Corrección Geométrica, Construcción de Bermas, Saneamiento y Control de Voladuras.

Merchán, (2013). Señala que los recursos mineros pétreos son valiosos y esenciales dentro del crecimiento del país, el diseño apropiado de los taludes de las canteras para su aprovechamiento no se realiza un estudio confiable de manera que conlleve a la utilización eficaz dentro de su aprovechamiento. Tener un óptimo y adecuado estudio es totalmente conveniente para tomar una decisión correcta con respecto al abastecimiento de materiales de construcción dentro de la provincia. Los obstáculos pueden ser varios, para empezar las propiedades de las rocas que se verán afectadas deberían ser investigadas en su totalidad. Desde una apreciación de las técnicas básicas empleadas para el diagnóstico de estas propiedades, luego de ello es esencial un adecuado plan de explotación, dentro de este plan la parte que genera

mayor es realizar la caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos en la cantera San Cirilo ya que será de mucha utilidad para la explotación de dicho material.

Aniya, R (2008). “Sistema para la evaluación de estabilidad de taludes en obras de ingeniería. Investigación en casos prácticos”. Esta tesis presenta dos objetivos, el primero proporcionar una herramienta práctica que permita de una manera rápida y sencilla efectuar una calificación de la estabilidad de cualquier talud y el segundo uniformizar la terminología en cuanto a estabilidad de taludes se refiera, ya que se utilizan indistintamente los términos estable, muy estable, inestable, etc. sin llegar a precisar cada término, debido a que se desarrolla cualitativamente; dando lugar a que para un analista es por ejemplo medianamente estable, para otro analista puede ser inestable. La recolección de datos lo realizó directamente en campo y también ensayos de laboratorio. En esta tesis el autor llega a la conclusión de que el sistema de evaluación de taludes propuesto constituye una herramienta práctica para definir el grado de estabilidad de cualquier talud, ya sea en roca o suelo y en cualquier lugar, para proyectos de obras de ingeniería a niveles de perfil o prefactibilidad. De esta investigación se rescata la metodología del análisis, en el caso de la investigación en el tajo abierto Jéscica se obtendrán rangos de factores de seguridad por tipo de alteración y ángulos de taludes.

Valeriano, (2017). Su estudio fue realizado en la cantera Espinal de la ciudad de Juliaca en el departamento de Puno, consiste en determinar los valores de seguridad que rigen la estabilidad o inestabilidad en un talud rocoso; factor de seguridad (FS) o

reducción de la resistencia al corte (SRF) y la probabilidad de falla (PF), para lo cual se han utilizado los métodos generales de análisis de estabilidad de taludes en roca; Análisis cinemático y métodos numéricos. Se realizó análisis probabilísticos por el método de estimación de puntos para mayor confiabilidad de los resultados de análisis con métodos numéricos. Teniendo como resultados en el análisis cinemático una probabilidad de plano de deslizamiento por volteo directo de 44.41%, los valores de seguridad promedio dado por los análisis probabilísticos con métodos numéricos en SRF son; para condiciones estáticas FS o SRF 2.27 y PF 0.0% y para condiciones pseudoestáticas FS o SRF 1.21 y PF 2.98%. Por lo cual concluimos que el talud se encuentra estable en condiciones estáticas y pseudoestáticas, tomando en consideración el resultado del análisis cinemático realizado se han observado grietas de tracción en la cresta del talud que fallaran por volteo directo dependiendo a la intensidad de los factores desencadenantes.

Añazco (2017) Se identificó en este proyecto de investigación que la ocurrencia que perturba a la mina es la falta de un estudio geomecánico, que describa sobre la clasificación del macizo rocoso, la calidad de la maza rocosa y la resistencia del mismo para poder obtener el diseño de sostenimiento para que finalmente se pueda contar con una propuesta de diseño que ayude a ejecutar la estabilidad del talud final de la zona crítica localizada en la cantera.

Mamani (2019), presento el análisis de estabilidad de taludes para explotación de cantera de arcilla en el distrito de Paccha, provincia de la Oroya, Junín, tiene por finalidad optimizar la explotación de arcilla y minimizar el volumen de excavación en desmonte y prever el factor de seguridad, así como el comportamiento de los taludes, donde el análisis de estabilidad global de los bancos se encuentra estable en

condiciones pseudo-estáticas donde determinamos que los bancos de 10 m de altura y un ángulo de 61° tendrá un factor de seguridad de $FS= 1.32$. El análisis de la estabilidad de talud ha sido determinado a partir del resultado de la evaluación geomecánica utilizando el software DIPS, para identificar las principales familias y el tipo de falla, donde se determina que el talud se encuentra parcialmente estable, con probabilidad de falla local por cuña.

Ramírez, (2008), señala que “El aumento de la demanda en el sector de la construcción a nivel nacional durante los últimos años, ha generado un incremento en la extracción de materia prima; son las canteras, ladrilleras, graveras y areneras cercanas a los principales núcleos urbanos, las preferidas para la obtención de material debido a su cercanía”. A pesar de que los recursos mineros pétreos que tenemos y los cuales son estratégicos e indispensables para el desarrollo de nuestro país, el diseño adecuado de los taludes de las canteras para su explotación no se está estudiando a cabalidad, de manera que conduzca a una utilización eficiente dentro de su aprovechamiento.

Caruanambo (2017) Menciona que en la construcción de una carretera existen zonas donde el macizo tiene un auto sostenimiento deficiente, por lo tanto, al realizar un estudio geomecánica vamos a localizar las zonas débiles y reforzarlas de acuerdo a su requerimiento y se evitara grandemente perjudicar a la población por las posibles caídas de rocas y deslizamientos, por ello es imprescindible precisar las características geomecánica a medida del desarrollo de la carretera para delimitar los factores de seguridad, principalmente en los tramos críticos.

Montoya (2014). “Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán”, donde analiza la inestabilidad de los taludes de dicha carretera,

teniendo en cuenta el contexto geológico local, regional y la estrecha relación que existe con los agentes geodinámicos.

Rodríguez (2016), en su tesis de maestría analizó el comportamiento geoestructural, geomorfológico, geodinámico y geomecánico de los macizos rocosos de las Formaciones Farrat, Inca, Chulec y Pariatambo, que se encuentra en la zona de Ronquillo – Corisorgona, analizando la inestabilidad de dichas laderas asociadas a factores externos.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye la evaluación geomecánica de los macizos rocosos para determinar la inestabilidad de taludes presentes en la vía de acceso a una unidad minera en Chilete - Cajamarca 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar la evaluación geomecánica de los macizos rocosos para determinar la inestabilidad de taludes presentes en la vía de acceso a una unidad minera en Chilete – Cajamarca 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Describir los parámetros geomecánicos para la caracterización de los macizos rocosos en la vía de acceso a la unidad minera en Chilete Cajamarca 2022.
- ✓ Determinar la estabilidad de taludes de los macizos rocosos en la vía de acceso a la unidad minera en Chilete Cajamarca 2022.
- ✓ Realizar el análisis de clasificación geomecánica SMR y GSIS en el talud de la vía de acceso a la unidad minera en Chilete Cajamarca 2022.
- ✓ Proponer un diseño estable de talud la vía de acceso a la unidad minera en Chilete Cajamarca 2022.

1.4. Hipótesis

La evaluación geomecánica de los macizos rocosos nos permitirá determinar la inestabilidad de taludes presentes en la vía de acceso a una unidad minera en Chilete – Cajamarca 2022.

2.1. Tipo de investigación.

Según su propósito: La investigación fue descriptiva ya que se describió las características geomecánicas, para determinar la inestabilidad de taludes presentes en la vía de acceso a la unidad minera en Chilete – Cajamarca 2022.

Según la naturaleza de sus datos: La investigación fue cuantitativa, ya que se utilizó métodos cuantitativos para determinar los parámetros geomecánicos

Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque se dio estudio a las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de los parámetros geomecánicos.

La investigación desarrollada en el vigente trabajo es no experimental, correlacional causal, definiéndose como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables en un tiempo único.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población: Los macizos rocosos de la vía chilete Cajamarca.

2.2.2. Muestra: 02 estaciones de macizos rocosos para la caracterización geomecánica en la vía chilete – Cajamarca.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos.

Para el recojo de los datos e información del estudio se utilizó la técnica de análisis documental y la técnica de observación.

La técnica de análisis documental, conocida como técnica de gabinete ayudó a sistematizar la información recurriendo al análisis de distintos documentos y material bibliográfico obtenida de diversas fuentes como tesis, artículos, libros digitales.

Con esta técnica, se logró realizar el análisis del problema, elaborar el marco conceptual y emplear el sistema APA en el citado. También se empleó la observación por medio de un instrumento denominado la guía de observación documental que permitió sistematizar las dimensiones necesarias del problema de estudio

2.3.2. Instrumentos de recolección de datos.

- ✓ Ficha de observación
- ✓ Cuaderno de Campo
- ✓ GPS
- ✓ Brújula
- ✓ Martillo Shmith

2.3.3. Análisis de datos

Para el análisis de datos de este trabajo de investigación se procederá a plasmar la información obtenida de las encuestas en una hoja de cálculo del programa de Microsoft Excel ya que este programa facilita el procesamiento de los datos, haciendo uso de funciones como los filtros y la búsqueda.; esto, a su vez, permite el análisis de un mayor volumen de datos y al mismo tiempo administrarlo de manera ordenada; con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio y poder

procesar los datos obtenidos que nos puedan facilitar la interpretación a y al mismo tiempo obtener resultados claros y precisos.

2.4. Procedimiento

El presente trabajo de investigación se desarrollará en tres etapas:

2.4.1. Etapa de pre-campo

En esta etapa hacemos la investigación bibliográfica sobre trabajos similares y revisión de imágenes satelitales de la zona de trabajo y plano geológico de la zona de estudio. Se elabora un plan de trabajo estratégico y cronológicamente organizado con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados en el trabajo de investigación.

2.4.2. Etapa de campo

El trabajo se desarrollará en un sector estudiado, para lo cual se realizará las estaciones geomecánicas, donde se recolectarán los datos correspondientes como el levantamiento topográfico de la zona de estudio y para realizar el mapeo geomecánico, clasificar el macizo rocoso y obtener el valor del RMR, GSI y SMR para la estación estudiada. Para ello se manejará fichas de campo y cuadros de clasificación. Clasificación de Bieniawski del RMR. El parámetro que define la clasificación es denominado índice RMR, que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- ✓ Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.
- ✓ RQD
- ✓ Espaciado de las discontinuidades

- ✓ Estado de las discontinuidades
- ✓ Presencia de agua

2.4.3. Etapa de pos-campo

Se realizará el procesamiento de datos obtenidos en campo para ello, analizará y luego procesarla, los resultados plasmados en tablas, figuras y planos. Los datos tomados en cada estación geomecánica, todos estos anotados en la ficha de registro geológico geotécnico como: Coordenadas UTM, cota, formación geológica, la meteorización, grado de fracturamiento, calidad de la roca (RQD), así como las propiedades de las discontinuidades como: el tipo de discontinuidad o fractura, Dip y Dip direction, espaciado, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, alteración y meteorización; todos estos datos se analizaran para caracterizar el macizo rocoso y obtener el RMR de Bieniawski (1989), SMR, GSI de cada estación geomecánica. Con la ayuda del software DIPS, se obtendrá la proyección estereográfica, la concentración de polos y el tipo de falla predominante. Para realizar la estabilidad de los taludes se realizará utilizando el software de análisis Slide v.6.0 y para realizar el levantamiento topográfico se utilizará el software ArcGIS 10.7.

2.5. Aspectos éticos

Para el desarrollo de la presente tesis se respetaron los derechos de autor de cada estudio que se ha considerado tanto para la obtención de datos, como para los antecedentes y la base teórica, citando correctamente y sin haber realizado alguna modificación en la información adquirida

2.6 Aspectos Generales

Ubicación Geográfica

Geográficamente la Unidad Minera encuentra comprendida en la cordillera occidental de los andes, exactamente al Oeste de la ciudad de Cajamarca, entre la progresiva 06+000 de la carretera Chilete-Pablo, en la Provincia de Contumazá. Con Coordenadas: UTM: WGS84, ZONA 17S.

Ubicación Política

Políticamente se encuentra ubicada en:

- ❖ Departamento: Cajamarca.
- ❖ Provincia: Contumazá
- ❖ Distrito: Chilete.

Las coordenadas de la zona en estudio son como se describen a continuación.

Tabla 1. *Coordenadas UTM-WGS84.*

| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
|---------|--------|---------|
| V1 | 739400 | 9206400 |
| V2 | 740700 | 9206400 |
| V3 | 740700 | 9204900 |
| V4 | 739400 | 9204900 |

Nota. En la tabla podemos apreciar los vértices de nuestra zona de estudio con sus respectivas coordenadas este y norte.

ACCESIBILIDAD

Para poder llegar a la zona de estudio tenemos que tener como punto de partida la ciudad de Cajamarca, en el paradero a Salida a la costa, ubicado en Av. Independencia cuadra 3; con un tiempo aproximado de viaje de 02 horas en auto mediante vía asfaltada.

Tabla 2. Ruta a la zona de estudio.

| RUTA TERRESTRE | DISTANCIA (Km) | TIEMPO (MIN) | VÍA |
|---|-----------------------|---------------------|------------|
| Lima-Cajamarca | 859 | 1000 | Asfaltada |
| Cajamarca-Km 6 carretera Chilete-Unidad Minera. | 100 | 115 | Asfaltada |

Nota. En esta tabla podemos apreciar la ruta de accesibilidad para llegar a nuestra zona de estudio, a que distancia se encuentra con respecto a Lima y Cajamarca, tipo de vía y tiempo que tardamos en llegar.
 Fuente: Google Maps.



Figura 1. La figura muestra una imagen satelital de accesibilidad desde la ciudad de Cajamarca hasta Chilete y de Chilete hasta el área de estudio Fuente: Google Earth

CLIMA

El clima en la zona de estudio durante el verano es cómodo y nublado mientras que el invierno es corto, frío, seco y parcialmente nublado. La temporada templada dura 2.8 meses, del 5 de enero al 30 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El mes más cálido del año en Chilete es febrero, con una temperatura máxima promedio de 26 °C y mínima de 16 °C. La temporada fresca dura 2.1 meses, del 4 de junio al 8 de agosto, y la temperatura máxima

promedio diaria es menos de 25 °C. El mes más frío del año en Chilete es Julio, con una temperatura mínima promedio de 13 °C y máxima de 25 °C (SENHAMI, 2020).

Temperaturas máximas y mínimas promedio en chilete

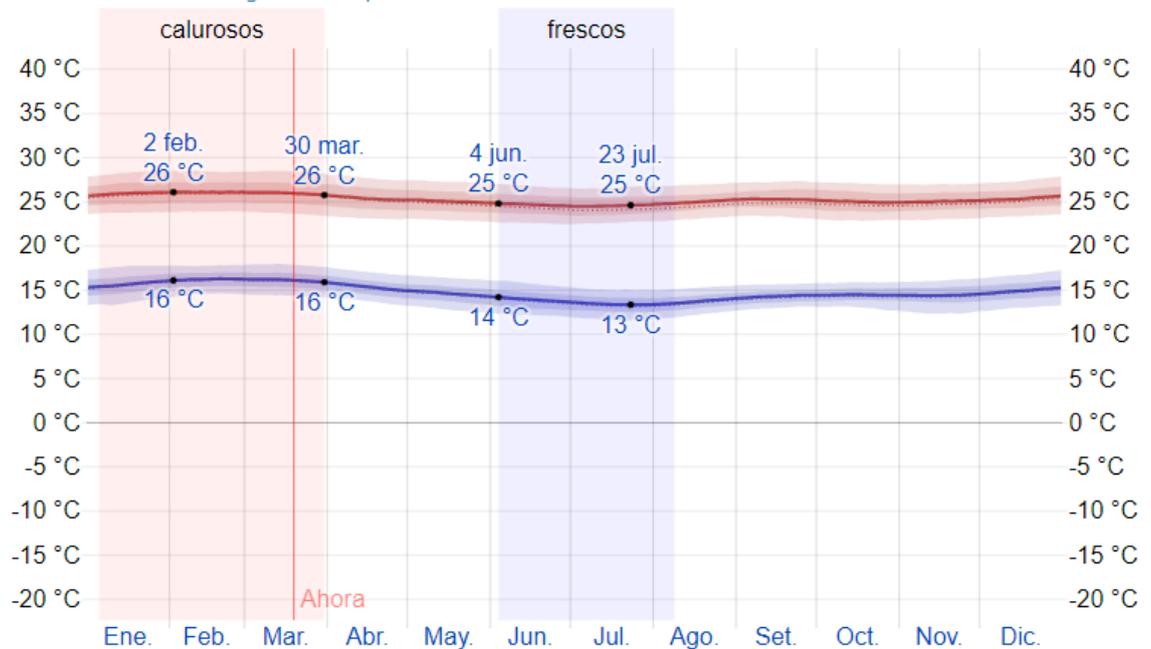


Figura 2. En el gráfico se muestra a temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas (SENAMHI, 2020)

GEOLOGÍA REGIONAL

La estratigrafía está representada por unidades del Cretácico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario y principalmente por rocas volcánicas (Ingemmet, 2014) las cuales se muestra a continuación

Formación Farrat (Ki-fa)

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares,

de tratarse de un paso gradual. Por sus características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas.

