

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica



“EVALUACIÓN VALUACIÓN GEOMECÁNICA DE
LOS MACIZOS ROCOSOS PARA EL DISEÑO DE
EXPLOTACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS EN
LA CANTERA SAN CIRILO CAJAMARCA - 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero geólogo

Autores:

David Chilón Pompa

Alexander López Salazar

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Esta tesis le dedico a Dios por la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para continuar nuestra formación profesional, a mis Padres que con su esfuerzo del día a día, nos brindan su apoyo incondicional; para así poder continuar nuestros estudios alcanzando satisfactoriamente la visión de nuestra formación profesional.

Los autores

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por todas las bendiciones que pone en mi vida a nuestras familias por todo el apoyo brindado y a mi asesor, ING: Ricardo Portilla Castañeda que han hecho posible el desarrollo de la presente tesis, el cual es muy importante en nuestra superación tanto personal y como profesional.

Los autores

Contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE DE TABLAS.....	6
INDICE DE FIGURAS.....	7
INDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	18
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	18
1.4. Hipótesis.....	19
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	20
1.1. Tipo de investigación.....	20
2.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	20
<i>Población:</i>	20
<i>Muestra:</i> 20	
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	20
<i>Técnicas</i> 20	
<i>Instrumentos de recolección de datos</i>	20
<i>Materiales de campo</i>	21
<i>Materiales de gabinete</i>	21
2.3. Procedimiento.....	21
<i>Etapas de pre campo</i>	21
<i>Etapas de Campo</i>	21
<i>Etapas de gabinete</i>	22
2.5 Generalidades.....	23
<i>Ubicación</i>	23
<i>Accesibilidad</i>	23
2.6 Geología Local.....	23
<i>Formación Farrat</i>	23
<i>Formación Carhuaz</i>	24
2.7 Litología.....	24
<i>Lutitas</i> 24	
<i>Areniscas</i>	24

CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
3.1 Parámetros geomecánicos.....	25
3.2.1 <i>Parámetros de la resistencia comprensión simple</i>	<i>27</i>
3.2.2 <i>parámetros de RQD.....</i>	<i>27</i>
3.2.3 <i>parámetros para el espaciado</i>	<i>28</i>
3.2.4 <i>Análisis estereográfico de las discontinuidades en el talud actual.....</i>	<i>33</i>
3.2.5. <i>Análisis de estabilidad</i>	<i>36</i>
3.2.6 <i>Análisis de Sensibilidad</i>	<i>41</i>
2.2.7. <i>Diseño de Taludes para la Explotación</i>	<i>45</i>
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	57
Discusión	57
Conclusiones.....	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	63
Vistas fotográficas	63
Planos	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Coordenadas de estudio</i>	23
Tabla 2: <i>accesibilidad</i>	23
Tabla 3: <i>Ensayo de Propiedades Físicas en Rocas (ISRM)</i>	25
Tabla 4: <i>ensayo de corte directo en roca</i>	25
Tabla 5: <i>Cartografiado Geomecánico</i>	26
Tabla 6: <i>Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR</i>	28
Tabla 7: <i>Mapeo Geomecánico de las discontinuidades</i>	32
Tabla 8: <i>Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J01 (Estático y Pseudo-estático)</i>	42
Tabla 9: <i>Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J02 (Estático y Pseudo-estático)</i> ...	44
Tabla 10: <i>Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudoestático)</i>	50
Tabla 11: <i>Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J01 (Estático y Pseudoestático)</i>	53
Tabla 12: <i>Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J02 (Estático y Pseudoestático)</i> ..	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.....	27
Figura 2: valoración en porcentaje del RQD.....	27
Figura 3: valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.....	28
Figura 4: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana,.....	29
Figura 5: Recomendaciones de soporte.....	30
Figura 6: Ploteo del Valor de GSI.....	31
Figura 7: Análisis cinemático de roturas del talud.....	33
Figura 8: Valores de ángulo de fricción, orientación del talud.....	33
Figura 9: Análisis cinemático de rotura falla en cuña.....	34
Figura 10: Valores de ángulo de fricción de segundo talud.....	34
Figura 11: Análisis cinemático falla en vuelco.....	35
Figura 12: Valores de ángulo de fricción talud 3.....	35
Figura 13: Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).....	37
Figura 14: Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad.....	38
Figura 15: Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años.....	38
Figura 16: Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J01.....	39
Figura 17: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb en condiciones estáticas y secas.....	39
Figura 18: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb en condiciones estáticas y saturada.....	40
Figura 19: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable.....	40
Figura 20: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable.....	41
Figura 21: Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 70% en condiciones pseudo- estáticas.....	41

Figura 22: 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 3.668, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	42
Figura 23: 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 1.746 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	43
Figura 24: 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 0.2432 se obtiene de seguridad de 2.66 por lo cual no se produce la falla en cuña.	43
Figura 25: 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 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.523 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	44
Figura 26: talud actual de la cantera	45
Figura 27: Talud de la cantera que muestra 06 etapas de explotación con una altura de banco de 10m. ancho de la berma de 10m y ángulo de inclinación de 45 ^a	47
Figura 28: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.992 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 27°.....	48
Figura 29: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.989 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 27°.....	48
Figura 30: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer.	49
Figura 31: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern Price.....	49
Figura 32: Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J01	50
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 1.65 en por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.	51

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 1.37 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.	51
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 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.23 por lo cual no se produce la falla planar.	52
Figura 36: 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 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.10 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.....	52
Figura 37: Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 65% en condiciones pseudo- estáticas	53
Figura 38: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en cuña j1 y j2	54
Figura 39: 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 1.975 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.	54
Figura 40: 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 0.2432 se obtiene de seguridad de 2.81 por lo cual no se produce la falla en cuña.	55
Figura 41: 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. 2432 se obtiene de seguridad de 1.705 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.....	55

INDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: factores de correlación.....</i>	29
<i>Ecuación 2: cálculo de ancho de vías.....</i>	45

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo elaborar el diseño de explotación al realizar el estudio geomecánico de los materiales pétreos en la cantera san Cirilo Cajamarca-2021, para lo cual se trabajó con una población conformada por los macizos rocosos en la cantera san Cirilo, del cual fue extraída la muestra que se compone por 3 estaciones de evaluación de los parámetros geotécnicos, ya que la técnica de viene a ser la observación directa, se usó tablas geomecánicas del RMR y GSI para determinar la calidad del macizo rocoso, así mismo para para el posterior tratamiento y análisis de los datos obtenidos en campo se usaron softwares como ArcGIS, Dips. En la primera parte de este informe se describe los resultados que se realizó una evaluación geomecánica con el fin de obtener la caracterización de los macizos rocosos y su levantamiento topográfico de la zona, también el análisis de los taludes con el software slide para obtener datos del factor de seguridad. encontrando discontinuidades en la zona de estudio. Posteriormente realizamos el diseño de los bancos de explotación que están diseñados teniendo en cuenta los parámetros Geomecánicos y el levantamiento topográfico, incluyendo el factor de seguridad y el ángulo óptimo para la realización de la explotación de materiales pétreos en la cantera San Cirilo- Cajamarca.

PALABRAS CLAVE: Caracterización geomecánica, macizo rocoso, estabilidad de taludes.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

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.

En Chile según MORALES CÁRDENAS, M (2009). Caracterización geomecánica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Tiene como objetivo principal sugerir los ángulos de talud en el periodo de ingeniería conceptual en las diversas secciones de la mina partiendo desde la elaboración de la clasificación geotécnica de la futura mina a cielo abierto.

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.

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.

Mercado (2014), realizó un cartografiado en el tramo de la carretera Cajamarca, Celendín con la finalidad de analizar la inestabilidad de los taludes en dichas zonas críticas, mediante la caracterización geomecánica y el cálculo del factor de seguridad, obteniendo

tipo de litología de baja calidad, así como la dirección de los estratos en contra el talud que favorecen a la inestabilidad.

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.

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.

Rincón (2016) Indica que en este proyecto el problema que afecta, radica principalmente en la falta de tener una fuente de caracterización geomecánica donde se

clasifique e identifique el tipo de roca, el macizo rocoso donde se está trabajando y así llegar a la conclusión si es que se debe o no optar por un diseño de sostenimiento adecuado para el beneficio del proyecto y evitar todo tipo de pérdida ya sea humana, material, económica ya que actualmente todo proyecto debe regirse a las leyes y normas que se solicitan de lo contrario no tendría permiso para poder desarrollarse un proyecto en este caso el de extracción.

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

Rodríguez (2016), en su tesis de maestría analizó el comportamiento geo estructural, 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.

Cruzado (2017) Señala que cuando se presentan este tipo de casos de infiltraciones e inestabilidad en la masa rocosa se debe realizar un estudio detallado por que los problemas de inestabilidad en el macizo rocoso pueden generar grandes pérdidas por que a medida que se va realizando el avance de la producción de la mina se encuentran con este tipo de obstáculos y eso retarda la programación de avance por eso es necesario un óptimo estudio geo mecánico.

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.

Reyes (1980) Realizo un estudio que corresponde a los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba. Analiza regionalmente el área de estudio, realizando un cartografiado a escala 1: 100,000 en base a un estudio litológico, estratigráfico, estructural,

geomorfológico en forma general, y no teniendo relación con la estabilidad de taludes Por ello, el análisis de los datos de la geomecánica es de suma importancia para el diseño de la estabilidad durante la explotación de materiales pétreos en cantera, En la zona de estudió se analizará detalladamente las características del macizo rocoso, esto implica la necesidad de establecer los parámetros geomecánicos del área y proponer el diseño de explotación de materiales pétreos con la finalidad de mitigar los peligros geológicos existentes, se evaluara con el software slide; la estabilidad de los taludes existentes en la zona de estudio lo cual garantice la seguridad de las personas que vienen realizando los trabajos.

En este sentido, se justifica el enfoque que se le da al presente trabajo, como obtención el diseño de explotación para la cantera de acuerdo a la geomecánica de los materiales existentes. En el área del no se han hechos por lo cual realizando esta investigación será de mucha utilidad para la explotación de los materiales pétreos ya que en la actualidad se viene utilizando con mayor cantidad la materia prima.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de explotación al realizar el estudio geomecánico de los materiales pétreos en la cantera san Cirilo Cajamarca-2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el diseño de explotación al realizar el estudio geomecánica de los materiales pétreos en la cantera san Cirilo Cajamarca-2021

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir los parámetros geomecánicos para la caracterización de los macizos rocosos en la cantera San Cirilo- Cajamarca-2021.
- Determinar la estabilidad de taludes de los macizos rocosos de materiales pétreos en la cantera San Cirilo- Cajamarca 2021.
- Realizar el diseño de explotación de los macizos rocosos de materiales pétreos en la cantera san Cirilo Cajamarca 2021

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La caracterización geomecánica nos permitirá identificar zonas y dominios geotécnicos del macizo rocoso de materiales pétreos y nos permitirá realizar el diseño de explotación en la cantera San Cirilo Cajamarca 2021.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

1.1. Tipo de investigación

Según su propósito: La investigación fue descriptiva ya que se describió las características geomecánicas, y el diseño de explotación de la cantera San Cirilo

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 en la cantera San Cirilo

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.

2.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: Los macizos rocosos de la cantera San Cirilo

Muestra: Tres estaciones de macizos rocosos para la caracterización geomecánica en cantera San Cirilo

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

- Observación directa
- Análisis Documental

Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de Observación

- Cuaderno de Campo
- GPS
- Brújula

Los materiales utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación son:

Materiales de campo

- Mapas topográficos (1/15 000) y geológicos (1/ 100 000).
- Cámara fotográfica digital (12 mega pixeles)
- Colores, ácido clorhídrico y flexómetro.

Materiales de gabinete

- Laptop core i7
- Software Arcgis 10.3

2.3. Procedimiento

Para la elaboración del trabajo de investigación, se va realizar lo siguiente. en tres etapas:

Etapa de pre campo. En esta fase de la investigación se elabora un plan de trabajo estratégico y cronológicamente organizado con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados en el trabajo de investigación. 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.

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

Etapas de gabinete. 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 Generalidades

Ubicación

El lugar de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca en Distrito de la encañada.

Tabla 1: Coordenadas de estudio

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	802100	9188100
2	802100	9181500
3	794000	9181500
4	794000	9188100

Fuente: Propia

Accesibilidad

Para llegar a la cantera San Cirilo, lo hacemos mediante tramos, primero se inicia en la ciudad de Cajamarca hasta lagunas de Alto Perú carretera hacia Bambamarca, y luego por una trocha de 5 km con dirección a la cantera.

Tabla 2: accesibilidad

RUTA	TRAMO	TIEMPO
1	Cajamarca- lagunas Alto Perú (asfaltada)	60 minutos
2	Lagunas alto Perú – cantera San Cirilo	10 minutos

Fuente: propia

2.6 Geología Local

Formación Farrat. Esta formación pertenece al Cretácico inferior Cuaternario, aquí podemos encontrar areniscas cuarzosas, areniscas blancas de grano medio a grueso, y lagunas formadas por desglaciación; en esta el cuaternario es poroso, permeable por tratarse de un material poco consolidado Formación Santa

Formación Carhuaz. Está compuesto de arenisca con lutitas grises (rojo, violeta y verde; la característica principal se distingue en el sitio). La parte superior contiene capas de arenisca de cuarzo blanco, que se intercalan con lutitas y areniscas y están bien estratificadas por capas delgadas.

2.7 Litología

Lutitas Se ubican en capas de unos pocos centímetros a unos pocos metros y generalmente aparecen como capas intermedias de blanco y limolita. En algunos sectores se puede observar ligeramente verde. Limolitas estas rocas están relacionadas con la lutita, su tamaño medio de partícula está entre 1/16 y 1/256 mm, su composición es básicamente mica y minerales, rica arcilla, mostrando muy buena textura en las áreas de investigación

Areniscas. Son las más abundantes en el área de estudio. La mineralogía se compone de partículas detríticas de cuarzo. En términos de textura, la arenisca es una partícula uniforme, y la arena bien lavada casi no contiene material arcilloso. Por lo tanto, estas partículas de arena son sub-redondas o redondas (partículas finas), medio a grueso).

