UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

INFORME DE TESIS

"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD NOROESTE DE LA MINA CUAJONE MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS - 2023"

PRESENTADO POR:

Bach. Pamela Patricia Catari Colque

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2024

UNAM — UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 040

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 022 - 2024 - FACIA - UNAM

Fecha: 11 de Abril de 2024

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD NOROESTE DE LA MINA CUAJONE MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS - 2023"

Bachiller: PAMELA PATRICIA CATARI COLQUE

Asesor Principal: Dr. CHRISTI JESUS BARRIGA PARIA

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:00 horas, del 11 de ABRIL del año 2024 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
VICTOR ADRIANI PONCE ESTRADA
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
ERNESTO LARICANO FLORES
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Pamela Patricia Catari Colque
(Nombres y Apellidos)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD NOROESTE DE LA MINA CUAJONE MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS - 2023"

Tesis sustentada y aprobada el …… de..... del 2024, estando integrado el jurado dictaminador y el asesor por:

PRESIDENTE : .....
Dr. Victor Adrian PONCE ESTRADA

1ER MIEMBRO : .....
MSc. Ernesto LARICANO FLORES

2DO MIEMBRO : .....
Mgr. Juan Elias ROJAS CONDORI

ASESOR : .....
Dr. Christ Jesus BARRIGA PARIA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi madre Luz Frida Colque Quispe, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido la luz que iluminó mi camino académico. A ustedes les debo la fortaleza para superar desafíos, la perseverancia para alcanzar metas y la inspiración para nunca rendirme.

A mis hermanos, quienes compartieron este viaje conmigo, brindándome ánimo y comprensión en cada paso. Su aliento fue el combustible que necesitaba para persistir en momentos difíciles.

A todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a este proyecto y a mi crecimiento personal, les agradezco de corazón. Este logro no habría sido posible sin su apoyo y colaboración.

Finalmente, dedico este trabajo a mi padre Fredy Javier Catari Escobar, cuyo legado y recuerdo han sido mi fuente de inspiración. Aunque ya no estén físicamente conmigo, su influencia perdura en cada logro alcanzado.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis. Este trabajo representa el resultado de esfuerzos colectivos y el apoyo incondicional de varios individuos.

En primer lugar, quiero agradecer a mi Asesor de tesis, Dr. Christ Barriga Paria, por su orientación experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Sus valiosas sugerencias y comentarios constructivos fueron fundamentales para dar forma y mejorar este trabajo.

Agradezco a mi jurado dictaminador, Mg. Victor Damian Ponce Estrada, Msc. Ernesto Laricano Flores y Mgr. Juan Elias Rojas Condori, por su tiempo, experiencia y valiosas aportaciones que enriquecieron este proyecto. Sus perspectivas críticas y conocimientos especializados fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Mi gratitud se extiende a la Universidad Nacional de Moquegua, por proporcionar el entorno académico propicio para llevar a cabo este estudio. Los recursos y el ambiente de aprendizaje han sido esenciales para mi formación.

Agradezco a Southern Perú Copper Corporation, Unidad Minera Cuajone, especialmente al área de Geotecnia, a los ingenieros Jorge Barrios, Gina Pachao, José Quispe, Alex Leandro, Ronald Cayo y Juan Carpio quienes brindaron apoyo moral y compartieron sus conocimientos en discusiones enriquecedoras. Su compañerismo hizo que este viaje académico fuera más significativo.

RESUMEN

La investigación se centró en analizar la estabilidad del talud noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos, utilizando el software Phase2. La metodología adoptada fue de carácter aplicativo y la manipulación de datos se llevó a cabo de manera cualitativa. El diseño de la investigación fue de tipo no experimental, con un enfoque descriptivo, observando el deslizamiento D53 como un fenómeno existente en su contexto natural. La población de estudio comprendió la totalidad del Tajo Cuajone, con la muestra limitada al D53 ubicado en la fase 07. La técnica empleada fue la observación y descripción de propiedades en campo, utilizando como instrumento el software Phase2. Para el análisis de datos se recurrió a la estadística inferencial, con distribución Normal o Campana de Gauss, para evaluar los factores de seguridad obtenidos. Los resultados revelaron que el análisis de estabilidad realizado mediante el método de Elementos Finitos con el software Phase2 mostró un factor de seguridad de 0.92 en el diseño propuesto por la ingeniería minera en el sector sur, con un ángulo de incidencia de 49° (inestable). Por otro lado, en el sector norte, con un ángulo de incidencia de 38°, el FOS fue de 1.57 (estable), lo que indica una mayor estabilidad. Se recomienda reconfigurar el diseño del talud en el sector sur utilizando un ángulo de incidencia de 43° para lograr un FOS de 1.1 (estable) y una ocurrencia de rotura planar del 25%. Esto reduciría el ancho de la plataforma de desacople a 52m. Se sugiere mantener el ángulo de incidencia en 43° para el sector sur y 41° para el sector norte, asegurando así la estabilización del Talud Noreste del Tajo Cuajone. Esta medida permitiría continuar con el minado bancos abajo, eliminando las condiciones inseguras en la zona inestable y contribuyendo al plan de minado ya que la alternativa extrae 2.2 Mt de mineral con 0.596% Cu.

Palabras clave: Estabilidad, talud, software, Phase2,

ABSTRACT

The research focused on analyzing the stability of the northwest slope of the Cuajone Mine using the finite element method, using Phase2 software. The methodology adopted was applicable and the handling of data was carried out in a qualitative manner. The design of the research was nonexperimental, with a descriptive approach, observing the D53 slide as a phenomenon existing in its natural context. The study population comprised the entire Open Pit Cuajone, with the sample limited to D53 located in phase 07. The technique used was the observation and description of properties in the field, using Phase2 software as an instrument. For the data analysis inferential statistics were used, with normal distribution or Campana de Gauss, to evaluate the safety factors obtained. The results revealed that the stability analysis performed using the Finite Elements method with Phase2 software showed a safety factor of 0.92 in the design proposed by mining engineering in the southern sector, with an angle of incidence of 49° (unstable). On the other hand, in the northern sector, with an incidence angle of 38°, the FOS was 1.57 (stable), indicating greater stability. It is recommended to reconfigure the slope design in the southern sector using an incidence angle of 43° to achieve a FOS of 1.1 (stable) and a planar break occurrence of 25%. This would reduce the width of the decoupling platform to 52m. It is suggested to maintain the angle of incidence at 43° for the southern sector and 41° for the northern sector, thus ensuring the stabilization of the Northeast Slope of the Open Pit Cuajone. This measure would allow to continue with the mining banks down, eliminating unsafe conditions in the unstable area and contributing to the mine plan since the alternative extracts 2.2 Mt of ore with 0.596% Cu.

Keywords: Stability, slope, software, Phase2.

Tabla de Contenido

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 1
1.1.1. Interrogante general 2
1.1.2. Interrogantes específicos 2
1.2. ANTECEDENTES 2
1.2.1. Antecedentes locales 2
1.2.2. Antecedentes nacionales 3
1.2.3. Antecedentes internacionales 6
1.3. OBJETIVOS 9
1.3.1. Objetivo general 9
1.3.2. Objetivos específicos 9
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 9
1.4.1. Propósito académico y utilidad social 16
1.4.2. Relevancia social 16
1.4.3. Técnica 17
1.4.4. Económica 17
1.4.5. Utilidad metodológica 17
1.5. HIPÓTESIS 17
1.5.1. Hipótesis general 17
1.5.2. Hipótesis específicas 18
1.6. VARIABLES 18
1.6.1. Variable independiente 18
1.6.2. Variable dependiente 18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 20
2.1. GENERALIDADES – UNIDAD MINERA CUAJONE 20
2.1.1. Aspectos generales 20
2.2. GEOLOGÍA LOCAL 23
2.2.1. Rocas preliminares 23
2.2.2. Rocas postminerales 23
2.3. ALTERACIONES 25

2.3.1. Alteración potásica 25
2.3.2. Alteración propílica 26
2.3.3. Alteración fílica 26
2.3.4. Alteración fílica-potásica 27
2.3.5. Alteración propílica fílica 27
2.3.6. Alteración argílica fílica 27
2.4. MINERALIZACIÓN 27
2.4.1. Mineralización de cobre 27
2.4.2. Zona lixiviada 27
2.4.3. Zona de óxidos. 28
2.4.4. Mineralización de molibdeno. 28
2.5. HIDROGEOLOGÍA 29
2.5.1. Sistema de drenaje 29
2.6. MODELO GEOMECÁNICO 30
2.6.1. Dominios estructurales 30
2.6.2. Unidades geotécnicas básicas 31
2.6.3. Modelo geotécnico de bloques 32
2.6.4. Modelo de RQD – rock quality designation 32
2.6.5. Modelo de RMR – rock mass rating 34
2.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 35
2.7.1. Método de deformaciones 36
2.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 43
3.1. PROCEDIMIENTOS 43
3.1.1 Método, procedimiento o proceso 43
3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 44
3.2.1. Tipo de investigación 44
3.2.2. Diseño de investigación 44
3.2.3. Nivel de investigación 44
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS 45
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA 45

3.4.1. Población 45
3.4.2. Muestra 45
3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 45
3.5.1. Técnica de recolección de datos 45
3.5.2. Instrumento de recolección de datos 46
3.5.3. Requerimiento de equipos y software trabajo de campo 46
3.5.4. Validación y confiabilidad de los instrumentos 47
3.6. ANÁLISIS DE DATOS 47
3.6.1. Observación directa 47
3.6.2 Análisis estadístico 47
3.6.3 Análisis descriptivo 47
3.6.4 Presentación e interpretación de resultados 48
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 50
4.1. Descripción de los resultados 50
4.1.1. Parámetros geomecánicos de materiales 51
4.1.2. Secciones geotécnicas 53
4.1.3. Análisis cinemático 55
4.2. Análisis de estabilidad 56
4.2.1. Sección A-A´ (sector sur del D53) 56
4.2.2. Sección B-B´ (sector norte del D53) 58
4.3. Resumen resultados obtenidos 60
4.4. Contrastación de hipótesis 60
4.4.1. Hipótesis estadísticas 61
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN 63
5.1. Factor de seguridad 63
5.2. Factor de perturbación “D” 64
5.2. Importancia de la instrumentación geotécnica 66
CONCLUSIONES 68
RECOMENDACIONES 69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXOS 74

Índice de tablas

Tabla 1. *Análisis de producción*..... 14
Tabla 2. *Operacionalización de variables*..... 19
Tabla 3. *Coordenadas UTM WGS84*..... 21
Tabla 4. *Distancias y vías de acceso.*..... 22
Tabla 5. *Clases de RQD modeladas en el Tajo Cuajone*..... 32
Tabla 6. *Clases de RMR básico modeladas en el Tajo Cuajone.*..... 34
Tabla 7. *Clasificación de los métodos numéricos*..... 38
Tabla 8. *Parámetros geomecánicos (SRK)*..... 52
Tabla 8. *Familias de discontinuidades presentes en el D53*..... 55
Tabla 10. *Resumen factor de seguridad*..... 60
Tabla 11. *Factor de seguridad condición inestable*..... 63
Tabla 12. *Factor de seguridad condición estable*..... 64
Tabla 11. *Matriz de consistencia*..... 74

Índice de figuras

Figura 1. *Reporte de monitoreo e inspección de zonas inestables D53* 10
Figura 2. *Condición actual del D53* 11
Figura 3. *Sección A – A´, sector sur del D53* 12
Figura 4. *Sección B – B´, sector norte del D53* 12
Figura 5. *Vista en planta del diseño propuesto, IRAs y ejes de sección* 13
Figura 6. *Alternativa de minado presentada por ingeniería mina* 14
Figura 7. *Ubicación geográfica de la unidad minera Cuajone* 20
Figura 8. *Ubicación Tajo Cuajone* 21
Figura 8. *Plano estructural local del Tajo Cuajone* 25
Figura 9. *Plano de las alteraciones presentes en el Tajo Cuajone* 26
Figura 10. *Plano de las zonas minerales presentes en Tajo Cuajone* 28
Figura 11. *Sistema de drenajes del Tajo Cuajone* 29
Figura 12. *Dominios estructurales del Tajo Cuajone* 30
Figura 13. *Distribución de las distintas UGBs presentes en Tajo Cuajone* 31
Figura 14. *Representación del modelo de bloques del índice RQD del Tajo Cuajone* 33
Figura 15. *Representación del modelo de bloques del RMRb del Tajo Cuajone* 35
Figura 16. *Métodos de cálculo de la estabilidad de taludes* 36
Figura 17. *Malla típica para el análisis de un talud vertical por elementos finitos* ... 40
Figura 18. *Diagrama de desarrollo de la investigación* 49
Figura 19. *Topografía actual (zona inestable D53)* 50
Figura 20. *Niveles comprometidos D53* 51
Figura 21. *Caracterización del macizo rocoso, sector noroeste de la Fase 7* 52
Figura 22. *Vista en planta del diseño propuesto por Ingeniería Mina* 53
Figura 23. *Sección A – A´, sector sur del D53* 54
Figura 24. *Sección B – B´, sector norte del D53* 54
Figura 25. *Análisis cinemático por rotura planar en el sector sur del D53* 55
Figura 26. *Análisis cinemático por rotura planar en el sector norte del D53* 56
Figura 27. *Análisis de estabilidad talud Sur del D53 (Inestable)* 57

Figura 28. *Análisis de sensibilidad del % de ocurrencia de roturas planas en el sector Sur* 57
Figura 29. *Análisis de estabilidad talud Sur (estable)* 58
Figura 30.*Análisis de estabilidad talud Norte (estable)*..... 59
Figura 31. *Análisis de sensibilidad del % de ocurrencia de roturas planas en el sector Norte*..... 59
Figura 32. *Campana de Gauss de los factores de seguridad obtenidos* 60
Figura 33. *Imagen referencial de zonificación de taladros* 66
Figura 34. *Software de radar Reutech (MSR 234)*..... 67

LISTA DE ABREVIATURAS

IRA	:	Ángulo interrampa
ACB	:	Ángulo de banco
HB	:	Altura de banco
FS	:	Factor de seguridad
RMR	:	Índice de clasificación de masas rocosas
RQD	:	Designación de calidad de la roca
GSI	:	Índice de resistencia geológica
UCS	:	Resistencia a la compresión uniaxial
UGB	:	Unidad geotécnica básica
QA/QC	:	Aseguramiento de la calidad
MSR	:	Radar de movimiento y topografía
MEL	:	Método de equilibrio limite
MEF	:	Método de elementos finitos
D53	:	Deslizamiento 53
SPCC	:	Southern Perú Copper Corporation

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en el sector minero, la geotecnia ha tomado gran importancia, en particular en la estabilización de taludes. Ello se debe a que la geometría final del talud representa la optimización de dos factores indispensables: la seguridad y la economía. Es así, que el análisis de estabilidad de taludes de una mina implica la determinación de la geometría de diseño final que permitirá el acceso directo al material de interés, con la mayor seguridad posible.

En la presente investigación se analiza la inestabilidad del Deslizamiento 53 del talud Noroeste de la fase 7 del Tajo Cuajone. Actualmente en terreno, los ingresos hacia la base y la parte superior se encuentran cerrados. La zona se encuentra en condición metaestable y no se realizan trabajos de minado, ni voladura en la base del deslizamiento. Sin embargo, no es posible continuar con el minado de la Fase 7 sin realizar la estabilización correspondiente.

Continuar con el minado de la Fase 7 hacia los bancos inferiores de la proyección del D53 requiere su descarga y estabilización; por lo que, el desarrollo del presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar y proponer una alternativa de diseño, que asegure la estabilidad del sector. El análisis se realiza con un enfoque en la importancia de analizar la inestabilidad, no solo desde un punto de vista geotécnico, sino también desde el punto de vista económico.

De esta manera hacer seguro el proceso de extracción y al mismo tiempo asegurar el proceso económico de la Mina Cuajone. El presente estudio implicara realizar un estudio de la clasificación geomecánica para determinar los parámetros de la matriz rocosa presente, la elaboración de secciones geológicas para el posterior análisis de estabilidad del talud Noroeste del Tajo Cuajone.

El análisis cinemático, este análisis se realizará usando el Software Dips de la firma de Rocscience, esta información se utilizará como dato de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad. Finalmente, el análisis de estabilidad, este análisis se realizará por el método numérico de elementos finitos usando el Software Phase2.

Se evaluará si el diseño de talud final para la estabilización del D53, es viable o se debe reconfigurar para elegir otra alternativa de estabilización. Con Análisis de estabilidad del talud Noroeste se obtendrá como resultado el ángulo de interrampa y el factor de seguridad, de esta manera se podrá continuar con la operación habiendo eliminado las condiciones inseguras de la zona inestable.

Adicionalmente se realizará el análisis costo beneficio de la estabilización del talud Noroeste, para obtener un beneficio económico. Ya que la zona inestable D53, es una zona con alto contenido de mineral rico en Cobre. De esta manera se brindará un punto de vista diferente del que usualmente se tiene de la Geotecnia en las actuales operaciones mineras, no solo brindando soluciones de estabilidad, adicionalmente también colaborando con la producción de mineral de la Mina Cuajone.

1.1.1. Interrogante general

¿Cómo se puede analizar la estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos?

1.1.2. Interrogantes específicos

- ¿Cómo realizar el análisis cinemático para identificar familias de discontinuidades presentes del talud Noroeste de la Mina Cuajone?

- ¿Cómo calcular el factor de seguridad y diseño final para proporcionar estabilidad al talud Noroeste de la Mina Cuajone?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Antecedentes locales

En la investigación “Análisis y estabilización del talud sur – oeste fase 5 del Tajo Cuajone”, situada en la ciudad de Moquegua, se realizó el análisis de estabilidad por, con el fin de aprovechar el material Spill, ya que la zona contaba con alto contenido del mineral cobre. Al realizar el análisis, la alternativa viable fue remover el material hacia niveles abajo para que, una vez estabilizada la zona, la pala pudiera recoger el material. (Gutierrez, 2018, p, 159).

En la investigación “Análisis de la estabilidad del talud del botadero de la concesión minera Camila III en la provincia de Mariscal Nieto del departamento de Moquegua”, situada en la ciudad de Moquegua, al analizar la estabilidad del talud, se logró identificar el plano de rotura y calcular el FS, para lograr predecir su fallamiento mediante la simulación e interpretación del perfil digitalizado del software Slide. Se obtuvo como resultado FS mayor a 1.2. (Romero, 2022, p, 41).

En la investigación “Determinación De Los Parámetros Geométricos Del Talud, Para Garantizar La Estabilidad Del Tajo Superficial Del Área De Explotación En La Unidad Minera “Moisés Randy 2010”, situada en la ciudad de Moquegua. Se estableció el área de ruptura circular mediante el método de análisis de estabilidad de Fallenius, para luego ser comparada con el método Spencer. Finalmente se obtuvo como resultado los parámetros geométricos óptimos garantizando la estabilidad del Tajo del área de explotación en la Mina Moisés Randy. (Turpo, 2018, p, 114).

1.2.2. Antecedentes nacionales

El “Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la Mina Antapaccay”, situada da en la ciudad de Cuzco. Tuvo como objetivo la determinación de los parámetros de diseño de taludes, para lo cual se estudió la estratigrafía y los parámetros geotécnicos de la zona. Los análisis de estabilidad se realizaron en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Se empleo el software Slide v6.0 para realizar los estudios por el método de equilibrio limite.

Los métodos empleados para el cálculo de factores de seguridad fueron el de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenster Price. El FS en el mejor de los casos, resulto de 1.002. Se consideró la posibilidad de realizar los análisis con unos ángulos menores 37 grados. Pero fue descartada debido a que se tenía que haber incrementado los cortes de terreno y ello provocaría un mayor traslado de material de desmonte, por lo cual mayor inversión económica. (Mendoza, 2016, p, 73).

El objetivo de la tesis “Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de minerales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021”, situada en el departamento de la Libertad, fue determinar el análisis de estabilidad de taludes mediante el método

de equilibrio límite, para ello se usaron los métodos de cálculo de Bishop Simplificado, Janbu Simplificado y Spencer.

Al identificar los factores que condicionan la estabilidad de taludes tales, se logra determinar el diseño final de taludes para prevenir deslizamientos durante la expansión de la estructura de mina, obteniendo un FS < 1.2 inicialmente, por lo cual es inestable y necesariamente requiere un rediseño. Finalmente se obtiene FS ≥ 1.2, cumpliendo con norma para estabilidad de taludes propuesta por el Ministerio de Energía y Minas. (Salvatierra, 2021, p, 59).

En la tesis "Caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicado al análisis de estabilidad de taludes en el yacimiento Jésica, Ocuviri - Lampa - Puno - 2015 - 2016". Ubicada en el departamento de Puno, Se realiza el análisis de estabilidad física a nivel de talud global, utilizando el software Slide versión 6.0, y considerando al macizo rocoso isotrópico y anisotrópico, teniendo en cuenta las discontinuidades presentes en la zona.

Como resultado se determinó que el factor de seguridad de los taludes disminuye si se realiza un análisis de estabilidad anisotrópico, la prueba de hipótesis demuestra que hay una correlación positiva muy fuerte entre las variables, a mayor calidad del macizo rocoso, mayor es la disminución del factor de seguridad anisotrópico respecto al factor de seguridad isotrópico. (Herrera, 2020, p, 150)

En el departamento de Piura se desarrolló el "Estudio de factor de seguridad y caracterización geotécnica para la estabilidad del talud minado en concesión Sojo Piura, 2017", se llevaron a cabo investigaciones geotécnicas del área en estudio, donde se realizó la caracterización del área. Como resultado se obtuvo un factor de seguridad de análisis estático y seudoestático en la zona Sur 1.88 y 1.137, sobre pasando el FS óptimo de 1.5. (Ardiles & Ahumada, 2018).

Urrutia (2008) en su estudio "Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de los taludes de la Costa Verde en el Distrito de Miraflores", desarrollado en el departamento de Lima, evaluó dinámicamente la estabilidad de los taludes por el método de elementos finitos, modelando secciones críticas en el programa GeoStudio

2004, tomando cuatro sismos. Los sismos seleccionados, fueron los mayores eventos cerca al lugar de análisis.

Se ingresó la información GeoStudio 2004 en forma de registros de aceleraciones y tras ser aplicados al modelo numérico creado, fueron utilizados para determinar las resistencias post-sísmicas y las deformaciones permanentes en las secciones evaluadas. Estos resultados permitieron obtener un entendimiento general del comportamiento de los taludes durante y después del sismo.

Tardeo y Zanabria (2016) en su estudio "Análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca - Huancavelica ", se basaron específicamente en el análisis estático y dinámico, empleando los métodos de equilibrio límite y elementos finitos, para determinar el cálculo del factor de seguridad de talud en el sector de estudio, concluyeron que en la zona estudiada era inestable, ya que obtuvieron un FS menor a 1.