Formación Tembladera (P-Te)

Volcánico Tembladera es una secuencia de rocas volcánicas moderadamente plegadas, bien estratificadas. Litológicamente, la porción inferior se compone de bancos andesíticos, que se intercalan con brechas de la misma naturaleza, con matices gris-verdosos; hacia las partes superiores abundan tobas blanquecinas estratificadas en capas delgadas, alternantes con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas, verdosas o moradas. El grosor aproximado es de 1,000 m. Volcánico Tembladera, puede definirse en base a sus relaciones estratigráficas. Así, la unidad reposa en discordancia angular sobre las series marinas cretáceas

Formación Chilete (P-Chi)

Se denomina así, a una secuencia predominantemente piroclástica que aflora en el pueblo de Chilete, suprayace con discordancia angular a los sedimentos cretáceos por el sector oriental y en la misma relación al Volcánico Tembladera. Asimismo, cuando yace directamente sobre la formación Huaylas sus relaciones estratigráficas son similares. El Volcánico Chilete infrayace con suave discordancia erosional al Volcánico San Pablo; en ambas secuencias se emplazan muchos sills dacíticos de color gris blanquecino dando la apariencia de blancos intercalados. Litológicamente, consiste de intercalaciones tobáceas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos retrabajados, mayormente andesíticos, bien estratificados.

La proporción volcánica es mayor y presenta matices que van desde el verde-violáceo hasta el gris claro. Las areniscas son generalmente rojizas y muchas veces incluyen granos casi enteros de feldespatos.

Formación San Pablo (P-Sp)

Se llama así a la secuencia superior del Grupo Calipuy, consiste de gruesos bancos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Alcanza un grosor estimado en 900 m. El Volcánico San Pablo aflora yaciendo con suave discordancia erosional al Volcánico Chilete, pero no sería raro encontrarlo descansando directamente sobre el Cretáceo en discordancia angular. Subyace al Volcánico Huambos con igual relación. Sus afloramientos se extienden ampliamente por la Cordillera Occidental, de tal forma que, en muchos lugares, especialmente fuera del área, el Grupo Calipuy está representado sólo por estos volcánicos, cuya composición es generalmente dacítica y en menor proporción andesítica. Hacia el tope se destacan capas areno-lutáceas de color rojizo con lechos de calcedonia, a las que se intercala una gruesa secuencia de aglomerados, brechas y piroclásticos.

Depósito fluvial (Q-fl)

están constituidos por una grava en matriz areno-arcillosa, con abundante material anguloso proveniente de las rocas circundantes. se han considerado los materiales con poco transporte y en los fluviales las diferentes terrazas dejadas por los ríos

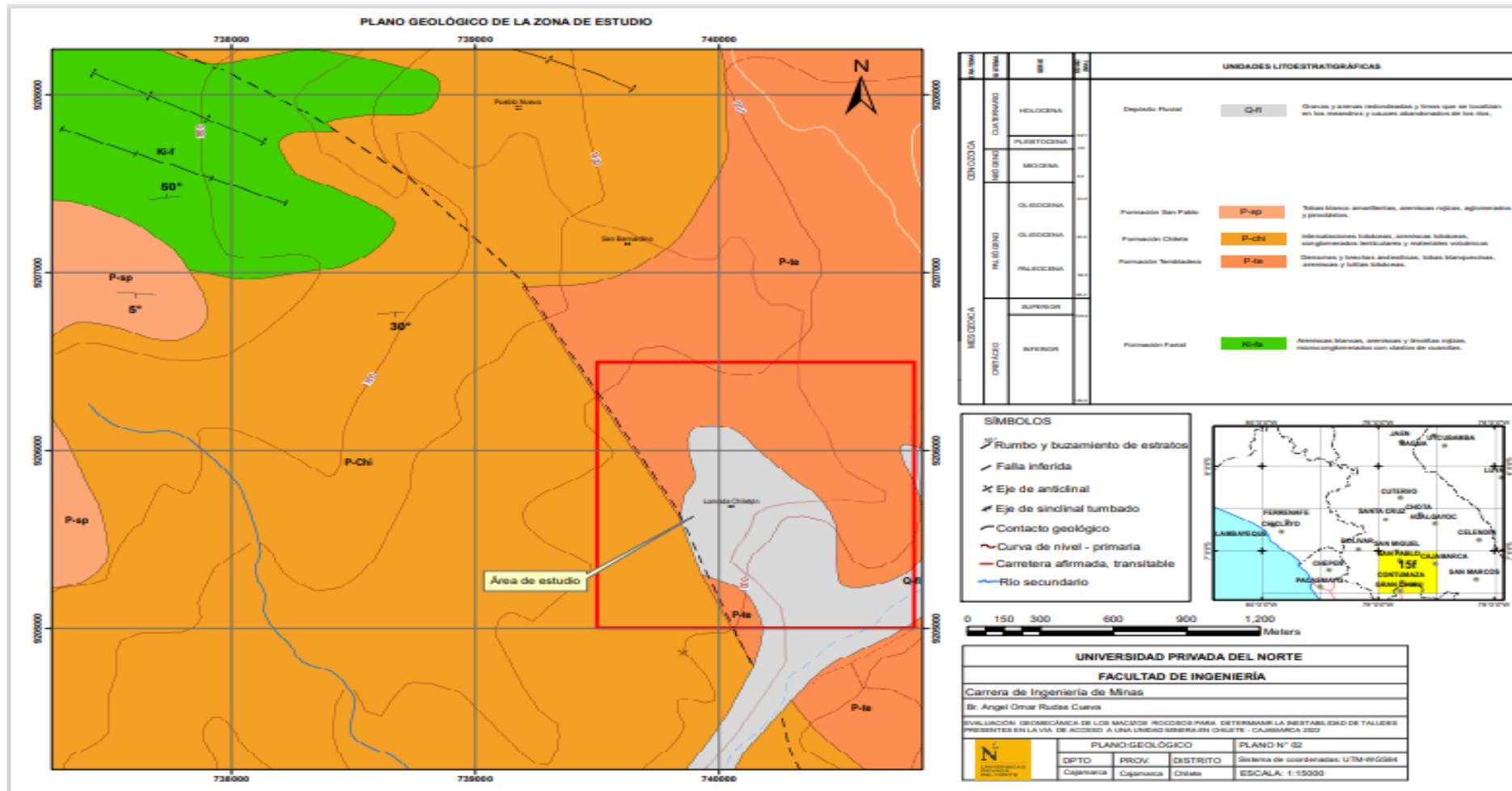


Figura 3. Plano geológico zona de la zona de estudio.

[Escriba aquí]

CAPÍTULO III: RESULTADOS

1.1.1. ENSAYOS EN ROCA

Para la obtención de los parámetros requeridos por el método de Barton Bandis se utilizó la siguiente instrumentación

En el caso del parámetro JRC se utilizó el peine de Barton, presentando una amplitud de 4mm

Para la familia J1 y 5mm para la familia J2, obteniéndose así un valor del parámetro JRC de 6 para J1 y un valor de JRC de 8 para la familia J2

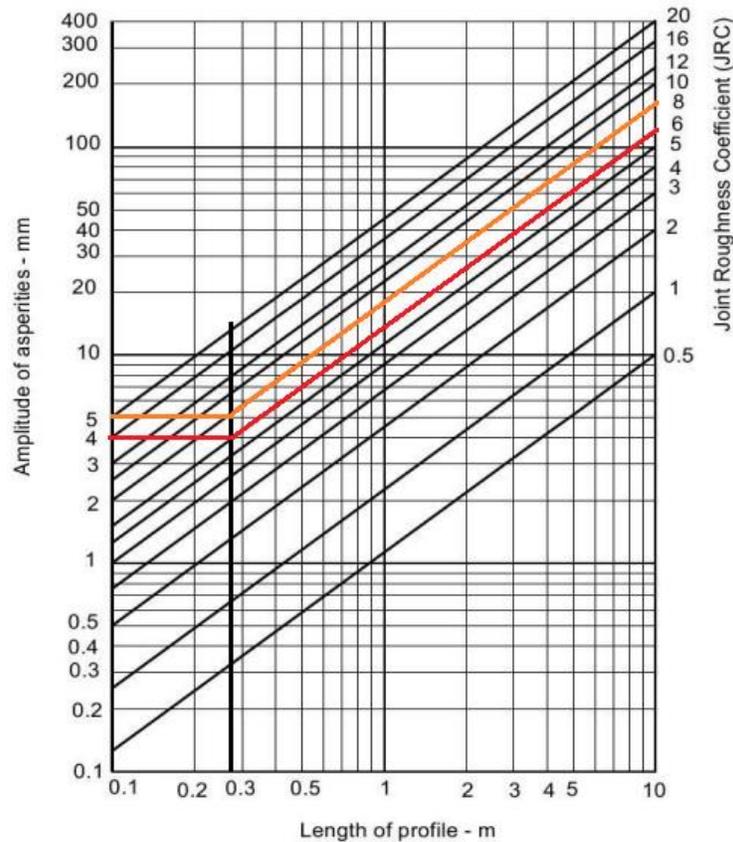


Figura 4. Estimación de JRC para la familia J01 Y J02 mediante la superficie amplitud de la rugosidad.

En el caso del parámetro JRC para la familia J03 y J04 se utilizando el peine de Barton, se registró amplitud de 5 mm y 6 mm respectivamente, obteniéndose así un valor del parámetro JRC de 8 para la familia J03 y de 9 para la familia J04

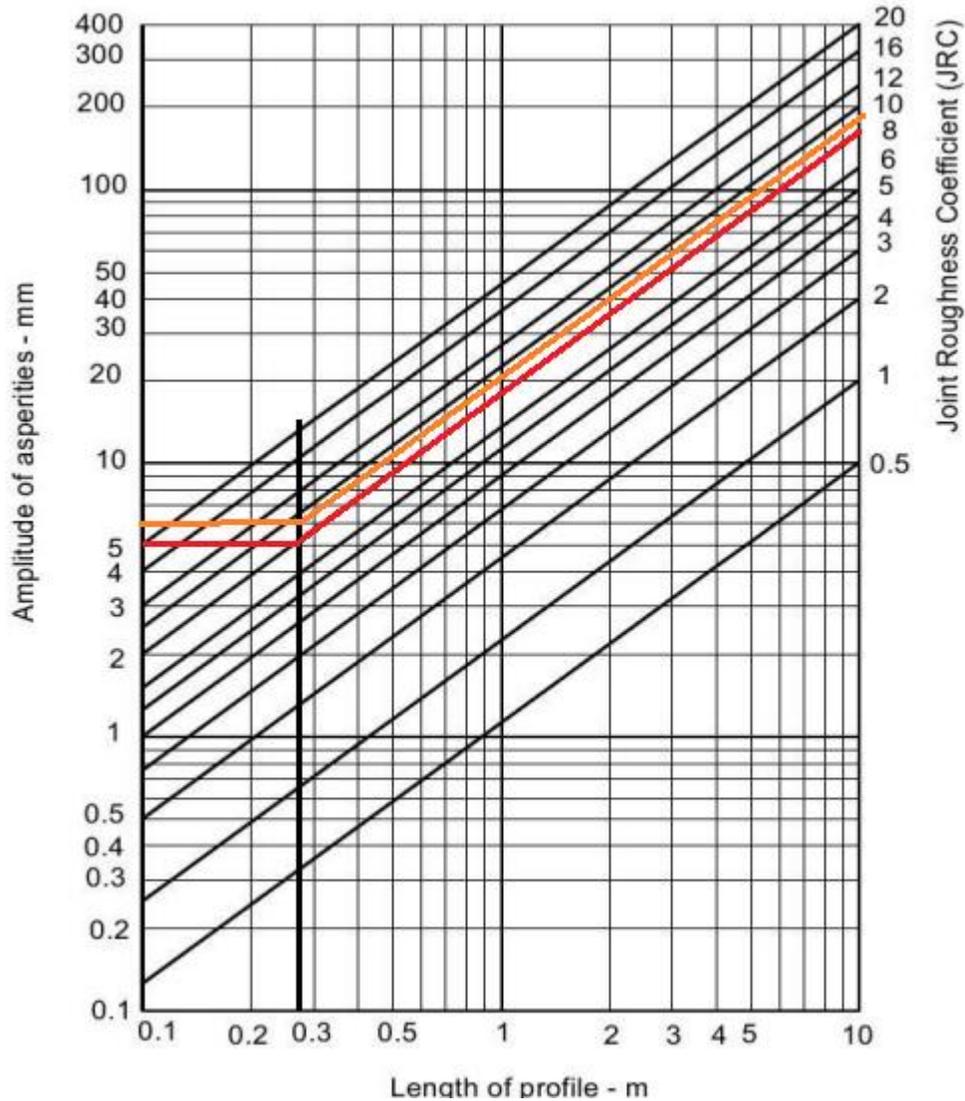


Figura 5. Estimación de JRC para la familia J03 y J04 de mediante la superficie amplitud de la rugosidad

Para obtener el Parámetro UCS, se utilizó el martillo de schmid en el plano de la discontinuidad, la cual registro un número de rebote de 47 Y 48 para la familia J01 y J2, obteniéndose un valor de UCS de 130 Y 150 MPa

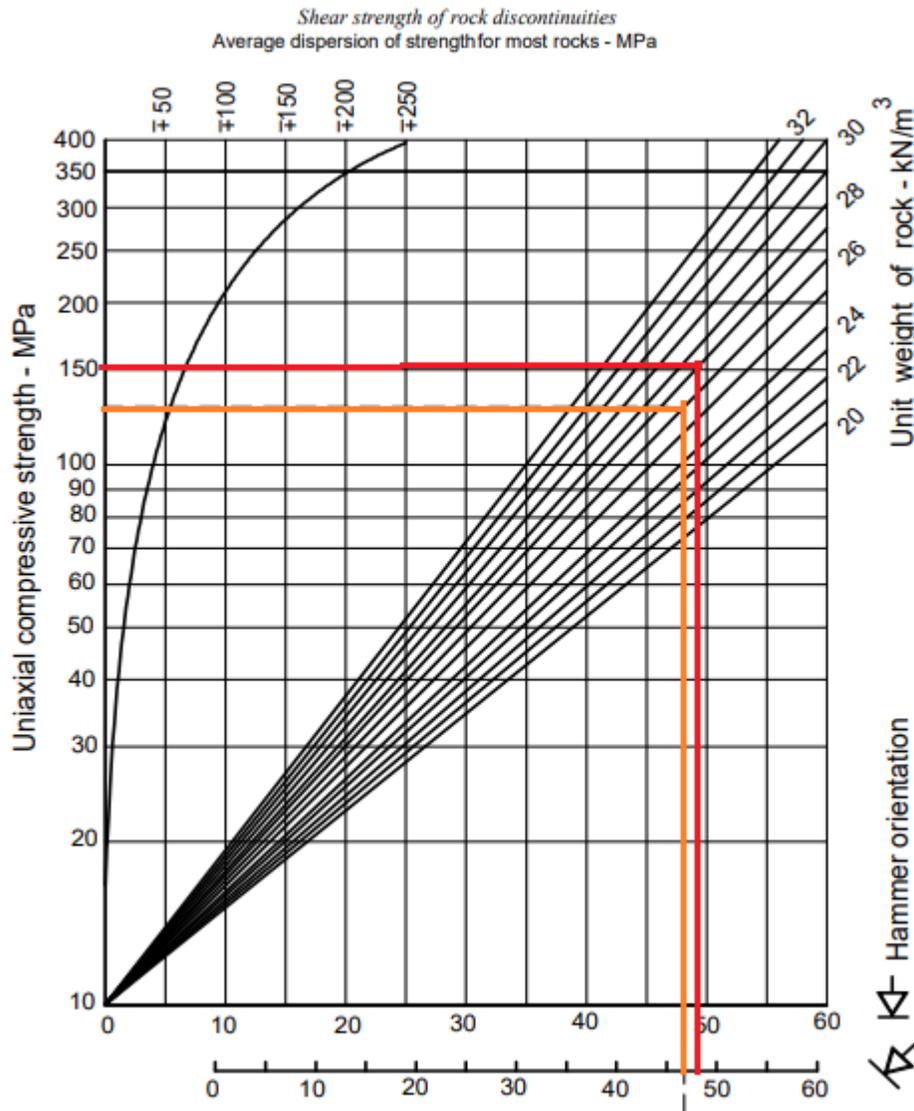


Figura 6. Estimación de la resistencia a la compresión.

Para obtener el Parámetro UCS, se utilizó el martillo de schmid en el plano de la discontinuidad, la cual registro un número de rebote de 47 Y 50 para la familia J03 y J04, obteniéndose un valor de UCS de 145 y 160 MPa

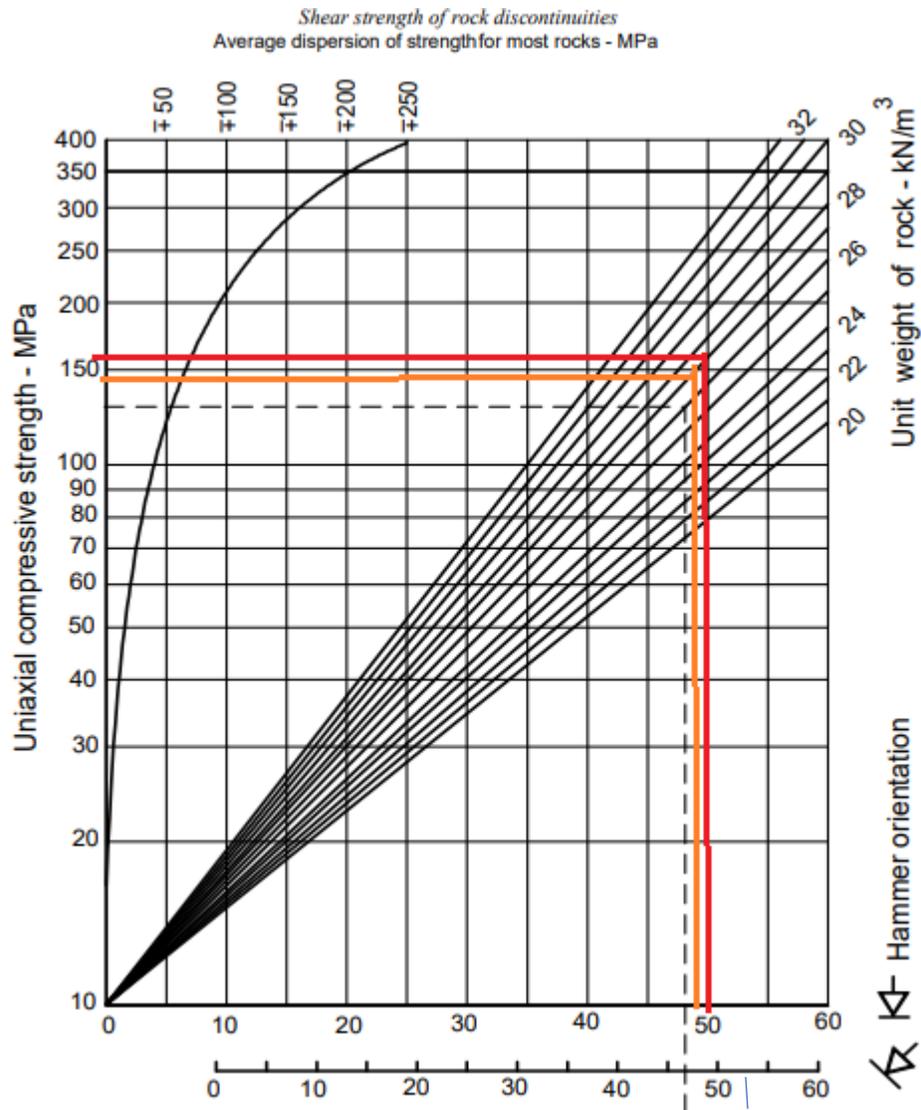


Figura 7. Estimación de la resistencia a la compresión

Tabla 3.