Conglomerado Son el tipo de rocas menos comunes en los sectores de estudio, son rocas sedimentarias clásticas más típicas de grano grueso, formadas por partículas mayores a 2 mm de diámetro.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Parámetros geomecánicos

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	-	-	-	2.62	0.84	0.32	25.68
2	-	-	-	2.57	1.06	0.41	25.25
3	-	-	-	2.65	0.60	0.23	25.95
4	-	-	-	2.48	3.90	1.57	24.36
5	-	-	-	2.48	3.90	1.57	24.36

Fuente: propia

Tabla 4: ensayo de corte directo en roca

Probeta N°	Diámetro	Altura	Área	Relación Largo / Diámetro	Razón de Deformación	Esfuerzo Normal σ_3	Esfuerzo de Corte σ_1	Ángulo de Fricción 31.2° Cohesión 0.0 MPa
	cm	cm	cm^2		mm / min	MPa	MPa	
1	4.44	9.73	15.48	2.2	0.12	0.66	0.40	
2	4.44	9.73	15.48	2.2	0.11	1.30	0.73	
3	4.44	9.73	15.48	2.2	0.12	2.58	1.55	
4	4.44	9.73	15.48	2.2	0.03	4.01	3.00	
5	4.44	9.73	15.48	2.2	0.03	5.02	3.29	

Fuente: propia

3.2.1 Parámetros de la resistencia compresión simple

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

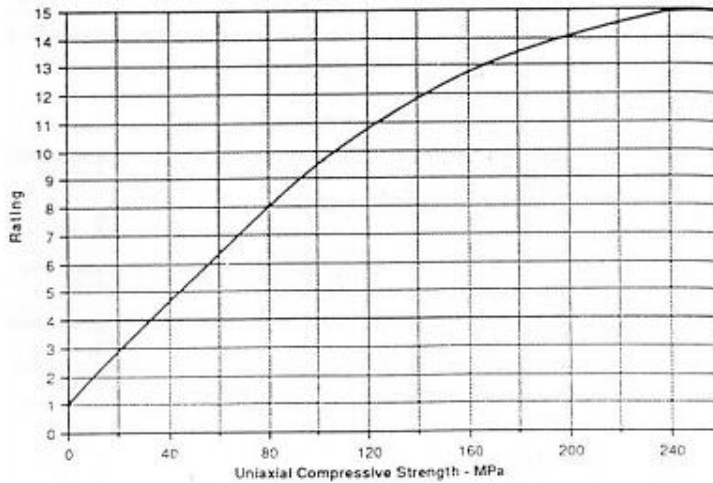


Figura 1: valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.

Fuente: Gavilanes (2002).

3.2.2 parámetros de RQD

Para la puntuación del parámetro de RQD tenemos lo siguiente.

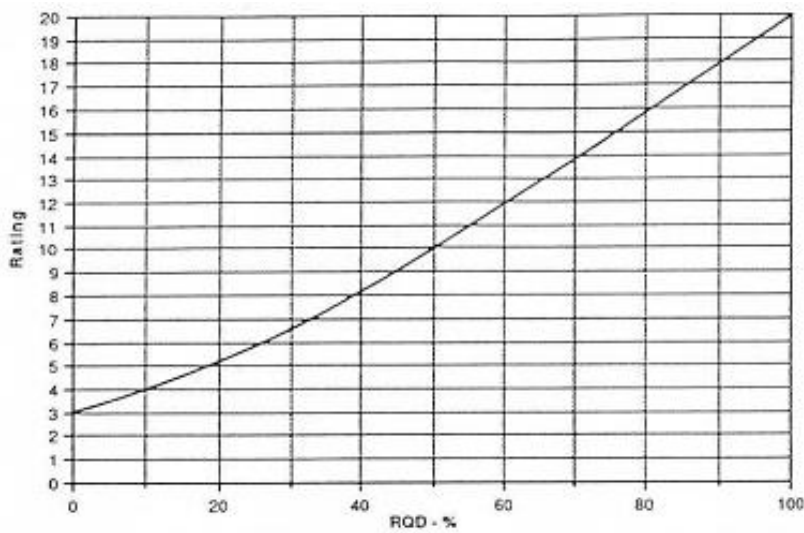


Figura 2: valoración en porcentaje del RQD.

Fuente: Gavilanes (2002).

3.2.3 parámetros para el espaciado

Para la puntuación del parámetro del espaciado se utilizó la siguiente.

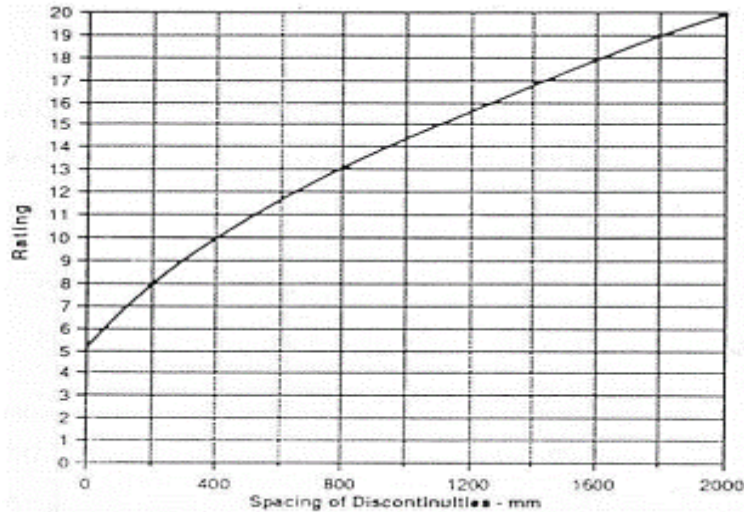


Figura 3: valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.
Fuente: Gavilanes (2002).

Tabla 6: 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: Obtenemos RMR básico a partir de la sumatoria de los 05 parámetros en el cual la roca se clasifica en el Tipo Buena "B"

Fuente: Gavilanes (2002)

Ecuación 1: factores de correlación

A continuación, se calculará 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

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

$$F1 = [1 - \sin(130^\circ - 129^\circ)]^2$$

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

$$F1 = 0.097$$

$$F2 = \tan(\beta_j)^2$$

$$F2 = \tan(39^\circ)^2$$

$$F2 = 0.65$$

$$F3 = b_s - b_j = 39 - 38 = 1^\circ \text{ por lo que la puntuación será de } 0$$

$$F3 = 0$$

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

$$SMR = 61 + (0.097 \times 0.65 \times 0) + 9$$

$$SMR = 70$$

A continuación, 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 4: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana,

Nota El talud se comporta estable ante una rotura planar

Fuente: Gavilanes (2002)

Según la el sistema de clasificación SMR se sugiera las 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/Saneado
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 (Cunetas al pie del talud y/o malla)
III b	41 – 60	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 5: Recomendaciones de soporte

Nota: se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas al pie de talud

Fuente: Gavilanes (2002)

Se utilizará 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 6: Ploteo del Valor de GSI.

Nota: en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 70

Fuente: Gavilanes (2002)

Tabla 7: Mapeo Geomecánico de las discontinuidades

TALUD	DIP: 39	AZIMUT 350°
	DIP DIRECTION: 130	

ESTACIÓN 1			ESTACIÓN 2			ESTACIÓN 3		
FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT
1	35	N40	1	40	N35	1	28	N45
1	37	N40	1	41	N44	1	36	N44
1	40	N45	1	36	N45	1	40	N45
1	38	N40	1	38	N41	1	37	N40
1	.37	N60	1	42	N40	1	38	N40
1	38	N35	1	38	N46	1	.37	N60
1	41	N39	1	40	N43	1	44	N46
1	37	N43	1	42	N42	1	37	N43
1	42	N42	1	38	N40	1	42	N42
1	40	N44	1	.37	N60	1	38	N38
2	87	N275	2	72	N270	2	86	N280
2	72	N270	2	80	N280	2	81	N281
2	80	N276	2	67	N285	2	80	N280
2	76	N280	2	76	N279	2	76	N276
2	79	N278	2	79	N278	2	78	N277
2	77	N271	2	77	N271	2	79	N276
2	81	N281	2	80	N276	2	76	N280
2	76	N279	2	78	N280	2	75	N274
2	77	N277	2	80	N276	2	79	N278
2	79	N280	2	76	N280	2	77	N271
3	66	N194	3	69	N195	3	60	N204
3	78	N195	3	75	N190	3	68	N199
3	70	N192	3	73	N192	3	70	N194
3	72	N196	3	69	N191	3	70	N192
3	73	N192	3	74	N197	3	72	N196
3	69	N191	3	76	N197	3	75	N197
3	74	N190	3	70	N192	3	77	N191
3	75	N200	3	72	N196	3	79	N198
3	77	N193	3	79	N195	3	73	N192
3	78	N197	3	77	N199	3	69	N191

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

Fuente: Propia

3.2.4 Análisis estereográfico de las discontinuidades en el talud actual

Falla Planar

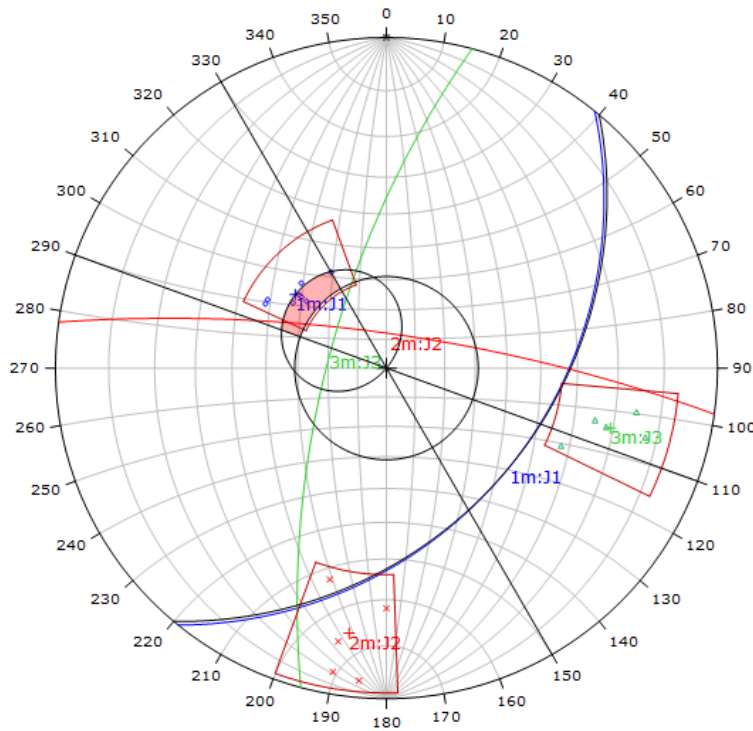


Figura 7: Análisis cinemático de roturas del talud.

Nota: se está 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 J1 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar




Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	39		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	31°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	5	18	27.78%
Planar Sliding (Set 1)	5	8	62.50%
	Color	Dip	Dip Direction
	Mean Set Planes		
1m		39	129
2m		78	8
3m		70	285

Figura 8: Valores de ángulo de fricción, orientación del talud

Nota: se detalla de acuerdo a la dirección y buzamiento de los planos promedio de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 62.5 % para producirse la falla planar.

Falla en Cuña

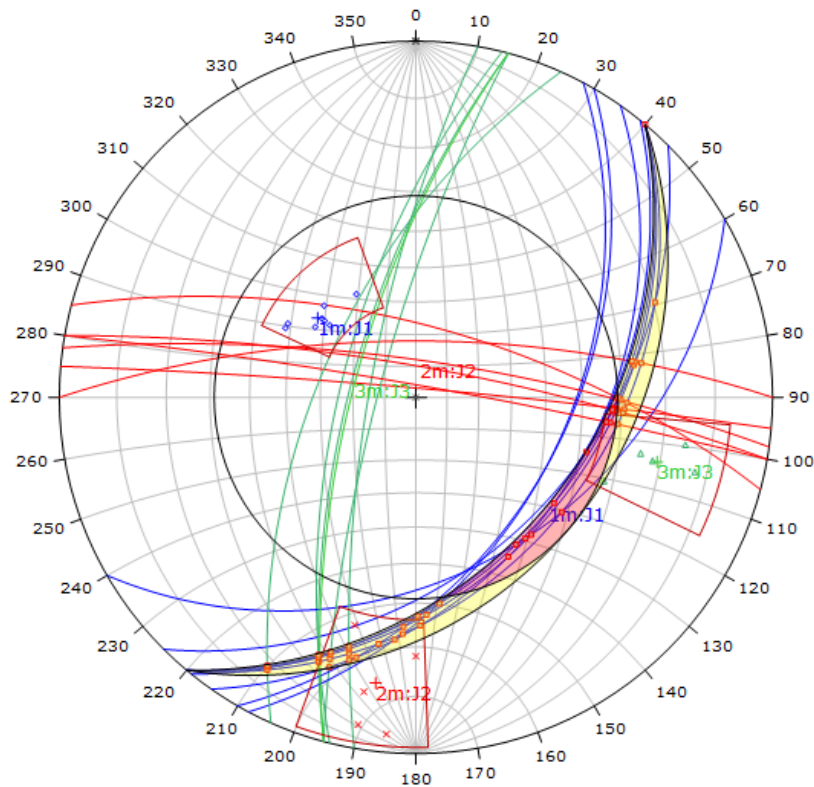


Figura 9: Análisis cinemático de rotura falla en cuña

Nota se ha tenido en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que la familia J1 y J2 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir dos Cuñas

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	39		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	31°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	55	153	35.95%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		39	129	J1
2m		78	8	J2
3m		70	285	J3

Figura 10: Valores de ángulo de fricción de segundo talud

Nota: se da de acuerdo a la orientación del talud, dirección y buzamiento de lo planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 35.95 % para producirse fallas en cuña.