Eugenio (2017) con su estudio “Análisis de inestabilidad de taludes mediante equilibrio límite y elementos finitos, tramo Santa Rosa - Tuco bajo carretera Bambamarca – centro poblado Tuco”, desarrollada en Huancavelica. Se analizó la inestabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite y elementos finitos utilizando los softwares Slide y Phase2, obteniendo como resultado una zonificación, en la cual se muestra que el 61.54% son taludes estables.

Curasma y Quinto (2019) en su trabajo de investigación “Estudio comparativo entre el método de equilibrio límite y elementos finitos en el análisis de estabilidad de ladera en el sector Heramocco - comunidad de Sacsamarca - 2019”, desarrollada en Apurímac. Llevaron a cabo la comparación entre los métodos de equilibrio límite y elementos finitos en el análisis de estabilidad estático y sísmico de ladera del Sector Heramocco.

Para lo cual realizaron el modelamiento del comportamiento de laderas en el programa GeoStudio 2012. Finalmente se demuestra que, para el análisis de estabilidad estático y análisis sísmico por ambos métodos, los resultados son confiables, sin

embargo, llegaron a la conclusión, que el primer método de equilibrio limite es menos preciso que el método de elementos finitos por sus consideraciones de cálculo.

1.2.3. Antecedentes internacionales

El objetivo de la "Caracterización geotécnica y análisis de estabilidad de Proyecto continuidad Mina Gabriela" es determinar la estabilidad de los taludes que conforman un sistema de explotación de 7 Tajos empleando la caracterización geotécnica. En el trabajo de investigación se sometieron las secciones propuestas a un análisis cinemático tomando la información obtenida de la caracterización geotécnica.

Al realizar una evaluación determinística y una evaluación probabilística por el método de equilibrio límite se determinó que cada uno de los taludes a nivel banco-berma y a nivel global (parámetros geométricos de diseño) son estables en condiciones estáticas y condiciones pseudoestáticas (Ricci, 2018, p, 80). La investigación se desarrolló en la ciudad de Antofagasta, perteneciente al país de Chile.

En la "Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos Las Victorias", se desarrolló la evaluación de la estabilidad de los taludes en una cantera, mediante el método del círculo de fricción y Método de Markland, empleando los softwares Dips v5.103 y GEO5. Se realizo primero la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado y posteriormente la determinación del factor de seguridad de los taludes.

Con lo cual finalmente se determinó que existe inestabilidad local en cada sector específico, ello se debe a las condiciones a las cuales están expuestas como desprendimientos y voladuras, también se afirmó que existe estabilidad global en cada uno de los taludes del macizo (Merchàn & Sànchez, 2013, p, 74). La investigación se desarrolló en la ciudad de Azuay del país de Ecuador.

Sanhueza & Rodríguez (2013) en su investigación denominada "Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales", realizan una comparación de diferentes métodos de cálculo de estabilidad de taludes, bajo condiciones estáticas y condiciones pseudoestáticas. Comparan los

factores de seguridad de las superficies potenciales de falla, a través del empleo del software GeoSlope,

La comparación de los resultados considerando los casos más desfavorables y empleando los modelos propuestos por Fellenius, Bishop y Janbú (método de las dovelas), ayudo a concluir que la influencia del sismo sobre un talud finito, la cual depende tanto de la magnitud Richter del terremoto, como de los valores de los coeficientes de aceleración sísmica (horizontal y vertical). La investigación se situó en Valparaíso, Chile.

Pérez (2015) en su estudio "Análisis geotécnico para la estabilización de la plataforma conformada sobre el talud para la construcción de los pilotes y dado del eje 2 puentes el Tablazo, mediante el método de equilibrio límite utilizando Gen Hoek Brown y elementos finitos carga de gravedad". Menciona que un modelo de elementos finitos permite inferir la condición de falla más probable durante y en la finalización del proceso constructivo.

Conociendo los posibles esfuerzos y deformaciones a las cuales va a estar sometida la estructura para de esta manera determinar la condición de falla más probable que puede tener el modelo. También menciona que el método de elementos finitos es un modelo más avanzado y según la con mayor precisión. La investigación se desarrolló en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

Gutiérrez (2015) en su estudio "Análisis de una presa utilizando un programa de elementos finitos", realizo una comparación empleando métodos de análisis convencionales y por medio de un programa de elementos finitos, demostrando que la interpretación física de resultados, es más cómoda por medio de un software ya que el programa permite hacer gráficos en 2 y 3 dimensiones de las cantidades calculadas.

Afirma que se debe tener en cuenta que el ingreso de datos de campo y las condiciones en el software geotécnico empleado son responsabilidad del operador, ya que, si se ingresan de manera incorrecta o errónea, los resultados que entregue el software serán inválidos y erróneos, concluyendo que se debe tener bastante

consideración en cuanto al operador del software. La investigación se desarrolló en Zacatecas, México.

Mesa y Tejada (2017) en su estudio "Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos", emplearon los métodos de equilibrio límite y elementos finitos para la determinación del Fs, en relación a la modificación de la altura y pendientes del talud. Obtuvieron como resultado que los taludes son estables cuando la altura es mayore a 12 m. La investigación se situó en La Habana, Cuba.

Ramos (2017) en su estudio "Análisis de estabilidad de taludes en rocas. Simulación con LS-DYNA y comparación con Slide", determina el análisis de estabilidad de los taludes en una mina a cielo abierto, a través de una herramienta de simulación con elementos finitos, como es el software LS-DYNA. Para ello se realizó el modelamiento de los taludes en estudio, para lo cual se tuvo que ingresar data al software LS-DYNA.

Finalmente concluyo que mientras más refinado es un mallado más próximo a la realidad y exactos serán los resultados, sin embargo, en este estudio, no se ha verificado la convergencia, debido al costo computacional que genera, ya que mientas más pequeño es el mallado mayor es la demanda de recursos informáticos. La investigación se desarrolló en la ciudad de Madrid perteneciente al país de España.

Cooper (2017) es su trabajo de investigación "Estudio de la estabilidad de los taludes en una mina operativa excavada en suelo dura/roca blanda". Tuvo como objetivo identificar los procesos implementados para garantizar la estabilidad geotécnica y la seguridad en la Mina de Las Cruces, empleo el programa Phase2 de la firma Rocscience para el análisis de estabilidad de taludes.

El análisis se efectuó como un método de verificación, formando parte de un análisis QA-QC para suelo de roca dura/blanda. Para ello se utilizó el programa de elementos finitos Phase2, para resolver el análisis tenso-deformacional y obtener un factor de seguridad estable para el talud en estudio, en la Mina "Las Cruces". La investigación se situó en la ciudad de Sevilla, perteneciente al país de España.

López (2022) en su estudio "Aplicación de técnicas de interferometría radar satélite al análisis de estabilidad de taludes en zonas mineras", tuvo como objetivo determinar el riesgo asociado a la posible ocurrencia de roturas de talud, mediante la aplicación de técnicas de modelización numérica (mediante el método numérico de modelización por elementos finitos), en taludes de zonas mineras.

La interpretación de los resultados obtenidos mediante la interferometría radar satélite permitió deducir que el origen de la superficie de rotura se ubicaba en las inmediaciones del pie del talud, desde donde, posteriormente, la rotura se propagó por retrogresión hasta alcanzar la berma barrera. El trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Madrid perteneciente al país de España.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar la estabilidad del talud noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2 V.8.0.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el análisis cinemático para identificar las familias de discontinuidades presentes en el talud Noroeste de la Mina Cuajone.
- Calcular el factor de seguridad y determinar el diseño final del talud Noroeste de la Mina Cuajone que proporcionara su estabilización.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los trabajos de explotación de la Mina Cuajone se llevan a cabo cumpliendo los objetivos establecidos, la explotación de mineral se realiza sobre la base de la planificación cuya directriz principal es el uso selectivo de reservas minerales con la mínima generación posible de pérdidas de tiempo, operaciones e impactos ambientales, pero a su vez esta planificación se ha visto afectada por la presencia de riesgos geológicos como los deslizamientos o cuñas en niveles superiores.

El caso de estudio inicia el 13 de setiembre del 2022, cuando con la Pala 04 inicia los trabajos de perfilado a talud final en la base del Deslizamiento 53. Los días posteriores, el monitoreo con el radar geotécnico MSR234 detectó tendencias

progresivas en las velocidades de desplazamiento del talud correspondiente al D53, llegando a sobrepasar los 70 cm/día para el 20 de octubre del 2022, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Reporte de monitoreo e inspección de zonas inestables D53

GrupoMéxico MINERÍA — GEOTECNIA MINA PILAR DE LA SEGURIDAD

INSPECCION DE ZONAS INESTABLES EN FRENTE DE TRABAJO

ZONA INESTABLE	D53 Fase 7_Talud Nor Este
Equipo en la zona:	-
Proyecto/Poligono:	-

Fecha:	20-10-22	Hora:	18:44
Inspeccionado por:		Alex Leandro Mansilla	
Supervisor de Turno:		Alex Leandro Mansilla	

Nivel: 3265

IDENTIFICACION DE DESPLAZAMIENTOS CON RADAR

Inicio de deformación e Inestabilidad: 13-Setiembre-2022 a las 02:00 pm

ZONA DE CORONA	Fecha	Hora	Vel. cm/d	Nivel	Tendencia/Movimiento
Movimiento crítico 0	20-10-22	18:44	10.07	3346	Condición Progresiva_Alerta 3
Movimiento crítico 1	20-10-22	18:44	7.80	3343	Condición Transgresiva_Alerta 2

ZONA INTERMEDIA	Fecha	Hora	Vel. cm/d	Nivel	Tendencia/Movimiento
Movimiento critico 2	20-10-22	18:44	22.15	3320	Condición Progresiva_Alerta 3
Movimiento crítico 3	20-10-22	18:44	28.42	3308	Condición Crítica_Alerta 4

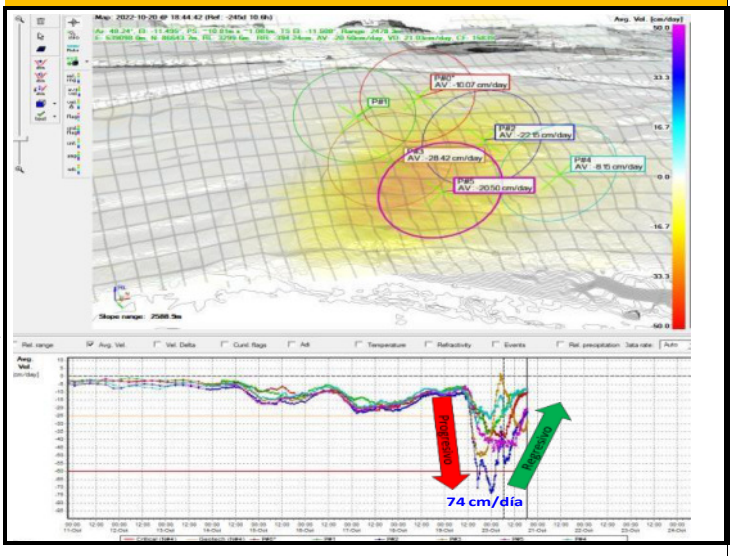
ZONA INTERMEDIA	Fecha	Hora	Vel. cm/d	Nivel	Tendencia/Movimiento
Movimiento critico 4	20-10-22	18:44	8.15	3284	Condición Transgresiva_Alerta 2
Movimiento crítico 5	20-10-22	18:44	20.50	3280	Condición Progresiva_Alerta 3

Características de Inestabilidad

Corona (nivel)	3370	Desarrollo de grietas, con chispeo de rocas.
Pie (nivel)	3265	
H_R *(m):*	105	
N° bancos	7	
Tipo Rotura	Cuñas / Planares	

Barreras de Seguridad adoptadas

1.La zona de asentamiento y agrietamiento se encuentra bloqueada con muro de Seguridad. Via del Ovalo 3370 a la rampa el bruno se encuentra
2.Se realiza el monitoreo permanente con el Radar 234, queda configurado para la emisión de alarmas para el geotecnista, O-1 y jefe mina de turno.



Comentarios y Recomendaciones

La zona continúa en estado de deformación, con ***Condición critica*** en la corona, cuerpo y base de la zona Inestable. Se restringe la via del ovalo 3370 al la rampa el Bruno y los ingresos a la base del D53.

Nota: El monitoreo con el radar geotécnico MSR234 detectó tendencias progresivas llegando a sobrepasar los 70 cm/día para el 20 de octubre del 2022.

Actualmente, en terreno, los ingresos hacia la base y la parte superior se encuentran cerrados; el proceso de deformación del talud se desarrolló con chispeos de rocas y asentamientos progresivos de la coronación. La zona se encuentra en condición metaestable con velocidades de desplazamiento que no superan los 2 cm/día y no se realizan trabajos de minado, ni voladura en la base del deslizamiento 53 (Figura 2).

Figura 2

Condición actual del D53

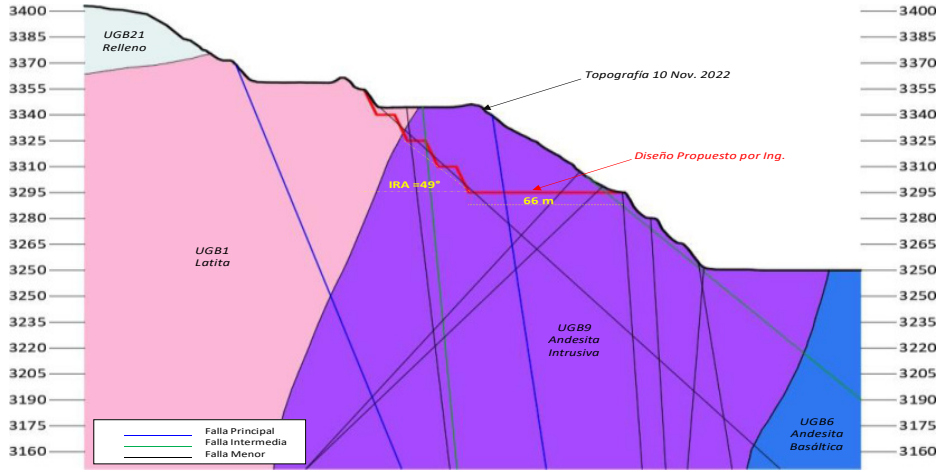


Nota: Elaboración propia.

Sin embargo, continuar con el minado de la Fase 7 hacia los bancos inferiores de la proyección del Deslizamiento 53 requiere su descarga y estabilización; por lo que, el desarrollo del presente trabajo de investigación, tiene como objetivo analizar y proponer una alternativa de diseño que asegure la estabilidad del sector. Para mayor entendimiento se presenta las 02 secciones geotécnicas basadas en el diseño de Ingeniería Mina, el detalle de cada uno se muestra a continuación en la Figura 3.

Figura 3

Sección A – A´, sector sur del D53

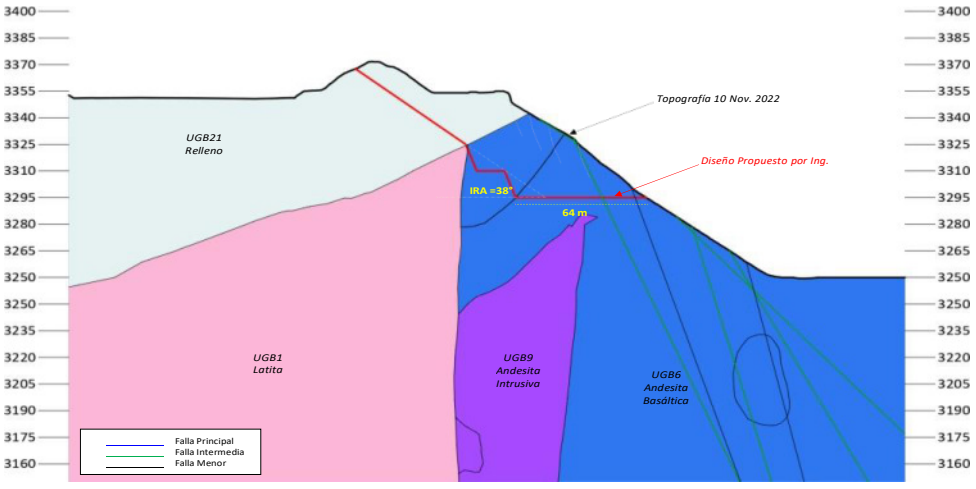


Nota: Elaborado por Geotecnia Mina.

La sección A-A´ del talud Sur de la zona inestable denominada Deslizamiento 53. En la Figura 3 podemos observar la topografía actual y el diseño (parámetros geométricos) propuesto por Ingeniería Mina, para la estabilización del deslizamiento 53. El diseño propuesto considera confirmar taludes con IRA=49°, en macizo regular al lado sur el detalle de la sección geotecnia que muestra en la Figura 5.

Figura 4

Sección B – B´, sector norte del D53



Nota: Elaborado por Geotecnia Mina.

En la Figura 4, se observa la sección B-B´ del talud Norte de la zona inestable denominada Deslizamiento 53, con la topografía actual y el diseño de Ingeniería Mina para la estabilización. En el diseño se considera conformar taludes con ira IRA=38° en la parte norte del D53. A continuación, se detalla el diseño propuesto por Ingeniería Mina que considera conformar taludes con IRA=38° en la parte norte del D53, en relleno y macizo de mala calidad, e IRA=49 en macizo regular al lado sur como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Vista en planta del diseño propuesto, IRAs y ejes de sección

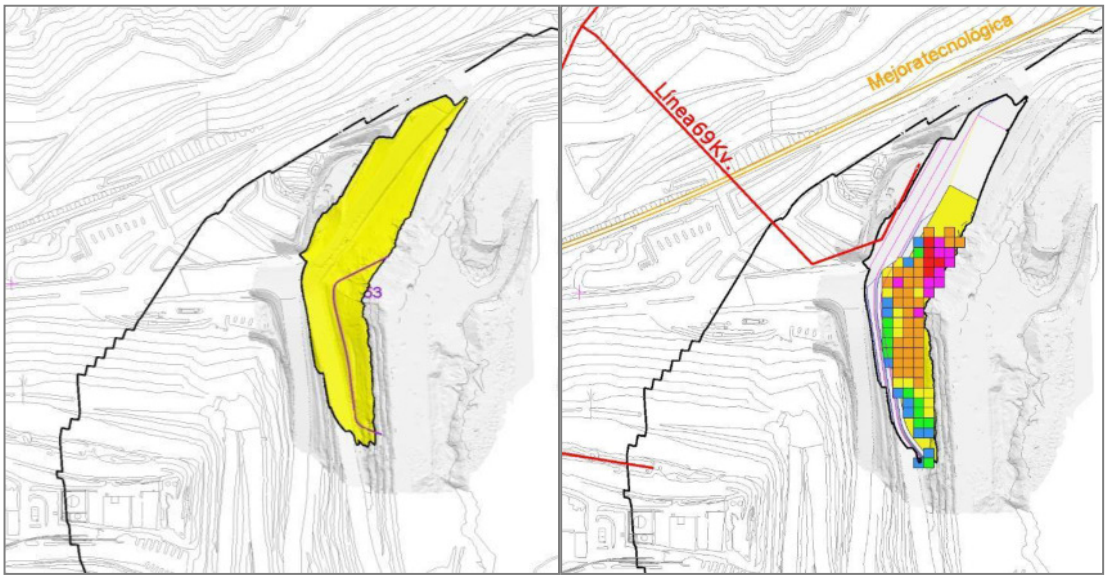


Nota: Elaborado por Ingeniería Mina.

El presente trabajo de investigación difiere a la alternativa de estabilización propuesto por Ingeniería Mina (Figura 5). Debido a que, si bien se hace énfasis en el beneficio por el material que se extraerá, no se está considerando los parámetros geomecánicos, la caracterización del macizo rocoso y tampoco el factor de perturbación por voladura de la zona inestable D53 del talud Noroeste de la fase 7.

Figura 6

Alternativa de minado presentada por ingeniería mina



Nota: Elaborado por Ingeniería Mina.

Como se observa en la Tabla 1, La alternativa de Ingeniería mueve 4 Mt y mina el acceso del óvalo 3370. Esta alternativa requiere de conformar una rampa de 60 m con 10% de pendiente. Adicionalmente, la alternativa de Ingeniería extrae 2.2 Mt de mineral con 0.596% Cu. Esta alternativa requiere de conformar una rampa de 60 m con 10% de pendiente y extrae 2.2 Mt de mineral con 0.596% Cu (Figura 6).

Tabla 1

Análisis de producción

Bench	MINERAL											LIXIVIABLE					DESM	TOTAL
	Tonnes	TCU	MO	WI	CUSAC	CUSCN	FE	FESAC	RECCU	Cu Fino	ISAC	Tonnes	TCU	CUSAC	CUSCN	ISAC	Tonnes	Tonnes
3385																	1,425	1,425
3370																	73,019	73,019
3355	35,183	0.38	0.01	11.7	0.043	0.16	2.11	0.188	80.90%	108	11%						525,148	560,330
3340	327,367	0.46	0.01	10.4	0.042	0.144	2.63	0.322	81.20%	1,224	9%	36,368	0.53	0.226	0.144	43%	729,808	1,093,543
3325	854,461	0.6	0.01	15.6	0.042	0.1	3.34	0.387	81.10%	4,122	7%	33,248	0.5	0.13	0.094	26%	372,949	1,260,658
3310	951,297	0.65	0.01	16.7	0.032	0.104	3.36	0.318	83.10%	5,160	5%	23,195	0.47	0.133	0.125	28%	37,501	1,011,992
Total	**2,168,308**	**0.6**	**0.01**	**15.2**	**0.038**	**0.11**	**3.22**	**0.344**	**82.00%**	**10,604**	**6%**	**92,810**	**0.5**	**0.168**	**0.121**	**33%**	**1,739,849**	**4,000,968**

Nota: Elaboración propia.

Los procesos mineros como tales siempre priorizan tanto la seguridad en la operación como la maximización de ganancias en el proceso productivo. Es así, que un peligro para la seguridad o para las ganancias en el proceso deben ser temas tocados de manera delicada y acertada. Por ello la necesidad del Análisis de estabilidad del talud Noroeste, al realizar el análisis incidirá en las causas y soluciones para este fenómeno de inestabilidad.

Ya que, mediante su interpretación, se podrá establecer una la alternativa de estabilización óptima para continuar con la operación y minado de niveles inferiores, logrando los objetivos y el beneficio de la producción. Por lo cual se plantea evaluar el diseño planteado adicionando los parámetros faltantes anteriormente mencionados, además incluyendo un análisis cinemático, este análisis se realizará usando el Software.

Adicionando información de las discontinuidades presentes en el sector noroeste de la fase 7, entre los niveles 3265 y 3370. El procesamiento de la información identificará el tipo de rotura de mayor impacto en los taludes a conformar, esta información se utilizará como dato de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad, dicho análisis de estabilidad se realizará por el método numérico de elementos finitos usando el Software Phase2.