Ensayo de Propiedades Físicas en Rocas (ISRM)

| Probeta N° | Tipo de Roca | Diámetro cm | Altura cm | Densidad Seca gr/cm^3 | Porosidad Aparente % | Absorción % | Peso Específico Aparente kN/m^3 |
|-------------------|---------------------|--------------------|------------------|---|-----------------------------|--------------------|---|
| 1 | - | - | - | 2.61 | 0.82 | 0.33 | 25.57 |
| 2 | - | - | - | 2.64 | 1.098 | 0.38 | 25.16 |
| 3 | - | - | - | 2.58 | 0.61 | 0.235 | 25.89 |
| 4 | - | - | - | 2.53 | 3.87 | 1.59 | 24.14 |
| 5 | - | - | - | 2.46 | 3.89 | 1.57 | 24.19 |

Nota: Estimación del peso unitario de la Roca con muestras de las estaciones geomecánicas

Tabla 4.

Cartografiado Geomecánico

| MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL | | Coordenadas: E 739572 N 9205621 2413 msnm. | | Talud Carretera- Chilete – Unidad Minera | | CLASIFICACION DEL MACIZO | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---|------------------------------------|---|----------|---|--------------------|------------|------------------|------------------------------|------------------|
| Registro N° | | 01 | | Ubicación: Chilete, - Unidad Minera | | Fecha: 20-06-2022. | | | | | |
| | | Litología: Andesitas | | Elaborado mediante- estaciones geomecánicas | | ROCO SO RMR | | | | | |
| | | Rumbo perpendicular al eje de la excavacion | | Rumbo paralelo al eje de la excavacion | | Buzamiento 0°-20° independiente e del rumbo | | | | | |
| | | Direccion con el buzamiento | | Direccion contra el buzamiento | | | | | | | |
| | | Bz 45°-90° | | Bz 20°-45° | | Bz 45°-90° | | | | | |
| | | Muy Favorable 0 | | Favorable -2 | | Muy Desfavorable -12 | | | | | |
| | | Bz 20°-45° | | Bz 45°-90° | | Regular -5 | | | | | |
| | | Bz 45°-90° | | Bz 20°-45° | | Desfavorable -10 | | | | | |
| | | Bz 20°-45° | | Bz 45°-90° | | Regular -5 | | | | | |
| | | Bz 45°-90° | | Bz 20°-45° | | Desfavorable -10 | | | | | |
| ESTACION I | σc | RQD | Espaciamiento entre Discontinuidad | CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | Agua Subterránea | Orientación Discontinuidades | |
| | Resistencia a la Compresión | | | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Alteración | | | |
| 1.- | > 250 MPa | 90-100% | >2 m | 1.- | 1m | 1.- | Muy rugoso | 1.- | 15 | 1.- | Muy favorable |
| 2.- | 100-250 MPa | 75-90% | 0.6-2 m | 2.- | 1-3 m | 2.- | Rugoso | 2.- | 10 | 2.- | Favorable |
| 3.- | 50-100 MPa | 50-75% | 200-600 mm | 3.- | 3-10 m | 3.- | Ligeramente rugosa | 3.- | 7 | 3.- | Regular |
| 4.- | 25-50 MPa | 25-50% | 60-200 mm | 4.- | 10-20 m | 4.- | Lisa | 4.- | 4 | 4.- | Desfavorable |
| 5.- | < 25 MPa | < 25% | < 60 mm | 5.- | > 20 m | 5.- | Max. Lisa | 5.- | 0 | 5.- | Muy desfavorable |
| 1 | (130MPa) | (73) | (43cm) | (9m) | (3mm) | 2 | | 3 | 10 | 0 | |
| 2 | (145MPa) | (70) | (23cm) | (15m) | (12mm) | 3 | | 3 | 10 | 0 | |
| 3 | (150MPa) | (72) | (27cm) | (20m) | (30mm) | 2 | | 3 | 10 | 0 | |
| 4 | (160MPa) | (73) | (27cm) | (18m) | (5mm) | 3 | | 3 | 10 | 0 | |
| PROMEDIO: | | | | | | | | | | | |
| 146.25 (12.1) | | 72 (13.9) | 30 (8.7) | 15.5 (4) | 12.5 (0) | 3 (3) | 5 (0) | 3 (3) | 10 | 0 | REGULAR A |

Se aprecia que en las estaciones geomecánicas el RMR Básico es 54.7, y el tipo de roca es Regular A. Fuente: Bieniawski.

Para la obtención de la puntuación de los parámetros de la resistencia la compresión simple se utilizó la siguiente figura:

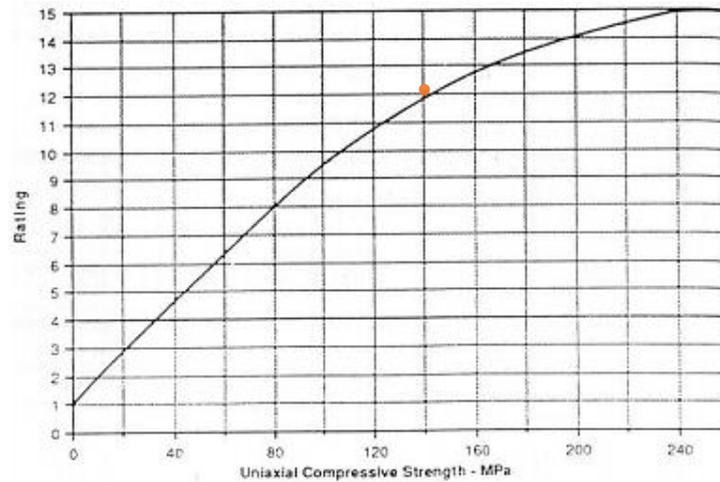


Figura 8: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.

Fuente: Gavilanes (2002).

Asimismo, para la puntuación del parámetro de RQD se empleó la siguiente figura

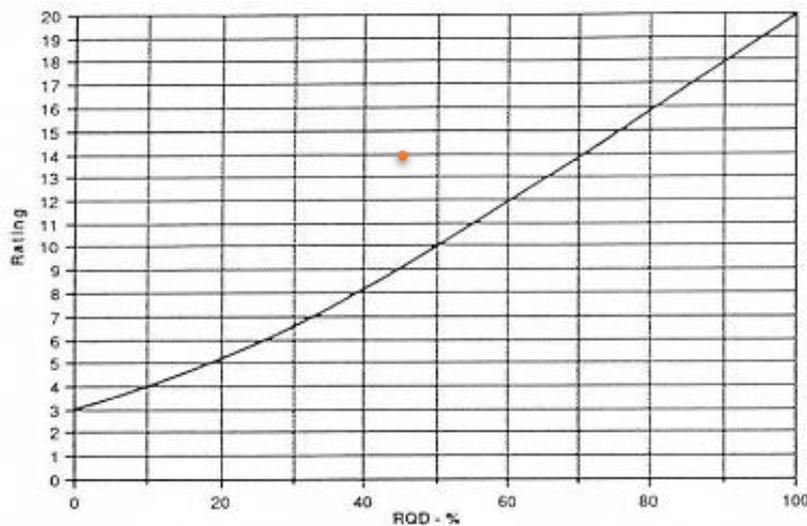


Figura 9: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD.

Fuente: Gavilanes (2002).

[Escriba aquí]

Además, para la puntuación del parámetro del espaciado se utilizó la siguiente figura

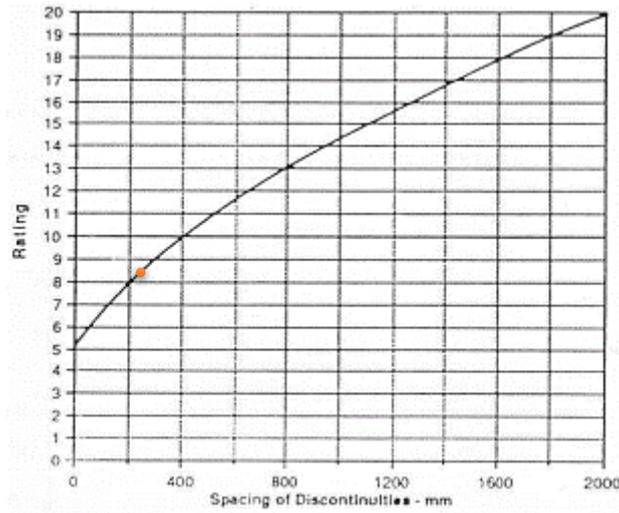


Figura 10: ploteo de valoración del espaciado entre discontinuidades en mm.

Fuente: Gavilanes (2002).

Tabla 5

Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR

| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO | |
|--------------------------|---------------|
| ROCOSO RMR | |
| RMR | DESCRIPCIÓN |
| 91-100 | MUY BUENA "A" |
| 81-90 | MUY BUENO "B" |
| 71-80 | BUENA "A" |
| 61-70 | BUENA "B" |
| 51-60 | REGULAR "A" |

41-50 **REGULAR “B”**

31-40 **MALA “A”**

21-30 **MALA “B”**

0-20 **MUY MALA “A”**

Nota_: RMR básico obtenido a partir de la sumatoria de los 05 parámetros en el cual el Plote la roca es del Tipo Buena “B”

Fuente: Gavilanes (2002)

A continuación, se calculara los factores de corrección F1, F2, F3 y F4, para la obtención del SMR en una rotura del tipo planar según la clasificación de la Romana

$$F1 = [1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(104^\circ - 185^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(81^\circ)]^2$$

$$F1 = 0.000144$$

$$F2 = \text{tg}(\beta_j)^2$$

$$F2 = \text{tg}(45^\circ)^2$$

$$F2 = 1$$

$$F3 = \text{bs} - \text{bj} = 45 - 78 = 33^\circ \text{ por lo que la puntuación será de}$$

$$F3 = -60$$

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$\text{SMR} = 56 + (0.000144 \times 1 \times -60) + 0$$

$$\text{SMR} = 54.7 - 0.00084 + 0$$

$$\text{SMR} = 54.6$$

Luego describimos el grado de estabilidad en función del valor obtenido de SMR

| SMR | Estabilidad |
|----------|----------------------|
| 100 - 81 | Totalmente Estable |
| 80 - 61 | Estable |
| 60 - 41 | Parcialmente Estable |
| 40 - 21 | Inestable |
| < 20 | Totalmente Inestable |

Figura 11: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana, por lo que el talud se comporta estable ante una rotura planar

Según la el sistema de clasificación SMR se sugiera la siguientes recomendaciones y/o medidas de sostenimiento o soporte

| MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADAS PARA CADA CLASE DE ESTABILIDAD | | |
|--|----------|--|
| Clase | SMR | Soporte |
| I a | 91 - 100 | Ninguno |
| I b | 81 - 90 | Ninguno/Saneo |
| II a | 71 - 80 | (Ninguno/Cunetas) Pernos puntuales |
| II b | 61 - 70 | Cunetas al pie del talud/malla Pernos puntuales o sistemáticos |
| III a | 51 - 60 | Cuneta y/o malla Pernos puntuales o sistemáticos Hormigón lanzado localizado |
| III b | 41 - 60 | (Cunetas al pie del talud y/o malla) Pernos sistemáticos/Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie |
| IV a | 31 - 40 | Anclaje Hormigón lanzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje |
| IV b | 21 - 30 | Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo |
| V a | nov-20 | Muros de contención Reexcavación |

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

Figura 12: Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas al pie de talud Fuente: Gavilanes (2002)

Se utilizara el índice de resistencia geológica (GSI) o método de clasificación GSI para la caracterización de las propiedades **geomecánicas** de los macizos rocosos, a través de la identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo

Figura:13 Ploteo del Valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 67

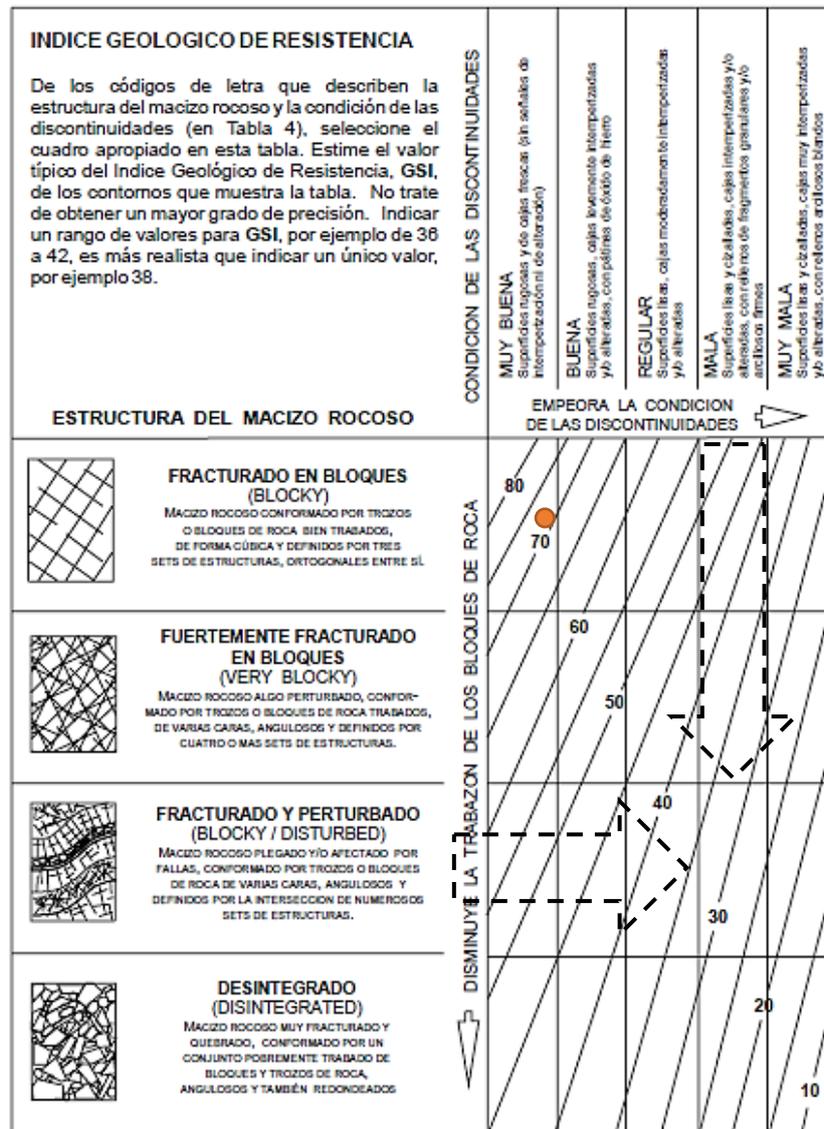


Tabla 6.