Falla en vuelco

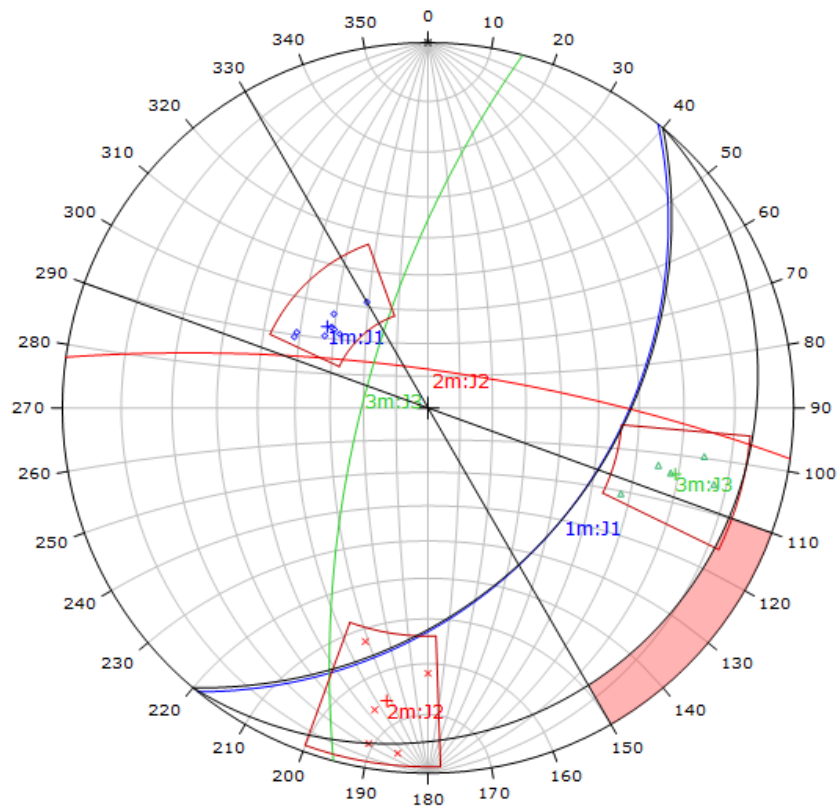


Figura 11: Análisis cinemático falla en vuelco.

Nota: se utilizó 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	39		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	31°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	18	0.00%
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	39	129	J1
2m	78	8	J2
3m	70	285	J3
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	18 (18 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Figura 12: Valores de ángulo de fricción talud 3

Nota: la orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedio de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 0 % para producir una falla por vuelco.

3.2.5. 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)

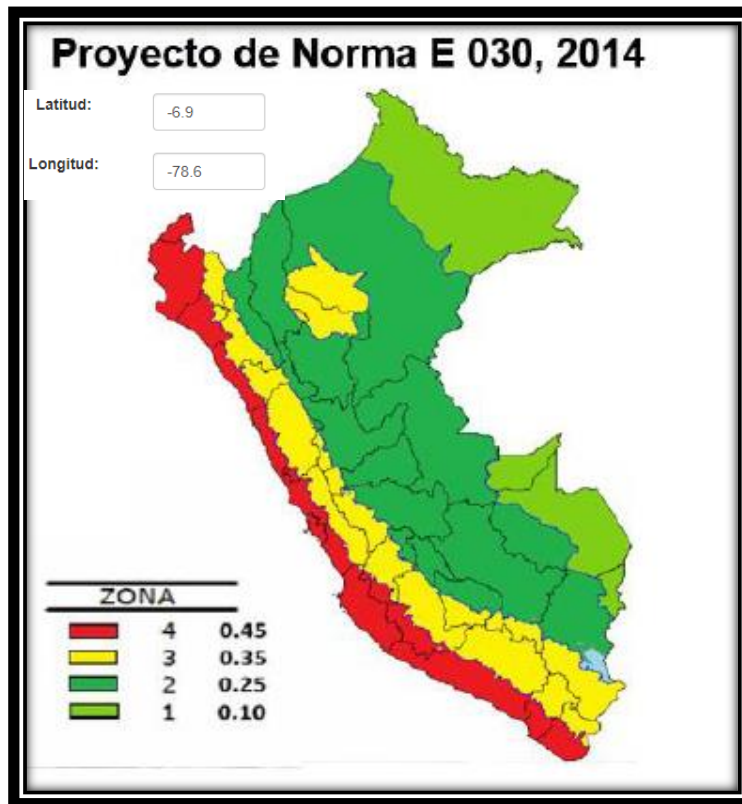


Figura 13: Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

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 cantera san cirilo	-6.9	-78.6

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

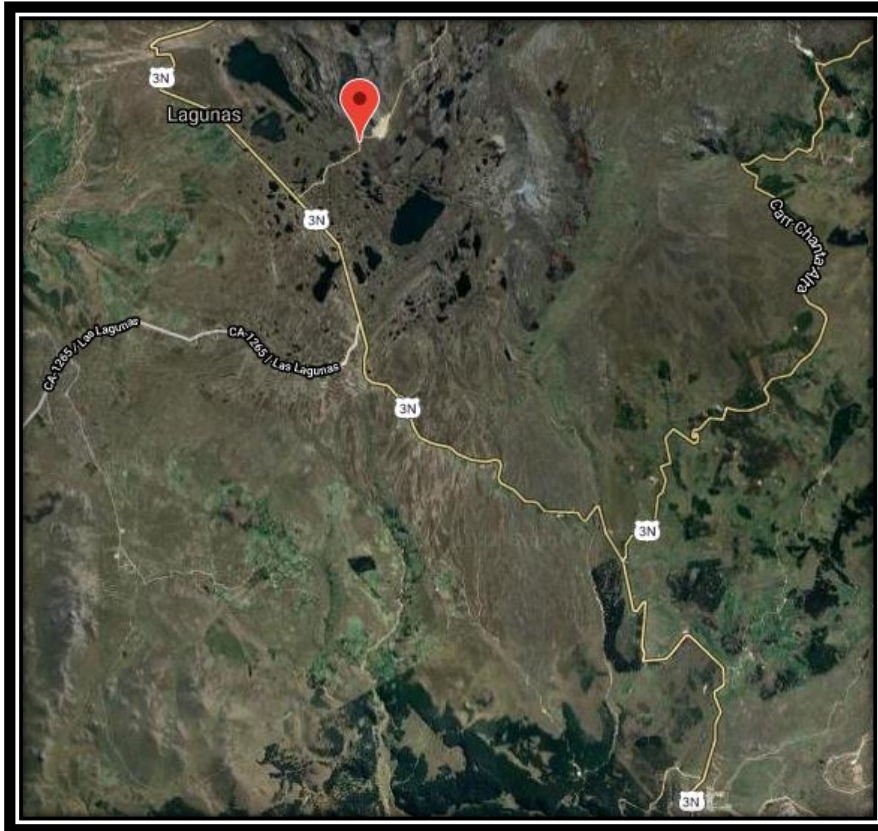


Figura 14: Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad

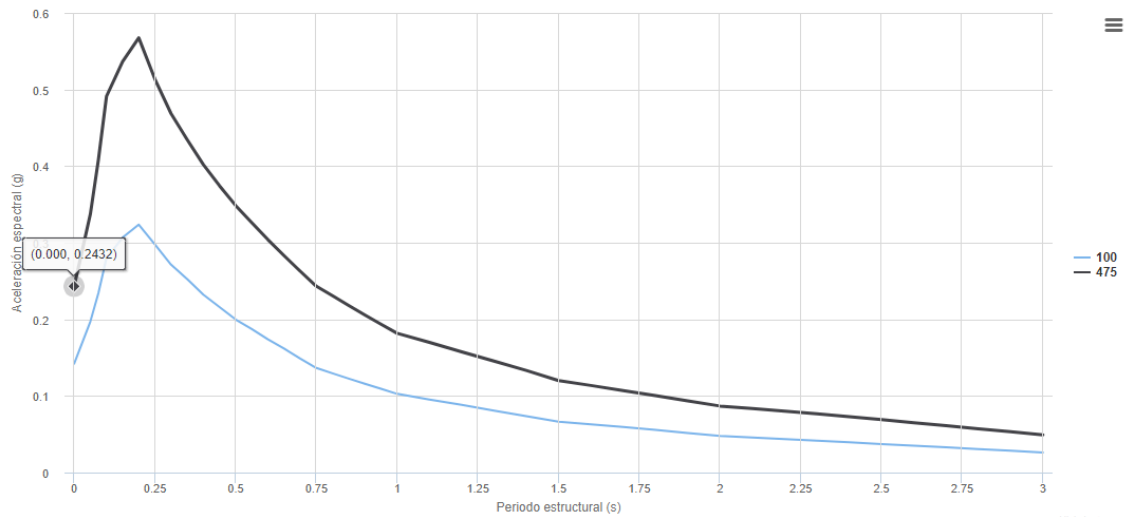


Figura 15: Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años

Nota: Para la sección de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción Para la arenisca presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.2432, teniendo en consideración la estaciones geomecánicas.

Rotura Planar

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

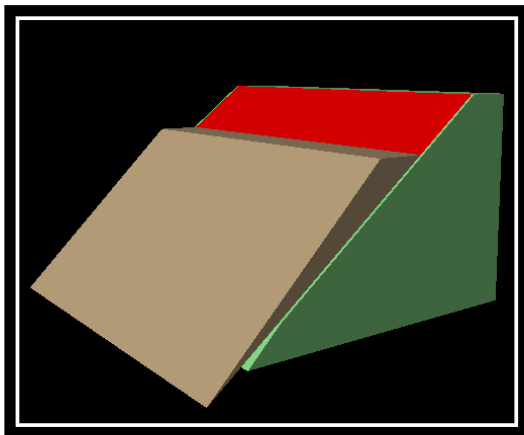


Figura 16: Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J01.

Condiciones Estáticas y Secas

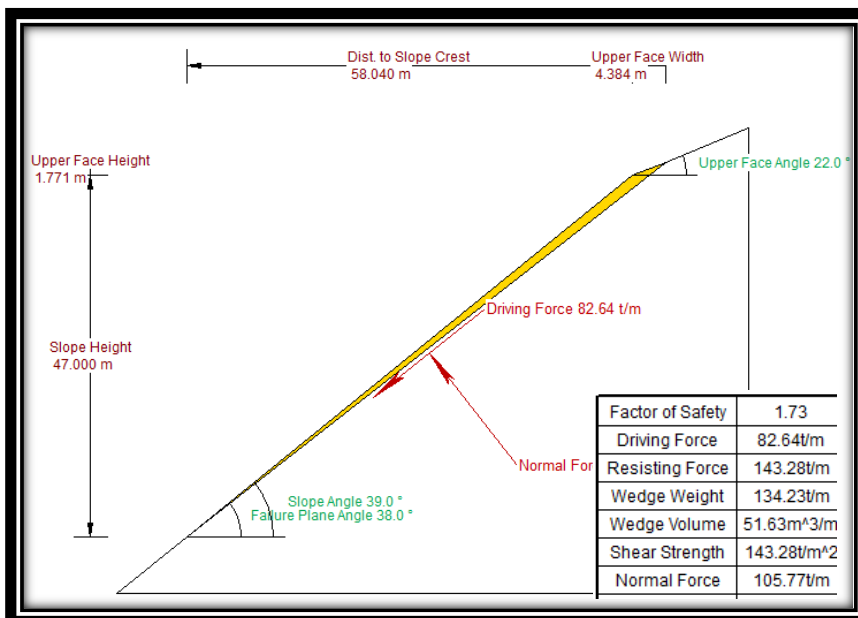


Figura 17: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb en condiciones estáticas y secas
Nota: Se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.73 en por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

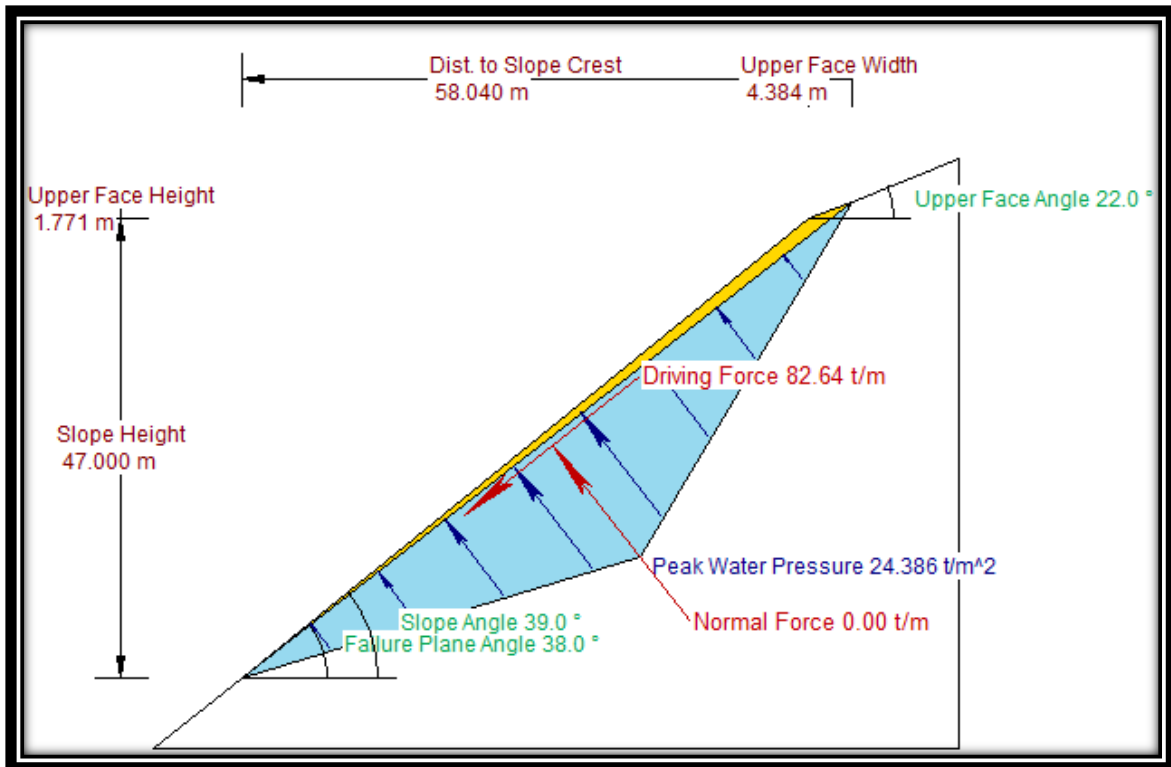


Figura 18: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb en condiciones estáticas y saturada.