Para determinar un IRA adecuado en el sector, también será necesario realizar un análisis de sensibilidad de la ocurrencia de roturas con respecto a la variación del IRA, para lo cual se empleará el criterio de aceptabilidad del “Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone – Rev. 1” realizado por la consultora SRK, el cual indica que el porcentaje de ocurrencia no debe superar el 25%.

Si bien, el presente trabajo de investigación se justifica partiendo del análisis estabilidad del talud Noroeste para determinar el factor de seguridad optimo del talud, con el fin de predecir su fallamiento conociendo el plano de rotura, de esta manera asegurar la continuidad de la operatividad y el trabajo seguro de la actividad extractiva en la Mina Cuajone. También se realizará el análisis de costo beneficio entre la alternativa presentada por Ingeniería Mina y la alternativa de estabilización que se obtenga como resultado del análisis de estabilidad que se desarrollará (incluyendo los parámetros faltantes).

Así, el análisis de estabilidad del talud Noroeste del Tajo Cuajone mediante el método numérico de elementos finitos, nos dará una idea de cómo debe ser tomada hoy en día la geotecnia moderna en el sector de la minería, por una parte, asegurando la estabilidad de un talud Noroeste del Tajo Cuajone y al mismo obteniendo soluciones que resulten en beneficio provechoso para la empresa minera.

Finalmente, la decisión de la aplicación del presente trabajo de investigación estará relacionado al aspecto económico, debido a que los costos estarán directamente relacionados al cálculo del movimiento de material a realizarse para asegurar la estabilidad del talud, el cual incurre a una alta inversión por los costos variables que demanda el combustible y equipos empleados en la unidad minera.

1.4.1. Propósito académico y utilidad social

El presente trabajo de investigación sirve para ampliar conocimientos en los estudiantes universitarios, profesionales e interesados. Que desean conocer, analizar y aplicar en el área de Geotecnia la estabilización de taludes con un enfoque centrado en la producción y beneficio económico, mediante el método numérico de elementos finitos, empleando para el análisis un software geotécnico.

Como sabemos los gastos económicos que originan los desprendimientos de rocas son más elevados que los gastos que se derivan del control de las consecuencias de la inestabilidad de un talud. Pero además de ello, adicionalmente aprovechar la estabilización del talud para minar la zona inestable, resulta doblemente beneficioso, para la empresa minera, tanto en el aspecto de producción como en seguridad.

1.4.2. Relevancia social

El desarrollo del presente análisis de estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos, permitirá tener una perspectiva diferente de la geotecnia, brindando una alternativa de estabilización de taludes innovadora en las diferentes unidades mineras, obras civiles entre otros. Para poder aprovechar al máximo los parámetros de diseño, obteniendo una zona de trabajo segura y además aprovechando la zona de mineral.

1.4.3. Técnica

En el desarrollo de la presente investigación se aplicará las técnicas de recopilación de información bibliográfica, como libros de estabilidad de taludes, libros de geotecnia, tesis relacionadas al estudio del análisis de estabilidad de taludes, diseño de estabilidad, estudios relacionados a la aplicación del método numérico por elementos finitos, informes de ensayos realizados en el área, mapas geológicos, etc.

Ejecución de trabajos en campo para obtener la topografía a detalle de la zona inestable. Recopilación de la información, tomando en campo muestras de material, además de información recolectada por medio de la observación del talud. Ensayos de laboratorio, los cuales permitirán obtener las características físico-mecánicas del material y poder caracterizarlo. Interpretación de resultados en base a los datos obtenidos, para lo cual se empleará software de diseño y geotécnicos.

1.4.4. Económica

En la estabilización de taludes, para obtener parámetros geométricos de diseño que nos proporcionen una zona de trabajo estable y segura, reduciendo los gastos económicos que originan los deslizamientos de rocas, ya que son más elevados que los gastos que se derivan del control de las consecuencias de la inestabilidad de un talud. Obteniendo un beneficio económico adicional al realizar el análisis de estabilidad de talud.

1.4.5. Utilidad metodológica

El análisis de estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos, ayudara a obtener los parámetros geométricos de diseño de talud final más viables y óptimos, obtenidos gracias al factor de seguridad, constituye una alternativa de ingeniería y expresa una mejora continua para el proceso de elección de alternativas de estabilización de taludes.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

El análisis de estabilidad mediante el método de elementos finitos empleando el Software Phase2 permitirá calcular el factor de seguridad para estabilizar el talud Noroeste de la Mina Cuajone.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Con la realización del análisis cinemático se identificará las familias de discontinuidades presentes en el talud Noroeste de la Mina Cuajone.
- La determinación del factor de seguridad optimo garantizará la estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone.
- La determinación del diseño de talud final garantizara la estabilidad del talud y al mismo tiempo se aprovechará los recursos minerales, lo cual asegurará el costo beneficio que demande la ejecución del diseño.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

Método de Elementos Finitos.

Indicadores

- FS > 1.3 Talud Estable
- FS < 1.3 Talud Inestable (Probabilidad de deslizamientos)

1.6.2. Variable dependiente

Estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone.

Indicadores

- Parámetros geológicos
- Parámetros geotécnicos
- Parámetros geométricos

Tonelaje de material extraído (relación del plan de minado de acuerdo con la zona inestable).

Tabla 2

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
VARIABLE INDEPENDIENTE Método de Elementos Finitos.	El método de elementos finitos en sí, consiste en dividir las paredes del talud en mallas de elementos triangulares o rectangulares. Las esquinas o nodos de estos elementos son conectados en forma similar al desplazamiento que ocurrirá. Se asume que cada elemento es homogéneo. Con ayuda de programas de. cómputo, se calcula los desplazamientos en 2 direcciones.	Factor de Seguridad "FS" estático y pseudoestatico	FS > 1.3 Talud Estable FS < 1.3 Talud Inestable (Probabilidad de deslizamientos)	Software Phase2 Software Dips
VARIABLE DEPENDIENTE Estabilidad del talud Noroeste de Mina Cuajone.	La estabilidad de taludes queda determinada por el factor de seguridad, el cual puede obtenerse mediante métodos numéricos o métodos de equilibrio límite	Caracterización del macizo rocoso Parámetros de diseño de talud final Producción del plan de minado	Parámetros geologicos-geotecnicos Parámetros geométricos Tonelaje de material extraído (relación del plan de minado de acuerdo con la zona inestable).	software Slide

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES – UNIDAD MINERA CUAJONE

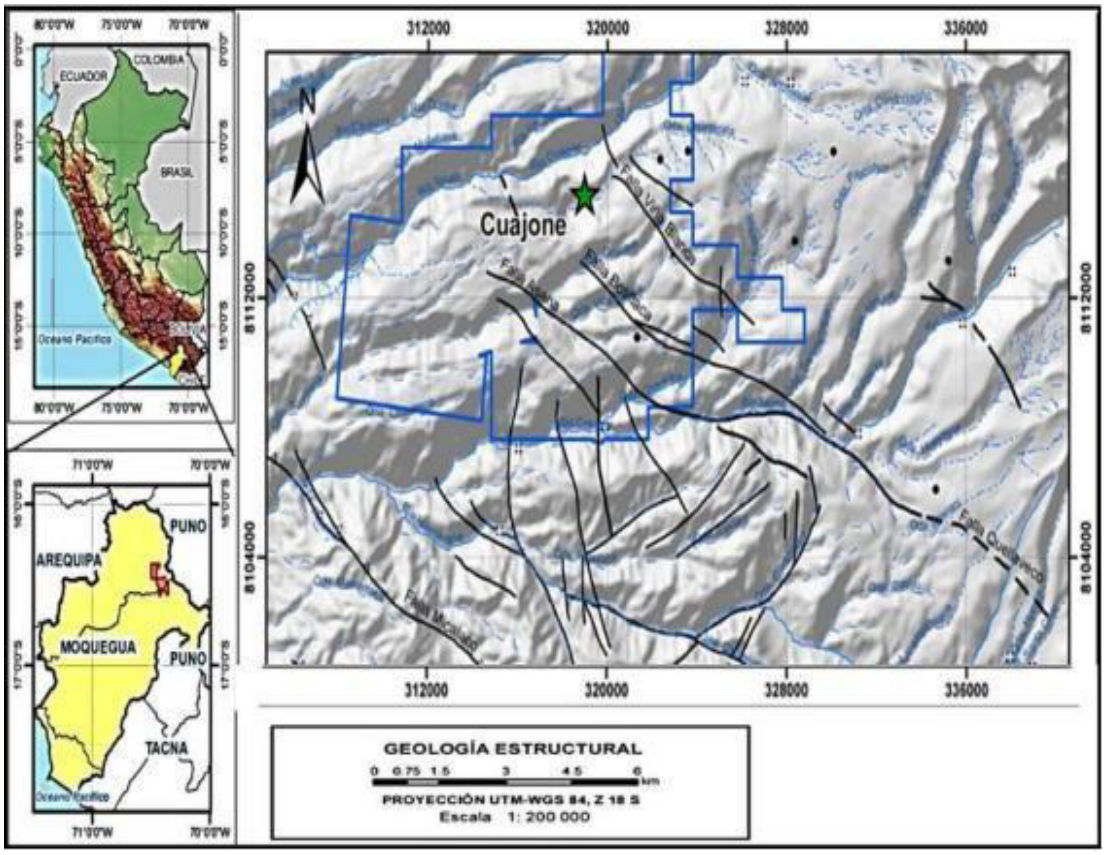
2.1.1. Aspectos generales

2.1.1.1. Ubicación

La Mina Cuajone es un yacimiento tipo pórfido de cobre, que se encuentra ubicada al sur del Perú en el flanco andino de la Cordillera Oriental de los Andes peruanos entre los 2,950 y 3880 msnm.; aproximadamente a 42 km. al noreste de la ciudad de Moquegua, distrito de Torata y provincia de Mariscal Nieto (Figura 7).

Figura 7

Ubicación geográfica de la unidad minera Cuajone

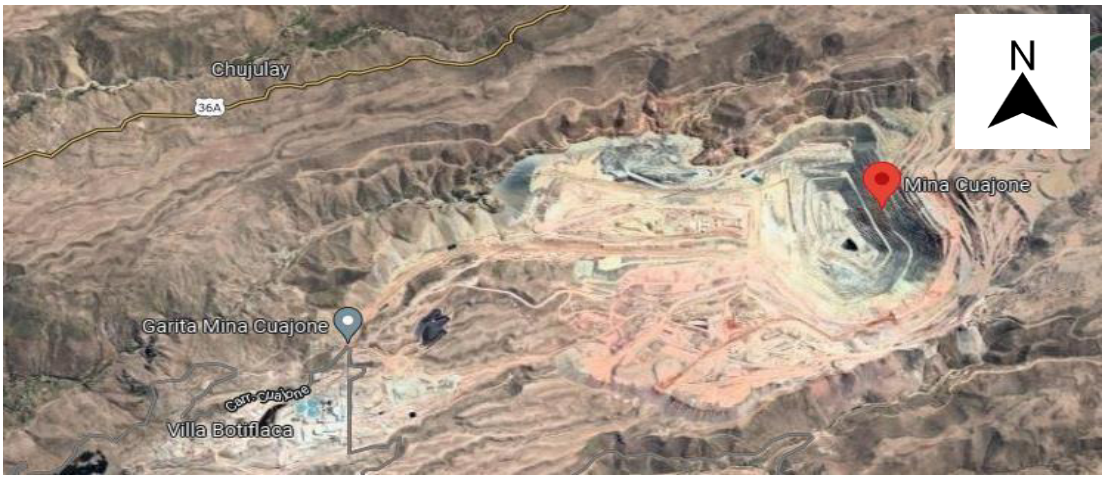


Nota: Caracterización petrominera del yacimiento minero de Cuajone. INGEMMET (Gagliuffi y Vera, 2018)

Políticamente está ubicada en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua. El Tajo en explotación se encuentra emplazado en la ladera Sur de la Quebrada Torata y cortada en la parte central por la quebrada Chuntacala con una dirección E-O.

Figura 8

Ubicación Tajo Cuajone



Nota: Vista general del aérea del área de estudio en el Tajo Cuajone.

Belllido (1979) manifiesta que el área de la unidad minera Cuajone está representada por las coordenadas UTM presentadas en la Tabla 3. Zona 19, Banda K (Datum WGS-84) las cuales pertenecen a la carta Topográfica Nacional 35-u correspondientes al Cuadrángulo de Moquegua (Figura 8).

Tabla 3

Coordenadas UTM WGS84

ESTE	NORTE
317685	8 117350
319515	8 115815

Nota: INGEMET (2018).

2.1.1.2. Accesibilidad

La ciudad de Moquegua cuenta con un pequeño aeropuerto al que no llegan aviones comerciales por lo que se puede acceder desde la ciudad de Lima vía aérea a las ciudades de Arequipa y Tacna y desde allí por carretera a la ciudad de Moquegua (Tabla 4). La accesibilidad a Moquegua por vía terrestre se da de la siguiente manera:

Tabla 4

Distancias y vías de acceso.

Ruta	Distancia (Km)	Tiempo (Auto)	Vía
Moquegua – Desv. Torata	25	20 min	Interoceánica Sur
Desv. Torata – Villa Botiflaca	20	20 min	Carretera Cuajone

Nota: Distancias y vías de acceso desde el departamento de Moquegua hasta el Campamento Cuajone. Concha (2015).

2.1.1.3. Clima

SRK Consulting (2014) manifiesta que el clima de la zona corresponde al tipo semiárido frío, caracterizado por una temperatura media anual constante de 10º C, alcanzándose valores extremos en el mes de julio con temperaturas que van desde los -7º C por la noche y 29º C durante el día. La precipitación media anual basado en registros de datos que comprenden el período 1956-2010 según la estación meteorológica de Mina Cuajone, es de 128,6 mm.

Respecto a las velocidades del viento en la Mina Cuajone, se tienen medias mensuales que varían entre 1,6 a 2,4 m/s, con vientos predominantes provenientes del oeste. La humedad relativa posee un carácter estacional, muy relacionado a la precipitación, siendo la humedad mayor durante los meses de verano y menor en los meses de invierno, encontrándose valores extremos que van de 0% a 100%.

2.1.1.4. Sismicidad

En el estudio de peligro sísmico elaborado por SRK Consulting (2015) para la Mina Cuajone, se realizó un análisis de las condiciones sismotectónicas del sur del

Perú, y se hizo una estimación de la longitud de ruptura en función de los daños ocasionados por terremotos históricos, para lo cual realizaron una recopilación de información, y así caracterizar principalmente el proceso de subducción en esa parte del país.

También se generaron catálogos sísmicos para determinar la tasa de ocurrencia sísmica en rangos de magnitudes Mw entre 5 y 7,5 y magnitudes mayores de 7,5. Finalmente se realiza un análisis probabilístico de ocurrencia de sismos bajo una distribución de Poisson, donde los tiempos entre eventos se distribuyen en forma exponencial, y la distribución paramétrica de Weibull, donde la función de peligro depende exponencialmente del tiempo.

2.2. GEOLOGÍA LOCAL

Litológicamente las rocas volcánicas son las que predominan, teniendo una edad que varía desde el cretáceo superior al plioceno, según el informe interno de SPCC (2015) se clasifican en:

2.2.1. Rocas preliminares

Localmente, se les ha denominado como rocas pre-minerales a las rocas constituidas por rocas pertenecientes al Grupo Toquepala, a las que se les asigna una edad cretáceo superior – paleoceno entre 80 y 60 Ma. De antigüedad, dentro de ellas se tiene: Andesita Basáltica, Riolita Porfirítica, Dolerita Toquepala, Ocurrencia de otras Rocas Intrusivas (Diorita, Latita Porfirítica, Brechas Post – minerales, Diques).

2.2.2. Rocas postminerales

También se tiene rocas post minerales que están conformadas por:

2.2.2.1. Formación Huaylillas (Ts-vhu)

Aflora principalmente en la ladera Sureste de la Quebrada Chuntacala y en la ladera Norte del Río Torata. Está constituido por una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófiros, traquitas y aglomerados Presenta potencias de hasta 230 m. en los alrededores de la Mina, sobreyace discordantemente a las rocas del Grupo Toquepala e Intrusivos.

2.2.2.2. Formación Chuntacala (Ts-ch)

Entre los actuales valles de Chuntacala y Torata, aproximadamente a 400 m. al Norte de la quebrada Chuntacala, se depositó una secuencia de volcánicos que localmente se le ha denominado la Formación Chuntacala a la cual le han asignado una edad entre 9 y 14 MA - Mioceno. Las disconformidades que existen dentro de la Formación Chuntacala de acuerdo al informe interno de SPCC (2015) en donde indicaban que hubo en el área de la mina levantamientos episódicos.

2.2.2.3. Geología Estructural Local

Las estructuras medianas se encuentran con ocurrencia a nivel de Mina Cuajone, que va desde los 15 m hasta 1 km. Involucran un determinado número de bancos, como es el caso de la falla Mayor Sur y al Falla Cuajone (Figura 8). Son estas estructuras que a nivel de Tajo ocasionan problemas de estabilidad de taludes, llegando a formar un tipo de ruptura que puede ser tipo planar, cuña y toppling por fallas.

a) Falla Mayor Sur

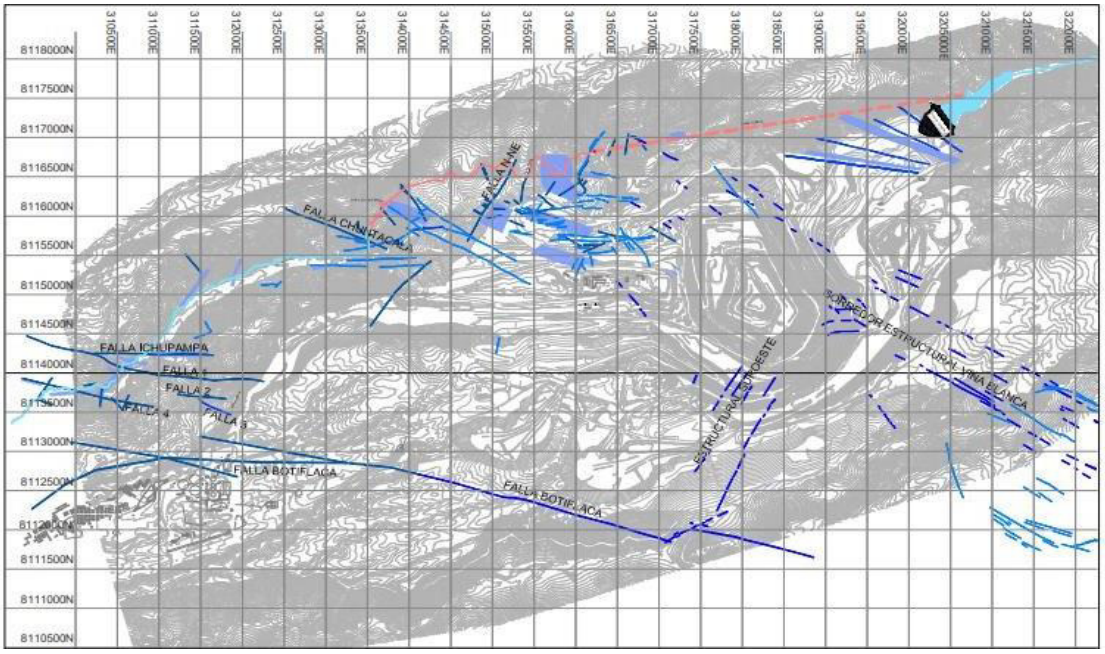
La falla más importante que aflora cortando a la Mina ha sido denominada como Falla Mayor Sur, ésta se presenta como una estructura que tiene varios ramales que se bifurcan y se unen indistintamente con un azimut preferencial de 212°, buzamiento que oscila entre los 45-55° SO aproximadamente y aflora en una longitud de 950 m. con un ancho que varía hasta los 25m.

b) Falla Cuajone

Esta falla aflora cortando al Tajo con un azimut de 335° con un buzamiento sub-vertical, presentando un ancho entre los 10-12 m. Esta falla es el principal control estructural de la mineralización en Cuajone. Posiblemente tiene continuidad al lado Noroeste, en la actualidad se están realizando mapeos para poder identificarla con mayor precisión y a la vez poder interpretar su rol en el proceso de mineralización, tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Plano estructural local del Tajo Cuajone



Nota: Elaborado por Geotecnia Mina.

2.3. ALTERACIONES

Todos los cambios en la mineralogía, química, o en la composición textural de las rocas llevada a cabo por factores físicos o químicos esencialmente por soluciones hidrotermales, producen la Alteración Hidrotermal (Figura 9). Los cambios en las paredes pueden ser físicos o químicos y se traducen en Remplazamientos o Recristalización de minerales. Incremento de agua, carbón dióxido u otros componentes minerales, remoción de componentes químicos.

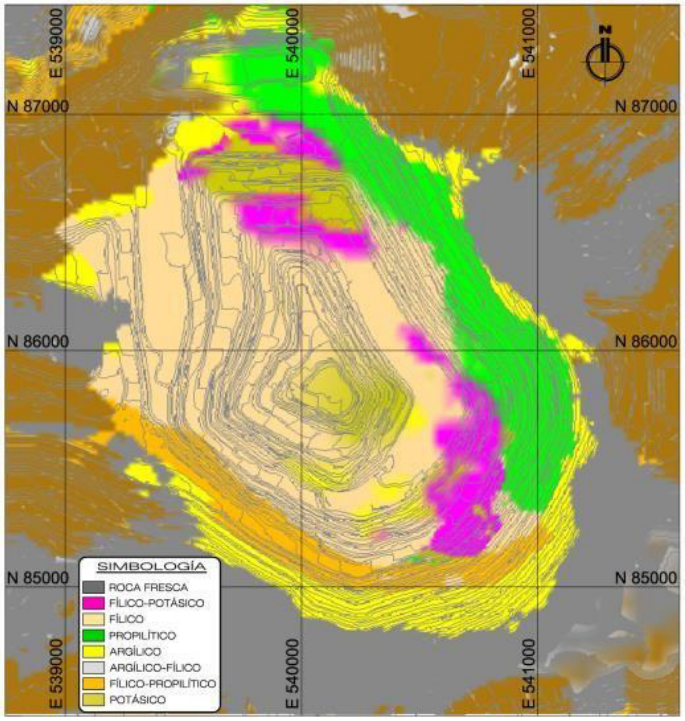
2.3.1. Alteración potásica

Se la ha reconocido superficialmente por el minado del Tajo en el sector NO del cuerpo mineralizado y en el fondo del actual Pit. También ha sido reconocido por taladros diamantinos en profundidad. En la Andesita basáltica se caracteriza por la sobreimposición masiva de biotitas secundarias muy finas, con magnetita, clorita y

ocasionalmente anhidrita. En La Latita Porfirítica, se le ha podido determinar en profundidad en forma de venillas que contienen feldespato potásico (Figura 10).