Mapeo Geomecánico de las discontinuidades

TALUD $\frac{DIP: 78}{DIP\ DIRECTION: 185}$ **AZIMUT 05°**

| ESTACIÓN 1 | | | ESTACIÓN 2 | | | ESTACIÓN 3 | | |
|------------|-----|--------|------------|-----|--------|------------|-----|--------|
| FAM | BUZ | AZIMUT | FAM | BUZ | AZIMUT | FAM | BUZ | AZIMUT |
| 1 | 83 | N340 | 1 | 78 | N344 | 1 | 84 | N341 |
| 1 | 80 | N345 | 1 | 85 | N338 | 1 | 87 | N343 |
| 1 | 84 | N343 | 1 | 88 | N341 | 1 | 78 | N346 |
| 1 | 87 | N344 | 1 | 82 | N343 | 1 | 85 | N340 |
| 1 | 78 | N338 | 1 | 83 | N346 | 1 | 88 | N345 |
| 1 | 85 | N341 | 1 | 80 | N340 | 1 | 82 | N343 |
| 1 | 88 | N343 | 1 | 84 | N345 | 1 | 83 | N344 |
| 1 | 82 | N346 | 1 | 87 | N343 | 1 | 80 | N338 |
| 2 | 68 | N243 | 2 | 63 | N246 | 2 | 64 | N248 |
| 2 | 65 | N240 | 2 | 64 | N241 | 2 | 66 | N239 |
| 2 | 64 | N245 | 2 | 67 | N248 | 2 | 63 | N243 |
| 2 | 66 | N242 | 2 | 70 | N239 | 2 | 64 | N240 |
| 2 | 63 | N246 | 2 | 68 | N243 | 2 | 67 | N245 |
| 2 | 64 | N241 | 2 | 65 | N240 | 2 | 70 | N242 |
| 2 | 67 | N248 | 2 | 64 | N245 | 2 | 68 | N246 |
| 2 | 70 | N239 | 2 | 66 | N242 | 2 | 65 | N241 |
| 3 | 45 | N102 | 3 | 48 | N106 | 3 | 42 | N104 |
| 3 | 44 | N100 | 3 | 50 | N107 | 3 | 48 | N106 |
| 3 | 42 | N104 | 3 | 41 | N103 | 3 | 50 | N107 |
| 3 | 48 | N106 | 3 | 43 | N105 | 3 | 41 | N103 |
| 3 | 50 | N107 | 3 | 45 | N102 | 3 | 43 | N105 |
| 3 | 41 | N103 | 3 | 44 | N100 | 3 | 45 | N102 |
| 3 | 43 | N105 | 3 | 42 | N104 | 3 | 44 | N100 |
| 4 | 82 | N195 | 4 | 80 | N196 | 4 | 79 | N198 |
| 4 | 84 | N198 | 4 | 86 | N193 | 4 | 87 | N190 |
| 4 | 83 | N190 | 4 | 79 | N194 | 4 | 82 | N194 |
| 4 | 80 | N196 | 4 | 87 | N197 | 4 | 84 | N197 |
| 4 | 86 | N193 | 4 | 82 | N195 | 4 | 83 | N195 |
| 4 | 79 | N194 | 4 | 84 | N198 | 4 | 80 | N196 |
| 4 | 87 | N197 | 4 | 83 | N190 | 4 | 86 | N193 |

Nota: Las discontinuidades fueron tomadas con una brújula Brunton Azimutal, considerando la regla de la mano derecha

Análisis estereográfico de las discontinuidades en el talud actual
Falla Planar

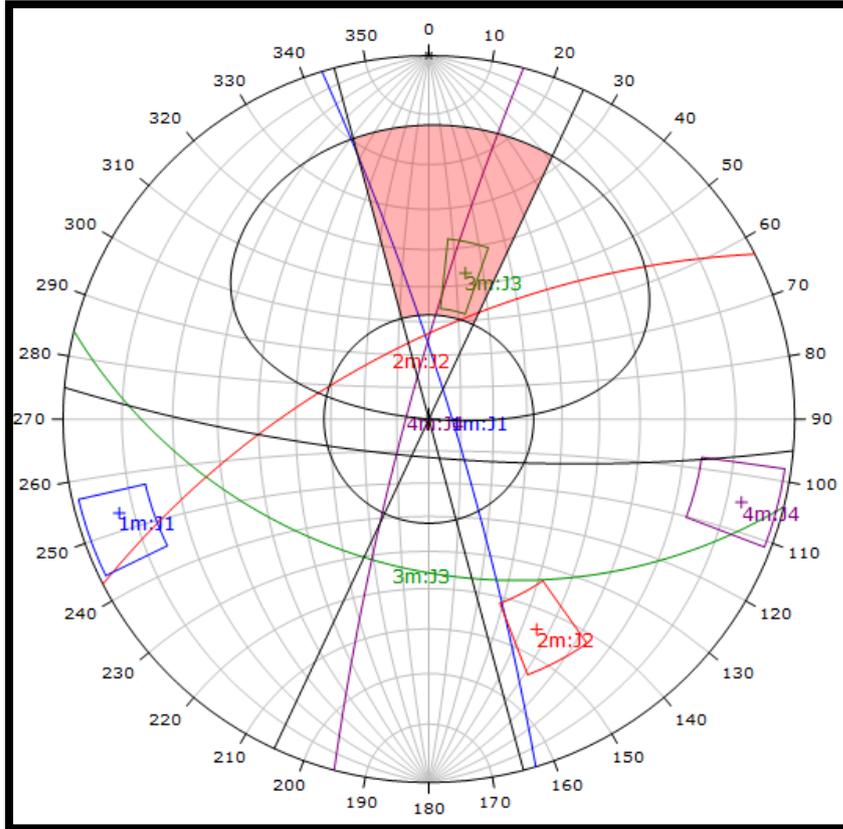


Figura 14. Análisis cinemático de roturas utilizando como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de $\pm 20^\circ$. Se aprecia que el sistema de discontinuidades J3 reúne las condiciones geométricas y de fricción para poder producir una rotura planar

| | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| Kinematic Analysis | Planar Sliding | | |
| Slope Dip | 78 | | |
| Slope Dip Direction | 185 | | |
| Friction Angle | 32° | | |
| Lateral Limits | 20° | | |
| | Critical | Total | % |
| Planar Sliding (All) | 7 | 30 | 23.33% |
| Planar Sliding (Set 3) | 7 | 7 | 100.00% |
| | Color | Strike (Right) | Dip |
| Mean Set Planes | | | |
| 1m | Blue | 343 | 83 |
| 2m | Red | 243 | 66 |
| 3m | Green | 104 | 45 |
| 4m | Purple | 195 | 83 |
| | | | Label |
| | | | J1 |
| | | | J2 |
| | | | J3 |
| | | | J4 |

Figura 15. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de lo planos promedio de las familias de discontinuidades. Con el 100 % de la familia de las discontinuidades para poder producir una falla planar mediante la familia J2.

Falla en Cuña

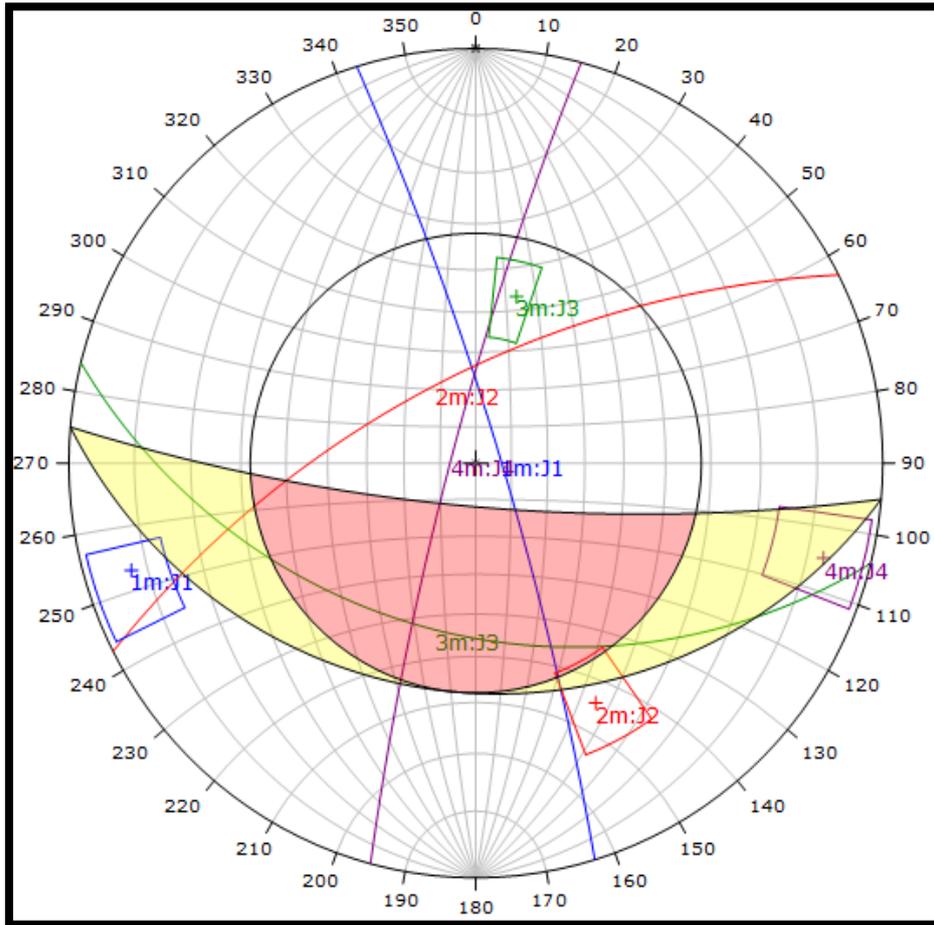


Figura 16. Análisis cinemático de rotura teniendo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que las intersecciones de la familia J1 y J3 y la familia J3 y J4 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir dos Cuñas

| | | | | |
|----------------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|
| Kinematic Analysis | | Wedge Sliding | | |
| Slope Dip | | 78 | | |
| Slope Dip Direction | | 185 | | |
| Friction Angle | | 32° | | |
| | | Critical | Total | % |
| Wedge Sliding | | 188 | 435 | 43.22% |
| | Color | Strike (Right) | Dip | Label |
| Mean Set Planes | | | | |
| 1m | Blue | 343 | 83 | J1 |
| 2m | Red | 243 | 66 | J2 |
| 3m | Green | 104 | 45 | J3 |
| 4m | Purple | 195 | 83 | J4 |

Figura 17. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. En la cual se aprecia que el 43.22% de las intersecciones entre planos cumplen las condiciones geométricas y de fricción para producir fallas en cuña.

Falla en vuelco

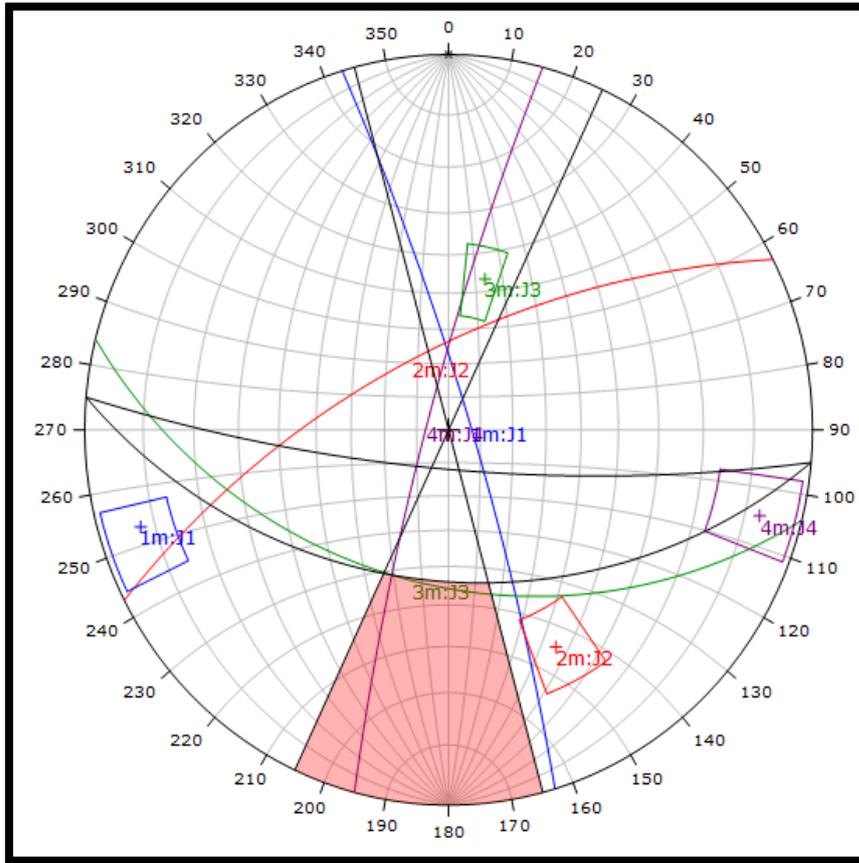


Figura 18. Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de $\pm 20^\circ$, y un plano auxiliar relacionado al talud y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que no se Produce la rotura en vuelco por ninguno de los sistemas de discontinuidades según las características de orientación de las juntas del macizo rocoso.

| | | | | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|----------|
| Kinematic Analysis | | Flexural Toppling | | |
| Slope Dip | | 78 | | |
| Slope Dip Direction | | 185 | | |
| Friction Angle | | 32° | | |
| Lateral Limits | | 20° | | |
| | | Critical | Total | % |
| Flexural Toppling (All) | | 0 | 30 | 0.00% |
| Color | Strike (Right) | Dip | Label | |
| Mean Set Planes | | | | |
| 1m | 343 | 83 | J1 | |
| 2m | 243 | 66 | J2 | |
| 3m | 104 | 45 | J3 | |
| 4m | 195 | 83 | J4 | |
| Plot Mode | | Pole Vectors | | |
| Vector Count | | 30 (30 Entries) | | |
| Hemisphere | | Lower | | |
| Projection | | Equal Angle | | |

Figura 19. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 0 % para producir una falla por vuelco.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Cálculo del Factor de Seguridad

A continuación, calcularemos el factor de seguridad en el talud para los distintos tipos de rotura que se ha evidenciado en el Software Dips. Para lo cual se analizará la sección del talud condiciones estáticas y pseudoestáticas. Este análisis consiste en determinar si existe suficiente resistencia de los parámetros de rugosidad y relleno para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

El procesamiento se realizó con el software Rocplane y Swedge de Rocscience, mediante dos métodos (Mohr Columb), para esto tendremos en cuenta la orientación de las discontinuidades críticas de las distintas estaciones geomecánicas, el perfil del talud y los valores de peso Unitario cohesión y ángulos de fricción.

Sismicidad

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas y pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. (Suárez Díaz, 2009)

Zonas Sísmicas del Perú

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)

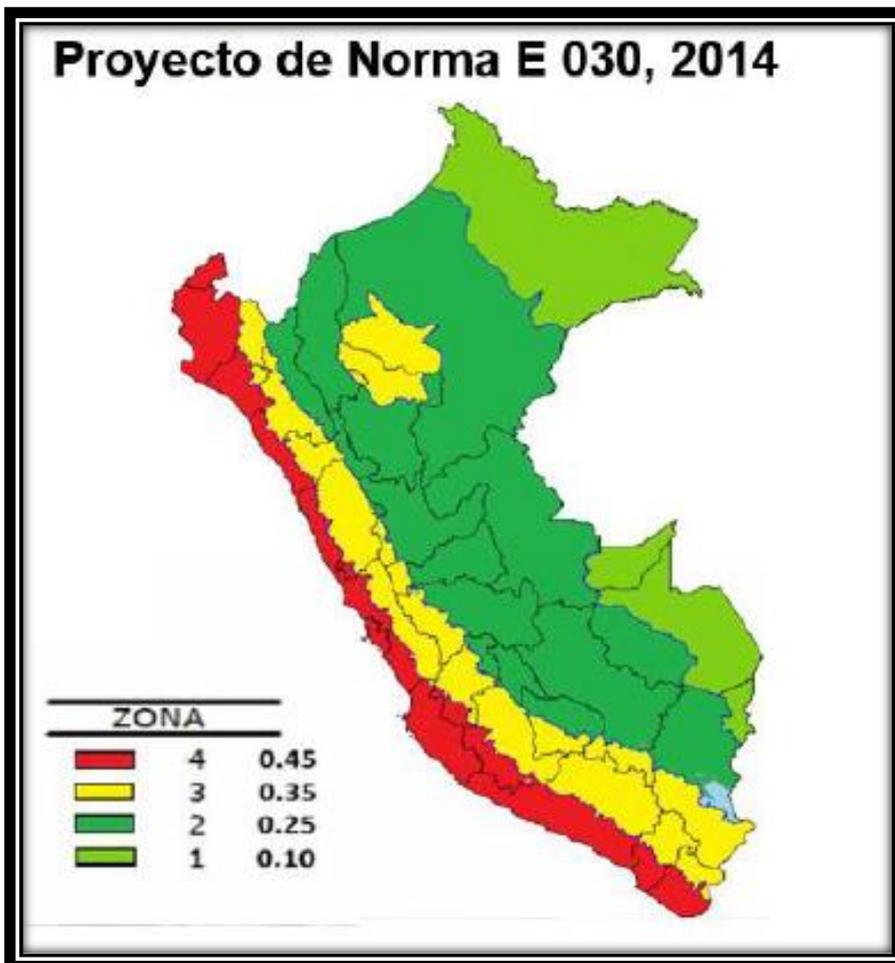


Figura 20. Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

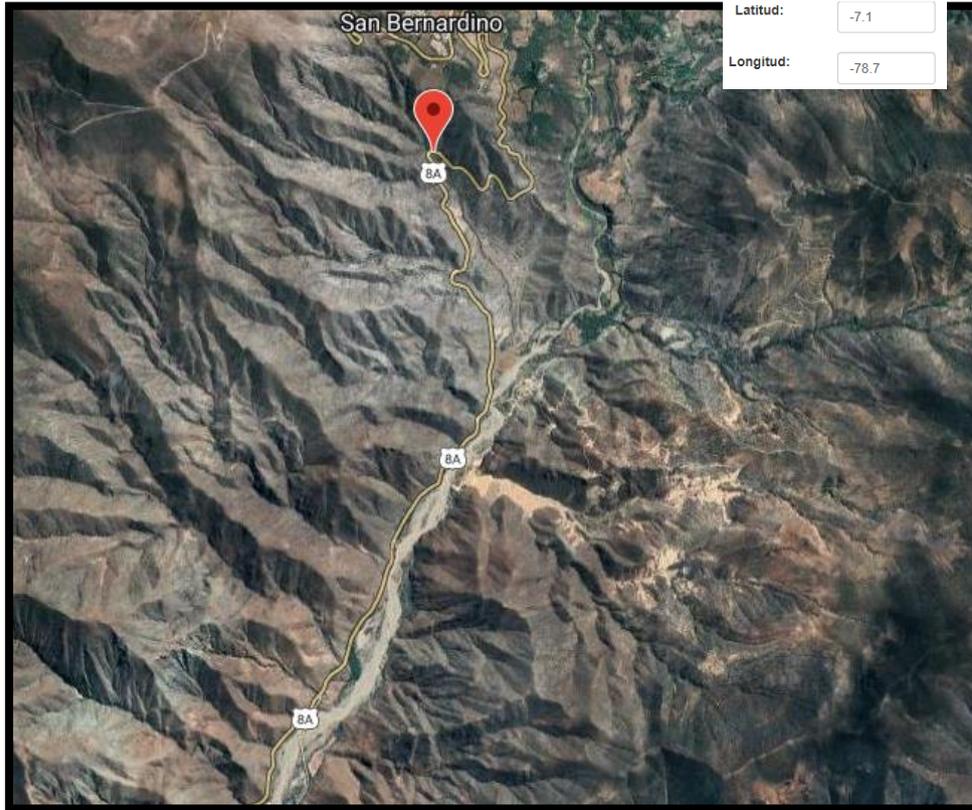


Figura 21. ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad

Coeficiente de sismicidad

El coeficiente de Sismicidad fue calculado para un tiempo de operación de obra de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, según la ubicación del talud con las siguientes coordenadas Geográficas:

| Ubicación | Latitud | Longitud |
|--|---------|----------|
| Talud Carretera Chilete – Unidad Minera | -7.1 | -78.7 |