Nota: aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.10 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones. Pseudoestáticas y secas.

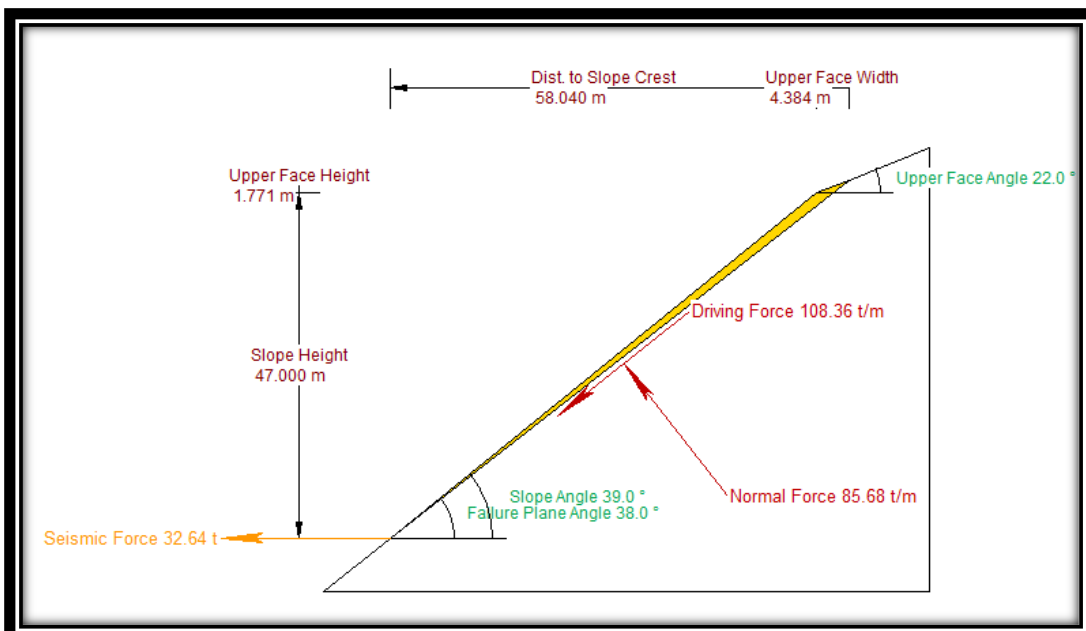


Figura 19: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable

Nota: en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.21 por lo cual no se produce la falla planar. Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

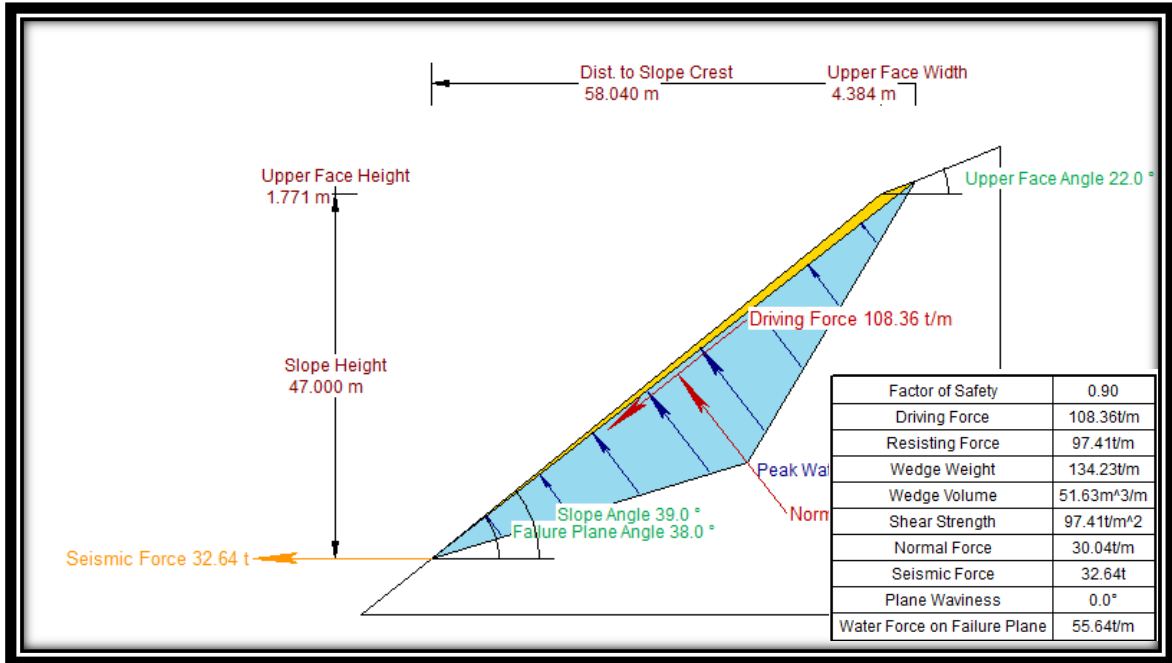


Figura 20: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable

Nota: en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.12 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

3.2.6 Análisis de Sensibilidad

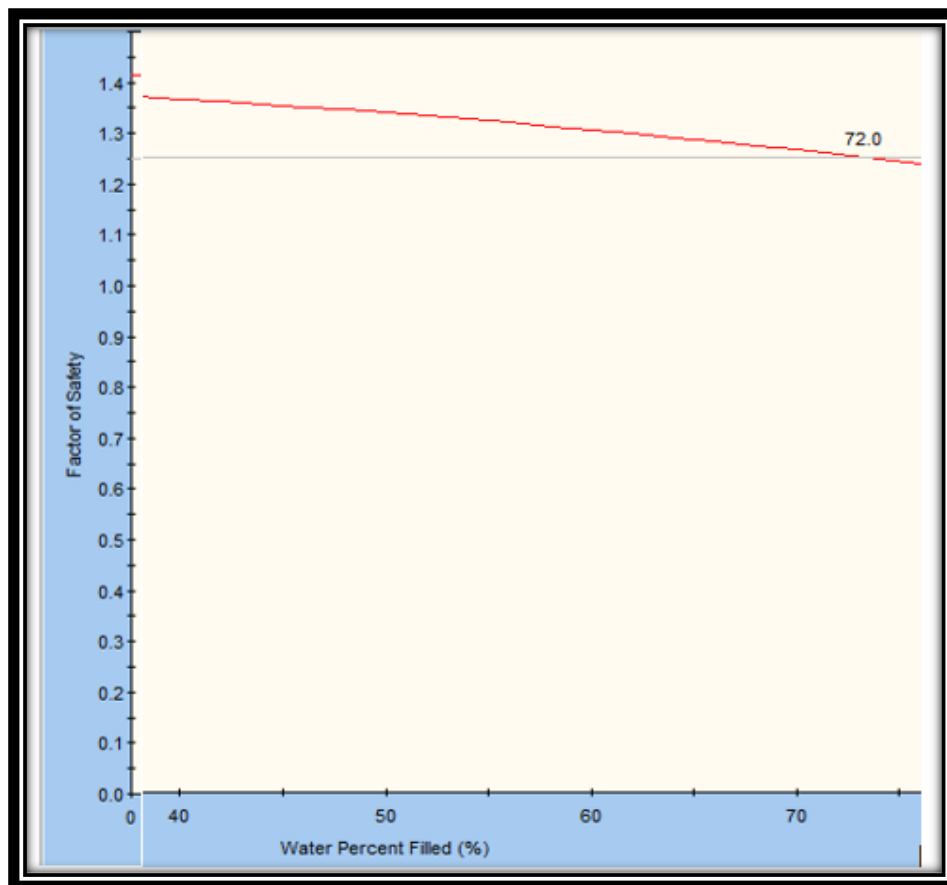


Figura 21: Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 70% en condiciones pseudo- estáticas

En el siguiente cuadro mostramos un resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J01

Tabla 8: Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J01 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
1.73	1.10	1.21	0.9

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

Fuente: Propia.

A fin de eviatar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantner el grado de saturación por debajo del 50% en cuanto geometría del talud no es un factor de inestabilidad

Rotura en Cuña. Para la rotura en Cuña se evaluará 01 Cuña evidenciadas en el software dips, la cual es producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 y j02. calculando el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas,

Cuña producida por J01 y J02. Condiciones Estáticas y Secas

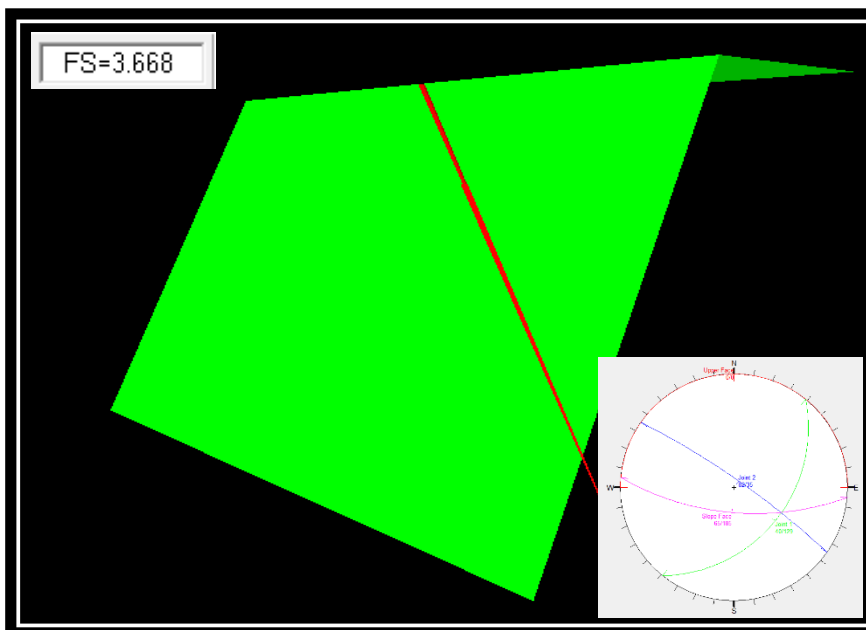


Figura 22: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 3.668, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

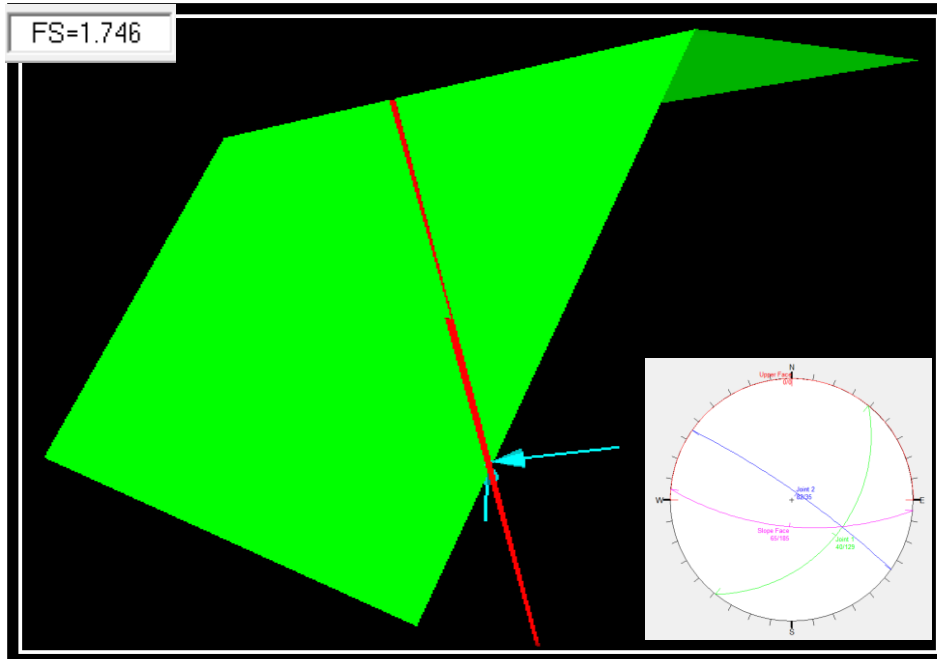


Figura 23: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.746 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

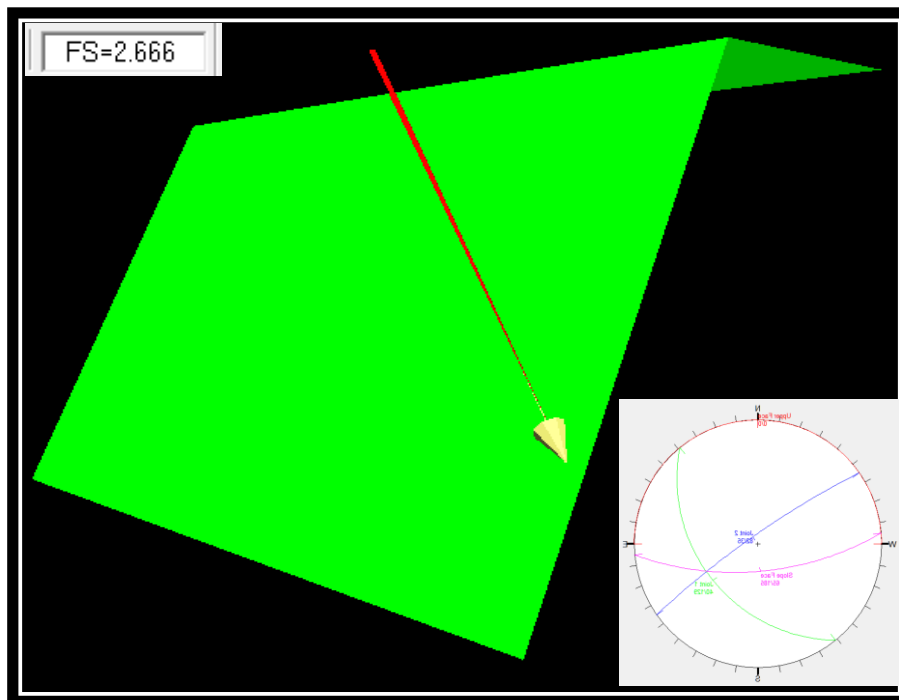


Figura 24: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 2.66 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestaticas y Saturadas