Figura 10

Plano de las alteraciones presentes en el Tajo Cuajone



Nota: Topografía año 2013 (proporcionado por SPCC).

2.3.2. Alteración propílica

Se encuentra mayormente en los márgenes del cuerpo mineralizado y abarca aproximadamente 4 Km de extensión radialmente. La asociación que presenta es epídota, calcita, pirita y clorita que ocurren principalmente en la Andesita y en la Riolita Porfirítica El ratio Py/Chpy se incrementa mientras más distantes nos encontramos del cuerpo mineralizado.

2.3.3. Alteración fílica

Resulta de un proceso retrógrado en el que las soluciones hidrotermales comienzan a enfriarse entre los 500 y 100 ° C. Viene a ser la lixiviación del sodio, calcio y magnesio y el desarrollo de un metasomatismo potásico. La asociación característica es cuarzo, sericita y pirita y como accesorios se tiene a la clorita, illita y

biotita secundaria. La ocurrencia en Cuajone de este tipo de alteración se presenta principalmente en la Latita Porfirítica y en la Riolita Porfirítica.

2.3.4. Alteración fílica-potásica

Determinada mayormente por taladros diamantinos, resulta de una sobreimposición de la alteración fílica sobre la alteración potásica. Los principales constituyentes vienen a ser la sericita y el cuarzo, se presentan mayormente en venillas y en las cercanías de fracturas, la biotita de grano muy fino secundaria, magnetita y ocasional anhidrita.

2.3.5. Alteración propílica fílica

Determinada mayormente por taladros diamantinos, resulta de una sobreimposición de la alteración fílica sobre la alteración potásica. Los principales constituyentes vienen a ser la sericita y el cuarzo, se presentan mayormente en venillas y en las cercanías de fracturas, la biotita de grano muy fino secundaria, magnetita y ocasional anhidrita.

2.3.6. Alteración argílica fílica

La asociación es silice, sericita, caolinita, como accesorio clorita, producto de una alteración tardía ha sido determinado mayormente en la Andesita Basaltica 1 en la parte alta y en profundidad en contacto con la Andesita Basaltica 2.

2.4. MINERALIZACIÓN

2.4.1. Mineralización de cobre

El cuerpo mineralizado de cobre de Cuajone (> 0.40 % de Cu) presenta una mineralización regular, homogénea y tiene una mineralogía simple. Abarca una extensión de aproximadamente 2,300 m. de longitud por 900 m. de ancho, elongado con una dirección Noroeste Sureste. Presenta un cuerpo de baja ley en el sector Noroeste central de 550 por 850 m. y otro cuerpo en el sector Sureste central de 200 por 300 m (Figura 11).

2.4.2. Zona lixiviada.

El origen de la zona lixiviada sobre el depósito se debe a que el cobre entró en solución por medio del ácido sulfúrico de baja concentración que se formó por la

reacción del agua de lluvia con la pirita. Ocurre inmediatamente debajo de los volcánicos postminerales en espesores que varían desde pocos metros en la Andesita Basáltica del sector Norte del Tajo hasta 120 m en el sector Sur de la Mina en la Riolita Porfirítica.

2.4.3. Zona de óxidos.

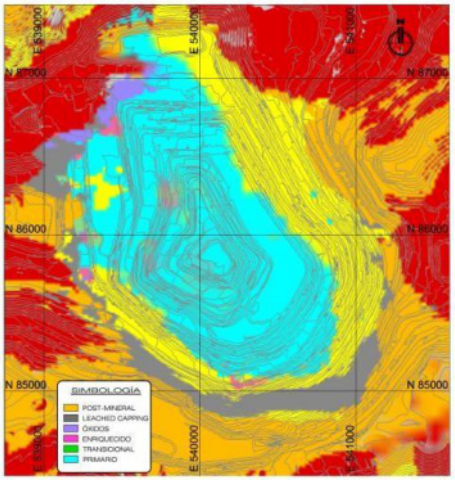
La zona de óxidos en Cuajone está prácticamente minada, quedando únicamente algunos remanentes pequeños en el sector Norte y Sureste del Tajo (Figura 10). Los principales minerales que se presentan en la zona de óxidos son la Crisocola, Malaquita, Chalcantita, Brocantita, Cuprita, Cu nativo y Tenorita; cuya ocurrencia se concentra principalmente en fallas y fracturas y en menor proporción en forma diseminada. (Zona Enriquecida, Zona Transicional y Zona Primaria).

2.4.4. Mineralización de molibdeno.

La ley promedio de Molibdeno para el yacimiento es 0.020 % y ocurre como un sulfuro de molibdenita ya sea en forma cristalizada en venillas de cuarzo, en forma de pátinas en las fracturas de las rocas y finamente diseminado visible al microscopio. El molibdeno no tiene un zoneamiento de óxidos, enriquecidos transicional y primario tal como ocurre con el cobre, lo cual se explica por el comportamiento diferente entre el Cu y el Mo.

Figura 11

Plano de las zonas minerales presentes en Tajo Cuajone



Nota: Topografía año 2013 (proporcionado por SPCC).

2.5. HIDROGEOLOGÍA

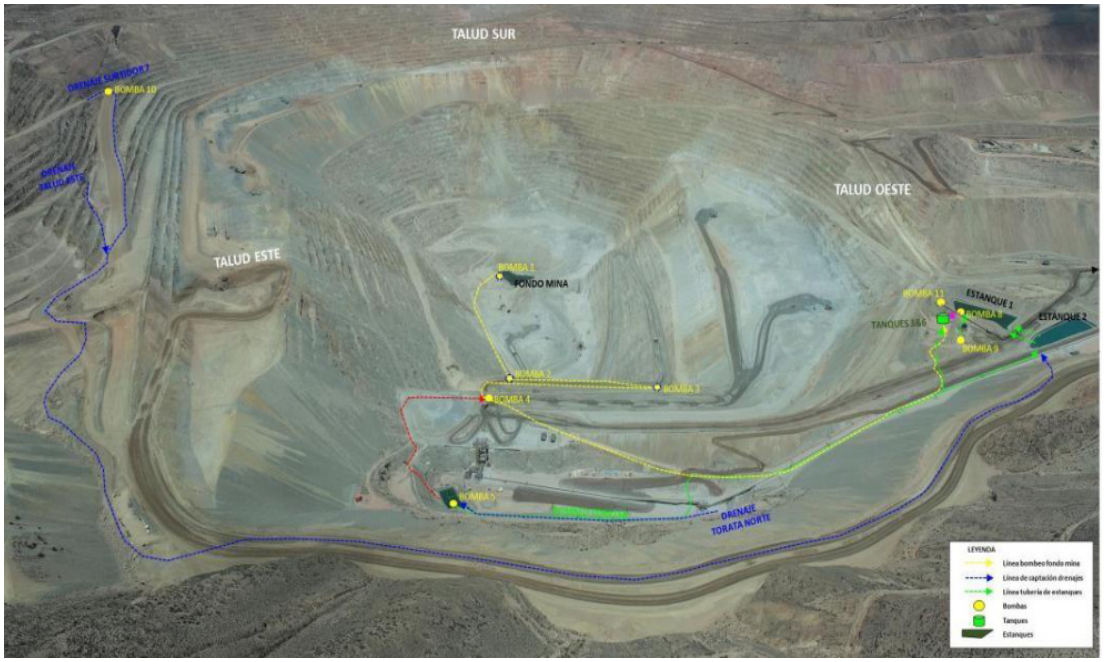
2.5.1. Sistema de drenaje

Barrios (2022) manifiesta que las aguas que afloran en el interior del Tajo son producto de la infiltración natural, ocasionado por las lluvias de temporada y se recargan por gravedad hacia el fondo de Mina. Por ello estos afloramientos de agua provenientes de paleo-valles y escorrentías pluviales son captadas en los taludes del Tajo, el fondo de Mina y sumideros con la finalidad de despresurizar y reducir el nivel freático en los taludes, tal como se muestra en la Figura 12.

Los afloramientos de agua dentro del Tajo Cuajone son captados y drenados con la finalidad de evitar inestabilidades de los taludes de gran altura y evitar desprendimientos de rocas. El afloramiento total de agua en época de estiaje es de 4 a 5 litros por segundo y en época de lluvias es de 6 a 8 litros por segundo. En la Figura 16 se observa el Sistema de drenaje el cual constituye el Talud Este, Surtidor 7 y Toratan. Líneas discontinuas representan al tendido de tubería HDPE.

Figura 12

Sistema de drenajes del Tajo Cuajone



Nota: Talud Este, Surtidor 7 y Toratan. Elaborado por Geotecnia Mina.

2.6. MODELO GEOMECÁNICO

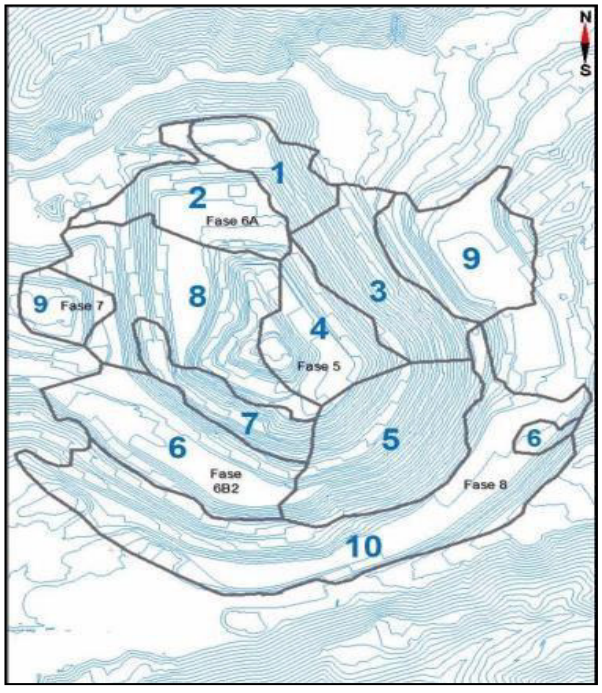
Es de vital importancia en toda operación identificar zonas con similar comportamiento para relacionarlo con posibles zonas inestables, diseños y planes de minado a corto, mediano y largo plazo; así como también para posibles aplicaciones en voladura. Por eso es importante contar con una base de datos confiable donde se incluya las fallas mayores, discontinuidades, zonas de cizallamiento por tectonismo, que son observados en las caras de banco.

2.6.1. Dominios estructurales

La Figura 12 muestra los dominios estructurales actualizados a diciembre 2017 por SRK Consulting (2016), en el cual se determina que el criterio de división del macizo rocoso está enfocado en conseguir volúmenes del macizo en que las propiedades de las rocas puedan considerarse como esencialmente constantes, para lo cual se seleccionaron las siguientes propiedades provenientes de la caracterización geológica-estructural y geotécnica. Se cuenta con 10 dominios estructurales en el Tajo Cuajone, tal como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Dominios estructurales del Tajo Cuajone



Nota: Elaborado por Geotecnia Mina.

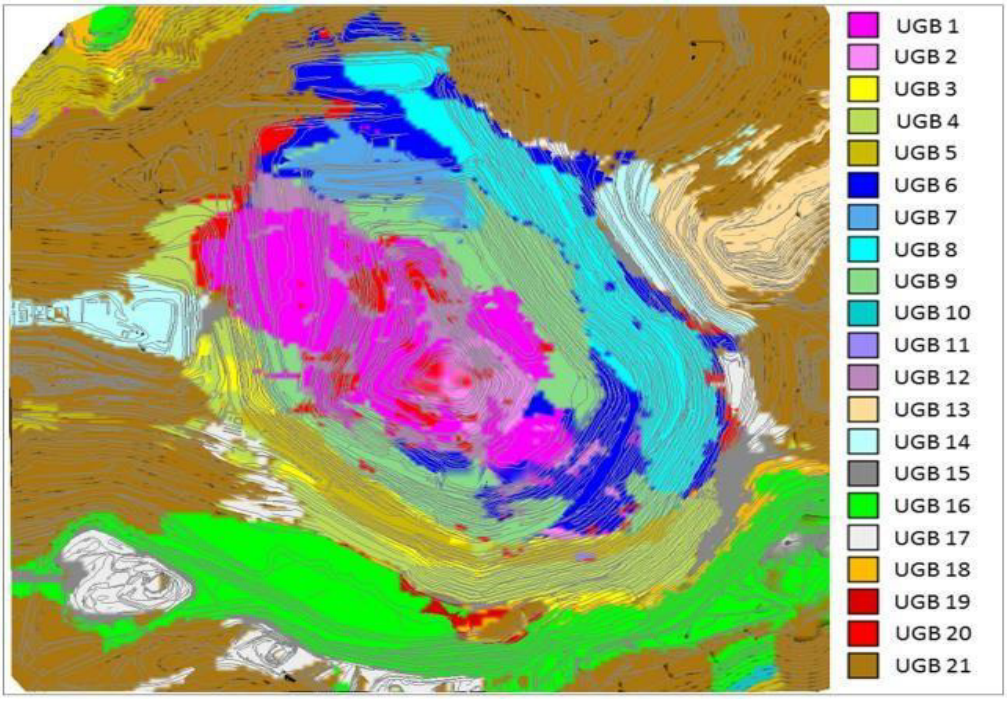
2.6.2. Unidades geotécnicas básicas

La definición de las unidades geotécnicas básicas (UGB), la estimación de las propiedades de resistencia y deformación de las distintas unidades geotécnicas presentes en el Tajo Cuajone, se determinaron de acuerdo a la información geológica y geotécnica disponible y a la información de ensayos de laboratorio de muestras provenientes de los sondajes geotécnicos pertenecientes a campañas ejecutadas durante los años 2001 al 2013.

Por lo tanto, las UGB están definidas por aquellas características que influyen en el macizo rocoso y que al mismo tiempo pueden ser registradas en los mapeos geológicos-geotécnicos de sondajes. Especialmente: litología, alteración y zona mineral. Están basados en la definición recomendada por Flores & Karzulovic (2003). Cada unidad de litología-alteración-zona mineral presenta una composición y características texturales propias, y por lo tanto un comportamiento geomecánico diferente.

Figura 14

Distribución de las distintas UGBs presentes en Tajo Cuajone



Nota: Topografía del año 2014. Elaborado por Geotecnia Mina

El análisis de estabilidad de taludes requiere la definición de UGBs; esto es, los sectores donde el macizo rocoso tiene y/o tendrá un comportamiento característico, el cual se expresa por los valores asignados. Cada unidad de lito-alteración–zona mineral, presenta una composición y características texturales propias; y por lo tanto, un comportamiento geomecánico particular del análisis de los modelos geológicos, se definieron 21 UGBs las que se resumen en Figura 14.

2.6.3. Modelo geotécnico de bloques

Se generó un modelo geotécnico de bloques correspondiente a las unidades geotécnicas básicas, al índice RQD, al sistema de clasificación RMRB'89, GSI y de Dureza en términos de la resistencia en compresión uniaxial (UCS). Está basado en: la información geológica y geotécnica disponible y de la información de ensayos de laboratorio de muestras provenientes de sondajes diamantinos de las campañas anteriores.

2.6.4. Modelo de RQD – rock quality designation

El RQD es el porcentaje de trozos de testigos intactos y sólidos, con longitudes mayores que 10 cm, en un tramo de perforación (Deere, 1963). Los trozos de testigos con meteorización grado IV (altamente meteorizado), V (completamente meteorizado) y VI (suelo residual) de acuerdo con la clasificación de meteorización del ISRM (ISRM, 1978) no son considerados para la obtención del RQD (Deere & Deere, 1988).

Tabla 5 *Clases de RQD modeladas en el Tajo Cuajone*

Clase	RQD (%)	Color	Descripción
A	91 - 100	Azul	Macizo de muy buena calidad
B	76 – 90	Verde	Macizo de buena calidad
C	51 – 75	Amarillo	Macizo de moderada calidad
D	26 – 50	Rojo	Macizo de mala calidad
E	0 - 25	Guinda	Macizo de muy mala calidad

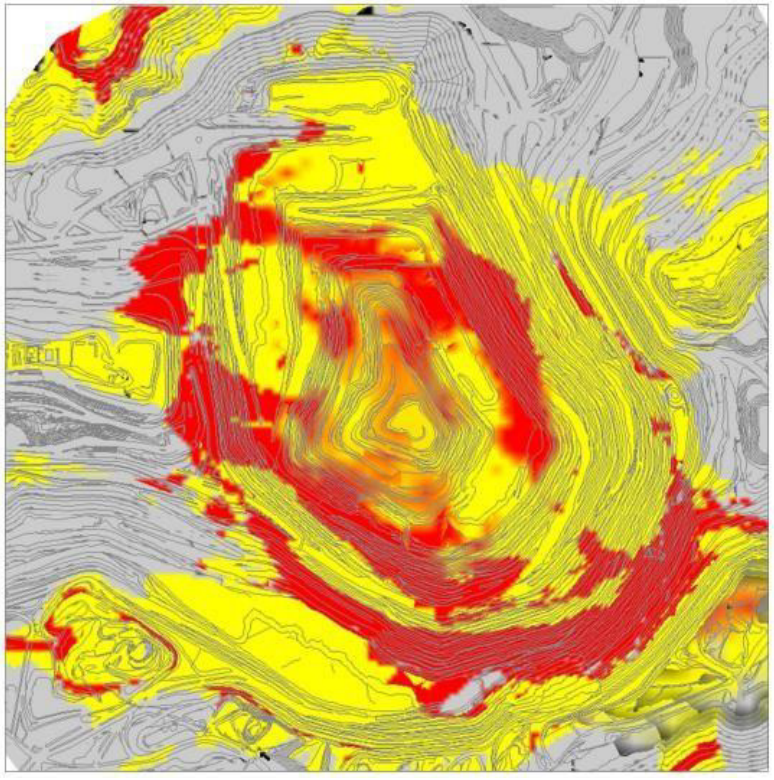
Nota: Clases para modelar el parámetro con sus respectivos colores y descripción de la calidad. Proporcionado por Geotecnia Mina.

Por lo tanto, los testigos que están intensamente meteorizados deben recibir una calificación de RQD de cero (Bieniawski, 1974). También los trozos que contengan numerosos poros o que sean friables (o una combinación de estas características), no deben ser incluidos en la determinación del RQD (ASTM, 2003).

Considerando los puntos anteriores, la base de datos de los sondajes, fue corregida; de tal manera, que los tramos desde altamente meteorizados/alterados, hasta suelo residual, fueron considerados como un RQD=0. En la Tabla 4 se indican las clases consideradas para modelar el parámetro con sus respectivos colores y descripción de la calidad según este parámetro. La Figura 15, muestra la "intersección" del Modelo respecto de la topografía del Tajo.

Figura 15

Representación del modelo de bloques del índice RQD del Tajo Cuajone



Nota: Representación del modelo de bloques del índice RQD en la superficie del Tajo Cuajone. Proporcionado por Geotecnia Mina.

2.6.5. Modelo de RMR – rock mass rating

Para clasificar el macizo rocoso mediante el Sistema RMR (Rock Mass Rating), el macizo rocoso se agrupó en unidades geotécnicas básicas (UGBs), con propiedades similares de roca intacta y discontinuidades. Luego cada UGB fue modelada por su resistencia de roca intacta (IRS), el RQD, espaciamiento (inverso del FF) y las condiciones de las discontinuidades.

La condición hídrica fue considerada como seca. Cada uno de estos parámetros otorga un puntaje y la suma de estos puntajes entrega el RMR básico. Se construyeron los histogramas relativos al parámetro RMRB'89 por cada UGB de acuerdo a la distribución de la litología, alteración y zona mineral, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Clases de RMR básico modeladas en el Tajo Cuajone.

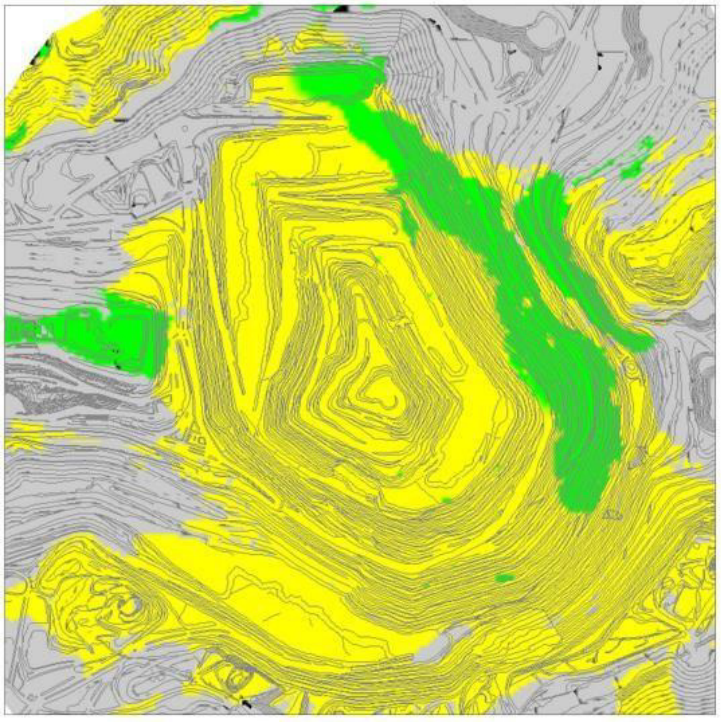
Clase	RMR (%)	Color	Descripción
I	81 - 100	Azul	Macizo de muy buena calidad
II	61 – 80	Verde	Macizo de buena calidad
III	41 – 65	Amarillo	Macizo de regulada calidad
IV	21 – 40	Rojo	Macizo de mala calidad
V	0 - 20	Café	Macizo de muy mala calidad

Nota: Clases de RMR básico (Bieniawski, 1989). Proporcionado por Geotecnia Mina.

En la Tabla 5, se indican las clases consideradas para modelar el parámetro, con sus respectivos colores y descripción de la calidad respectiva. La Figura 16, muestra la representación del modelo de bloques RMRb, así como la "intersección" del modelo respecto de la topografía del Tajo Cuajone.

Figura 16

Representación del modelo de bloques del RMRb del Tajo Cuajone



Nota: Representación del modelo de bloques del RMRb (Bieniawski, 1989).