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

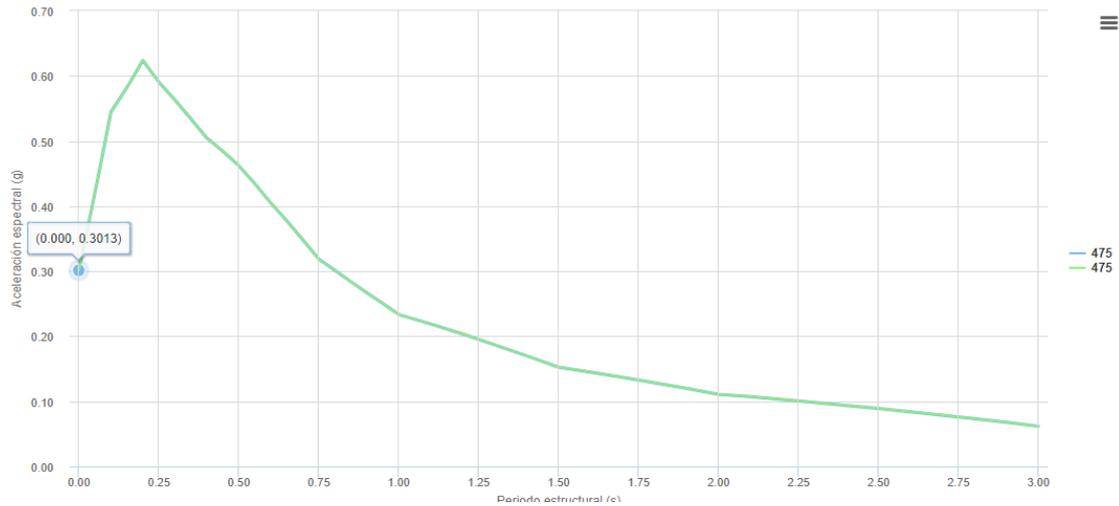


Figura 22. Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años

Para la sección de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción de las rocas andesitas presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.3013, teniendo en consideración la estaciones geomecánicas.

Rotura Planar

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J02 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

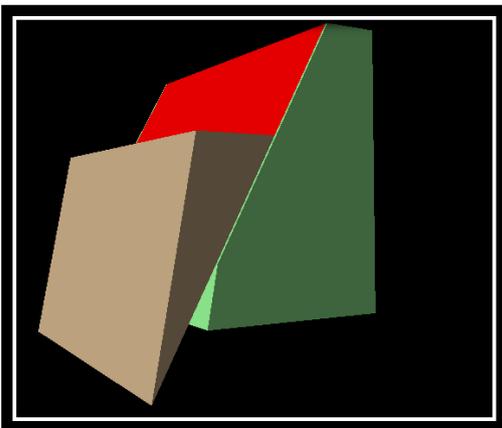


Figura 23. Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J03.

Condiciones Estáticas y Secas

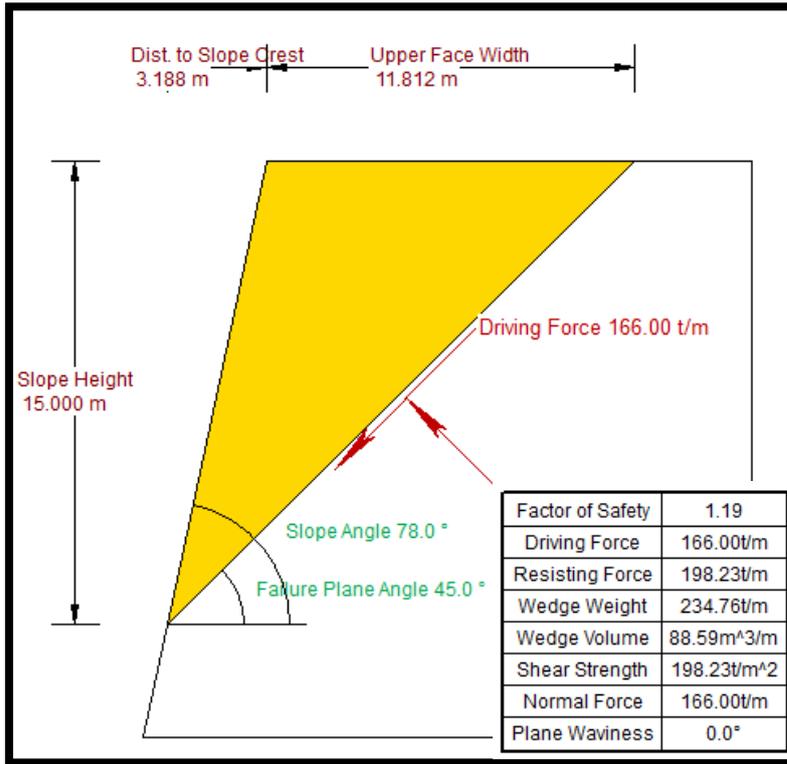


Figura 24. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud no cumple las condiciones de estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.19, por lo cual no se podría producir una falla planar en estas condiciones, pero no es completamente estable.

Condiciones estáticas y saturadas

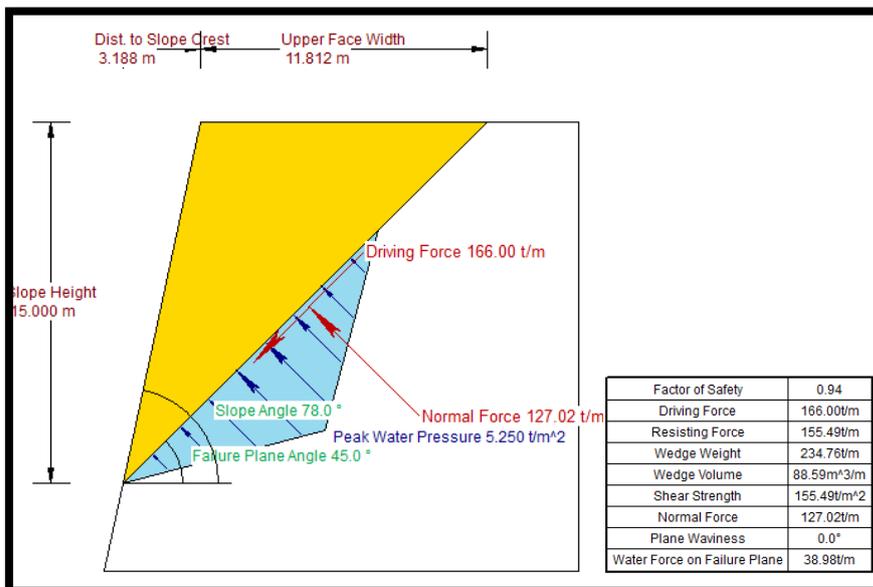


Figura 25. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.94 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

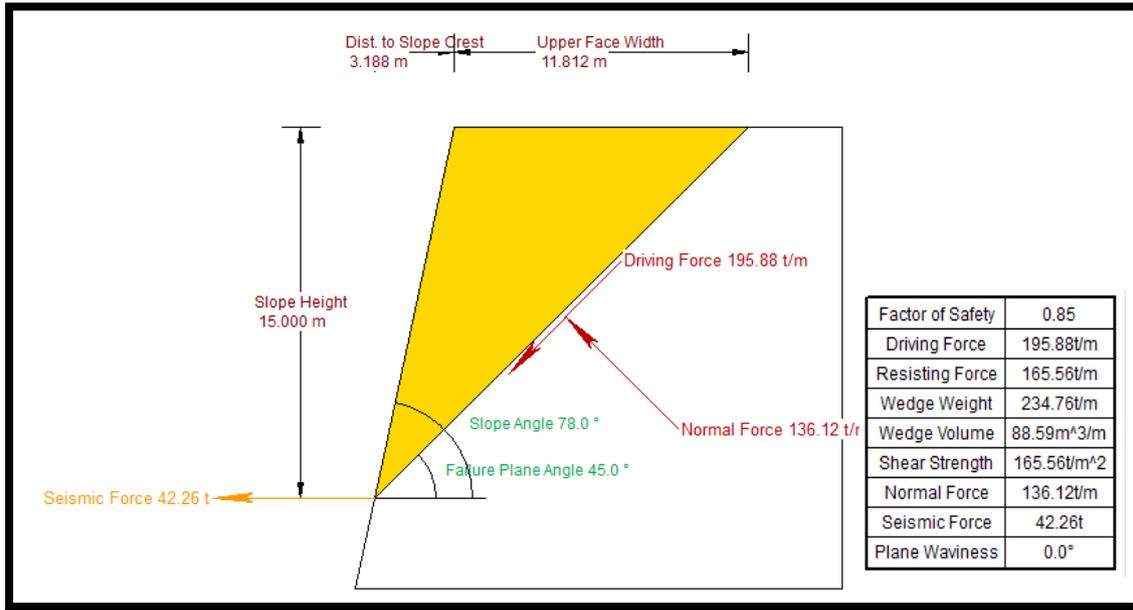


Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones secas y Pseudoestáticas con un coeficiente de sismicidad de 0.3013 se obtiene de seguridad de 0.85 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

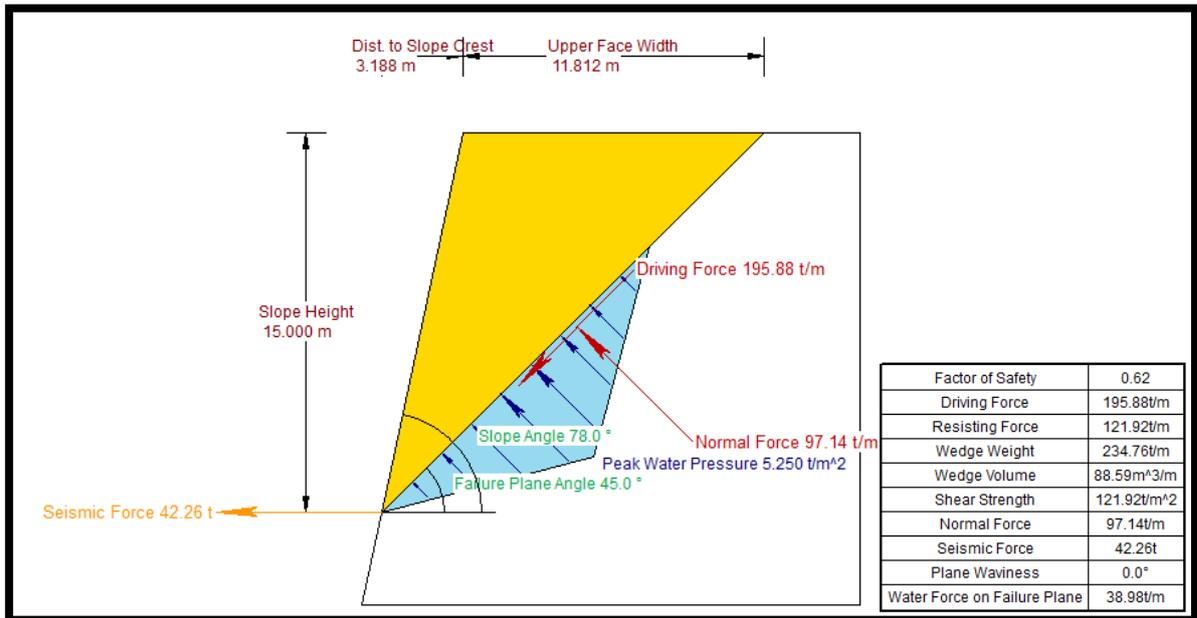


Figura 27. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.3013 se obtiene de seguridad de 0.62 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

Análisis de Sensibilidad

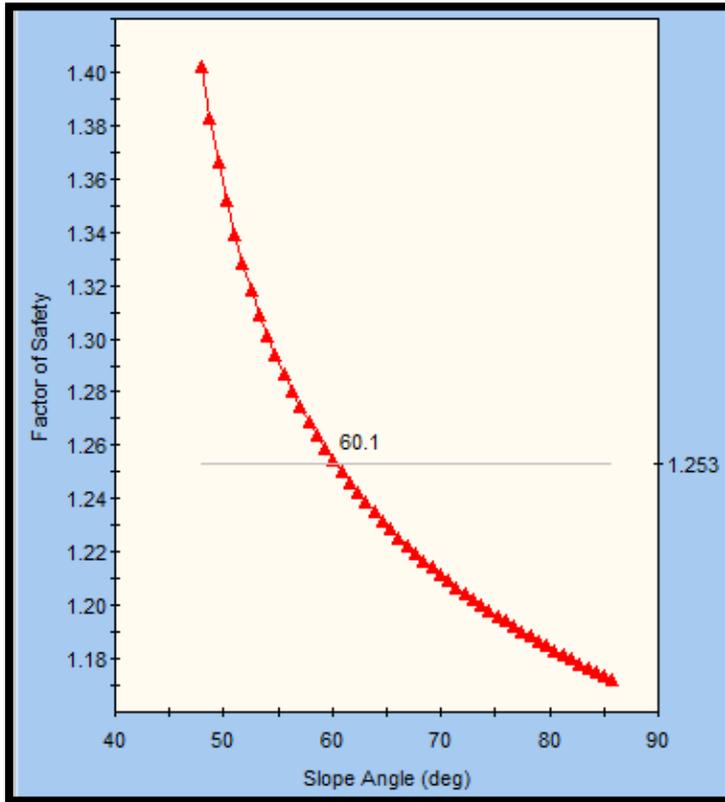


Figura 28. Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud tenga un factor de seguridad mayor a 01 el ángulo de buzamiento del talud debe ser menor a 60° en condiciones pseudo- estáticas y saturadas.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J03

Tabla 7

Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J03 (Estático y Pseudo-estático)

| Condiciones de Análisis | | | |
|-------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| Estático | | Pseudo-estático | |
| Secas | Saturadas | Secas | Saturadas |
| 1.19 | 0.94 | 0.85 | 0.62 |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 50% en cuanto geometría del talud se recomienda cambiar la geometría del talud con un buzamiento de 60° .

Rotura en Cuña

Para la rotura en Cuña se evaluará 02 Cuña evidenciadas en el software dips, la cual la primera es producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 y j03, mientras que la segunda es producida por las familias J03 y J04. calculando el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas,

Cuña producida por J01 y J03

Condiciones Estáticas y Secas

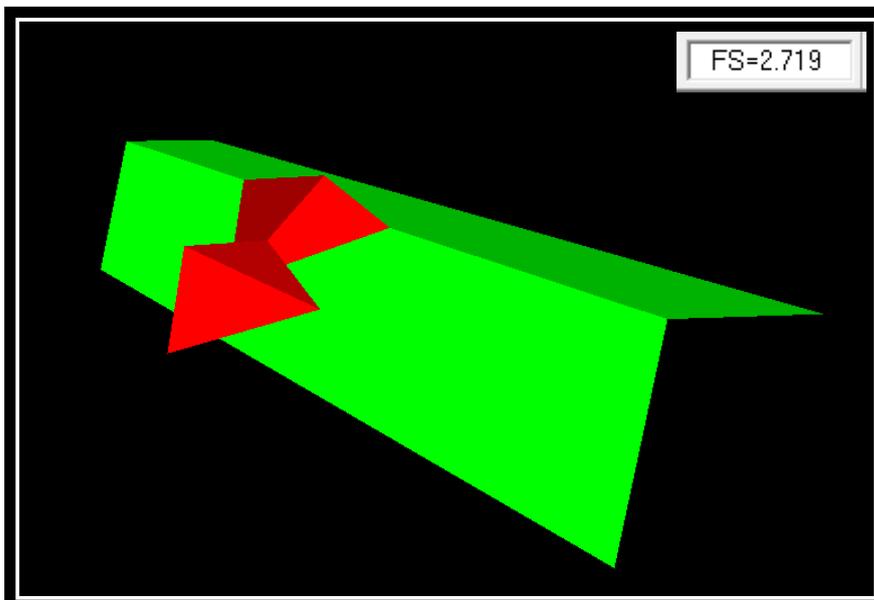


Figura 29. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.719, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