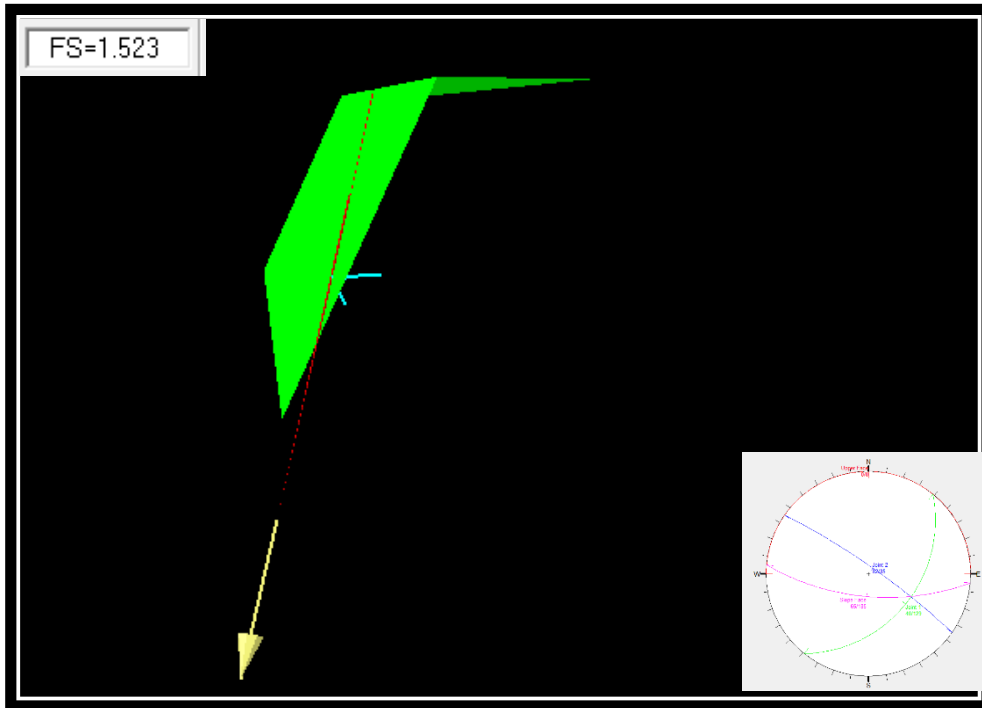


Figura 25: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.523 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

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 J02

Tabla 9: Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J02 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
3.668	1.746	2.66	1.523

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

Fuente: Propia.

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

Talud actual de la Cantera San Cirilo

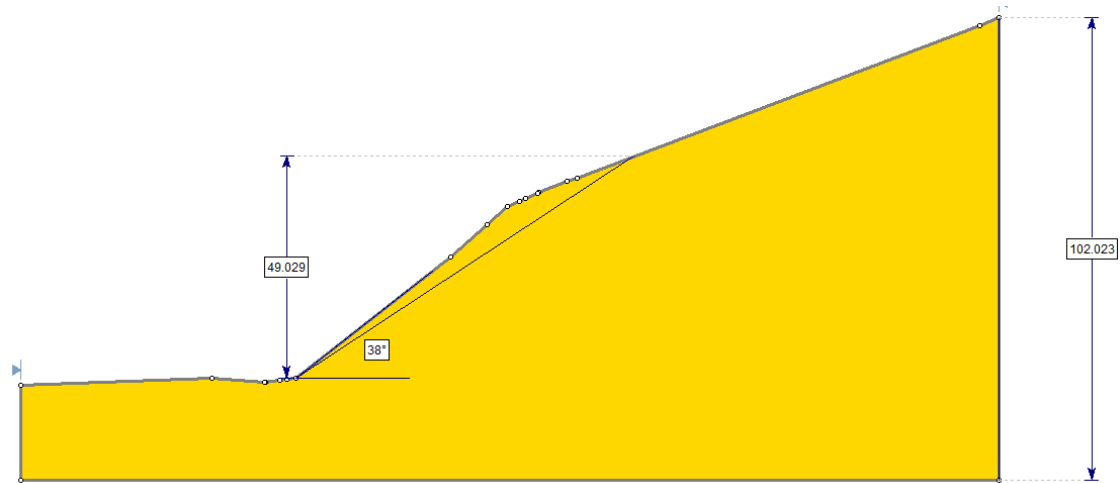


Figura 26: talud actual de la cantera

2.2.7. Diseño de Taludes para la Explotación

Vías

Para el diseño de las vías se realiza cálculos del ancho de la vía que posibilitan el tránsito. Estas vías se constituyen en el soporte de la accesibilidad a la evacuación del mineral.

Se utilizará la siguiente ecuación para el cálculo del ancho:

Ecuación 2: cálculo de ancho de vías

$$A = a \times (0,5 + 1,5 \times n)$$

$$A = 2,5 \times (0,5 + 1,5 \times 2)$$

$$= 8,75 \text{ m, por lo que se redondeará a un ancho de } 9\text{m}$$

Donde:

A = ancho de la vía

a = ancho del vehículo (2,5 m)

n = número de carriles.

Curvas:

Para el diseño de las curvas y garantizar el adecuado tránsito y teniendo en cuenta el relieve topográfico se considerará un radio mínimo de 16 m en curvas cerradas con un peralte del 5%, y en curvas suaves con un peralte del 3%.

Desagües Superficie

A fin de evitar la saturación de agua en las discontinuidades y en los materiales presentes en el talud se diseñará un sistema de drenaje óptimo a fin de garantizar una saturación por debajo del 70 % según la evaluación geomecánica s. En el área estudiada se presenta un gran número de pequeños drenajes naturales, pero es necesario establecer zanjas para garantizar la óptima estabilidad. Para ello se ha estimado conveniente la construcción de zanjas de coronación Diseñadas para conducir las escorrentías provenientes de la parte alta hacia los cauces o drenajes naturales.

Diseño de Bancos:

Las características y/o as dimensiones de cada uno de los parámetros geométricos que conforman el l diseño de bancos se considerará las siguientes medidas acuerdo con una serie de consideraciones prácticas

- . Altura del banco (H): se estableció conveniente una altura de banco de 10 m, teniendo en cuenta. Una Maquinaria para el arranque: El arranque del material se ha considerar de extracción mecánica por medio de unas retroexcavadoras con un modelo la Hitachi zaxis 200.

Ancho del banco (A):

Se ha establecido un ancho de banco de 10 m, considerando la suma de la medida de los parámetros de la vía (9m) y de las cunetas (0.8m) s

Talud de banco

Considerando las propiedades geomecánicas del área de estudio ya mencionados con un SMR de 70 a cuál la califica como buena, además de las características del relieve topográfico se a creído conveniente realizar un diseño con 45° de inclinación, obteniendo una estabilidad a nivel de banco y global tal como se muestra en la siguiente evaluación geomecánica.

A continuación, se muestra el Perfil de Talud con 6 etapas de explotación considerando el diseño de bancos a fin de garantizar la estabilidad

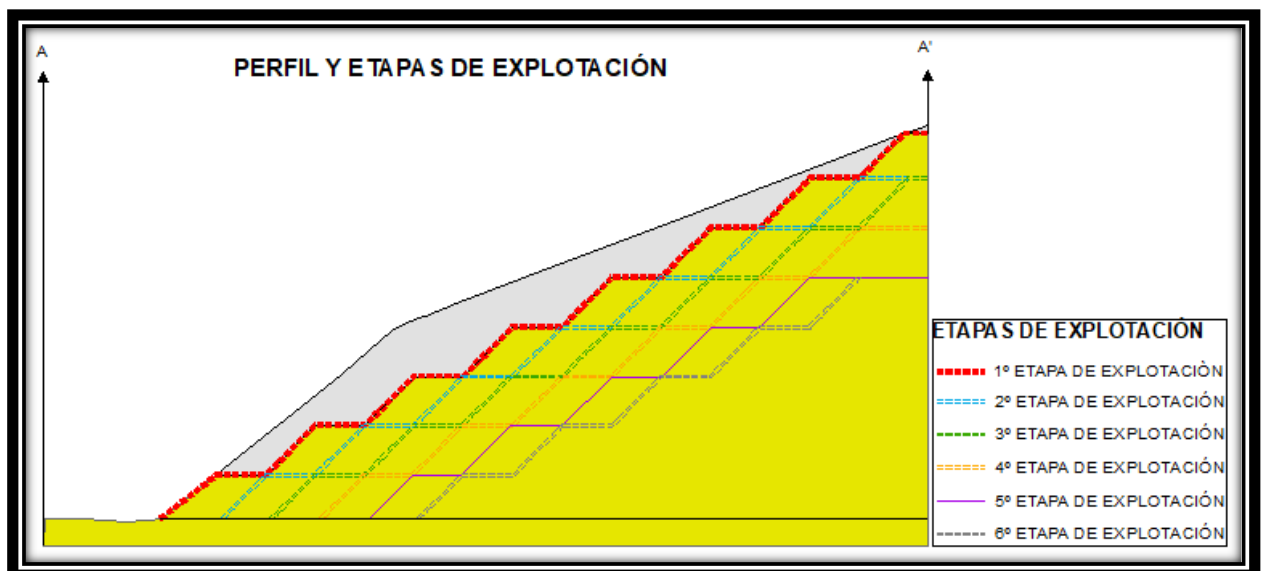


Figura 27: Talud de la cantera que muestra 06 etapas de explotación con una altura de banco de 10m, ancho de la berma de 10m y ángulo de inclinación de 45°

Análisis de Talud Global en condiciones Estáticas

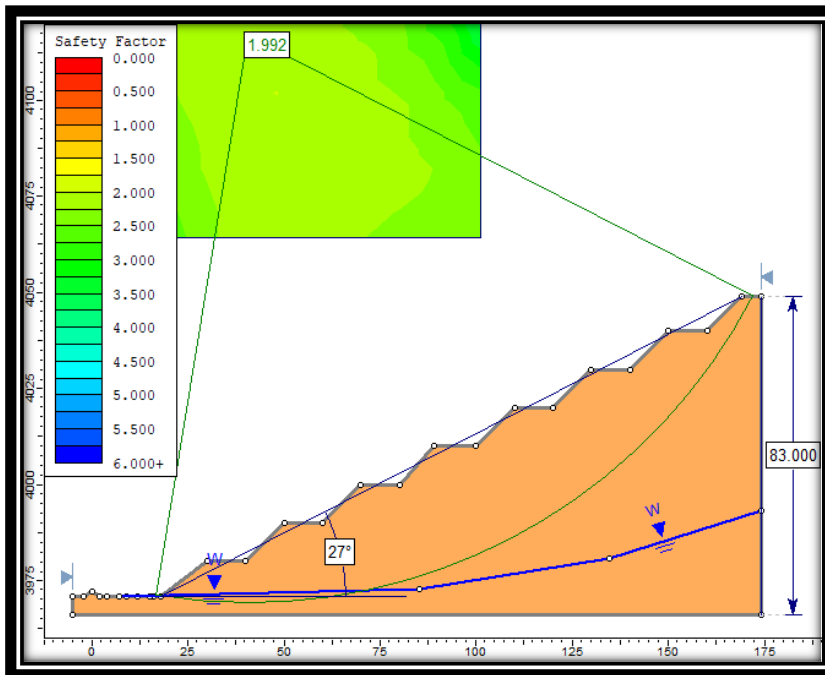


Figura 28: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.992 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 27°.

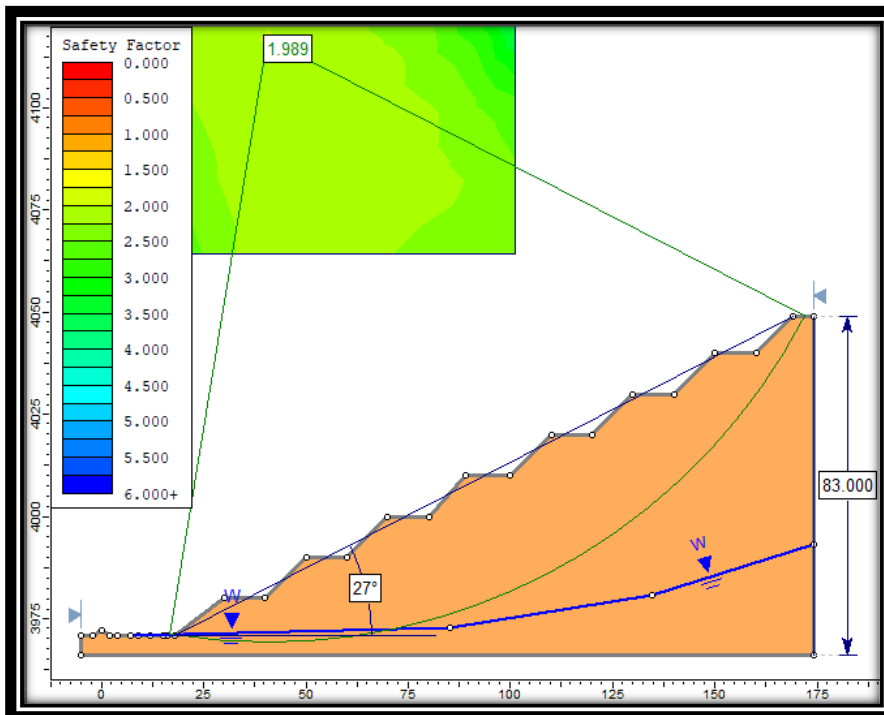


Figura 29: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.989 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 27°.