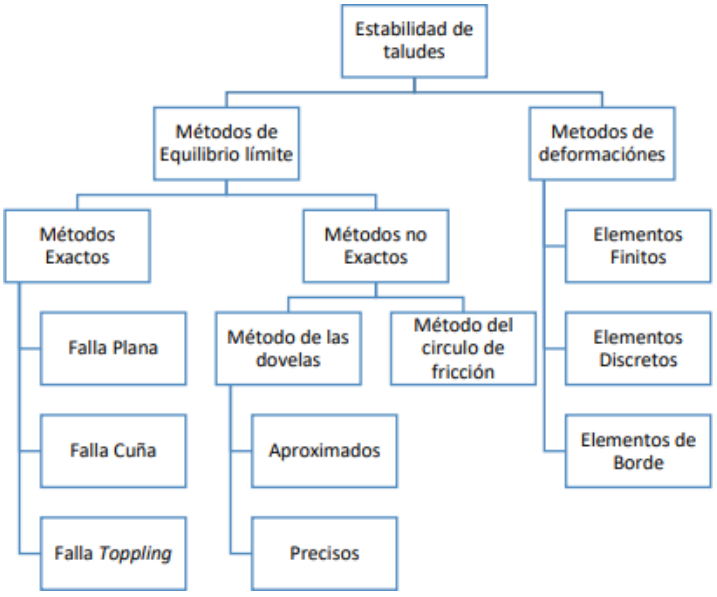
2.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Según Suarez (2009) desde el punto de vista determinístico existen dos métodos para el análisis de estabilidad de taludes, primero tenemos al Método de Equilibrio límite (MEL) y segundo al método de Análisis numérico o Método de elementos finitos (MEF), los cuales pueden realizarse con: Tablas o ábacos, Cálculos manuales, y Softwares. Sin embargo, en método de elementos finitos es el que más se asemeja a la realidad y resultados exactos, tal como se muestra en la Figura 17.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de aplicaciones numéricas disponibles en la actualidad, es esencial que el ingeniero entienda las fortalezas y limitaciones inherentes a cada metodología, como lo es el caso de introducir datos en el software geotécnico para lo cual se debe ser cuidadoso. Existen una gran cantidad de herramientas informáticas para el análisis de estabilidad de taludes.

Figura 17

Métodos de cálculo de la estabilidad de taludes



Nota: Métodos de cálculo de la estabilidad de taludes. Jaime (2009).

2.7.1. Método de deformaciones

A diferencia de un análisis de estabilidad por equilibrio límite, el análisis tensión-deformación no se basa solo en la estática, también se enfoca en estudiar los esfuerzos deslizantes versus los esfuerzos cortantes, por el contrario, le da importancia a los parámetros de deformación del macizo rocoso tal cual lo define Vallejo (2004).

El comportamiento tensión-deformación o esfuerzo-deformación de un cuerpo viene definido por la relación entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas y hace referencia a como se va deformando y como va variando el comportamiento del material rocoso a lo largo de la aplicación de la carga, o, dicho de otro modo, como varia la resistencia del material para determinados niveles de deformaciones.

A partir de un análisis tensión-deformación es posible encontrar el comportamiento del material antes de llegar a la rotura, posteriormente determinar la superficie de falla y también el comportamiento después de la rotura de manera de calcular posibles desplazamientos. Se utiliza la aplicación de modelos numéricos para

la resolución de las ecuaciones de elasticidad o plasticidad, donde da como resultado las tensiones, deformaciones y desplazamientos

Que se van generando en todo el modelo analizado, comparando el estado de equilibrio del talud con la magnitud de los desplazamientos ocurridos en el material. Este tipo de análisis se concentra en el estudio de taludes compuestos por material con baja consolidación, principalmente macizos rocosos intensamente poco competentes donde no existan planos de discontinuidad que puedan alterar la naturaleza continua del macizo, y así generar un bloque preferencial de rotura.

El método de deformaciones tiene un campo de aplicación sobre todo en el análisis de taludes rocosos de profundidad importante donde pueden producirse tensiones elevadas, plastificaciones y deformaciones importantes. El método de deformaciones a su vez se divide en tres métodos: Elementos finitos, elementos discretos y elementos de borde. Para el presente trabajo de investigación emplearemos el método de elementos finitos.

Modelamiento numérico

El modelamiento numérico determina principalmente esfuerzos, deformaciones y stress factor, a través de cálculos numéricos, con base en una teoría ya observada o estudiada. Su metodología fundamental se basa en la discretización de elementos, la cual consiste en dividir en pequeños fragmentos un elemento, ya sea de dominio continuo o de borde, y a cada uno de estos fragmentos asignarle las propiedades físicas del cuerpo al cual constituye.

Para así poder ver su comportamiento en forma particular y luego extrapolarlo a un comportamiento general con cada una de las fracciones discretizadas. Si bien el modelamiento numérico es una herramienta de análisis potente, requiere de una gran fuente de información para poder ser desarrollado al igual que un diseño acorde al caso de estudio.

Dicho método requiere los siguientes parámetros de entrada:

- Geometría. (2D Y 3D)
- Geología (Litología)
- Esfuerzos in situ.
- Tipo de modelo
- Propiedades de los materiales
- Aproximación Numérica

Los métodos numéricos de análisis se pueden clasificar en varias categorías, como se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7

Clasificación de los métodos numéricos

Método	Características	Utilización	Softwares
Elementos Finitos (FEM)	Se asume una malla de elementos con sus respectivos nodos y propiedades elastoplásticas de los materiales.	Se aplica a taludes que puedan considerarse como masas continuas sin bloques.	FLAC, Plaxis,Phase.
Elementos Distintos o Discreto (DEM)	Se divide el talud en elementos con sus propiedades internas y de las uniones entre los elementos que se pueden mover libremente.	Se aplica para analizar inclinación de bloques.	FLAC
Elementos Distintos o Discreto (DEM)	Se discretizan las áreas para poder modelar la ocurrencia de agrietamientos en el talud.	Se utiliza para estudiar problemas de propagación de grietas.	MAP 3D

Nota: *Clasificación de los métodos numéricos de análisis.*

2.7.1.1 Elementos finitos

El método de elementos finitos (MEF) fue introducido por Clough y Woodward (1967). Este esencialmente, divide la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos, los cuales crean una malla que sus nodos y los bordes predefinidos. El método típicamente utilizado, es la formulación de desplazamientos que presenta los resultados en forma de esfuerzos y deformaciones a los puntos nodales. (Suárez, 2013)

Cervera (2022) manifiesta que la técnica de Elementos Finitos es un tipo de análisis esfuerzo/deformación mediante la cual se predice la naturaleza y extensión de desplazamiento compatibles con el equilibrio del talud a medida que se vaya minando, lo cual significa que la estática de estos taludes dependerá de la geometría del Tajo y del estado de esfuerzos primarios. Los datos de entrada son:

- Estado de esfuerzos primarios
- Módulo de elasticidad
- Valores de fricción (cohesión, ángulo de fricción)
- Resistencia compresiva
- Disposición estructural
- Geometría presente del Tajo

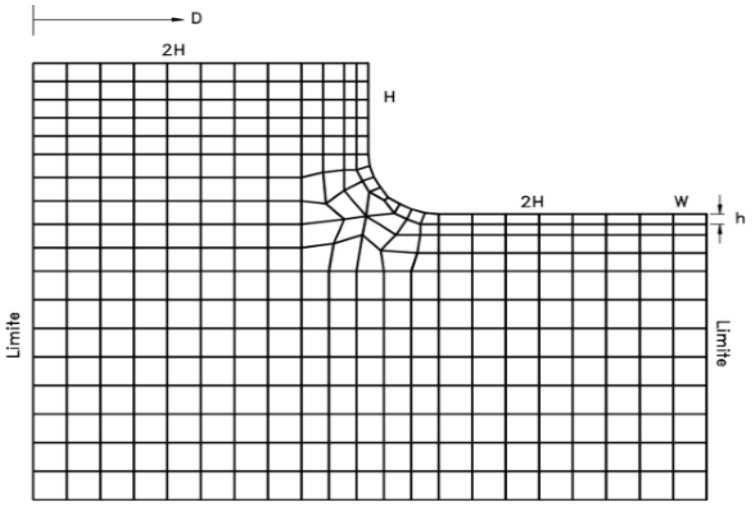
El método de elementos finitos en sí, consiste en dividir las paredes del talud en mallas de elementos triangulares o rectangulares. Las esquinas o nodos de estos elementos son conectados en forma similar al desplazamiento que ocurrirá. Se asume que cada elemento es homogéneo. Con ayuda de programas de. cómputo, se calcula los desplazamientos en 2 direcciones.

Estos cálculos se basan en el equilibrio existente entre las cargas externas (peso propio del macizo rocoso, presión de· agua, etc.) y las fuerzas inducidas por la deformación de cada elemento. Se establece un criterio de falla para los desplazamientos. Si para una determinada sección exceden, un valor crítico, la roca de la zona tendrá una resistencia reducida, si se usan una serie de estos valores se puede llegar a determinar una forma simple de falla progresiva.

En la Figura 18 se muestra una malla típica para el análisis de un talud vertical por elementos finitos (Ashford y Sitar 1994). Generalmente, las mallas analizadas contienen elementos de tamaño uniforme con anchos (w) y alturas (h) iguales. El tamaño y forma de los elementos influye en forma importante sobre los resultados obtenidos.

Figura 18

Malla típica para el análisis de un talud vertical por elementos finitos



Nota: Malla típica para el análisis de un talud vertical por elementos finitos.

2.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

La presente definición de términos es para conducir a una mejor comprensión de la investigación.

Parámetros geométricos

Gonzales de Vallejo (2006), manifiesta que se conoce como parámetro geométrico al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación. Sin duda uno de los parámetros más significativos de la explotación de un Tajo son los ángulos de talud. Para lo cual se requiere mantener una geometría de diseño optima, es decir que permita un máximo beneficio económico en función de un mínimo factor de riesgos.

Parámetros geotécnicos

Gonzales de Vallejo (2006), sostiene que la posible rotura de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de esta. En primera instancia, la resistencia depende de los parámetros resistentes del material: cohesión y rozamiento interno (ángulo de fricción).

Ángulo interrampa

Morales (2009), manifiesta que el Angulo interrampa corresponde a la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une las patas de los bancos, este valor es utilizado en el plan minero. El ángulo se determina trigonométricamente a partir de la definición del ancho de berma, ángulo y altura de banco, la abreviación para el ángulo interrampa es IRA.

Factor de seguridad (FS)

Willie & Mah (2001), manifiesta que el FS es la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. En el caso de un FS menor a 1 se afirma que el movimiento a lo largo de la superficie de deslizamiento es posible. A partir de FS=1, es posible determinar el máximo ángulo de inclinación que un talud podría tener para permanecer estable. Mientras que para taludes definitivos debería emplearse un FS=1.5".

Condición estática

Hace referencia a la evaluación de estabilidad de los taludes en condiciones normales, los cuales permitirán una operación segura.

Condición pseudoestática

Es la evaluación de estabilidad en la cual se toma en consideración la condición sísmica extrema en una zona de inestable.

Criterio de rotura de Hoek-Brown

El criterio Hoek (2000), inicialmente, fue propuesto para el diseño de excavaciones subterráneas en macizos rocosos resistentes. A diferencia de Mohr Coulomb, este considera un criterio de rotura no lineal.

Diseño de tajos abiertos

La Universidad de Chile (2010) manifiesta que el diseño de Tajos consiste en una matriz de dimensiones definidas por su largo, ancho y alto, este último valor

corresponderá a la altura de los bancos del futuro Tajo. Dicha altura será definida principalmente en función de las características del yacimiento y la elección de los equipos de explotación.

Límite final del tajo

La Universidad de Chile (2010), refiere que, dentro de las actividades a desarrollar en el diseño de una explotación a Tajo abierto, se encuentra la que dice relación con definir los límites físicos de dicha explotación, ya que ante la presencia de un yacimiento podemos pensar en extraer todo el mineral o extraer solamente lo que más nos convenga. Esta última proposición es la que finalmente tendrá que prevalecer, ya que es la razón por la cual se explota un recurso.

Tipos de rotura planar

De acuerdo con Gonzales de Vallejo et al (2004), el tipo de rotura planar es el deslizamiento de un bloque se produce a lo largo de un plano caracterizado por una familia de discontinuidades que presenta una misma dirección que el talud y una pendiente de mismo sentido, pero menos inclinada que la del talud.

Método de elementos finitos.

"El método de elementos finitos satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos" (Suarez, 1998, p, 122).

Software Slide

Actualmente, existe una infinidad de herramientas computacionales para el análisis de estabilidad de taludes. En esta oportunidad se eligió el software SLIDE de la firma Rocscience. El programa calcula los factores de seguridad para distintas geometrías, dibujadas por el propio usuario. Se pueden analizar tanto suelos como rocas, por ello, el software incluye los criterios de rotura.

Software Phase2

"Es un software en 2D que está hecho para el análisis del esfuerzo sobre diferentes elementos, pueden ser plásticos o elásticos, se puede aplicar a las excavaciones ya sean subterráneas o de superficie en roca o suelo" (Inacap, 2015).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. PROCEDIMIENTOS

El proyecto, se desarrollará en la unidad minera Cuajone con antecedentes de estudios y datos línea base.

3.1.1 Método, procedimiento o proceso

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se dispondrá de varias etapas, las cuales son, una planificación del trabajo a realizar en campo, la ejecución del trabajo en campo y la interpretación de la información en actividades de gabinete. Se realizará el estudio de antecedentes y la revisión de data de la fase 7 de la unidad minera Cuajone.

El estudio de parámetros geomecánicos de Materiales, para los cuales, se desarrollarán ensayos de mecánica de rocas, utilizando el método de ruptura de Hoek-Brown para estimar los parámetros del macizo rocoso. Los parámetros geomecánicos serán complementados con la información obtenida en terreno de los mapeos de caracterización del macizo rocoso. Además, se analizará el factor de perturbación por voladura.

Se realizará el análisis cinemático. El cual, se realizará usando el Software Dips V.7.0. de la firma de Rocscience. El análisis se realizará con información de las discontinuidades presentes en el sector Noroeste de la fase 7, entre los niveles 3265 y 3370, esta información se utilizará como dato de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad.

Se realizará el análisis de estabilidad por el método numérico de elementos finitos usando el Software Phase2 V.8.0. de la firma de Rocscience. Se analizará mediante simulación de software las secciones: Sección A-A´ (Sector sur del D53) y Sección B-B´ (Sector norte del D53). Para obtener un IRA adecuado en la zona

inestable D53, será necesario realizar un análisis de sensibilidad de la ocurrencia de roturas con respecto a la variación del IRA, dicho análisis nos mostrará el IRA que el talud puede soportar.

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de Investigación que se adapta al presente trabajo es el Aplicativo, puesto que se pretende evaluar las condiciones de estabilidad de un talud con base en conocimientos científicos, apoyándose en la observación y análisis de datos en gabinete, y en base a los resultados dar una alternativa de diseño de talud para prevenir deslizamientos en minas a cielo abierto.

En tanto a la naturaleza de manipulación de datos es de carácter cualitativo. Ya que, para determinar los parámetros geométricos de diseño del talud, no se realizará una estadística exhaustiva, sino más bien se hará uso de cálculos geotécnicos y criterios ingenieriles para establecer dichos parámetros y lograr su estabilidad.

3.2.2. Diseño de investigación

En cuanto al diseño de investigación, es del tipo no experimental, ya que no existe creación ni manipulación de variables, se desarrolla observando el deslizamiento D53 como un fenómeno ya existente y tal como se presenta en su contexto natural. El diseño de la investigación es de tipo transversal ya que la información es recolectada en un tiempo único con el propósito de describir la variable estudiada y analizar su presencia, incidencia e interrelación en un momento dado.

3.2.3. Nivel de investigación

El trabajo de investigación según (Hernandez, Fernandez, & Pilar, 2014, p.155) es:

Descriptivo: La presente investigación utilizará un nivel de investigación de carácter descriptivo, ya que, tiene como fin realizar el análisis de estabilidad del talud Noroeste, para ello se debe de calcular el factor de seguridad y los parámetros geométricos de diseño del talud para garantizar la estabilidad del talud del área de

explotación en la unidad minera. Para lo cual, se requiere analizar, precisar y describir la geometría óptima del talud. **Explicativo:** Por ser estudios de causa – efecto.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos que se utilizaran en la estabilización de la zona inestable D53 de la fase 7 del talud Noroeste de Mina Cuajone son los siguientes.

- Software Slide V.6.0.
- Software Dips V.7.0.
- Software Phase2 V.8.0.
- Cámara fotográfica.
- Materiales básicos para mapeo geotécnico y geológico.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

Según Tamayo (2002) en su libro "El proceso de la investigación". Población es la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de la población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica.

Y se le denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio de investigación. Razón por la cual, la población estaría definida como el Tajo Cuajone en su totalidad, ya que representa el área de estudio de la presente tesis.

3.4.2. Muestra

Está constituido por el Deslizamiento 53 ubicado en la fase 07 del talud Noroeste de la unidad minera Cuajone.

3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnica de recolección de datos

Con el objeto de lograr los objetivos de esta tesis, se realizaron trabajos en campo y gabinete, orientados a obtener información y datos a través de las siguientes técnicas: observación y descripción de propiedades en campo, que es donde se presentan los aspectos a investigar lo cual nos permitirá interactuar con el fenómeno a

evaluar recopilando datos mediante observaciones previas, además de información histórica, fotografías, etc. relacionadas con el objeto de estudio.

3.5.2. Instrumento de recolección de datos

Las principales herramientas utilizadas son: el Software Dips V.7.0. que nos permite realizar el análisis cinemático para obtener el tipo de rotura de mayor impacto en los taludes a conformar, esta información se utilizará como dato de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad.

El software Phase2 V.8.0 para realizar el análisis de estabilidad en el talud Noroeste, que nos permite calcular el IRA y el factor de seguridad, en condiciones estáticas y pseudoestaticas, mediante el método numérico de elementos finitos, y el Software Slide V.6.0. para realizar el diseño de las secciones geotécnicas (Sector Sur y Norte del D53).

3.5.3. Requerimiento de equipos y software trabajo de campo

Para realizar el trabajo de investigación se realizará el levantamiento topográfico para lo cual se utilizará un Escaner multipunto T8800 de I-Site y GPS Trimble R-10, para el levantamiento geológico se utilizó GPS diferencial, cinta métrica, cámara fotográfica y martillo de geólogo, equipo de protección personal, libreta de apuntes, entre otros.

3.5.3.1. Trabajo de laboratorio

Para el presente trabajo de investigación es necesario conocer los parámetros geomecánicos de la zona inestable estudiada por consiguiente se requerirá el desarrollado de ensayos de mecánica de rocas, utilizando el método de ruptura de Hoek-Brown para estimar los parámetros geomecanicos del macizo rocoso.

3.5.3.2. Trabajo de gabinete

Se procesará los datos recolectados del área Geotecnia Mina para su respectivo análisis. Así como el tratamiento geotécnico de los datos obtenidos en campo, para el análisis y caracterización del deslizamiento D53, también se realizará la corrección de inestabilidad mediante software especializado.

3.5.4. Validación y confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos manejados en el presente proyecto de investigación se encuentran calibrados y estandarizados para evitar errores y desempeñan con los tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad. La recopilación de información de datos, serán solicitadas de las diferentes áreas de la Mina Cuajone.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Observación directa

Se observará la data histórica del año 2021 proporcionado departamento de Geotecnia Mina de la unidad minera Cuajone para poder realizar el análisis de estabilidad del talud Noroeste y obtener alternativa de estabilización viable y adicionalmente beneficiosa económicamente como se plantea en presente trabajo de tesis.

3.6.2 Análisis estadístico

Se obtendrá los resultados del trabajo de investigación mediante la técnica prueba de hipótesis, la cual permite evaluar si una premisa es realmente cierta para su conjunto de datos o población. Para lo cual se empleará la distribución Normal o Campana de Gauss, para obtener resultados que mostraran un grado de confianza en cuanto a los factores de seguridad determinados tanto para condiciones Pseudoestaticas y condiciones estáticas.

También se empleará el diagrama de líneas (porcentaje de ocurrencia de rotura Vs. inclinación de talud) para el análisis de sensibilidad del porcentaje de ocurrencia de rotura en el talud Noroeste.

3.6.3 Análisis descriptivo

Se realizará un análisis de la estabilización del talud Noroeste de la Mina Cuajone, para finalmente realizar el análisis costo beneficio de la aplicación de la alternativa de estabilización viable que genere beneficio económico en cuanto a producción de mineral.

3.6.4 Presentación e interpretación de resultados

La presentación e interpretación de los resultados del análisis de estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone, se realizará mediante el estudio de las unidades geotécnicas, de las cuales se estimarán los parámetros del macizo rocoso de la zona inestable D53. Los parámetros complementados con la información obtenida en terreno de los mapeos de caracterización del macizo rocoso y el factor de perturbación por voladura serán empleados en el análisis de estabilidad.

Es necesario la calibración de los perfiles correspondientes a las secciones geotécnicas de la zona inestable. donde se analizará el diseño propuesto por Ingeniería Mina. Para el análisis cinemático se utilizará el Software Dips V.7.0. de la firma de Rocscience. Este análisis se realizará analizando la información de las discontinuidades presente en el sector noroeste de la fase 7, entre los niveles 3265 y 3370.

Con ello se identificará el tipo de rotura de mayor impacto en los taludes a conformar, esta información se utilizará como dato de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad. El análisis de estabilidad se realizará por el método numérico de elementos finitos usando el Software Phase2 V.8.0. de la firma de Rocscience. Se dividirá en dos secciones geotécnicas, sector Sur y Norte del D53.

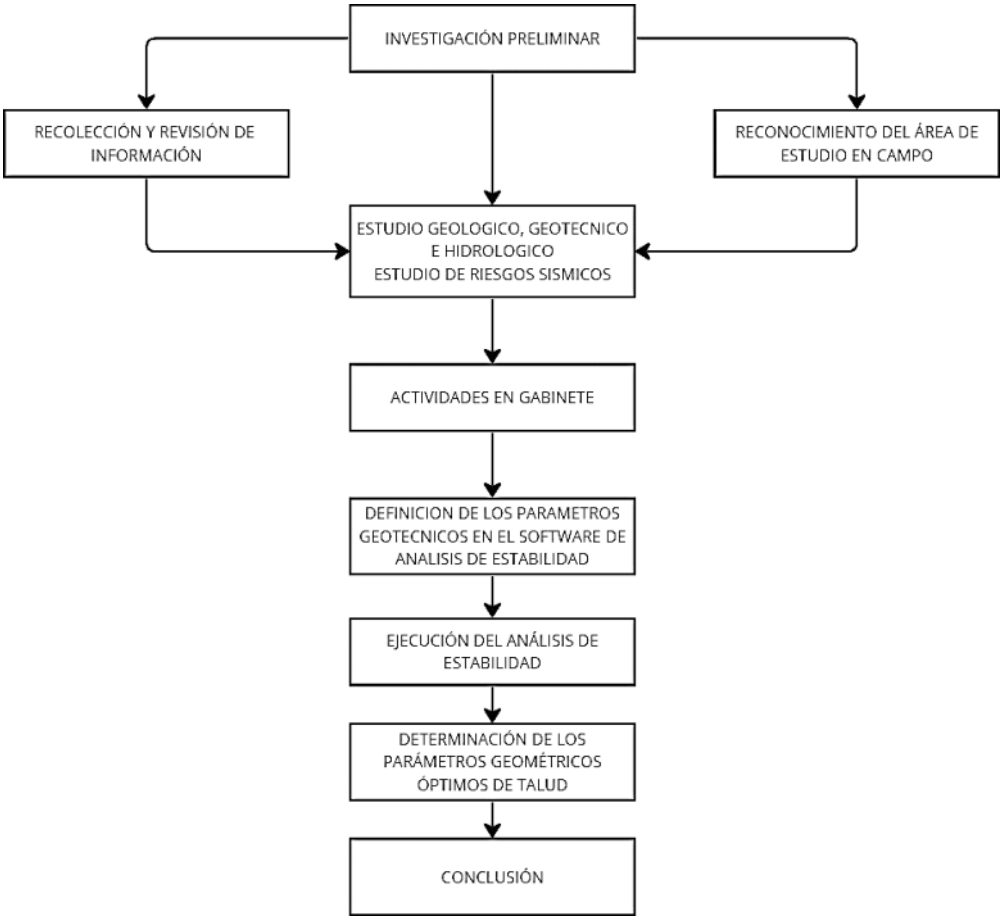
Obteniendo como resultado el factor de seguridad en dos condiciones estática y pseudoestaticas, se analizará si es necesario variar el IRA en el sector, para ello antes es necesario realizar un análisis de sensibilidad de la ocurrencia de rotura con respecto a la variación del IRA Utilizando el criterio de aceptabilidad del "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone – Rev 1" realizado por la consultora SRK, este porcentaje de ocurrencia no debe superar el 25%.