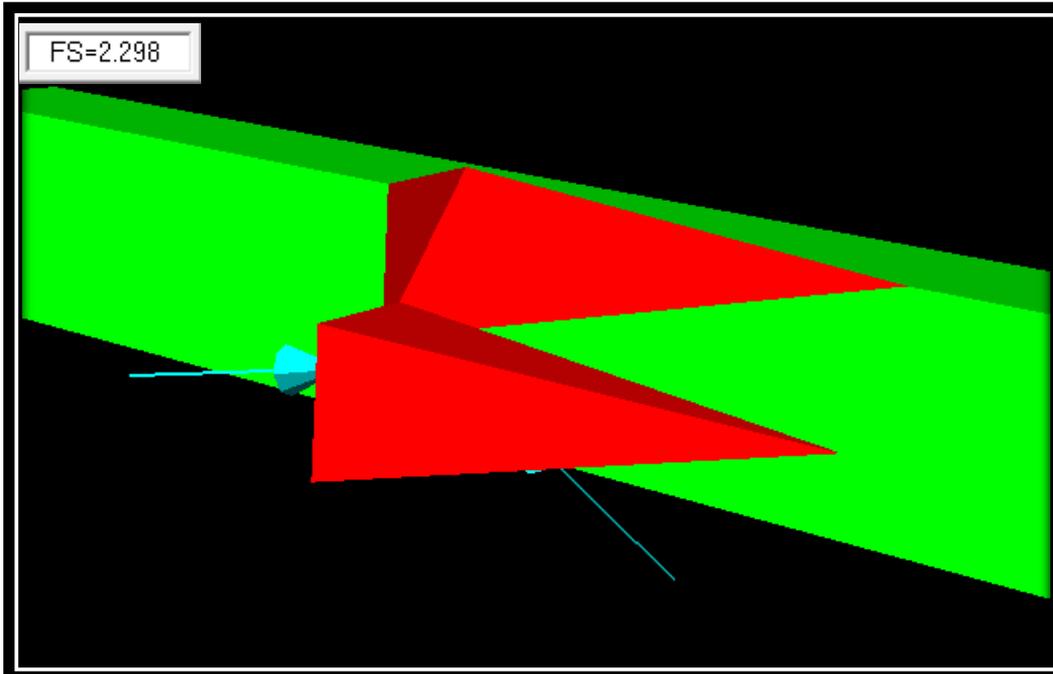


Figura 30. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.298 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

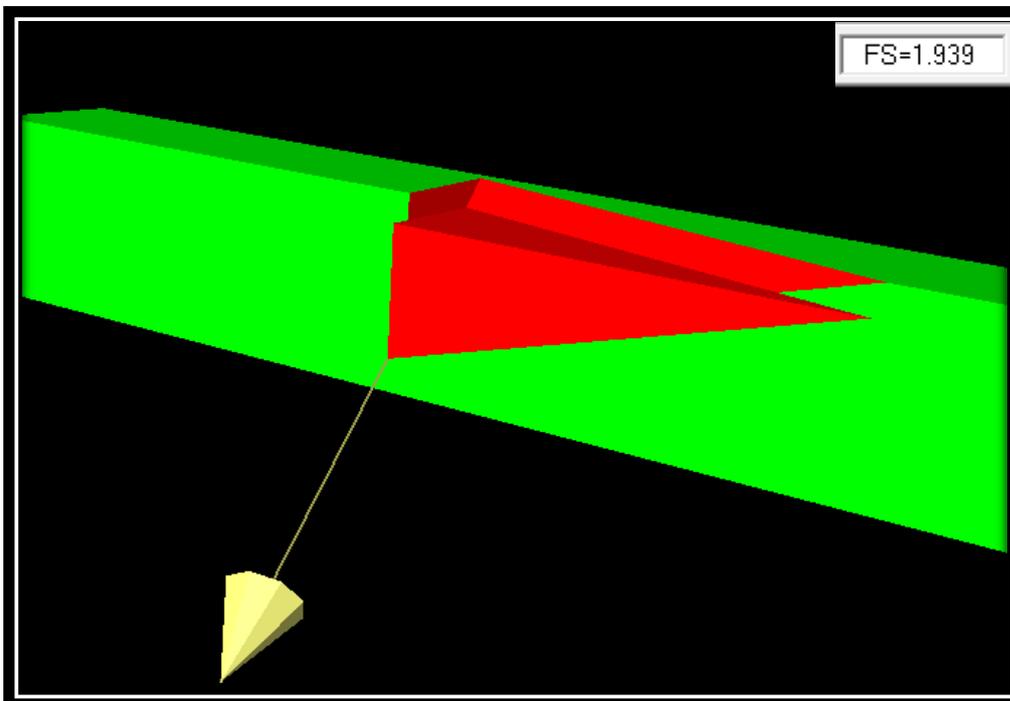


Figura 31. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.3013 se obtiene de seguridad de 1.939 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

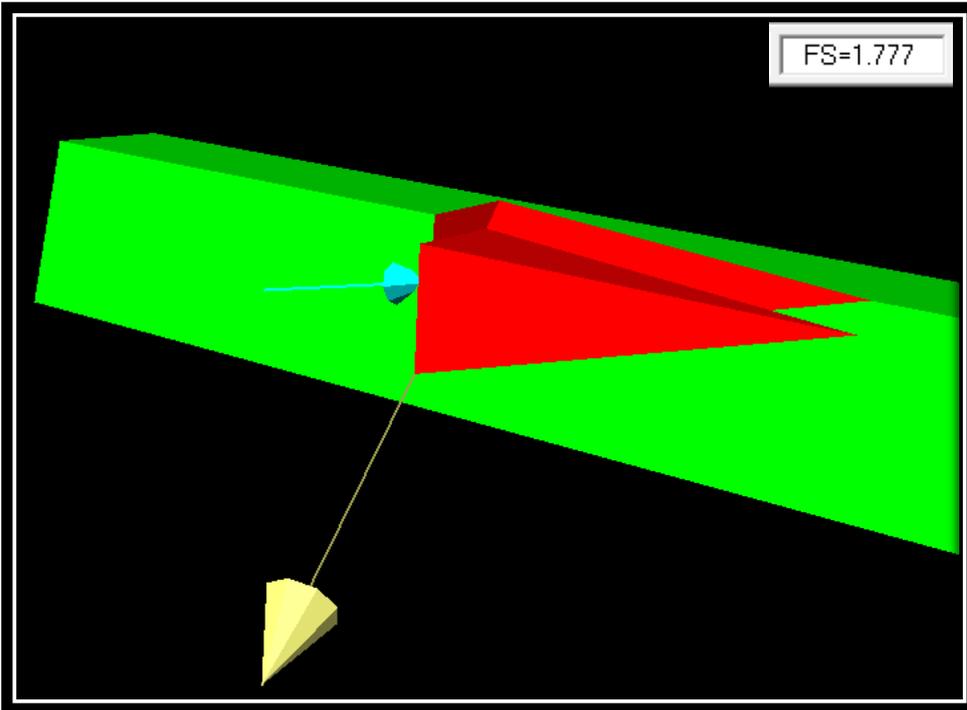


Figura 32. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.3013 se obtiene de seguridad de 1.777 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura en cuña formada por los Sets de la familia J01 y J03

Tabla 8.

Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático)

| Condiciones de Análisis | | | |
|-------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| Estático | | Pseudo-estático | |
| Secas | Saturadas | Secas | Saturadas |
| 2.719 | 2.298 | 1.939 | 1.777 |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

Debido a que no se produce la rotura de la cuña n°01 las recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar

Cuña producida por J03 y J04

Condiciones Estáticas y Secas

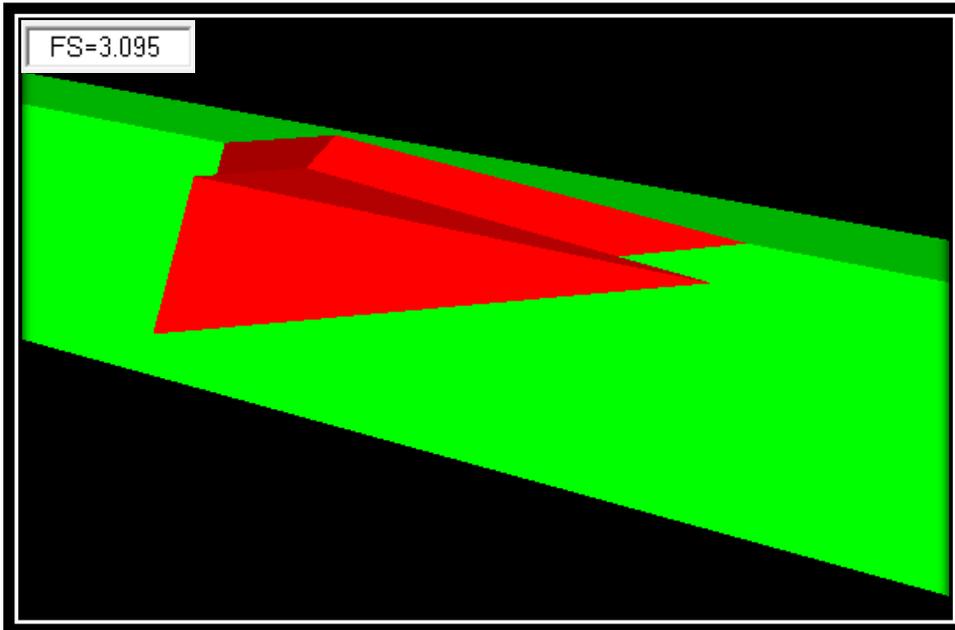


Figura 33. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 3.095, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

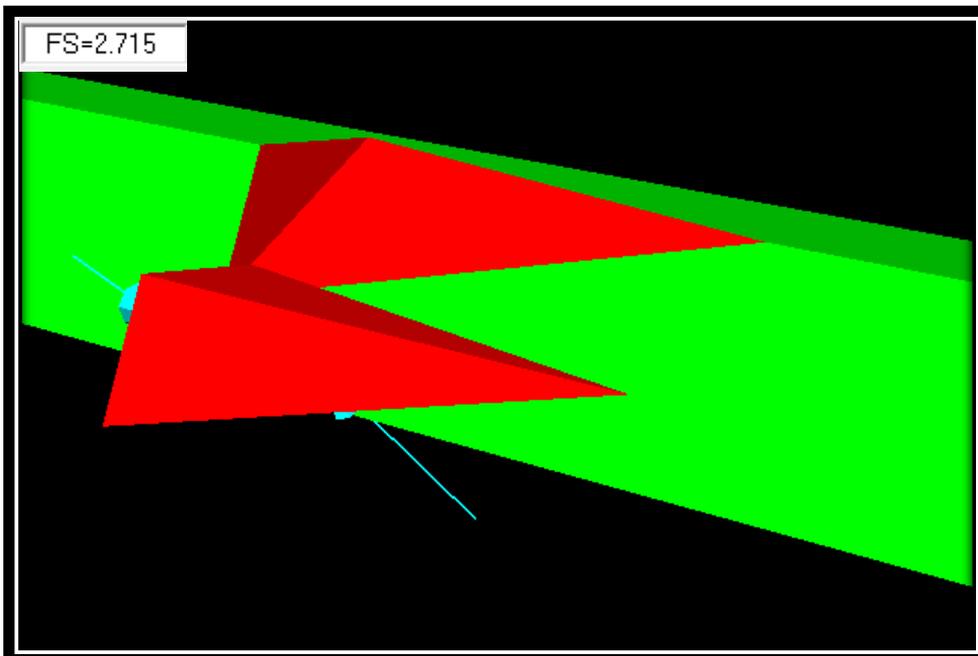


Figura 34. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.715 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

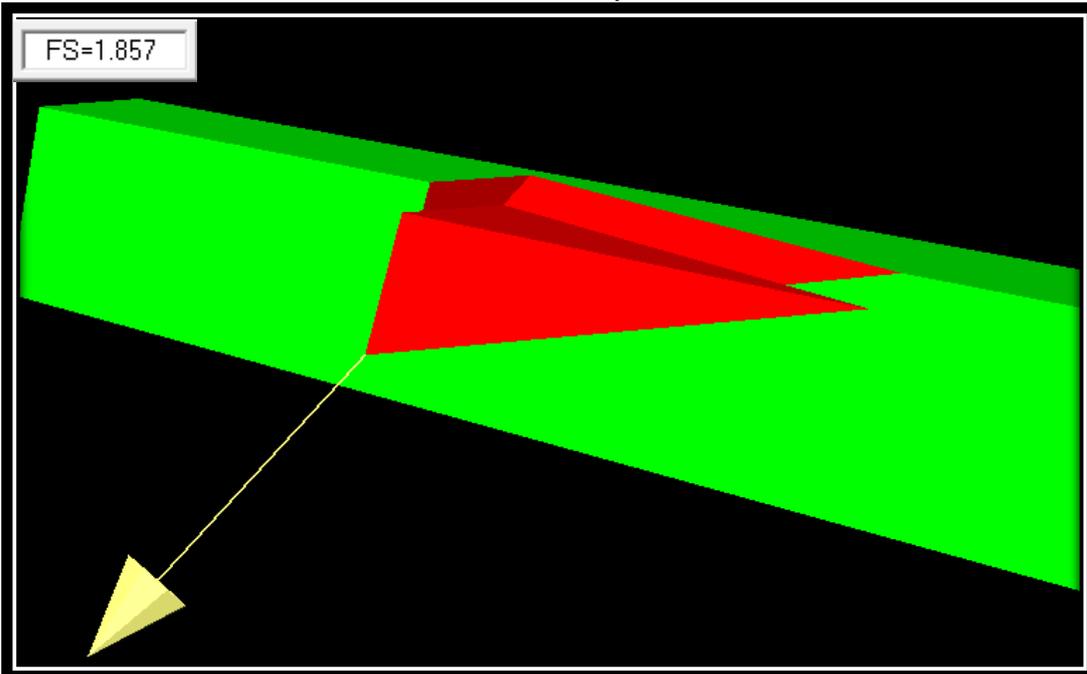


Figura 35. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.3013 se obtiene de seguridad de 1.857 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

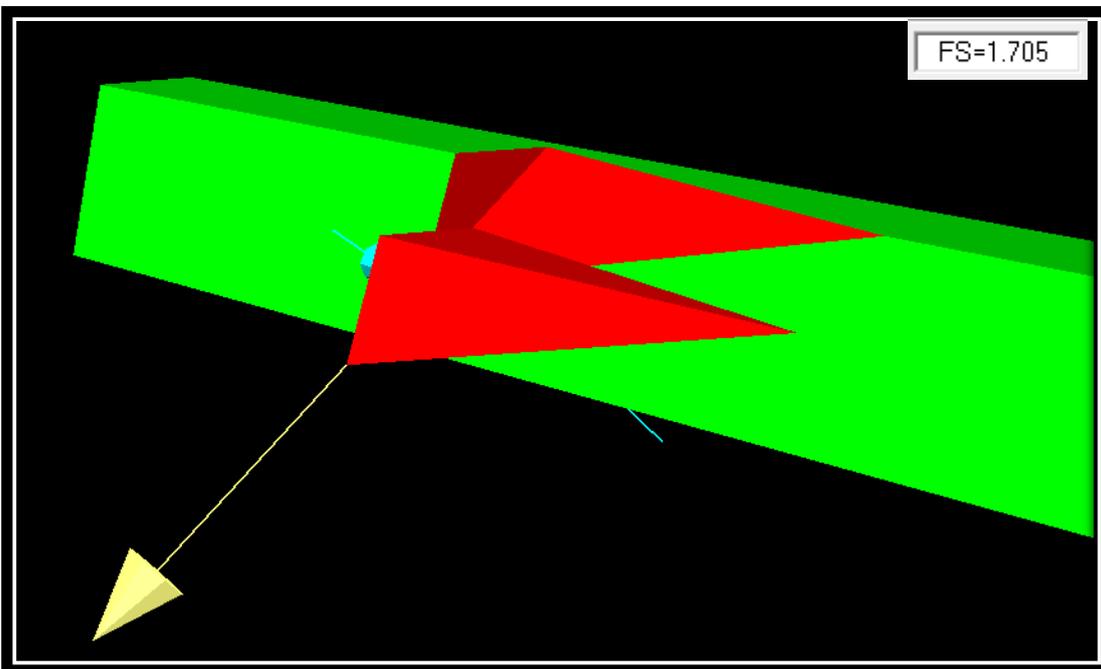


Figura 36. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.3013 se obtiene de seguridad de 1.705 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura en cuña formada por los Sets de la familia J03 y J04

Tabla 9.

Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J03 y J04 (Estático y Pseudo-estático)

| Condiciones de Análisis | | | |
|--------------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| Estático | | Pseudo-estático | |
| Secas | Saturadas | Secas | Saturadas |
| 3.095 | 2.715 | 1.857 | 1.705 |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

FUENTE: Propia.

Debido a que no se produce la rotura de la cuña n°02 entre las familias J2 y J3 las recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar.

Análisis del Talud en condiciones Estáticas

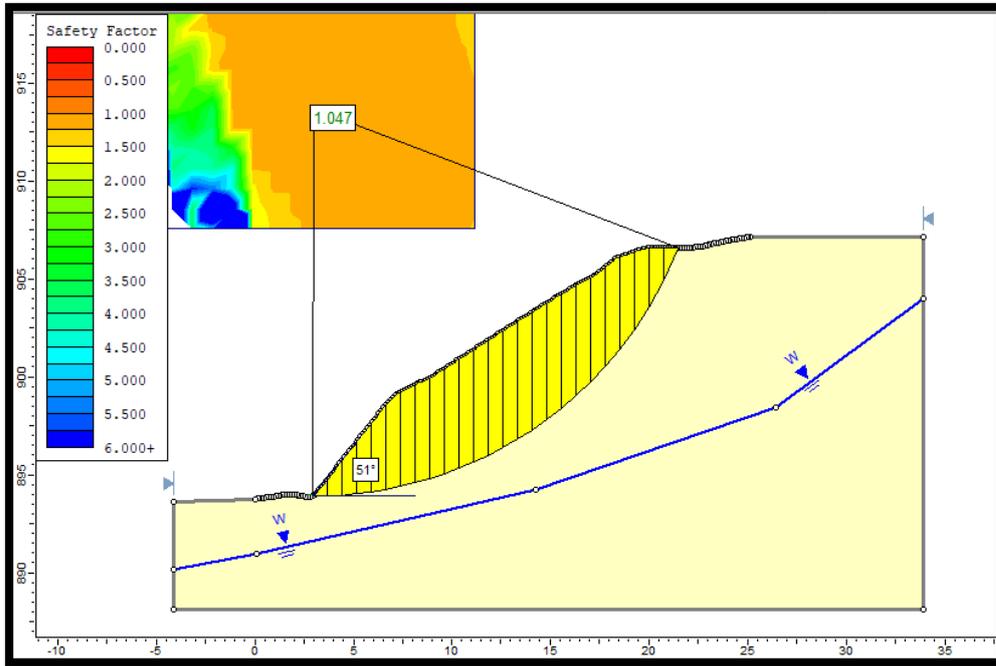


Figura 37. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud no es completamente estable con un Factor de seguridad de 1.047 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 51°.