Análisis de estabilidad del Talud Global en condiciones Pseudo estáticas

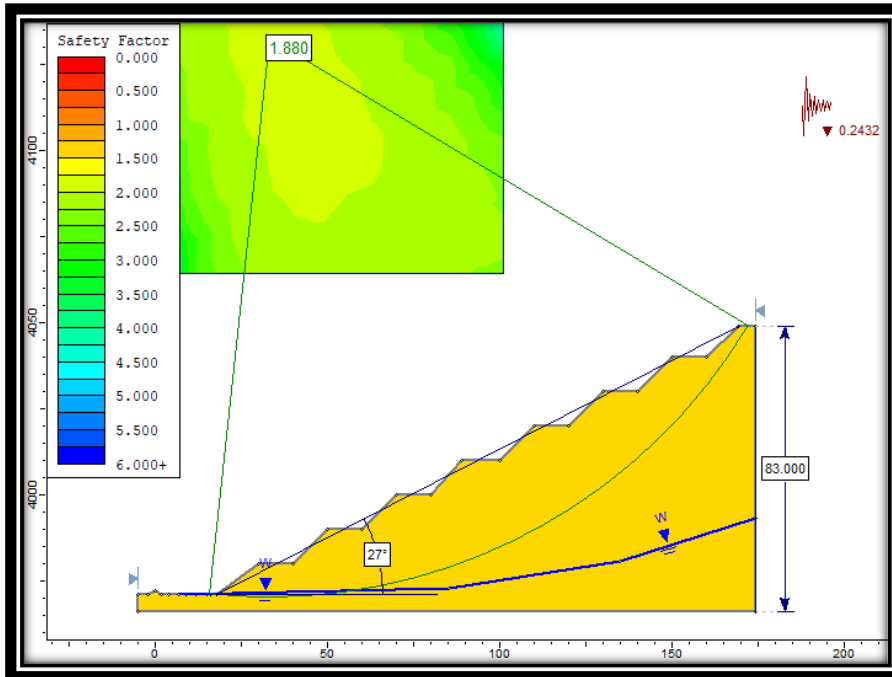


Figura 30: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer.

Nota: se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.880 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2432 y un coeficiente vertical de 0.

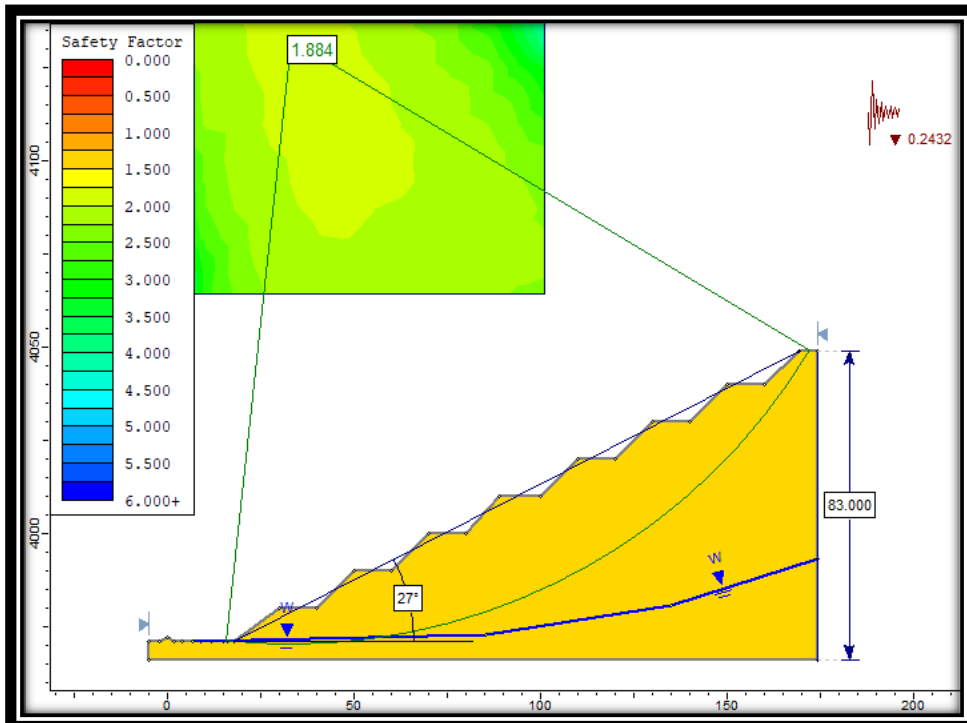


Figura 31: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern Price

Nota: se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.884 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2432 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 Global (Estático y Pseudoestático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudoestático	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
1.992	1.989	1.880	1.884

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 a escala Global es estable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas

Análisis de estabilidad a escala de banco en rotura Planar

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

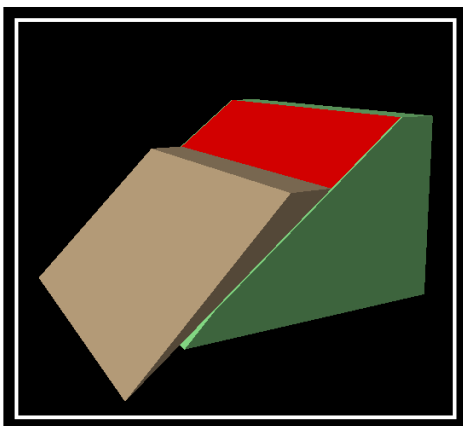


Figura 32: Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J01

Condiciones Estáticas y Secas

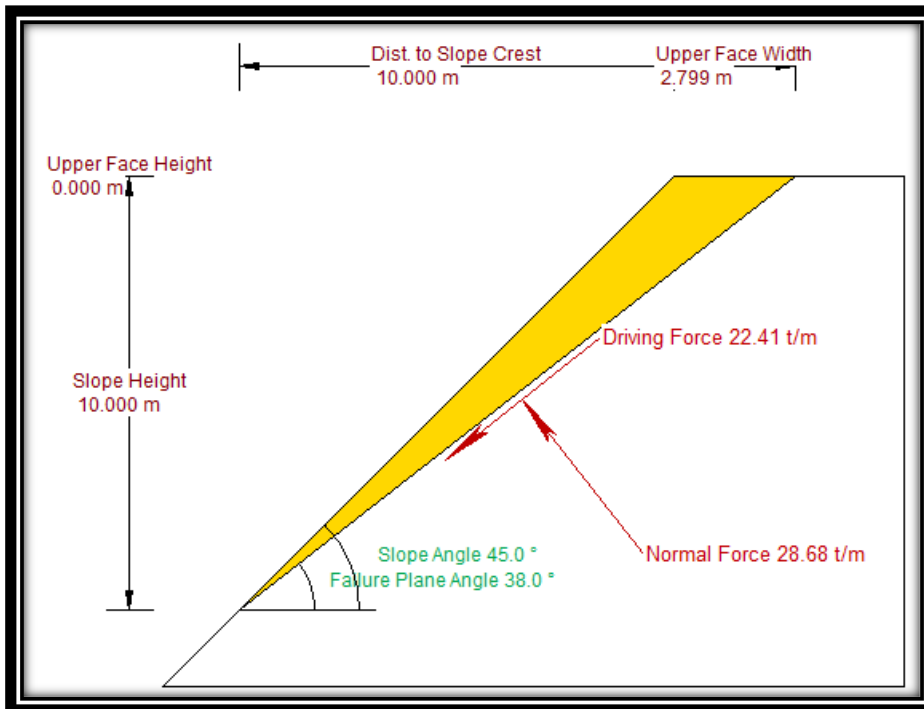


Figura 33: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.65 en por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

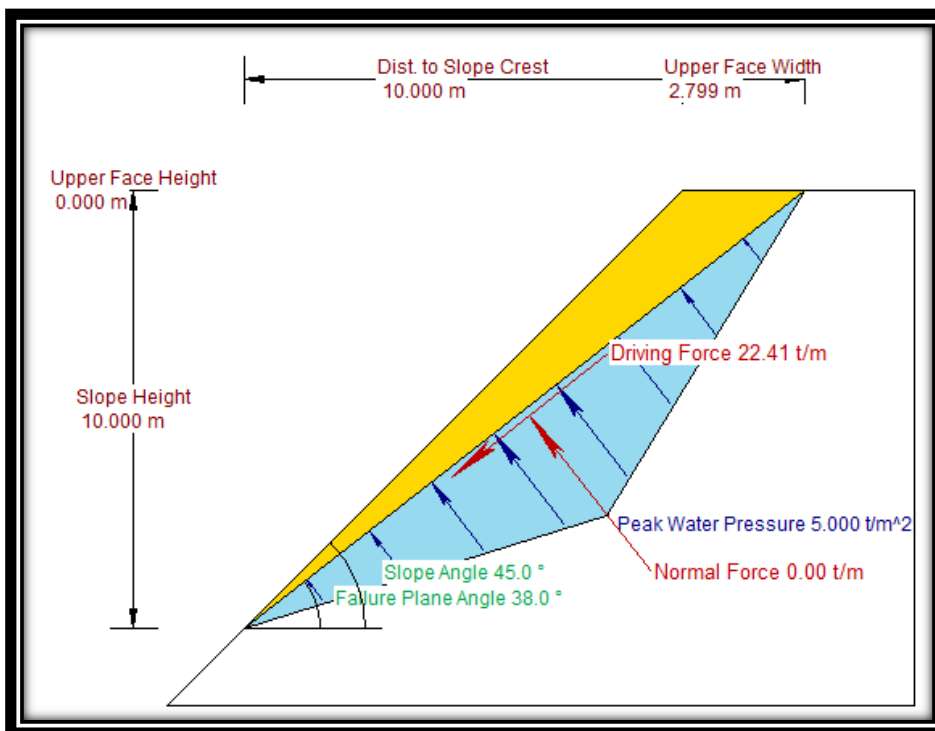


Figura 34: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.37 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

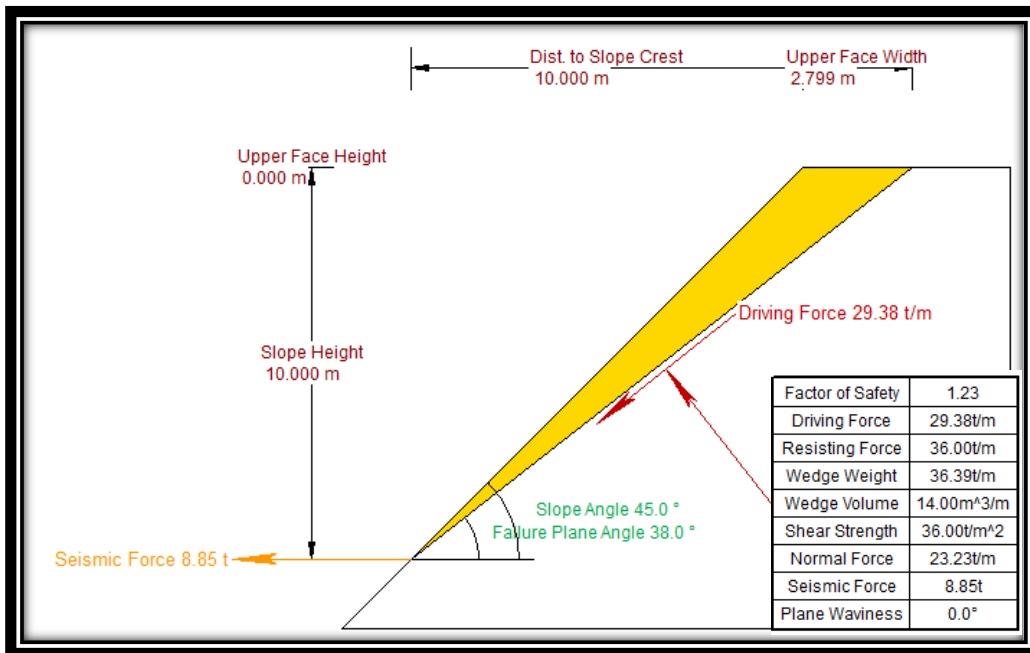


Figura 35: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.23 por lo cual no se produce la falla planar.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

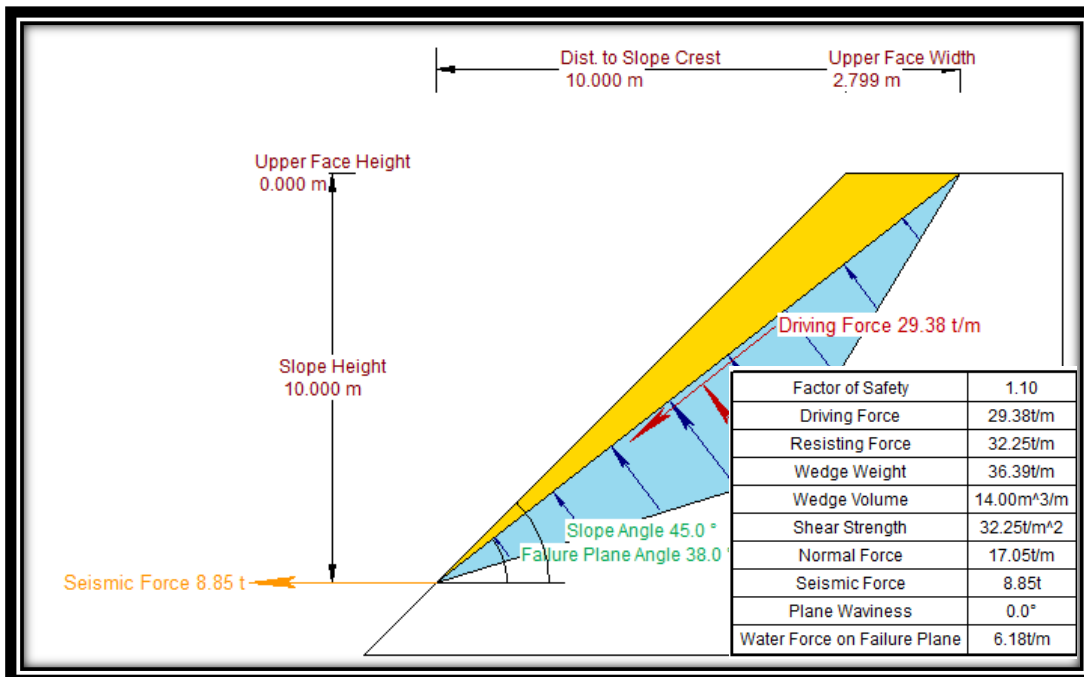


Figura 36: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.10 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

Análisis de Sensibilidad

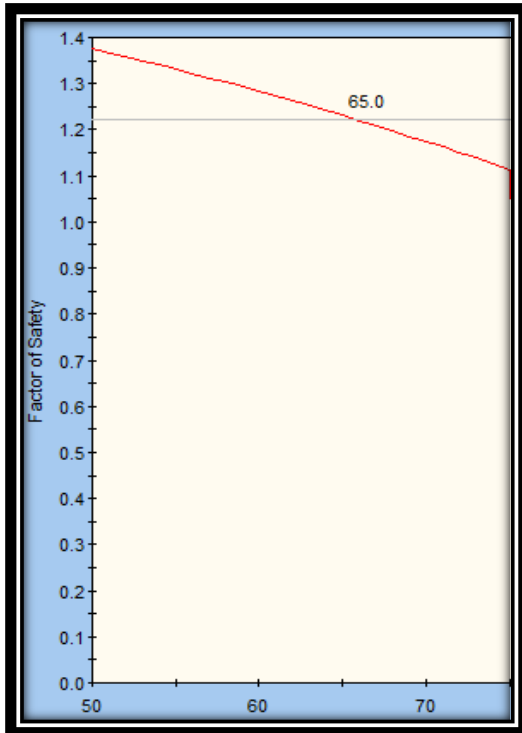


Figura 37: Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 65% en condiciones pseudo- estáticas

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J01

Tabla 11: Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J01 (Estático y Pseudoestático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudoestático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
1.65	1.37	1.23	1.10

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

Fuente: Propia.