Finalmente se obtendrá un cuadro resumen de los resultados, donde se plasmarán los factores de seguridad obtenidos en los análisis de estabilidad, en condición estática y pseudoestatica, incluyendo los parámetros de diseño final del talud, ocurrencia de rotura. Cumpliendo con el objetivo de la presente investigación se determinará la alternativa que estabilice el talud manteniendo la seguridad y adicionalmente obteniendo beneficio económico aprovechando el recurso mineral que

se va a extraer. En la Figura 19 se muestra a detalle el procedimiento de cómo se llevarán a cabo las actividades desarrolladas en la presente investigación.

Figura 19

Diagrama de desarrollo de la investigación



Nota: Elaboración propia

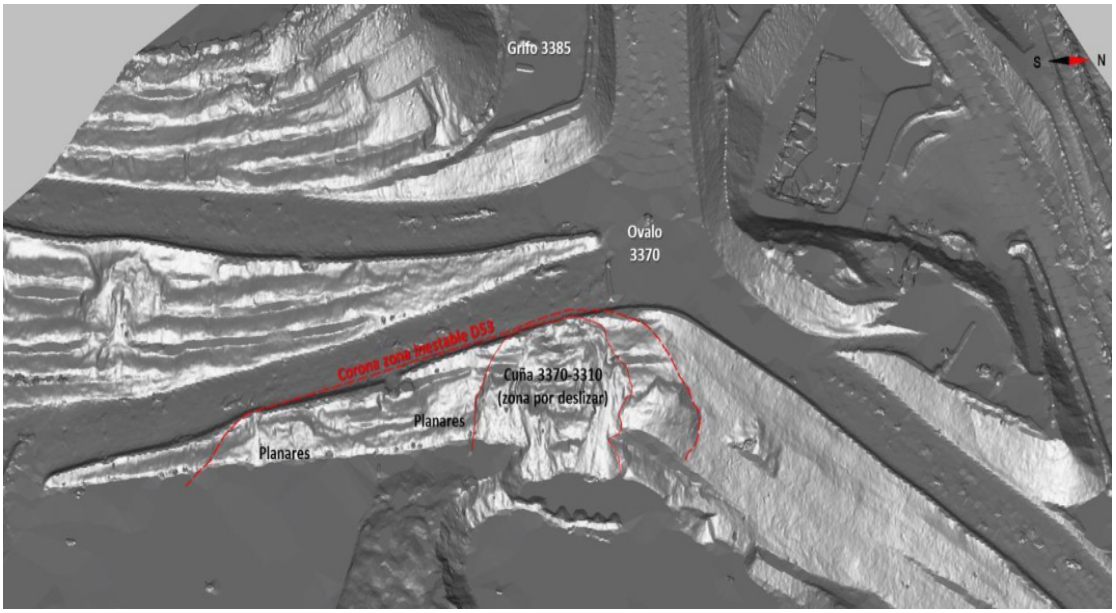
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Descripción de los resultados

Se determinaron los resultados obtenidos en campo y gabinete en cálculos de diseños de los parámetros geométricos y la utilización del software Phase2, para la determinación del factor de seguridad. Para ello exponemos los elementos necesarios para realizar un análisis de estabilidad para el Talud Noroeste de la Mina Cuajone, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Topografía actual (zona inestable D53)

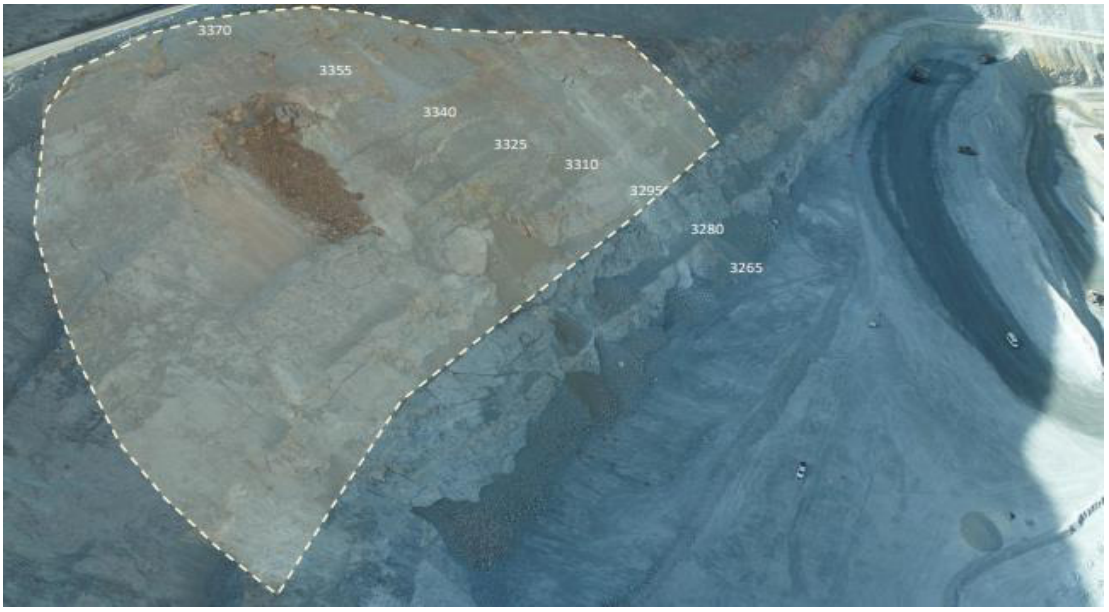


Nota: Elaboración propia

La configuración de taludes de la Fase 7, sector NO, se ha afectado por la inestabilidad de modos de ruptura complejos mixtos (Planar Cuña aflorante), reduciendo en ancho de vía principal desde el ovalo Rampa del 3370 al 3325 Sur. Los agrietamientos bordean el muro de seguridad actual en la rampa 3370-3355. Conforme se desarrolle el minado en dirección Sur se expone la continuidad de estructuras planares (Figura 21).

Figura 21

Niveles comprometidos D53



Nota: Elaboración propia

La zona afectada a la caía de rocas y/o material en el nivel 3265, se encuentra bloqueada con muro de seguridad, se envía inspecciones diarias y se realiza en seguimiento al monitoreo 24/7 con el radar MSR 234.

4.1.1. Parámetros geomecánicos de materiales

La litología presente en el D53 comprende los volcánicos de andesitas intrusivas y andesitas basálticas con alteración fillica, además, el intrusivo de latita frescay relleno. Según el estudio "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone – Rev 1" realizado por la consultora SRK, estas litologías corresponden a las unidades geotécnicas básicas (UGB) 9, 6 y 1respectivamente, como se muestra en la Tabla 8.

Para los cuales, han desarrollado ensayos de mecánica de rocas y utilizando el método de ruptura de Hoek-Brown estimaron los siguientes parámetros para el macizo rocoso:

Tabla 8

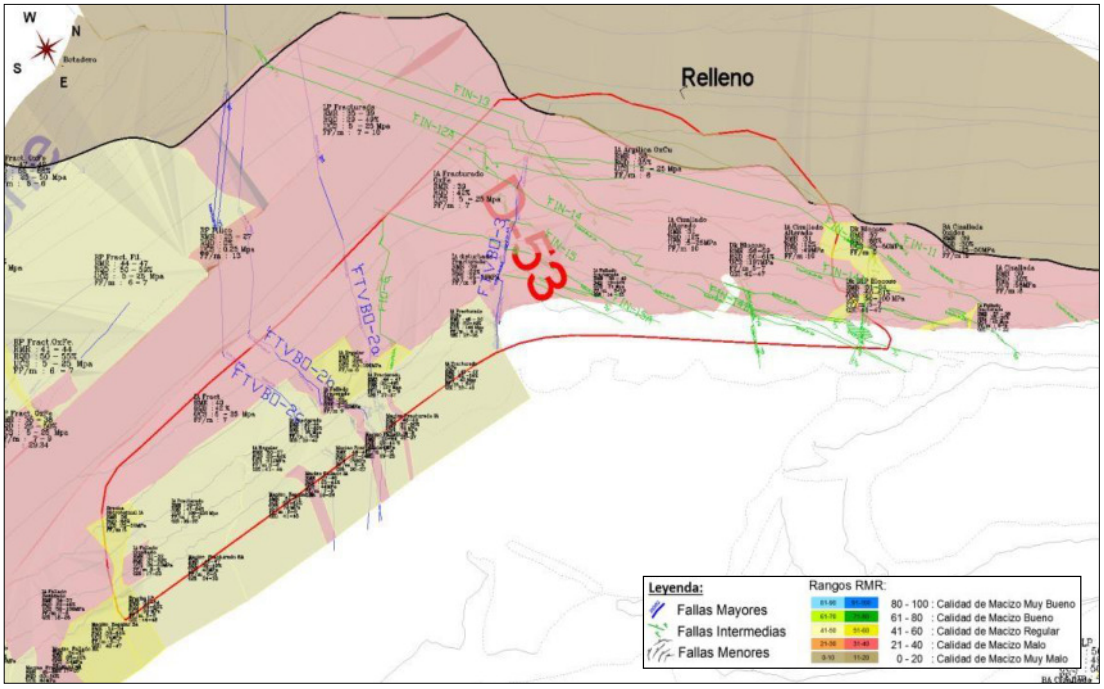
Parámetros geomecánicos (SRK)

Unidad	Macizo Rocoso					
Geotécnia	GSI	mb	s	a	E (GPa)	v
UGB1	48	0.92	0.0005	0.51	3.04	0.25
UGB6	54	1.09	0.0013	0.5	3.52	0.24
UGB9	47	0.7	0.0005	0.51	2.48	0.25

Nota: Elaborado en base a "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone – Rev 1" de SRK.

Estos parámetros fueron complementados con la información obtenida en terreno, de los mapeos de caracterización del macizo rocoso. Además, el factor de perturbación por voladura (D) utilizados en el análisis es D=0.8-0.9 para los macizos con influencia de las voladuras y D=0 en macizo intacto (Figura 22).

Figura 22 *Caracterización del macizo rocoso, sector noroeste de la Fase 7*



Nota: Elaborado en base a "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone – Rev 1" de SRK.

4.1.2. Secciones geotécnicas

El diseño propuesto por ingeniería mina considera conformar taludes con IRA=38° en la parte norte del D53, en relleno y macizo de mala calidad, e IRA=49 en macizo regular al lado sur. Para el análisis de estabilidad se utilizó 02 secciones, el detalle de cada uno como se muestra a continuación en la Figura 23:

Figura 23

Vista en planta del diseño propuesto por Ingeniería Mina



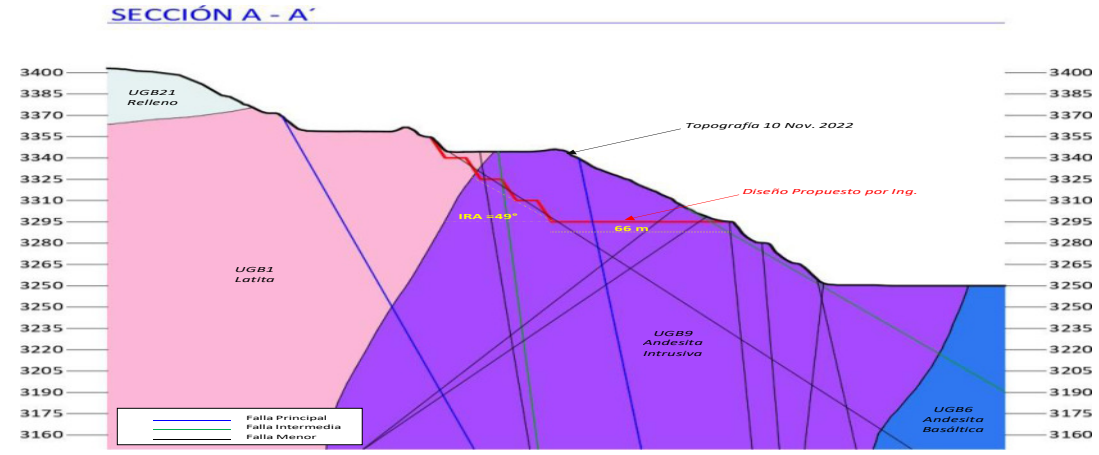
Nota: Elaborado por Ingeniería Mina.

El presente trabajo de investigación difiere a la alternativa de estabilización propuesto por Ingeniería Mina (Figura 24). Debido a que, si bien se hace énfasis en el beneficio por el material que se extraerá, no se está considerando los parámetros geomecánicos, la caracterización del macizo rocoso y tampoco el factor de perturbación por voladura de la zona inestable D53 del talud Noroeste de la fase 7.

La sección A-A´ del talud Sur de la zona inestable denominada Deslizamiento 53. En la Figura 24 podemos observar la topografía actual y el diseño (parámetros geométricos) propuesto por Ingeniería Mina, para la estabilización del deslizamiento 53. El diseño propuesto considera confirmar taludes con IRA=49°.

Figura 24

Sección A – A´, sector sur del D53

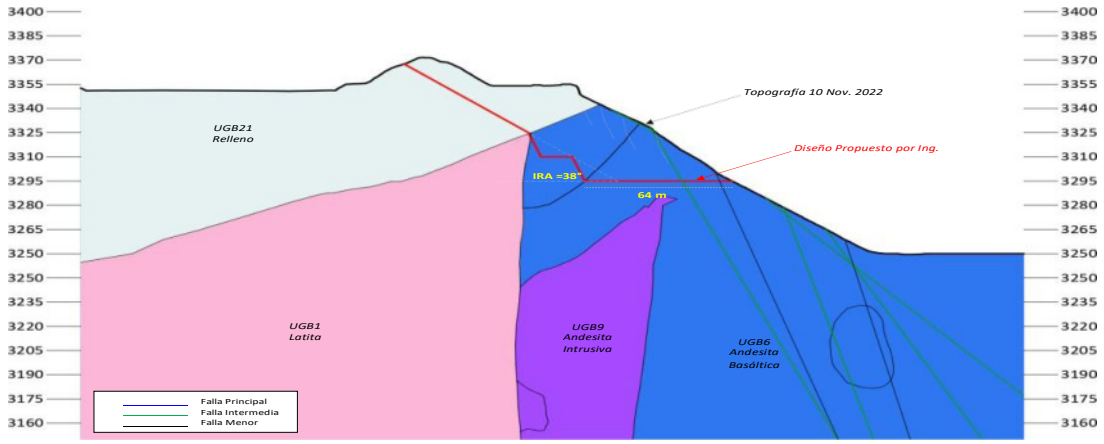


Nota: Elaborado por Geotecnia Mina

En la Figura 25, se observa la sección B-B´ del talud Norte de la zona inestable denominada Deslizamiento 53, con la topografía actual y el diseño de Ingeniería Mina para la estabilización. En el diseño se considera conformar taludes con ira IRA=38° en la parte norte del D53. A continuación, se detalla el diseño propuesto por Ingeniería Mina que considera conformar taludes con IRA=38° en la parte norte del D53, en relleno y macizo de mala calidad, e IRA=49 en macizo regular al lado sur.

Figura 25

Secci0ón B – B´, sector norte del D5



Nota: Elaborado por Geotecnia Mina

4.1.3. Análisis cinemático

Este análisis se realiza usando el Software Dips V.7.0. de la firma de Rocscience. Este análisis se realizó con información de las discontinuidades presente en el sector noroeste de la fase 7, entre los niveles 3265 y 3370. El procesamiento de la información identificó tres familias y el tipo de rotura de mayor impacto en los taludes a conformar corresponde al tipo planar (Figura 26), esta información se utilizará como datos de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad, a continuación, se muestra las actitudes de las familias principales, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

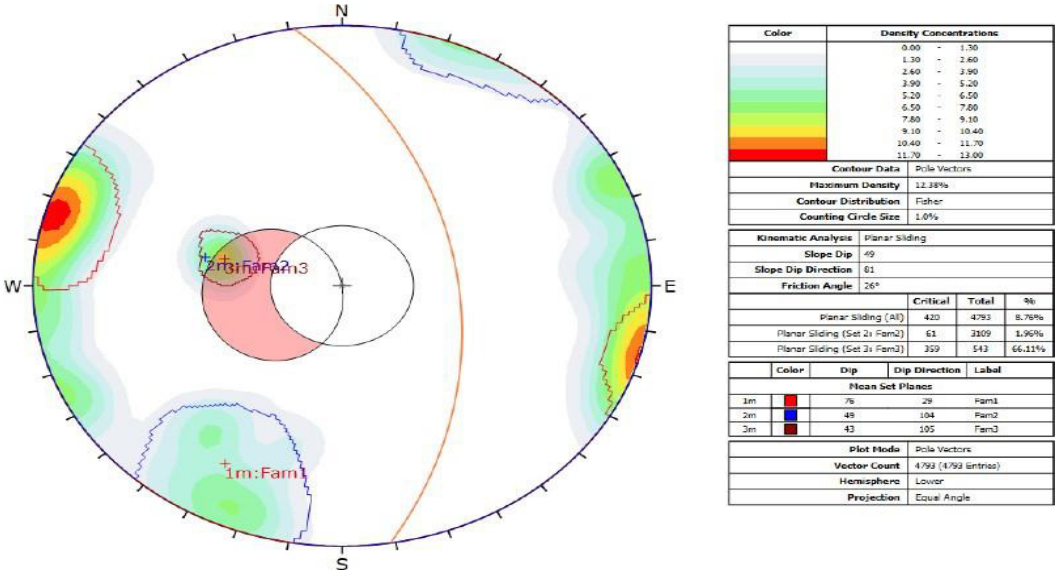
Familias de discontinuidades presentes en el D53

Familia	Dip	Dip Dir
Fam1	76	29
Fam2	49	104
Fam3	43	105

Nota: Elaborado en base a información de Geotecnia.

Figura 26

Análisis cinemático por rotura planar en el sector sur del D53

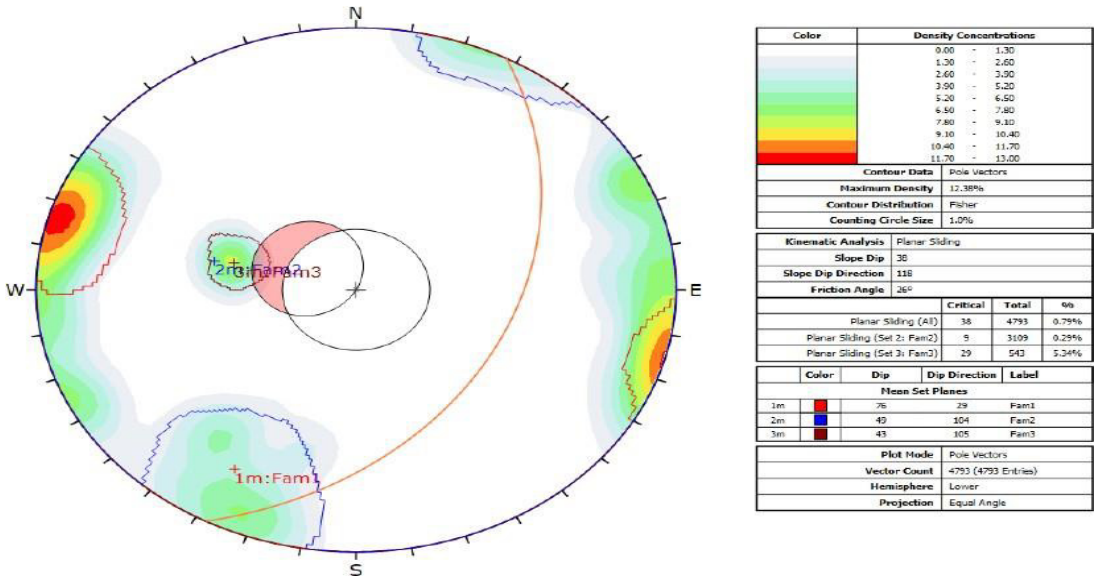


Nota: Elaborado en base a información de Geotecnia.

También, se identificó que la familia Fam3 es la que tiene mayor impacto en la formación de roturas planares en ambos sectores analizados, como se muestra e la Figura 27.

Figura 27

Análisis cinemático por rotura planar en el sector norte del D53



Nota: Elaborado en base a información de Geotecnia.