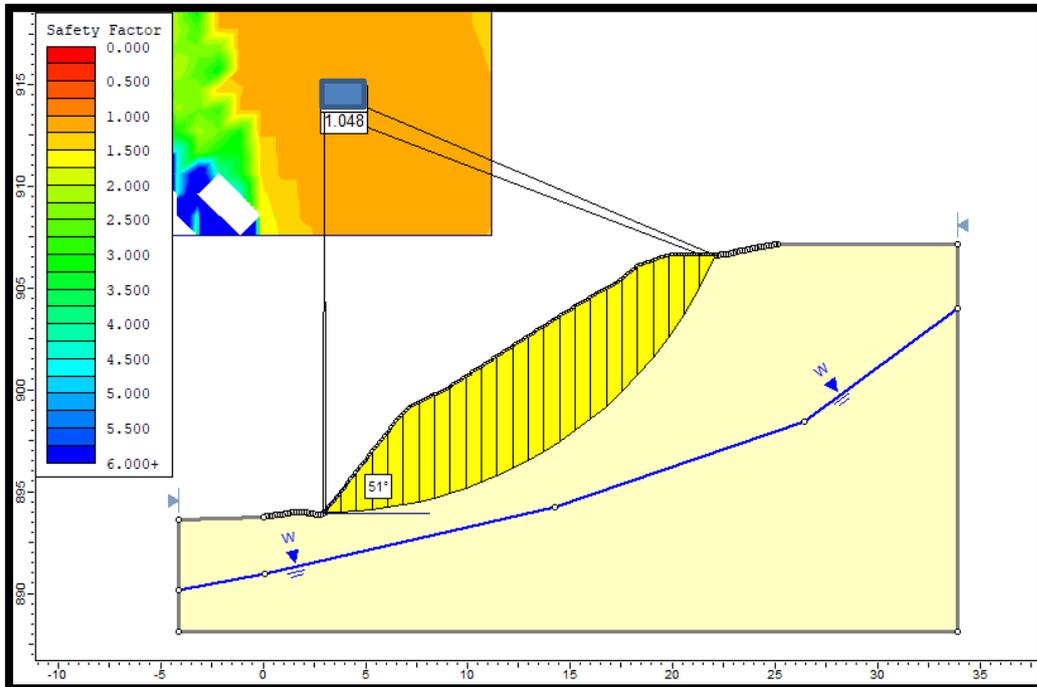


Figura 38. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud no es completamente estable con un Factor de seguridad de 1.048 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 51°.

Análisis de estabilidad del Talud en condiciones Pseudo estáticas

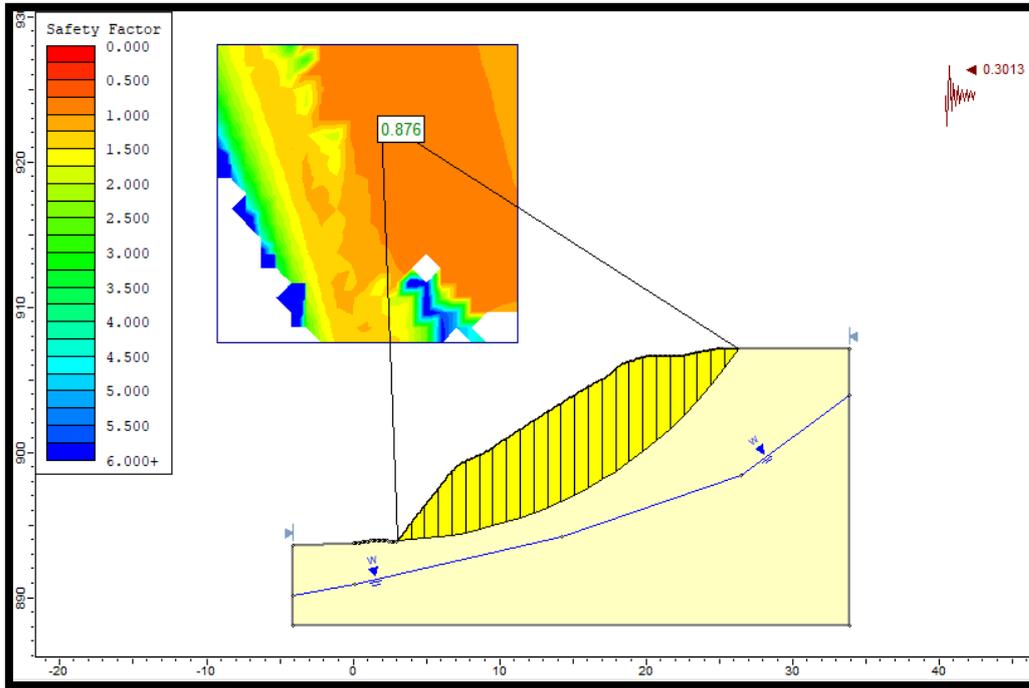


Figura 39. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.876 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.3013 y un coeficiente vertical de 0.

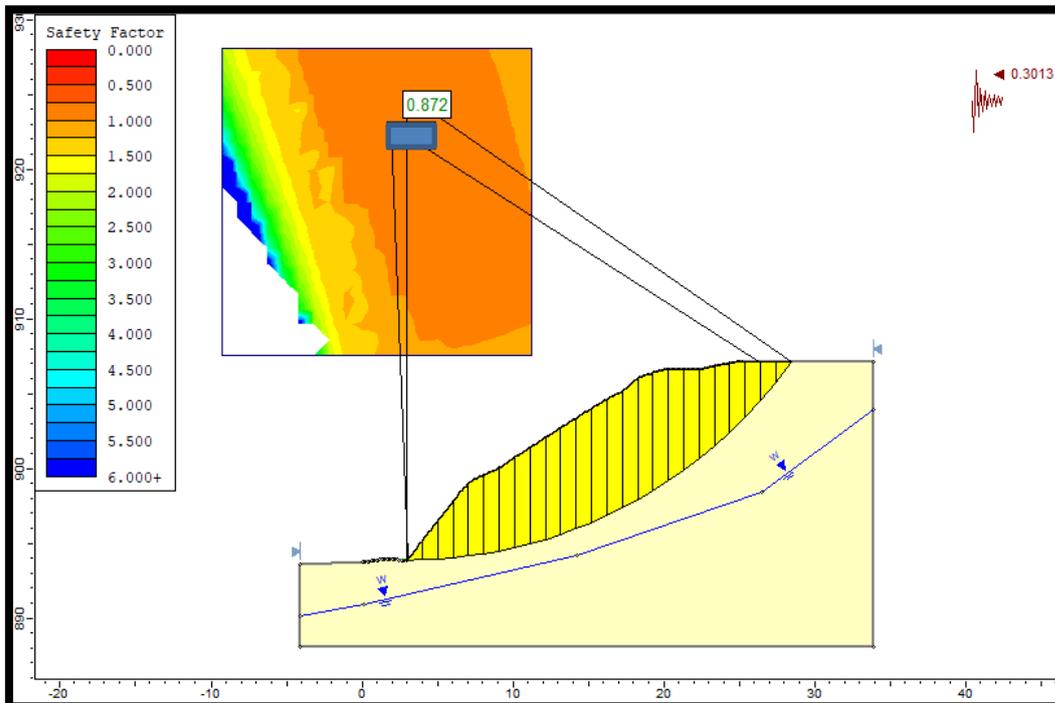


Figura 40. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.872 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.3013 y un coeficiente vertical de 0.

A continuación, se muestra una tabla de los distintos factores de seguridad en condiciones estáticas y Pseudoestáticas para el talud global del diseño.

Tabla 10.

Condiciones de Análisis para el Talud (Estático y Pseudo-estático)

| Condiciones de Análisis | | | |
|-------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| Estático | | Pseudo-estático | |
| Spencer | Morgenstern - Price | Spencer | Morgenstern - Price |
| 1.047 | 1.048 | 0.876 | 0.872 |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

FUENTE: Propia.

Según el análisis realizado en la tabla anterior se puede apreciar de que El talud es inestable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas

Propuesta de estabilidad con instalación de Muro de contención

Análisis de Talud Corregido en condiciones Estáticas

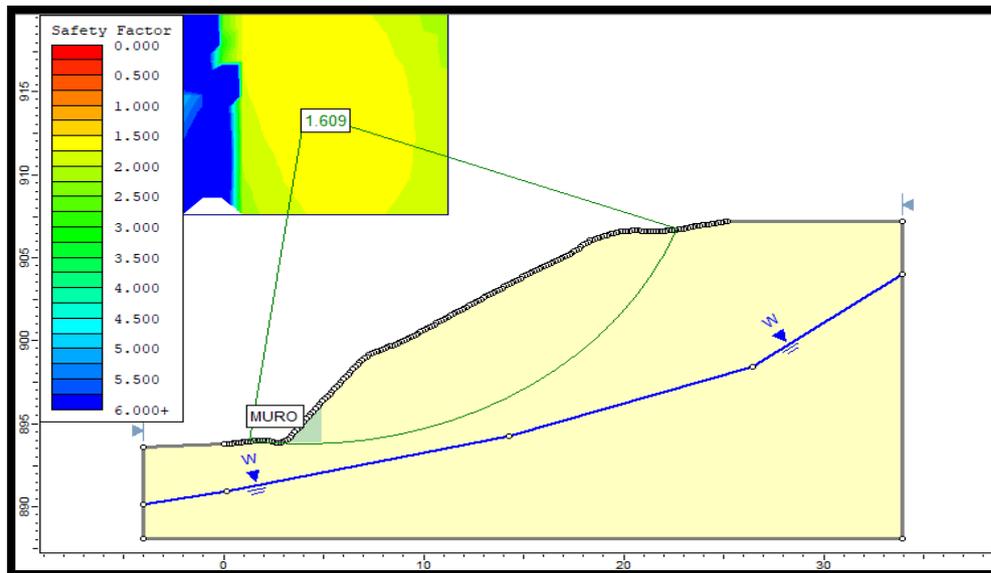


Figura 41. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.609 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 51°.

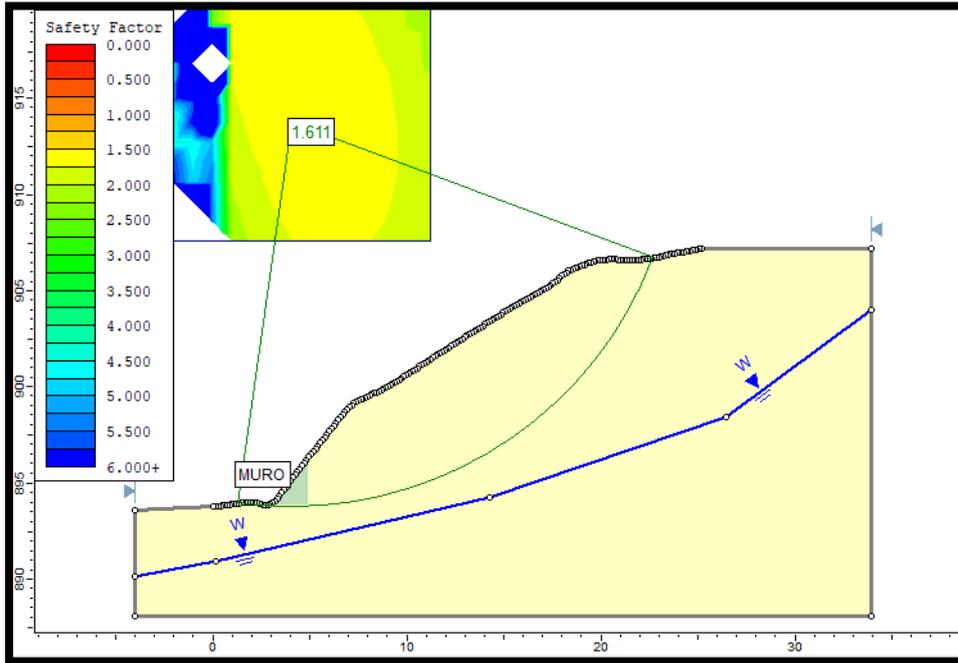


Figura 42. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.611 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 51° .

Análisis de estabilidad del Talud Global en condiciones Pseudo estáticas

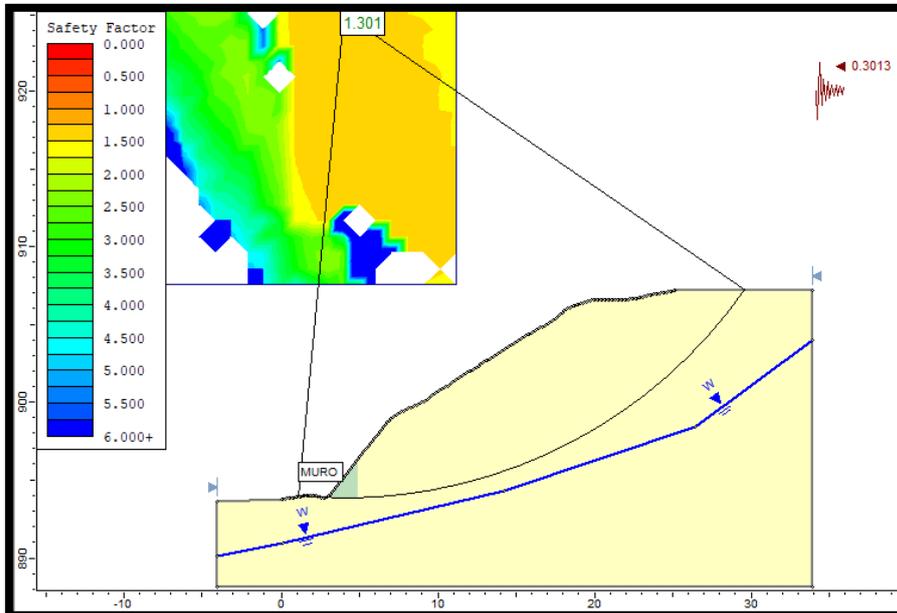


Figura 43. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.301 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.3013 y un coeficiente vertical de 0.

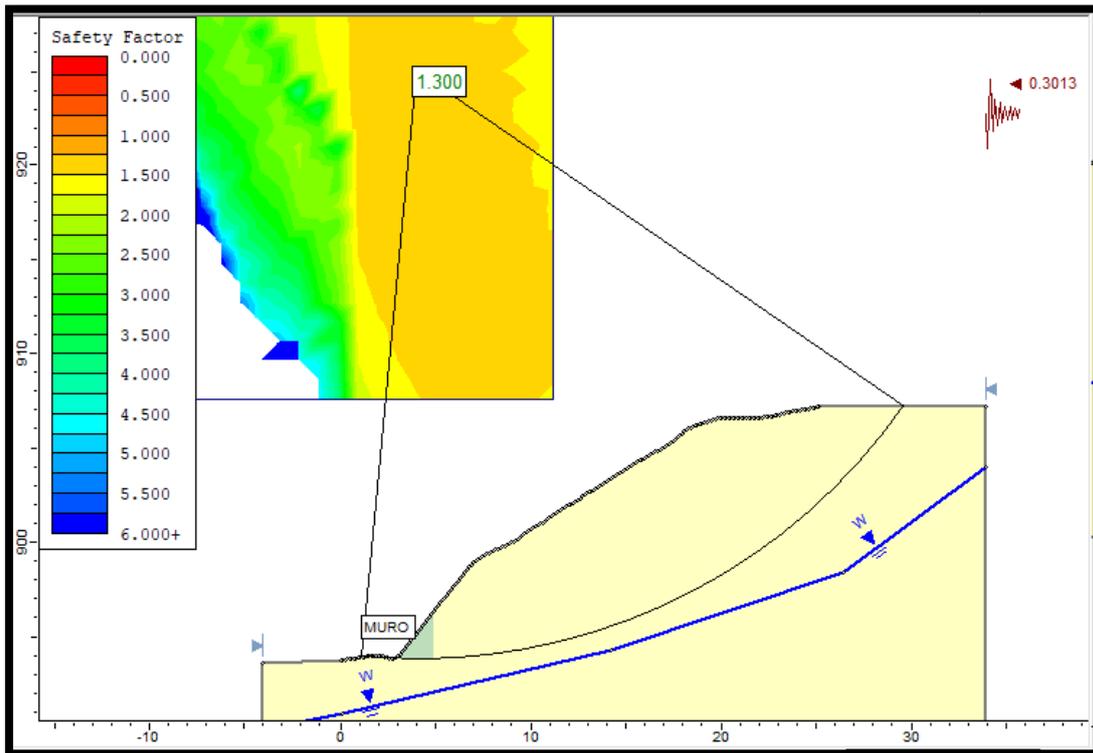


Figura 44. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.300 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.3013 y un coeficiente vertical de 0.

A continuación, se muestra una tabla de los distintos factores de seguridad en condiciones estáticas y Pseudoestáticas para el talud global del diseño.

Tabla 11

Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudo-estático)

| Condiciones de Análisis | | | |
|-------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| Estático | | Pseudo-estático | |
| Spencer | Morgenstern - Price | Spencer | Morgenstern - Price |
| 1.609 | 1.611 | 1.301 | 1.300 |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

FUENTE: Propia.

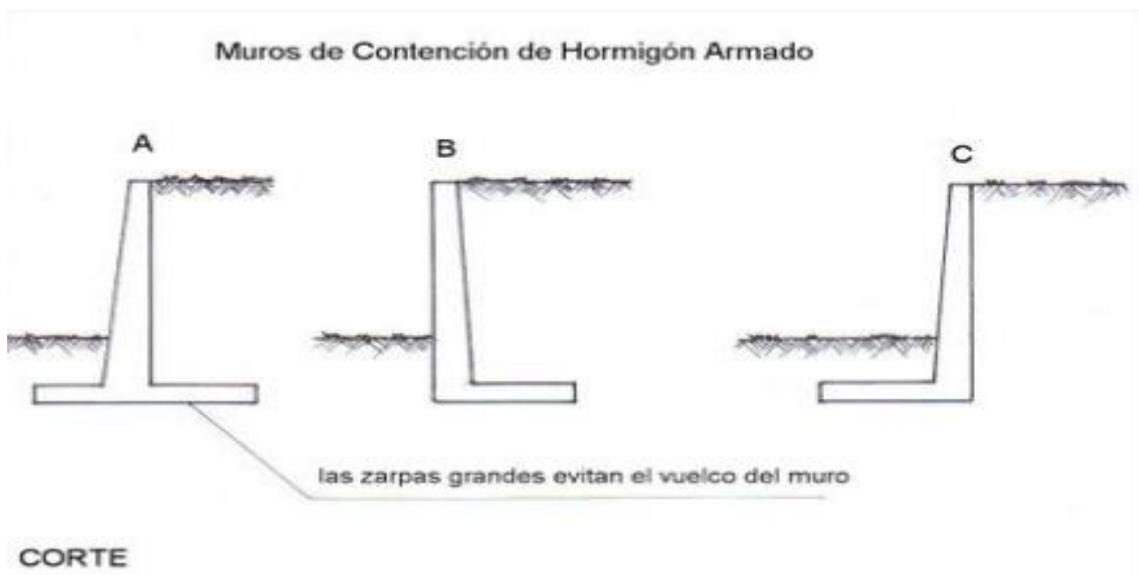
Según el análisis realizado en la tabla anterior se puede apreciar de que El talud es estable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas

Muro de contención

Se recomienda la instalación de un Muro de Contención Escalonado a fin de garantizar la estabilidad del Talud en Suelo altamente meteorizado

Los Muros de Contención son elementos constructivos que cumplen la función de cerramiento, soportando por lo general los esfuerzos horizontales producidos por el empuje de tierras. En otros tipos de construcción, se utilizan para contener agua u otros líquidos en el caso de depósitos. Un muro de contención no solo soporta los empujes horizontales transmitidos por el terreno, debe también recibir los esfuerzos verticales transmitidos a pilares, paredes de carga y forjados que apoyan sobre ellos. La mayoría de los muros de contención se construyen de hormigón armado, cumpliendo la función de soportar el empuje de tierras, generalmente en desmontes o terraplenes, evitando el desmoronamiento y sosteniendo el talud.

Figura 45. Muro de Contención



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Mediante los datos obtenidos se ha determinado los parámetros observándose que la orientación de las fracturas evaluadas y la forma del talud, juntamente con un análisis de las características litológicas, los análisis de la instrumentación geomecánica tales como el peine de Barton, Martillo de Schmid y el ensayo Till Test se a logrado determinar la estabilidad del Talud evaluada en el macizo rocoso, registrando bajos valores que hace que el mismo sea inestable y necesite medidas correctivas a fin de evitar cualquier siniestro , en tal sentido se acepta la hipótesis formulada: “ La evaluación geomecancia de los macizos rocosos nos permitirá determinar la inestabilidad de taludes presentes en la via de acceso a una unidad minera en Chilete – Cajamarca 2022.

Rodrigo (2017) en su estudio tuvo como hallazgos que los taludes de la carretera Lajas – Ajipampa; presenta una geometría variada: altura de 5m a 40m, pie de talud de 5m hasta 40m, pendientes de 40° hasta 85°; geológicamente se caracteriza por las formaciones Pariatambo, Pulluicana, Quilquiñan-Mujarrún, Cajamarca, depósitos cuaternarios coluviales, deluviales y fluviales; por sus propiedades geomecánicas son materiales frágiles y los suelos deluviales que son materiales dúctiles.; además El factor de seguridad en estado de saturación y sismicidad para taludes de macizos rocosos es estable mayor a 1.086, excepto la estación N° 06 que es inestable con un $FS=0.080$; los taludes de suelos–macizo rocosos todos son inestables con un FS

Oscoco (2018) análisis de la estabilidad de taludes en estratificaciones de macizos rocosos de roca Riodacita, considerando varios puntos a tratar para determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de la roca por medio de clasificación geomecánica de Bienawski para determinar el Rock Mass Rating (RMR), considerando el criterio de rotura de Hoek y Brown utilizando los parámetros m y s , y este criterio según Serrano y Olalla con otros parámetros adicionales, valores que permiten determinar la curva de valores de tensiones normales y tensiones cortantes obtenida por medio del ensayo de compresión simple para la utilización del criterio de Hoek y Brown según Serrano y Olalla. Este método nos permite obtener los valores de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción. La estabilidad de taludes se limita en cuanto a la determinación de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción considerando que la roca posee un criterio de falla no lineal que nos muestra que a cada punto que se analiza en cuanto a los esfuerzos normales, estos valores son distintos y se pueden calcular por medio de la utilización de ecuaciones; el cual difiere de la presente investigación en donde se utilizó un método de mayor practicidad como es el Barton Bandis con la finalidad de tomar muchos datos a bajo costo, pero manteniendo la alta confiabilidad y precisión en el procesamiento de datos

Valeriano (2014), en su estudio realizado en la cantera Espinal de la ciudad de Juliaca en el departamento de Puno, consiste en determinar los valores de seguridad que rigen la estabilidad o inestabilidad en un talud rocoso; factor de seguridad (FS) o reducción de la resistencia al corte (SRF) y la probabilidad de falla (PF), para lo cual se han utilizado los métodos generales de análisis de estabilidad de taludes en roca; Análisis cinemático y métodos numéricos. Se realizó análisis probabilísticos por el método de estimación de puntos para mayor confiabilidad de los resultados de análisis con métodos numéricos. Teniendo como resultados en el análisis cinemático una probabilidad de plano de deslizamiento por

volteo directo de 44.41%, los valores de seguridad promedio dado por los análisis probabilísticos con métodos numéricos en SRF son; para condiciones estáticas FS o SRF 2.27 y PF 0.0% y para condiciones pseudoestáticas FS o SRF 1.21 y PF 2.98%. Por lo cual concluimos que el talud se encuentra estable en condiciones estáticas y pseudoestáticas, tomando en consideración el resultado del análisis cinemático realizado se han observado grietas de tracción en la cresta del talud que fallaran por volteo directo dependiendo a la intensidad de los factores desencadenantes, el cual no coincide con la presente investigación en el cual se realizó un análisis determinístico ya que solo se realizó algunos ensayos de till test, debido a la limitantes de los costos del mismo

Guillen (2016) en su estudio determino la inestabilidad de la cuña 45 y cuña 47, se ha generalizado a un modo de ruptura planar irregular. Ambas zonas inestables, finalmente se conectaron por la roca puente que separaba, definiéndose la coronación a lo largo de fallas secundarias. El modo de ruptura se ha calificado como un dislocamiento de masa rocosa por perdida de resistencia de la roca con mayor disturbación hasta el nivel 3490; de allí hacia abajo hay un efecto trabazón que permite un efecto de estabilización de la zona. En el calculó un total de 966,832TM de material desplazado, y 130,142TM de calidad de roca mala (material inestable), que comprende los 3 primeros bancos que se encuentran en la corona, perteneciendo a la UGB 4- RIOLITA con alteración Argílica. Mientras que las velocidades antes de la ruptura oscilaba entre 5 y 10 mm/d, el flanco sur-oeste de la Fase 6B2, haciendo su análisis, actualmente se encuentra estable con una tasa de movimiento milimétrico que alcanza hasta 1 mm/d en algunos casos y con un Factor de Seguridad de 1.3, el cual difiere de la presente investigación en donde se obtuvo un factor de seguridad por debajo de 1.25, evidenciándose la inestabilidad para los distintos tipos de rotura.

La limitación que se tuvo es el no contar con el suficiente financiamiento económico para que de esa forma poder realizar un análisis probabilístico, ya que en el ensayo till test es un costo elevado. Por otro lado los accesos a la labor minera son restringidos lo que dificulta la toma de datos, además de la topografía abrupta lo que puede ocasionar accidentes al momento de la evaluación además de posibles caídas de bloques mediante se realiza la medida de valores de orientación de las juntas .

Se recomienda a la Unidad Minera establecer el cambio de geometría de los de los taludes a fin de obtener un buzamiento del talud mas bajo que nos resulte con una mayor estabilidad de los taludes y de esa forma poder garantizar la seguridad del personal que transita por la zonas aledañas ; además se recomienda colocar un muro de contención en el Talud de los materiales de suelo , para optimizar el libre tránsito de los vehículos que transitan por la Unidad Minera

Conclusiones

Con la evaluación geomecánica de los macizos rocosos se logró determinar la inestabilidad de taludes presentes en la vía de acceso a una unidad minera, resultando 02 taludes inestables presentes en la vía de acceso, el primero en una roca con discontinuidades y el segundo en roca alterada a grado de condición de suelo.

Se describió los parámetros geomecánicos obteniendo un valor de resistencia a la compresión uniaxial de 146 Mpa, un RQD del 72%, un espaciado de 30cm, una persistencia 15m, una abertura de 12.5mm, las paredes de las discontinuidades son moderadamente rugosas, con un relleno blando y se encuentra ligeramente meteorizadas; mientras que en general las diaclasas se encuentran con bajas cantidades de agua (húmeda)

Se determinó los tipos de rotura que podrían generarse en el talud, las cuales fueron analizados con los datos orientación e inclinación de talud, además de su altura, buzamiento, valores de UCS, JRC y ángulo de fricción básico; concluyendo que los tipos de rotura que se pueden generar en la zona de estudio es una falla planar por el sistema de diaclasa J03. Por otro lado también se evidenció 02 cuñas deslizantes que se puede producir por el sistema de diaclasas J03 y J04, y otra cuña mediante los sistemas de discontinuidades J01 y J03 en tanto que ninguna de las cuatro familias de discontinuidades cumple las condiciones para producir una rotura en vuelco.

Se analizó el valor de SMR de la clasificación de la Romana, el cual fue evaluado para rotura planar según el análisis de rotura, teniendo cuenta la relación de la dirección de buzamiento de la discontinuidad y del talud, teniendo como resultado un valor de $SMR=54.6$, con un factor de corrección $F1$ de 0.000144 , y un factor $F2=1$, debido a que el buzamiento de la discontinuidad posee un valor mayor a 45° y un valor $F3=-60$ considerando la sustracción de los buzamientos de las discontinuidades

Se elaboró la propuesta para estabilizar en función de los valores de factor de seguridad obtenidos, los cuales resultaron inestables con un valor de $FS=0.62$ para rotura planar y un $FS=2.719$ para rotura en cuña, posteriormente se realizó un análisis de sensibilidad para poder alcanzar obtener un factor de seguridad que sea estable para el Talud material de roca, la cual nos muestra que el buzamiento del talud a una pendiente de 60° y además de ello construir zanajas de coronación en la corona del talud a fin de evitar la saturación de agua en las fracturas y diaclasas y así se mantenga menor al 40%. Mientras para el Talud que se encuentra compuesto por suelo se registró un factor de seguridad de 0.872 por lo que fue necesario la instalación de un muro de contención de concreto para garantizar una completa estabilidad.

REFERENCIAS

- Alzate, M. (2015). *Análisis de precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de santa rosa de Cabal – Risaralda*. (Tesis pregrado). Universidad de Manizales, Colombia.
- Arteaga, N. (2017). *Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera choropampa – Magdalena*. (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Flores Quispe, Y. J. (2018). *Plan de mejora en la gestión de mantenimiento para asegurar la disponibilidad de equipos de carguío de una empresa minera. Apurímac-2018*. (Universidad de Concepción) Obtenido de Elsevier
- Gonzales, Ch. (2013). *Propuesta de mejora del Plan de Mantenimiento para maquinaria pesada Caterpillar en la empresa Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú.
- Huamán, R. (2018). *Geotecnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba - Cungunday, Cajamarca, Cajabamba*. Universidad Nacional de Cajamarca
- López, D. (2018). *Determinación de los factores influyentes en el control y la optimización de la productividad operativa de Carguío en la operación minera Cerro Corona-Gold Fields*. (Universidad Nacional de Cajamarca) Obtenido de Google Académico

- Maldonado, H. y Sigüenza, L. (2012). *Propuesta de un Plan de Mantenimiento para maquinaria pesada de la Empresa Minera Dynasty Mining del cantón Portovelo. (tesis pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Peralta Alvites, N. E., & Vargas Aguilar, S. B. (2019). *Propuesta de un diseño de mantenimiento productivo total para incrementar la productividad del carguío y acarreo de la empresa Gold Global Mining SAC, Apurímac*. (Universidad Centro del Perú) Obtenido de Dialnet.
- Sabogal, C. (2017). *Caracterización de variables relacionadas con la inestabilidad del suelo: caso de estudio, Cáqueza – Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia
- Huamán, R. (2018). *Geotecnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba - Cungunday, Cajamarca, Cajabamba*. Universidad Nacional de Cajamarca
- Venkatesh, J. (2007). “Una introducción al mantenimiento productivo total”. Recuperado de:<https://www.virtualpro.co/biblioteca/una-introduccion-almantenimiento-productivo-total-mpt>.
- Vilca, A. (2016). *Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte santa rosa del proyecto Santa Rosa – Arequipa*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco.

ANEXOS

Anexo N° 1: Geomorfología del área de Estudio



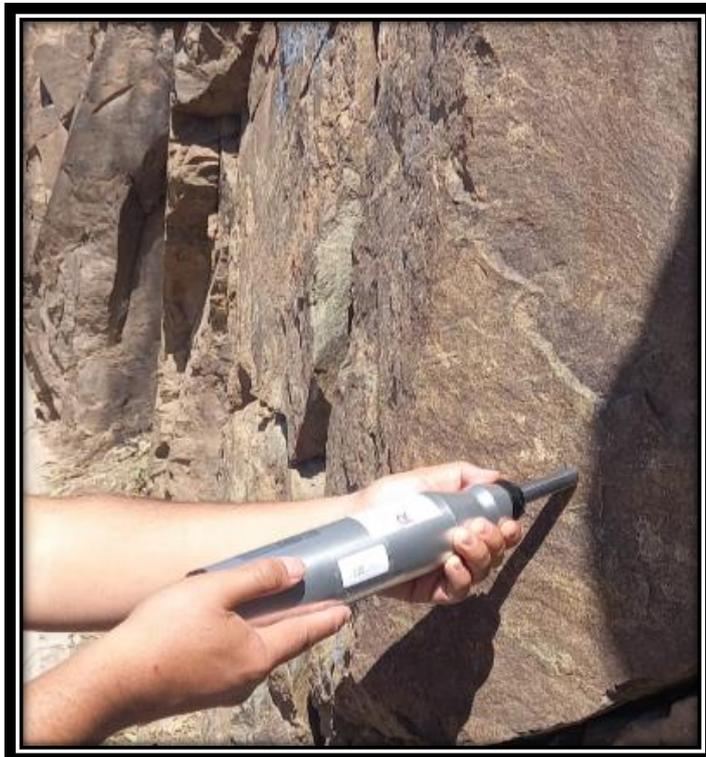
Anexo N° 2: Medición del espaciado de las familias de las discontinuidades



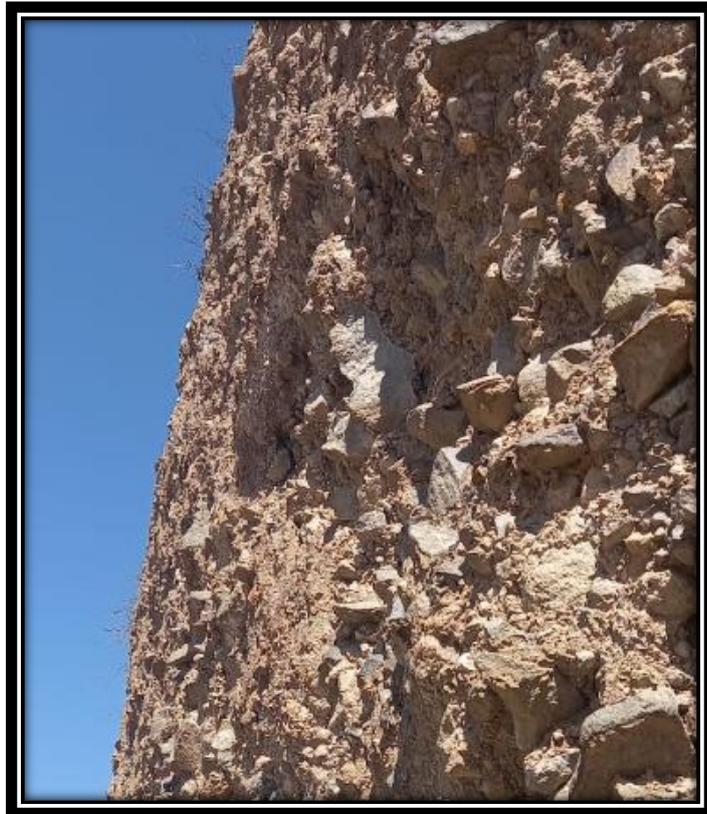
Anexo N° 3: Medición de la amplitud con el Peine de Barton



Anexo N° 4: Medición del número de rebote con el martillo de schmid



Anexo N° 5: Talud de roca altamente meteorizado



Anexo N° 6: Hidrología de aguas superficiales que atraviesan la Unidad Minera