A fin de eviatar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantner el grado de saturación por debajo del 65% en cuanto geometría del talud no es un factor de inestabilidad

Análisis de estabilidad a escala de banco para rotura en Cuña 02 (J1 y J2)

Condiciones Estáticas y Secas

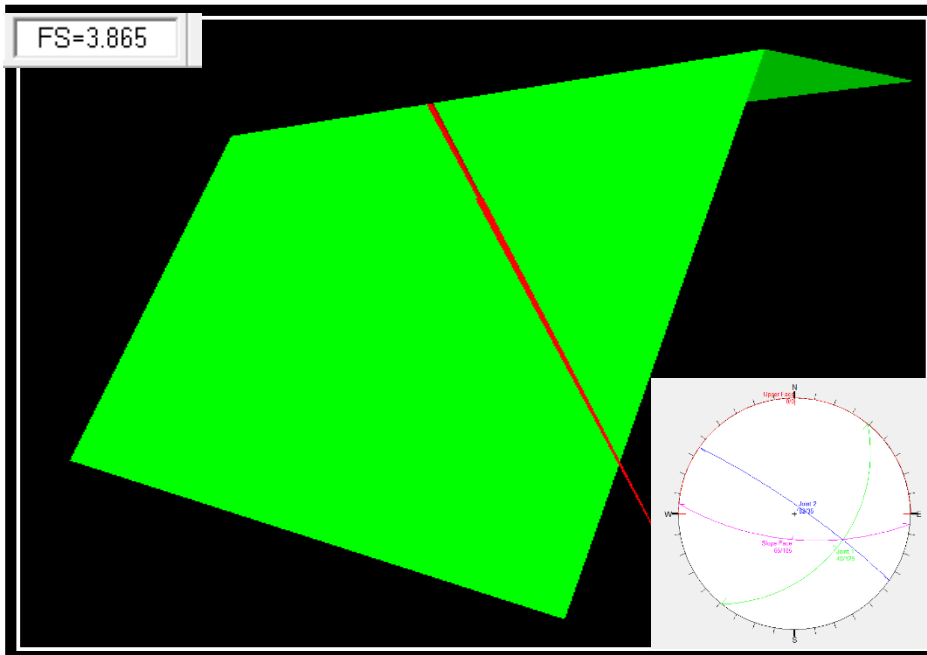


Figura 38: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en cuña j1 y j2

Nota: en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 3.865, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

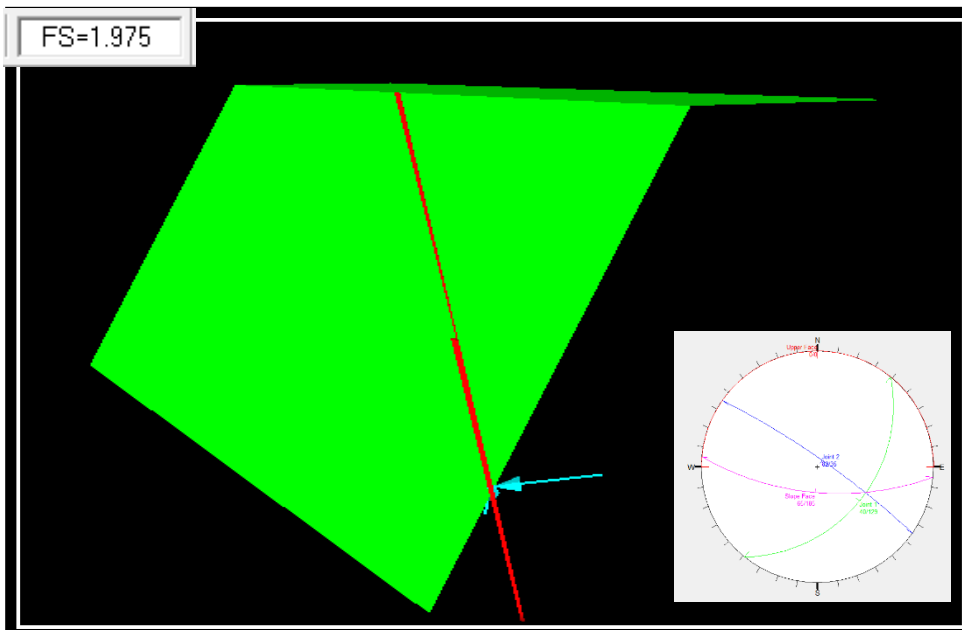


Figura 39: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.975 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

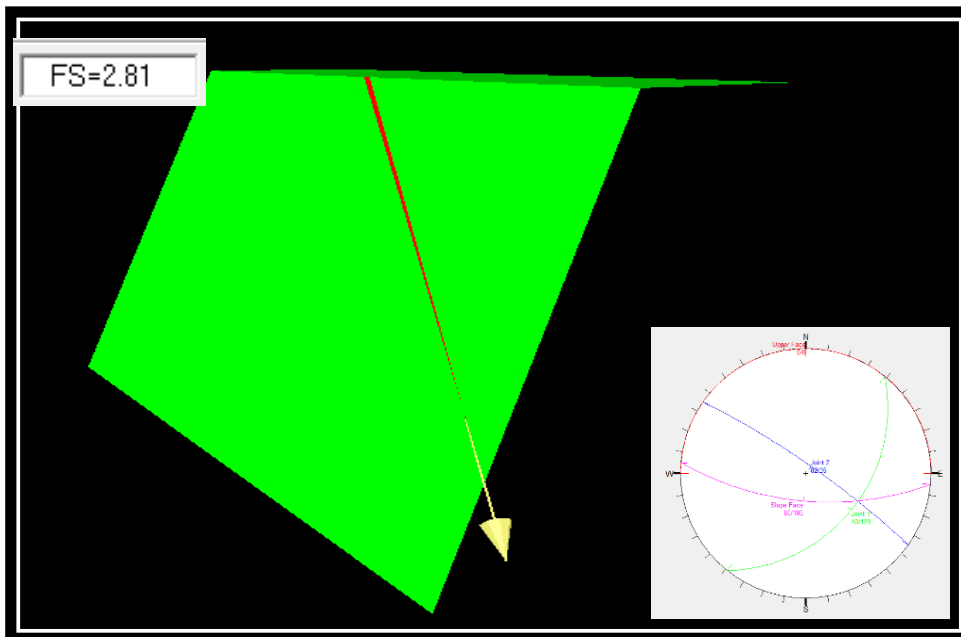


Figura 40: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 2.81 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

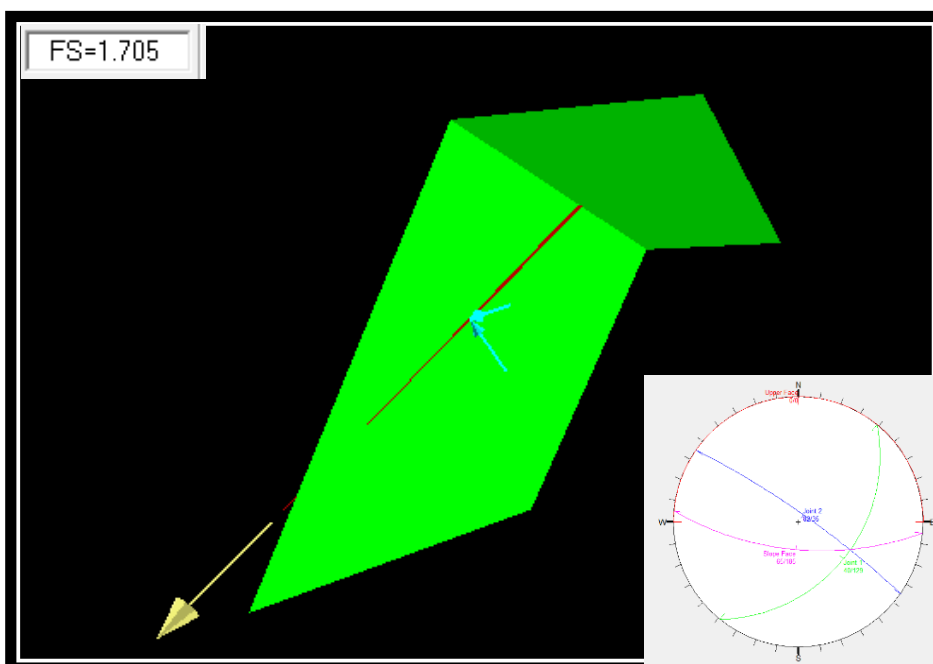


Figura 41: Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2432 se obtiene de seguridad de 1.705 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

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 J01 y J02

Tabla 12: Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J02 (Estático y Pseudoestático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudoestático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
3.865	1.975	2.81	1.705

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

Fuente: Propia.

Debido a que no se produce la rotura en las recomendaciones para asegurar estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

La hipótesis que consiste La caracterización geomecánica nos permitirá identificar zonas y dominios geotécnicos del macizo rocoso de materiales pétreos y nos permitirá realizar el diseño de explotación en la cantera, realizando los estudios en campo comprobamos que si podemos realizar y afirmamos que nuestra hipótesis es verdadera.

Mediante el estudio geomecánico de Mamani (2019), aplicando los métodos de caracterización geomecánica se puede observar que existe correlación en los resultados, correspondiente a una descripción de regular y una condición inestable

Según Rincón (2016) hay una correlación con su proyecto de tesis ya que para determinar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos nos basamos en el análisis de rocas, analizando los factores geológicos tanto litología como discontinuidades, y parámetros geomecánicos (RMR, RQD y GSI), y propiedades tales como: cohesión, Angulo de fricción, resistencia a la compresión uniaxial y datos obtenidos a través de mediciones y valoraciones en campo, para posteriormente ser utilizado en el análisis de los taludes tanto en condiciones normales como en condiciones de sismicidad, determinando así que la inestabilidad de los taludes está directamente relacionada a la precipitación, propiedades físicas del talud, tales como: topografía del terreno y altura del talud, además del tipo de litología y agentes externos como son meteorización y erosión, siendo así que los taludes más inestables los encontramos en la que está compuesta por rocas areniscas y lutitas , pero pese a la buena calidad de las rocas en la que se aprecia Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J01 (Estático de 1.73 en condiciones secas y 1.10 en saturadas y Pseudoestático tenemos 1.21 en condiciones secas y 0.9 en saturadas). Según el Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 70% en condiciones pseudoestáticas.

Según Añazco (2017), Al realizar los estudios de geomecánica y analizar los macizos rocosos se concluye el método de explotación donde las características y/o dimensiones de cada uno de los parámetros geométricos que conforman el diseño de bancos se considerará las siguientes medidas acuerdo con una serie de consideraciones y hay una correlación en nuestro estudio ya que nos permitió para describir la altura de del banco (H) y el uso de maquinaria donde se estableció conveniente una altura de banco de 10 m, teniendo en cuenta. Maquinaria para el arranque: El arranque del material se ha considerar de extracción mecánica por medio de unas retroexcavadoras con un modelo la Hitachi zaxis 200.

La limitación que se ha tenido en la investigación no hemos realizado en campo la utilización de un martillo Smith ya que nos brindaría el resultado in situ donde este ensayo es de fácil muestreo y precisión considerable aceptable.

Como recomendación a los dueños de la cantera San Cirilo se recomendaría empezar la formalización para su explotación a través de la elaboración y presentación de un IGAC y elaborar un plan de minado ante la Dirección Regional de Energía y Minas en la región Cajamarca y así prolongar la vida útil de explotación de materiales pétreos en la cantera San Cirilo.

Conclusiones

Mediante la caracterización geomecánica se pudo determinar el diseño de explotación de la cantera san Cirilo teniendo en cuenta la evaluación el diseño que presenta los siguientes parámetros geomecánicos estudiados.

Se logro determinar los parámetros geomecánicos para la caracterización geomecánica realizada por gavilanes (2002) determinó que los macizos rocosos de la cantera de materiales pétreos en la cantera San Cirilo observamos que en esta estación el RMR Básico es 61, el tipo de roca es buena y La evaluación del GSI, según su estructura los macizos rocosos se ploteo el valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 70.

Al evaluar la estabilidad de los taludes, 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 no es un factor de inestabilidad.

Concluimos que para el diseño de explotación se debe tener lo siguiente parámetros geométricos, los bancos de 10 m, también un ancho de banco de 10 m, considerando la suma de la medida de los parámetros de la vía (9m) y de las cunetas (0.8m).

REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2013). *Caracterización Geotécnica y Estructural de la Rampa de Exploración y del Túnel de Drenaje, Mina Chuquicamata. Memoria para optar el Título de Ingeniero Geólogo. Santiago, Chile: Universidad de Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2013/aguilan_j.*
- Alberto Martínez Vargas, 2008 - *Evaluación Geotécnica de los taludes. la microcuenca de Quirio – Chosica*
- Alonso, Eduardo (1989). *Análisis de la estabilidad de taludes. Casos simples. En Corominas, J. (editor), “Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales”, Monografía n° 3, Sociedad Española de Geomorfología.*
- Alvarado Márquez, M. I & Villanueva Huatay, L. (2019). *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018.*
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. “Engineering rock mass classifications”: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley-Interscience. pp. 40-47
- Cartaya, M. (2016). *Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país. Minería y Geología, 17, 1 - 54.*
- Chapilliquen, V. (2017). *Caracterización geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentadores en la zona de Ciénega Norte – Tantauatay, Cajamarca. (Tesis de pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1536/TESIS%20>*

- GAVILANES, H; ANDRADE, B. (2004) *“Introducción a la Ingeniería de Túneles”* Editorial de la Asociación de Ingenieros de minas de Ecuador (A.I.M.E). Quito-Ecuador.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México. McGraw-HILL.
- Huamán, V.E. y Mendieta, F.A. (2013). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción Las Victorias. (Tesis de grado)*. Universidad de Cuenca – Ecuador
- López, E. (2016). *Estudio Geotécnico y Diseño del Talud Final de una Mina a Cielo Abierto Aplicando Modelos Numéricos. Tesis Profesional para Optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/handle/cybertesis
- Maruri, J. (2015). *Estudio Geotécnico de un Terreno Colapsado en la Zona Sub-Urbana al NW de la Capital del Estado de Hidalgo. Trabajo Escrito para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo*. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui>.
- Mejía, J.R. (2013). *Estudio de las propiedades físicas mecánicas Cantera 3M y su utilización como material de afirmado. (Tesis de grado)*. Universidad Nacional de Cajamarca - Perú.
- P. Klose (1984). *“Comparación de métodos de análisis de estabilidad de taludes”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Pozo, R. (2014). *Análisis Numérico del Mecanismo de Falla en Macizos Rocosos Fracturados Considerando el Efecto Escala*. Lima. Perú. Obtenido de <http://www.gengperu.com/img/brochure/Analisis%20>

Ramírez, M. (2013). Sostenibilidad De La Explotación De Materiales De Construcción.

Tesis de Maestría. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/950/1/43207166_2009.pdf

Toro, D. (2014). Evaluación de la Inestabilidad de Taludes en la Carretera Las Pirias-

Cruce Lambayeque, San Ignacio. Tesis Profesional para Optar Título profesional de

Ingeniero Civil. Jaén, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Obtenido de repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC.

Valeriano, F. A. (2017). Análisis de Estabilidad Probabilístico del Talud de la Cantera

Espinal. Puno.

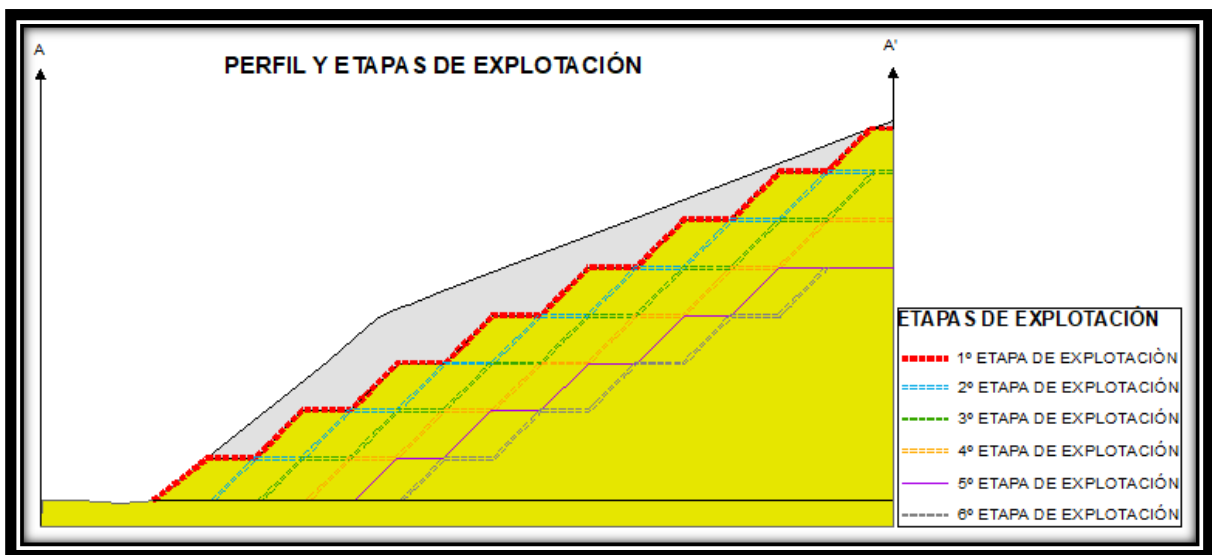
ANEXOS

Vistas fotográficas

Anexo N° 1: muestras enviadas a laboratorio para la comprensión uniaxial



Anexo N° 2: perfil de la cantera con las etapas de explotación




Anexo N° 3. Afloramiento de materiales para pétreos



Anexo N° 4: observamos el material rocoso



Anexo N° 5: ensayo de corte directo en roca

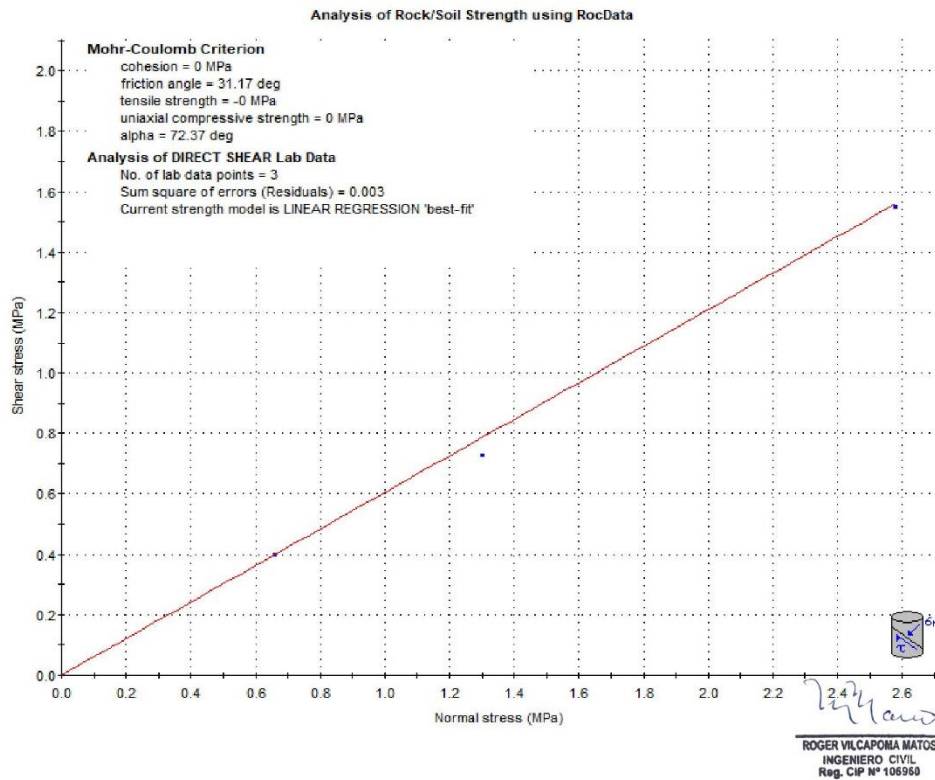
	Informe de Ensayo	SGC-LG-REG-52
	Ensayo de Corte Directo en Roca	Fecha 2021-03-18
	(ASTM D5607)	Versión 01
		Página 1 de 1
Informe	21D05607-A02-001	Fecha 2021-05-18
Solicitante	Alexander López Salazar y David Chilon Pompa	Calicata -
Proyecto	Cantera San Cirilo	Muestra M-01
Ubicación	Encañada - Cajamarca - Cajamarca	Prof. (m) -

Parámetros del Ensayo

Probeta N°	Diámetro	Altura	Área	Relación Largo / Diámetro	Razón de Deformación	Esfuerzo Normal	Esfuerzo de Corte
	cm	cm	cm ²		mm / min	σ_3 MPa	σ_1 MPa
1	4.44	9.73	15.48	2.2	0.12	0.66	0.40
2	4.44	9.73	15.48	2.2	0.11	1.30	0.73
3	4.44	9.73	15.48	2.2	0.12	2.58	1.55

Resultados del Ensayo


Ángulo de Fricción	31.2 °
Cohesión	0.0 MPa



Observaciones:

- El muestreo fue responsabilidad del solicitante.

Anexo N° 6: Ensayo de propiedades físicas de las rocas

	Informe de Ensayo Ensayo de Propiedades Físicas en Rocas (ISRM)	SGC-LG-REG-54
		Fecha 2021-03-18 Versión 01 Página 1 de 1
Informe 21PROFIS-A03-001 Solicitante Alexander López Salazar y David Chilon Pompa Proyecto Cantera San Cirilo Ubicación Encañada - Cajamarca - Cajamarca		Fecha 2021-05-26 Sondaje - Muestra M-01 Prof. (m) -

Resultados del Ensayo

Probetas Regulares Probetas Irregulares

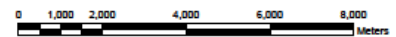
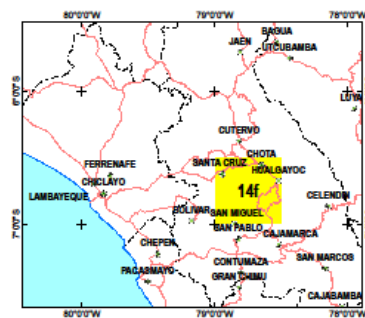
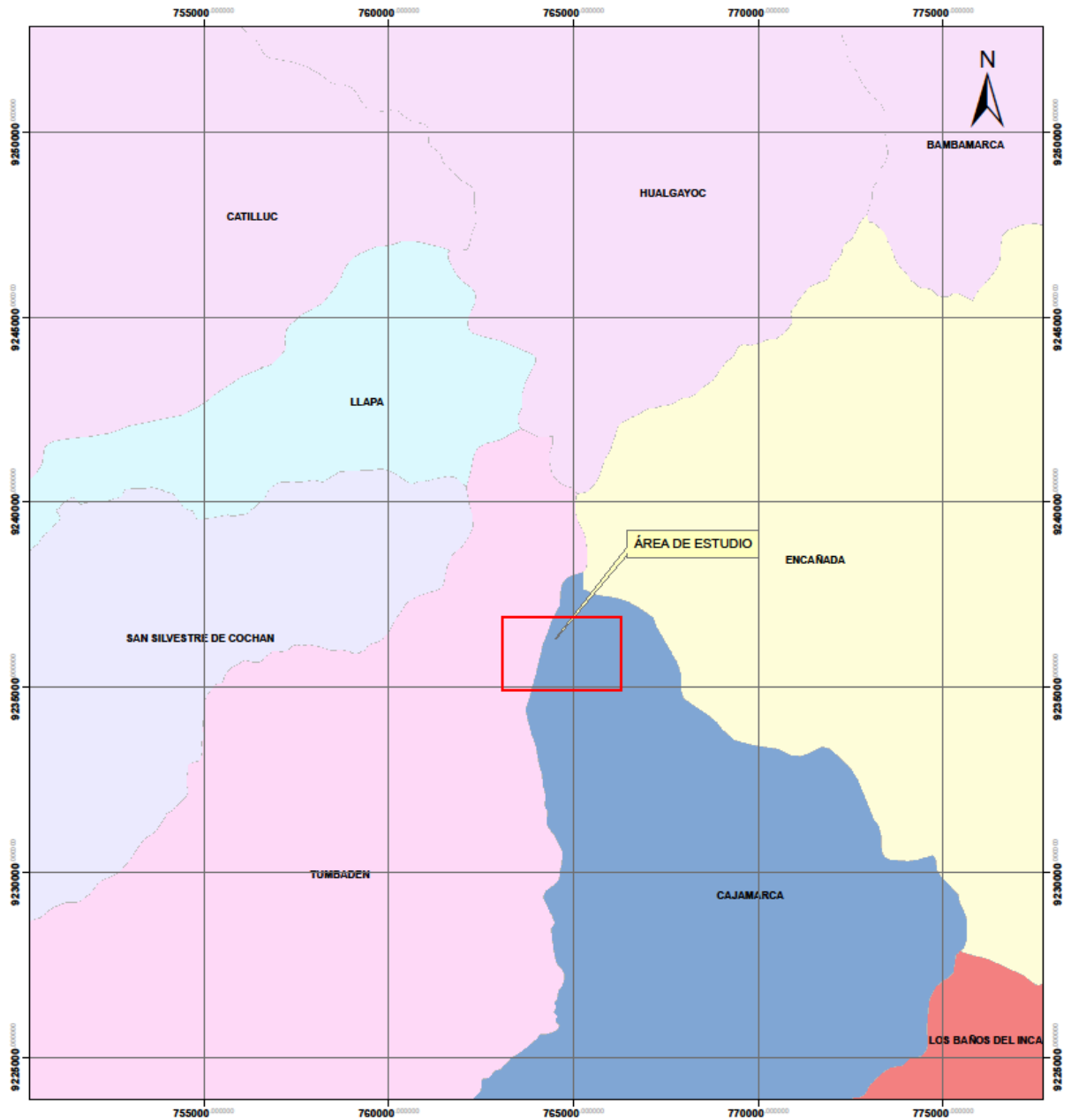
Probeta N°	Tipo de Roca	Diámetro <i>cm</i>	Altura <i>cm</i>	Densidad Seca <i>gr/cm³</i>	Porosidad Aparente %	Absorción %	Peso Específico Aparente <i>kN/m³</i>
1	-	-	-	2.62	0.84	0.32	25.68
2	-	-	-	2.57	1.06	0.41	25.25
Valores Promedio				2.60	0.95	0.37	25.47

Observaciones:

- El muestreo fue responsabilidad del solicitante.

Planos

PLANO DE UBICACIÓN DE LA CANTERA "SAN CIRILO"



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Dr. David Chilon Pompa			
Sr. Alexander Lopez Salazar			
EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS PARA EL DISEÑO DE EXPLOTACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS EN LA CANTERA SAN CIRILO CAJAMARCA 2021			
PLANO: GEOLÓGICO		PLANO N° 03	
DPTO. Cajamarca	PROV. Cajamarca	DISTRITO Cajamarca	Sistema de coordenadas: UTM-WGS84