4.2. Análisis de estabilidad

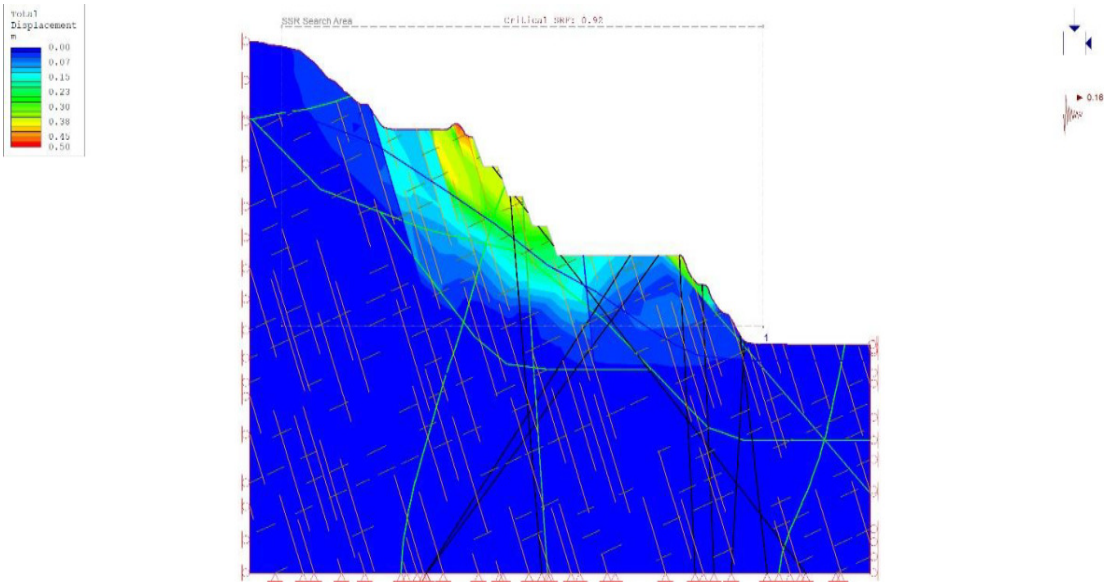
Este análisis se realiza por el método numérico de elementos finitos usando el Software Phase2 V.8.0. de la firma de Rocscience.

4.2.1. Sección A-A´ (sector sur del D53)

El análisis de estabilidad en el talud sur del diseño propuesto, por ingeniería mina, muestra un factor de seguridad de 0.92 en condiciones pseudoestaticas, de aplicar el diseño generaríamos un talud inestable que pudiera comprometer la vía entre los óvalos 3370 y 3430, por lo que, es necesario variar el IRA en este sector. También, la simulación muestra roturas y deformación del macizo rocoso sobre un fuerte control estructural, tal como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Análisis de estabilidad talud Sur del D53 (Inestable)

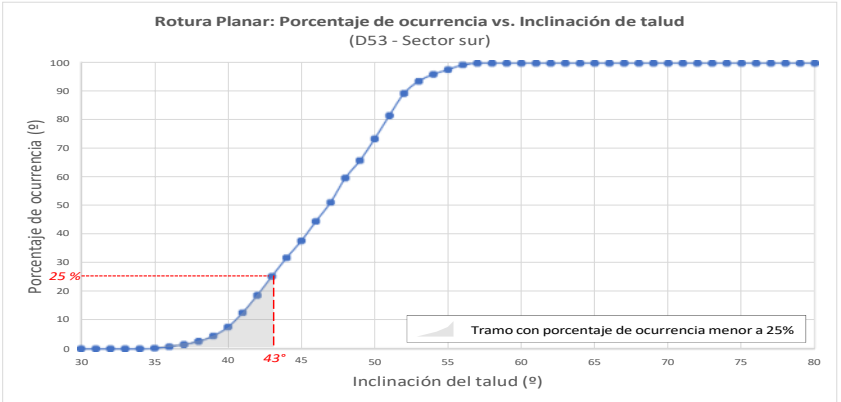


Nota: Sección A-A´, IRA=*49° con FOS=092, Condición inestable.*

Para determinar un IRA adecuado en este sector, fue necesario realizar un análisis de sensibilidad de la ocurrencia de roturas tipo planares con respecto a la variación del IRA para la Fam3, Figura 28. Utilizando el criterio de aceptabilidad del "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone – Rev 1" realizado por la consultora SRK, este porcentaje de ocurrencia no debe superar el 25% (Figura 29).

Figura 29

Análisis de sensibilidad del % de ocurrencia de roturas planas en el sector Sur

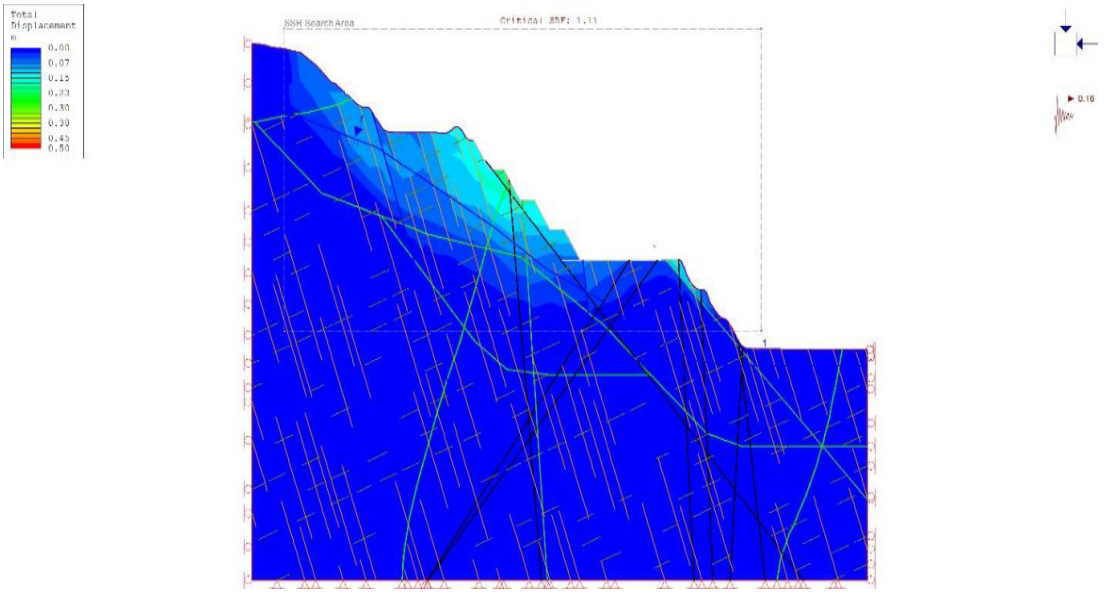


Nota: Elaborado en base a "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone".

La Figura 30 muestra que el sector analizado puede soportar hasta 43° de inclinación con un 25% de porcentaje de ocurrencia. Se realizó un análisis de estabilidad a un talud con IRA=43° y se obtuvo un factor de seguridad de 1.11, en condiciones pseudoestaticas, valor correspondiente a un talud estable. Por lo que, se recomienda reconfigurar el talud del sector sur con IRA=43°.

Figura 30

Análisis de estabilidad talud Sur (estable)



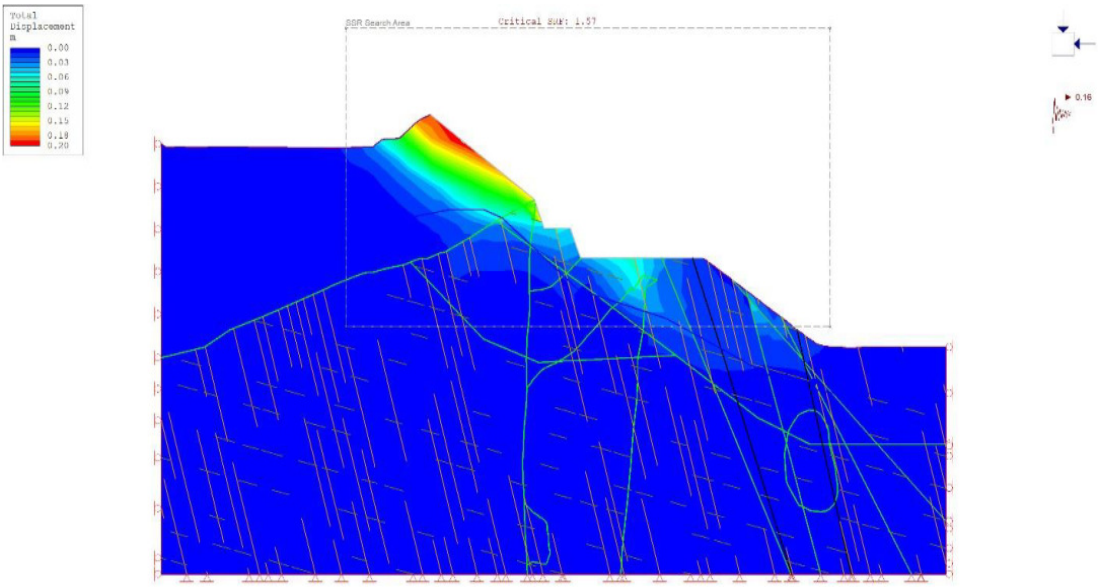
Nota: Sección A-A´, Análisis de estabilidad talud sur propuesto, IRA=43° con FOS=1.11, estable. Elaboración propia.

4.2.2. Sección B-B´ (sector norte del D53)

El análisis de estabilidad en el talud norte del diseño propuesto, por ingeniería mina, muestra un factor de seguridad de 1.57, en condiciones pseudoestaticas, la construcción del talud norte con IRA=38° dejaría un talud estable. La deformación se da en el relleno como respuesta al banqueo en la parte inferior, se recomienda hacer un talud corrido con 38°, como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Análisis de estabilidad talud Norte (estable)

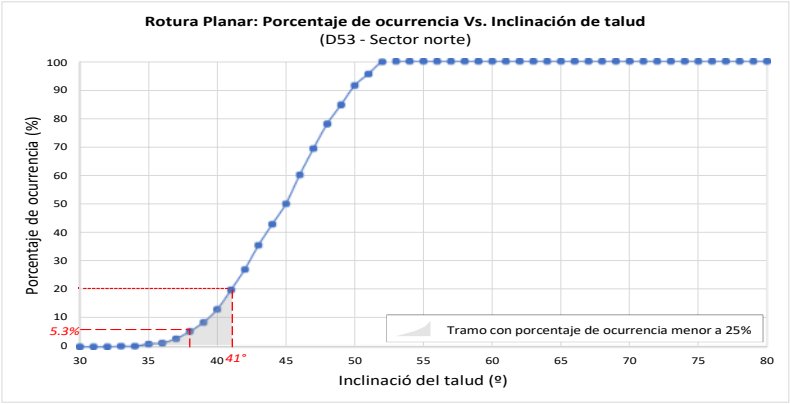


Nota: Sección B-B´, Análisis de estabilidad talud norte, IRA=38° con FOS=1.57, estable. Elaboración propia.

El análisis de sensibilidad del porcentaje de ocurrencia (Figura 32), para rotura planar muestra que el talud a conformar en roca puede soportar hasta una IRA=41°, sin embargo, el sector está conformado en gran parte por relleno. Por lo que, en este sector se recomienda mantener el diseño de talud con IRA=38°.

Figura 32

Análisis de sensibilidad del % de ocurrencia de roturas planas en el sector Norte



Nota: Elaborado en base a "Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone".

4.3. Resumen resultados obtenidos

A continuación, se resume los resultados de factor se seguridad (Tabla 10) obtenidos en los análisis de estabilidad, se incluye valores de análisis en condiciones estáticas :

Tabla 10

Resumen factor de seguridad

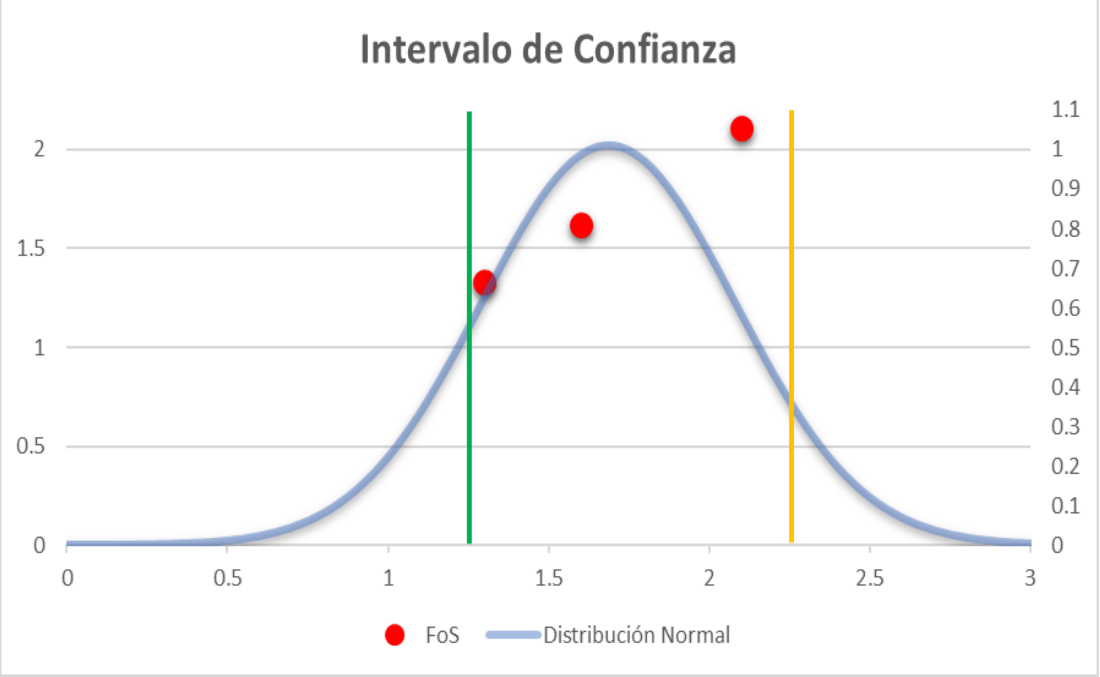
Sector	Diseño Talud			Análisis de estabilidad		Ocurrencia Rotura Plana	Condición
	IRA	ACB	HB	Paseudoestático	estático		
	(°)	(°)	(m)	FOS	FOS	(%)	
Sur	49	70	15	0.92	1.33	67	Inestable
	43	70	15	1.1	1.62	25	Estable
Norte	38	38	15	1.57	2.11	5.3	Estable

Nota: Resultados obtenidos de las secciones A-A´(Sur) y B-B´ (Norte) del D53. Elaboración propia.

4.4. Contrastación de hipótesis

Figura 33

Campana de Gauss de los factores de seguridad obtenidos



Nota: Elaboración propia.

4.4.1. Hipótesis estadísticas

Según la distribución de la campana de Gauss (Figura 33), los resultados muestran un grado de confianza al 95% en cuanto a los factores de seguridad determinados tanto para condiciones Pseudoestaticas y condiciones estáticas.

4.4.1.1. Hipótesis estadísticas (nula y alterna)

a) Hipótesis general

Ho: El análisis de estabilidad mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2 no permitirá calcular el factor de seguridad para estabilizar el talud Noroeste de la Mina Cuajone.

H1: El análisis de estabilidad mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2 permitirá calcular el factor de seguridad para estabilizar el talud Noroeste de la Mina Cuajone.

Mediante la aplicación de la metodología de diagrama de flujo propuesto se realiza el análisis de estabilidad mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2, con el fin de calcular el factor de seguridad para estabilizar el talud Noroeste de la Mina Cuajone.

b) Hipótesis especificas

Ho: Con la realización del análisis cinemático no se identificará las familias de discontinuidades presentes en el talud Noroeste de la Mina Cuajone..

H1: Con la realización del análisis cinemático se identificará las familias de discontinuidades presentes en el talud Noroeste de la Mina Cuajone.

La estabilidad depende tanto de la geometría del talud (pendiente y altura) como de las propiedades geotécnicas del material (fricción, cohesión, etc.). Para evaluar ello, se realizó un análisis de los parámetros geomecánicos de los materiales del sector D53. La litología presente en el D53 corresponde a las unidades geotécnicas básicas (UGB) 9, 6 y 1 respectivamente. Para los cuales, han desarrollado ensayos de mecánica de rocas y utilizando el método de ruptura de Hoek-Brown estimando parámetros para el macizo rocoso. Estos

parámetros fueron complementados con la información obtenida en terreno, de los mapeos de caracterización del macizo rocoso.

Esto respalda la hipótesis: Estudiando el macizo rocoso se identificará los parámetros que condicionan la estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone.

Ho: La determinación tanto del factor de seguridad óptimo como del diseño final del talud del Noroeste de la Mina Cuajone no asegurará su estabilidad, y además no garantizará un equilibrio costo-beneficio en la ejecución del proyecto.

H1: La determinación tanto del factor de seguridad óptimo como del diseño final del talud del Noroeste de la Mina Cuajone asegurará su estabilidad, y además garantizará un equilibrio costo-beneficio en la ejecución del proyecto.

En el estudio de la estabilidad física de taludes en operaciones mineras, es común emplear los factores de seguridad para evaluar la aceptabilidad de un diseño. Según las recomendaciones de Read & Stacey (2009), se proponen ciertos valores como criterio de aceptación para diferentes dimensiones de taludes. La premisa fundamental del análisis establece que, si el factor de seguridad calculado no satisface los requisitos de estabilidad tanto en análisis estático como pseudoestático, se considera que la condición no es aceptable.

- FS > 1.3 Talud Estable
- FS < 1.3 Talud Inestable (Probabilidad de deslizamientos)

Los factores de seguridad obtenidos en las secciones A-A’ y B-B’ son mayores que los mínimos recomendados en los criterios de aceptabilidad establecidos, para su condición actual. Con lo que se afirma la hipótesis: la determinación tanto del factor de seguridad óptimo como del diseño final del talud del Noroeste de la Mina Cuajone asegurará su estabilidad, y además garantizará un equilibrio costo-beneficio en la ejecución del proyecto.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Factor de seguridad

El análisis de estabilidad en el talud sur del diseño propuesto, por ingeniería mina, muestra un factor de seguridad de 0.92 en condiciones pseudoestaticas, lo cual indica que las fuerzas que actúan sobre el talud son mayores que su resistencia, lo que sugiere un riesgo de falla. De aplicar el diseño generaríamos un talud inestable que pudiera comprometer la vía entre los óvalos 3370 y 3430, por lo que, es necesario variar el IRA en este sector, tal como se muestra en la Tabla 11.

Como menciona Tardeo y Zanabria (2016), basándose en el análisis estático y dinámico, empleando el método de elementos finitos, para determinar el cálculo del factor de seguridad de talud, concuyendo que en la zona estudiada era inestable, ya que obtuvieron un FS menor a 1, en base a lo mencionado se fundamenta el resultado obtenido en la Tabla 11.

Tabla 11

Factor de seguridad condición inestable

Sector	Diseño Talud			Análisis de estabilidad		Ocurrencia	Condición
	IRA	ACB	HB	Paseudoestático	Estático	Rotura Plana	
	(°)	(°)	(m)	FOS	FOS	(%)	
Sur	49	70	15	0.92	1.33	67	Inestable

Nota: Elaboración propia.

Para determinar un IRA adecuado en este sector, fue necesario realizar un análisis de sensibilidad de la ocurrencia de roturas tipo planares con respecto a la variación del IRA para la Fam3. Utilizando el criterio de aceptabilidad, este porcentaje de ocurrencia no debe superar el 25%.

Como resultado final el sector Sur puede soportar hasta 43° de inclinación con un 25% de porcentaje de ocurrencia. Se realizó un análisis de estabilidad a un talud con IRA=43° y se obtuvo un factor de seguridad de 1.11, en condiciones pseudoestaticas, valor correspondiente a un talud estable. Por lo que, se recomienda reconfigurar el talud del sector sur con IRA=43° (Tabla 12).

El análisis de estabilidad en el talud norte del diseño propuesto, por ingeniería mina, muestra un factor de seguridad de 1.57, en condiciones pseudoestaticas, la construcción del talud norte con IRA=38° dejaría un talud estable.

El análisis de sensibilidad del porcentaje de ocurrencia, para rotura planar muestra que el talud a conformar en roca puede soportar hasta una IRA=41°, sin embargo, el sector está conformado en gran parte por relleno. Por lo que, en este sector se recomienda mantener el diseño de talud con IRA=38°.

Finalmente, tanto el sector Sur como el Norte, tienen un factor de seguridad mayor que 1.3 en condición estática, lo cual indica que las fuerzas que actúan sobre el talud son menores que su resistencia, lo que sugiere que el talud esta estable y no existe un riesgo inminente de falla. Por lo cual, el talud se encuentra en un estado seguro y no presenta riesgos significativos de falla. Tal como se muestra en la Figura 12.

Como menciona Herrea (2020), el factor de seguridad de los taludes disminuye si se realiza un análisis de estabilidad anisotrópico, existe una correlación positiva muy fuerte entre las variables, a mayor calidad del macizo rocoso, mayor es la disminución del factor de seguridad anisotrópico respecto al factor de seguridad isotrópico. Se corrobora la información basándonos en la Tabla 12.

Tabla 12

Factor de seguridad condición estable

Sector	Diseño Talud			Análisis de estabilidad		Ocurrencia	Condición
	IRA	ACB	HB	Paseudoestático	estático	Rotura Plana	
	(°)	(°)	(m)	FOS	FOS	(%)	
Sur	43	70	15	1.1	1.62	25	Estable
Norte	38	38	15	1.57	2.11	5.3	Estable

Nota: Elaboración propia.

5.2. Factor de perturbación “D”

Para el análisis de estabilidad del talud Noreste de la Fase 7 del Tajo Cuajone, se han incorporado características específicas en base a la experiencia, conocimiento del terreno y sus particularidades. El factor D, considerado como un parámetro

asociado a la perturbación del talud debido a los daños por voladura, reviste una gran importancia en los cálculos del análisis de estabilidad de los taludes.

Este factor ha sido completamente deducido por el autor, es decir, el valor de D y el perímetro de influencia que afecta este parámetro, han sido determinados en base a las observaciones realizadas en el campo. La técnica de mitigación del daño por voladura es una metodología relativamente novedosa en el contexto de la minería nacional. Tradicionalmente, esta técnica ha sido empleada principalmente en la protección de estructuras durante detonaciones cercanas a áreas urbanas o zonas con edificaciones adyacentes.

En la actualidad, en la industria minera se emplean técnicas avanzadas de voladura, como la voladura de Pre-corte, que implica la creación de una separación entre la zona susceptible de ser afectada por la detonación y la cara del talud final, que se pretende preservar. Además de esta estrategia, se utilizan otros métodos de control, como los taladros de buffer o amortiguación, que consisten en la disposición de columnas de explosivos de menor altura y con un espaciamiento reducido con respecto a los taladros de producción.

Asimismo, se implementa un riguroso control sobre la secuencia de detonación, la dirección y el tiempo entre los taladros mediante el uso de detonadores electrónicos. Este enfoque contribuye significativamente a mejorar el control de las vibraciones, las cuales están estrechamente ligadas a los daños ocasionados por prácticas inadecuadas de voladura.

Estas metodologías, como se ha mencionado, son relativamente novedosas y han contribuido significativamente a asegurar la estabilidad de los taludes, permitiendo incluso la reconfiguración de ángulos interrampa más agresivos. Sin embargo, al tratarse de técnicas aún emergentes, la mayoría de las caras de los bancos de los taludes actuales aún muestran los efectos de prácticas anteriores deficientes.

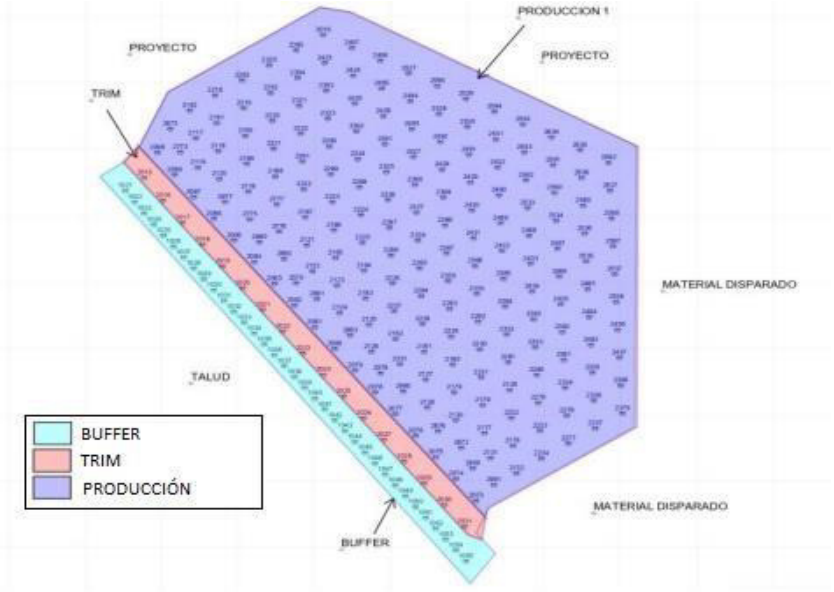
Por consiguiente, para estimar la perturbación D aproximada en el talud, se realiza una comparación entre los taludes recientemente tratados con las nuevas prácticas y aquellos que han sido afectados directamente por daños previos. Este

enfoque se basa en una caracterización del macizo rocoso y una comparación con registros anteriores que han recibido daño directo, lo que permite inferir el grado de perturbación del talud.

Es importante señalar que este método representa una aproximación indirecta, aunque una posible alternativa sería llevar a cabo perforaciones y compararlas con sondajes anteriores en la zona para observar directamente los efectos del daño inducido por la voladura. El valor D resultante desempeña un papel crucial en el análisis de estabilidad de los taludes y se refleja en el Factor de Seguridad, por lo que debe ser tratado con la misma atención y delicadeza que la caracterización del macizo rocoso y el mapeo estructural (Figura 34).

Figura 34

Imagen referencial de zonificación de taladros



Nota: Nótese el menor espaciamiento que existe en la zona de taladros de buffer que tienen una menor altura de carga de explosivo para un mejor control de vibraciones producción hacia talud final. *Elaborado por Perforación y Disparos SPCC.*

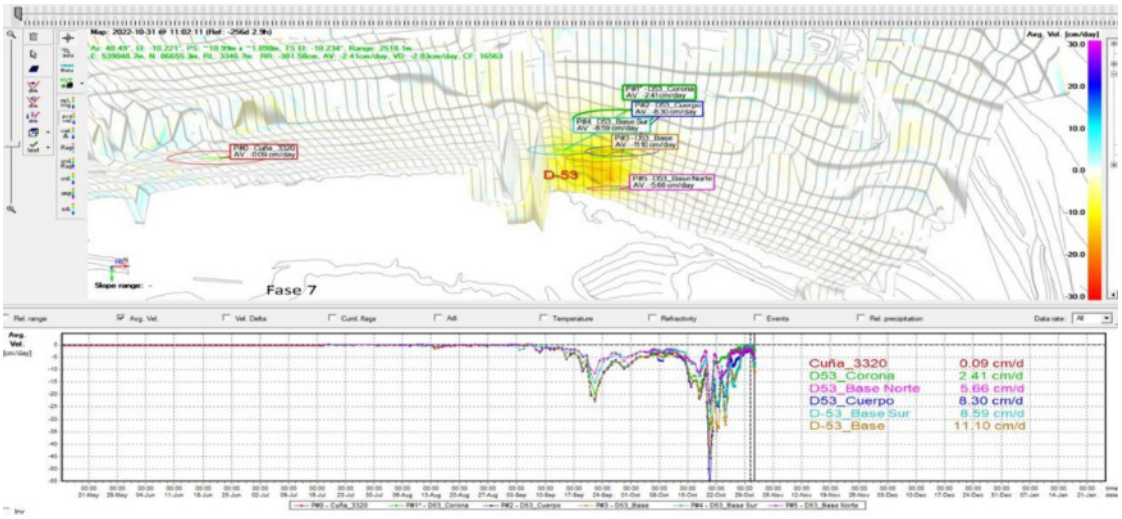
5.2. Importancia de la instrumentación geotécnica

La instrumentación geotécnica ha desempeñado un papel primordial en la caracterización del comportamiento del macizo rocoso, tanto previo, durante y

posterior al evento del D53. Asimismo, ha sido esencial en el proceso de estabilización subsiguiente en el sector. Durante la ejecución de esta tarea, se requirió una evaluación exhaustiva del comportamiento del macizo rocoso ante la carga inducida por las operaciones de perforación, así como su respuesta Post-Voladura (Figura 35).

Figura 35

Software de radar Reutech (MSR 234)



Nota: Monitoreo del talud Noreste del Tajo Cuajone. En la imagen se puede apreciar los *movimientos del D53. Elaborado por Geotecnia Mina.*

Para llevar a cabo este proceso, se empleó el radar MSR 234, de la marca Reutech, un dispositivo que opera mediante ondas electromagnéticas. A diferencia del monitoreo con estación total, este sistema no depende de estaciones de retroreflexión (prismas) y operó de manera continua las 24 horas del día, proporcionando datos en tiempo real. El radar proporciona una cobertura completa del monitoreo del Tajo, con una disponibilidad y utilización que supera el 95%.

Su funcionamiento se mantiene en estado Normal incluso en condiciones climáticas adversas, incluyendo fuertes lluvias, vientos y neblina. Además, se ha implementado un sistema de videovigilancia CCTV con alimentación autónoma, el cual está integrado al radar MSR 234. Este sistema permite la ubicación remota de movimientos, en consonancia con los niveles de alerta establecidos para los taludes en movimiento.

CONCLUSIONES

1. Al realizar el análisis de estabilidad del talud Noroeste de la Mina Cuajone, mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2, se logró determinar el diseño óptimo del talud considerando el ángulo interrampa (IRA) adecuado, ello a través de un exhaustivo análisis cinemático y cálculo de factores de seguridad (FOS), que garantizan la estabilidad en la zona Sur (sección A-Á) y zona Norte (sección B-´B) del talud Noroeste de la mina Cuajone.
2. Al realizar el análisis cinemático se determinó 3 familias de discontinuidades (Fam1, Fam2 y Fam3), que sirvió como datos de entrada en el modelamiento numérico para calcular el factor de seguridad. De las cuales, se identificó que la familia Fam3 es la que tiene mayor impacto en la formación de roturas planares en ambos sectores analizados. Así mismo, los sectores analizados tienen un control mixto y anisotrópico con deterioro de la fábrica de la roca intacta con más del 50%, originado por la alteración supergena en la zona de contacto con la topografía original, las discontinuidades presentes tienen una persistencia mayor a 3 bancos y forman roturas tipo planar. Los análisis realizados solo tienen alcance al talud a conformar sobre la plataforma de desacople en el nivel 3310.
3. Al calcular el factor de seguridad (FOS) para cada sector, considerando el factor de perturbación (D) del macizo por efecto de voladura, D=0.8-0.9, se obtiene que la mejor alternativa de estabilización para el sector es utilizar un IRA=43° para lograr un FOS=1.1 (estable) con una ocurrencia de rotura planar de 25%, el ancho de la plataforma de desacople se reduciría a 52m. En el sector Norte, se debe utilizar un IRA=38° para lograr un FOS=1.57 (estable).

RECOMENDACIONES

1. Reconfigurar el diseño del talud, en el sector sur, para la estabilización del D53. Se recomienda utilizar un IRA=43° para lograr un FOS=1.1(estable) con una ocurrencia de rotura planar de 25%, el ancho de la plataforma de desacople se reduciría a 52m. Continuar con los controles en las voladuras para asegurar la estabilidad de los nuevos taludes a conformar.
2. En el sector norte, se debe diseñar un talud corrido con 38° hasta la generación de la plataforma de desacople, puesto que, la deformación del talud ocurrirá en el relleno por efecto del banqueo en la base.
3. Realizar los perfilados de los taludes sin dejar material sobre las estructuras planares; perfilar siguiendo las discontinuidades persistentes. Complementar el diseño desde la plataforma de desacople hasta alcanzar la rampa de diseño de la Fase 7. El sector Sur debe continuar con IRA=43° y el sector norte con IRA=41°.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ardiles, A. & Ahumada, L. (2018). *Estudio de factor de seguridad y caracterización geotécnica para la estabilidad del talud minado en concesión Sojo Piura, 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.

Barrios, J. (2022). *Sistema de Drenajes (informe interno). Mina Cuajone: Southern Perú Copper Corporation*, Perú.

Cervera, L. (2022). *Método de elementos finitos Estabilidad de taludes*. EADIC.

Concha, O. (2015). *Geología de la Mina Cuajone, reporte interno SPCC*.

Cooper, S. (2017). *Estudio de la estabilidad de los taludes en una Mina operativa excavada en suelo duro/roca blanda.* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica De Madrid, España.

Curasma, C. & Quinto S. (2019). *Estudio comparativo entre el método de equilibrio límite y elementos finitos en el análisis de estabilidad de ladera en el sector Heramocco - comunidad de Sacsamarca - 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Huancavelica, Perú.

Eugenio, M. (2017). *Análisis de Inestabilidad de Taludes Mediante Equilibrio Límite y Elementos Finitos, Tramo Santa Rosa– Tuco Bajo Carretera Bambamarca – Centro Poblado Tuco.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Cajamarca, Perú.

Gonzales, L. (2006). *Ingeniería geológica*. Madrid, España: Pearson.

Gonzales, L., Ferrer, M., Ortaño, L., & Oteo, C. (2004). *Taludes en ingeniería geológica.* Madrid: Pearson.

Gutierrez, C. (2015). *Análisis de una presa utilizando un programa de elementos finitos*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma De México, México.

Gutierrez, A. F. (2018). *Análisis y estabilización del talud sur – oeste fase 5 del Tajo Cuajone*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa Arequipa, Perú.

Herrera, E. (2020). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicado al análisis de estabilidad de taludes en el yacimiento Jesica, Ocuviri - Lampa - Puno - 2015 - 2016.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Hoek, E. (2000). *Rock mass properties en E. Hoek, Rock engineering*. Vancouver, Canadá: Rock engineering.

Inacap. *Manual usuario Software Phase 2.0*. Chile.

López, J. (2022). *Aplicación de técnicas de interferometría radar satélite al análisis de estabilidad de taludes en zonas mineras*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica De Madrid, España.

Mendoza, J. A. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la Mina Antapaccay*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Merchàn, J. B. & Sànchez, D. R. (2013). *Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos "Las Victorias".* (Tesis de pregrado). Universidad De Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Mesa, M. & Tejada E. (2017). *Analysis of slopestability in embankment still 18 m heights through the limit equilibrium methods and the finite elementmethod*. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba.

Morales. (2009). *Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke*, Universidad De Chile. Chile.

Pérez, O. (2015). *Análisis Geotécnico para la Estabilización de la Plataforma Conformada Sobre el Talud para la Construcción de los Pilotes y Dado del Eje 2 Puentes El Tablazo, mediante El Método de Equilibrio Límite Utilizando Gen*

Hoek Brown y Elementos Finitos-Carga de Gravedad. (Tesis de pregrado). Universidad De Santander, Colombia.

Ramos, A. (2017). *Análisis de estabilidad de taludes en rocas. Simulación con LS-DYNA y comparación con Slide.* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica De Madrid, España.

Ricci, M. E. (2018). *Caracterización geotécnica y análisis de estabilidad de "Proyecto continuidad Mina Gabriela*. (Tesis de pregrado). Universidad De Talca, Curicò, Chile.

Romero, M. J. (2022). *Análisis de la estabilidad del talud del botadero de la concesión minera Camila III en la provincia de Mariscal Nieto del Departamento de Moquegua.* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Del Perú, Arequipa, Perú.

Salvatierra, R. D. (2021). *Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de minerales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021.* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Del Norte. Trujillo, Perú.

Sanhueza, C. & Rodriguez L. (2013). *Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales*. Revista de la Construcción.

SRK, C. (2014). *Estimación de Propiedades del Macizo Rocoso para la Mina Cuajone, Perú.* Informe preparado para Southern Perú Copper Corporation, Perú.

SRK, C. (2015). *Peligro sísmico para la Mina Cuajone, Perú. Rev. D.* Informe preparado para Southern Perú Copper Corporation, Perú.

SRK, C. (2016). *Estudio Geotécnico Plan de 15 años – Tajo Cuajone Rev. 1.* Informe preparado para Southern Perú Copper Corporation, Perú.

Suarez, J. (2009). *Análisis Geotécnico*. (Libro) (2da ed.) Colombia: Bucaramanga: Industrial de Santander.

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Colombia, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Tardeo, C. & Zanabria, E. (2016). *Análisis Dinámico de Estabilidad de Taludes por Elementos Finitos en la Zona de Huayllapampa del Distrito de Cuenca Huancavelica.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Huancavelica, Perú.

Turpo, J. I. (2018). *Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del Tajo superficial del área de explotación en la unidad minera "Moisés Randy" 2010.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Moquegua, Moquegua, Perú.

Universidad, C. (2010). *Diseño de minas a cielo abierto.* Universidad de Chile, Chile.

Urrutia, P. (2008). *Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de los taludes de la Costa Verde en el distrito de Miraflores.* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú.

Willie, D, & Mah, C. (2001). *Rock slope engineering: Civil and Mining.New York, Institute of Minig and Metallurgy.* Nueva York.

ANEXOS

Tabla 13

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBEJTIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Interrogante general	**objetivo general**	**Hipótesis general**	**Variable independiente**	**Variable independiente**	**Variable independiente**
¿Cómo se puede analizar la estabilidad del talud noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos?	Analizar la estabilidad del talud noroeste de la Mina Cuajone mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2.	El análisis de estabilidad mediante el método de elementos finitos usando el Software Phase2 permitirá calcular el factor de seguridad para estabilizar el talud Noroeste de la Mina Cuajone.	Método de elementos finitos.	Factor de Seguridad "FS" estático y pseudoestatico	FS > 1.3 Talud Estable FS < 1.3 Talud Inestable (Probabilidad de deslizamientos)
Interrogantes específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**	**Variable dependiente**	**Variable dependiente**	**Variable independiente**
¿Cómo realizar el análisis cinemático para identificar familias de discontinuidades presentes del talud Noroeste de la Mina Cuajone?	Realizar el análisis cinemático para identificar las familias de discontinuidades presentes en el talud Noroeste de la Mina Cuajone.	Con la realización del análisis cinemático se identificará las familias de discontinuidades presentes en el talud Noroeste de la Mina Cuajone.	Estabilidad del talud Noroeste de la unidad minera Cuajone.	Caracterización del macizo rocoso	Parámetros geologicos-geotecnicos
¿Cómo calcular el factor de seguridad y diseño final para proporcionar estabilidad al talud Noroeste de la Mina Cuajone?	Calcular el factor de seguridad y determinar el diseño final del talud Noroeste de la Mina Cuajone que proporcionara su estabilización.	La determinación tanto del factor de seguridad óptimo como del diseño final del talud del Noroeste de la Mina Cuajone asegurará su estabilidad, y además garantizará un equilibrio costo-beneficio en la ejecución del proyecto.		Parámetros de diseño de talud final Producción del plan de minado	Parámetros geométricos, Tonaleje de material extraído (relación plande minado – zona intestable)

Nota: Elaboración propia.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Pamela Patricia Catari Colque
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 72970287
Correo electrónico	: pcatari99@gmail.com
Teléfono/Celular	: 992364844

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD NOROESTE DE LA MINA CUAJONE MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS - 2023"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.05
c) Fecha de publicación: 2024

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : CHRIST JESÚS BARRIGA PARIA
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 44331713
c) ORCID : 0000-0002-7130-9297

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72970287
NOMBRES Y APELLIDOS : PAMELA PATRICIA CATARI COLQUE

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(_X_) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72970287

NOMBRES Y APELLIDOS : Pamela Patricia Catari Colque

FECHA : 19 de abril del 2024

ANEXO VIII

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Pamela Patricia Colari Colque,
bachiller de la Escuela Profesional de:
Ingeniería de Minas,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 72970287, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:

Análisis de estabilidad de talud Noroeste de la mina Cuajone mediante el método de elementos finitos - 2023

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 19 de abril del 2024



Huella digital

Nombres y Apellidos:
DNI:

INFORME DE TESIS - PAMELA CATARI COLQUE

21% Textos sospechosos



20% **Similitudes**
2% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
1% **Idiomas no reconocidos**

Nombre del documento: INFORME DE TESIS - PAMELA CATARI COLQUE.pdf
ID del documento: 4b6e5bfd321da4efa975ca3f7c72f5bfc0be6e76
Tamaño del documento original: 3,39 MB

Depositante: CHRIST JESUS BARRIGA PARIA
Fecha de depósito: 27/3/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 27/3/2024

Número de palabras: 19.605
Número de caracteres: 135.757

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**repositorio.unsa.edu.pe** https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/825dff80-49c3-46a0-a061-64f221980a7... 17 fuentes similares	6%		Palabras idénticas: 6% (1211 palabras)
2	**repositorio.unsa.edu.pe** https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3281/Glgulies13.pdf 3 fuentes similares	4%		Palabras idénticas: 4% (754 palabras)
3	**repositorio.unsa.edu.pe** https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/d648b63b-f02c-45c8-8f9d-6c9c23924d83/download 6 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (621 palabras)
4	**1library.co** | PLANO DE ESTRUCTURAS PRINCIPALES Alrededores de Mina Cuajone https://1library.co/article/plano-de-estructuras-principales-alrededores-de-mina-cuajone.q052r3gy 2 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (576 palabras)
5	**1library.co** | PROSPECCIÓN, EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DEL YACIMIENTO DE CU... https://1library.co/document/y94r34lq-prospección-exploración-y-desarrollo-del-yacimiento-de-cuaj... 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (339 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	**renati.sunedu.gob.pe** | Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Análisis de... https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3233067	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	**tesis.pucp.edu.pe** https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21552/LAVADO_MEJIA_MELAN...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
3	**repositorio.upn.edu.pe** https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25967/Trabajo de Investigación_Total.pdf?se...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
4	**repositorio.upn.edu.pe** | Estudio de factor de seguridad y caracterización geotécn... https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13369?show=full	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
5	**cybertesis.unmsm.edu.pe** https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/20.500.12672/4816/3/Lopez_pe.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA Nº 320-2024-UNAM/CO

Moquegua, 09 de mayo de 2024

LA COMISIÓN ORGANIZADORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de fecha 08 de mayo de 2024; PROVEÍDO N° 9321-2024 de fecha 08 de mayo de 2024 emitido por la Presidencia de la Comisión Organizadora; INFORME N° 294-2024-UNAM-CO-P/SG de fecha 07 de mayo de 2024 emitido por la Secretaría General; CARTA Nº 042-2024-GYT/UNAM-PCAS de fecha 06 de mayo de 2024 emitido por el Especialista de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas y demás documentos que escoltan el expediente administrativo, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, de conformidad con la Ley N° 28520 de fecha 23/05/2005, se creó la Universidad Nacional de Moquegua, cuyo artículo 1º dispone: "créase la Universidad Nacional de Moquegua como persona jurídica de derecho público interno, con sede en la ciudad de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua";

Que, el artículo 29° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, establece que, aprobada la ley de creación de una universidad pública, el Ministerio de Educación (MINEDU), constituye una Comisión Organizadora integrada por tres (3) académicos de reconocido prestigio, que cumplan los mismos requisitos para ser Rector (…). Esta Comisión tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que, de acuerdo a la presente Ley, le correspondan";

Que, mediante Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU de fecha 31/01/2024, se reconformó la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua, integrada por los académicos: Dr. Jorge Lázaro Franco Medina, como Presidente; Dr. Edwin Molina Porcel, como Vicepresidente Académico y Dr. Avid Roman Gonzalez, como Vicepresidente de Investigación;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad.** En el caso de la Universidad Nacional de Moquegua, dada su condición y naturaleza, corresponde ejercer dicha atribución a la Comisión Organizadora quien hace las veces de Consejo Universitario, disposición relacionada con la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias;

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Que, el artículo 44° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis** o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora Nº 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022 y N° 880-2023-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante la Carta N° 042-2024-GYT/UNAM-PCAS, el Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, la relación de tres (3) bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes se encuentran aptos para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Comisión Organizadora de fecha 08 de mayo de 2024;

Que, se ha establecido como atribución de la Comision Organizadora de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Ordinaria de fecha 08 de mayo de 2024, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la**

---

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:

a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garántizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

modalidad de la Sustentación de Tesis, a tres (3) Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante la Resolución Presidencial Nº 100-2024-UNAM-CO/P de fecha 08 de mayo de 2024, se encargó las funciones y atribuciones inherentes del despacho de la Presidencia de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua al Dr. Edwin Molina Porcel, Vicepresidente Académico, por el periodo comprendido del 09 al 13 de mayo de 2024;

Estando en uso de las facultades y atribuciones conferidas en el artículo 18° de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 30220, Ley Universitaria; el Documento Normativo denominado: "Disposiciones para la Constitución y Funcionamiento de las Comisiones Organizadoras de las Universidades Públicas en proceso de Constitución", aprobado mediante la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias, y en la Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU, así como en el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua y demás normas concordantes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS,** por la modalidad de la Sustentación de Tesis, a los Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, que se consigna en el listado siguiente:

1. **ROMINA CLAUDIA MARTINEZ SOTOMAYOR**

   TESIS : "OPTIMIZACIÓN DEL REQUERIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA MEJORA DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ONEMINE EN LA ZONA ALTA VETA ANGELA NV. 4500 EN LA UNIDAD MINERA INMACULADA – HOCHSCHILD, AYACUCHO", cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

2. **LESLY STEFANY ALIAGA GARCIA**

   TESIS : "INCIDENCIA DE LA RESTRUCTURACIÓN DEL IPERC LÍNEA BASE EN LA MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN SSOMA DE LA EMPRESA COPPERFIELD PERÚ SAC", cuyo Asesor fue el Dr. Victor Adrian Ponce Estrada.

3. **PAMELA PATRICIA CATARI COLQUE**

   TESIS : "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD NOROESTE DE LA MINA CUAJONE MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS - 2023". cuyo Asesor fue el Dr. Christ Jesus Barriga Paria.

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

///... **Resolución de Comision Organizadora Nº 320-2024-UNAM/CO**

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a todas las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.

DR. EDWIN MOLINA PORCEL	**ABOG. KEVIN YUVER CHIHUAN QUISPE**
Presidente (e) de la Comisión Organizadora	Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua	Universidad Nacional de Moquegua

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe