UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

"IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN POR BANQUEO DESCENDENTE EN EL YACIMIENTO DE CALIZA CAMBRUNE – CARUMAS"

TESIS

Presentado por:

Bach. ESTEFFANY JULYETT LINARES MOLINA

Para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2025

Folio N° 057

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

R.C.F. N° 054 - 2025 - CF - FACIA - UNAM

Fecha: 24/07/25

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

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN POR BANQUEO DESCENDENTE EN EL YACIMIENTO DE CALIZA CAMBRUNE - CARUMAS

Bachiller: ESTEFFANY JULYETT LINARES MOLINA

Asesor Principal: DR. ARQUÍMEDES LEÓN VARGAS LUQUE

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: DIECISEIS (16) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:30 horas, del 30 de JULIO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
JORGE LUIS TOMÁS FLORES SOLÍS
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
JUAN ELÍAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Esteffany Julyett Linares Molina
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

"A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. A mi familia, por ser mi fuente inagotable de motivación. A mis docentes y mentores, por compartir su sabiduría y guiarme en este arduo camino. Esta tesis es un reflejo de todo lo que he aprendido, gracias a ustedes."

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la fuerza y la sabiduría necesarias para llegar hasta aquí. A mi madre, por su apoyo incondicional, su amor, y por ser siempre mi mayor inspiración. A mi familia, por su constante motivación y compañía en este viaje académico.

Expreso mi profunda gratitud a mi asesor, Dr. Arquímedes León Vargas Luque, por su dedicación, orientación, y valiosos consejos a lo largo de todo este proceso. Su experiencia y apoyo fueron fundamentales para la realización de esta tesis.

Agradezco también a mis docentes y mentores, quienes compartieron su conocimiento y me guiaron en el desarrollo de este trabajo. A mis compañeros y colegas, quienes con su colaboración y camaradería hicieron de esta experiencia un aprendizaje enriquecedor.

Asimismo, el agradecimiento por el apoyo al proyecto de investigación "Piroclasto pumicita del volcán Ticsani en el proceso de tratamiento de aguas residuales de una población".

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de este trabajo. Sin su ayuda y apoyo, este proyecto no habría sido posible.

RESUMEN

La búsqueda de eficiencia en un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de calizas permitió realizar el estudio, y se planteó como objetivo implementar un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, asegurando la eficiencia del método en las condiciones específicas del yacimiento. Se realizó la investigación durante un período de seis meses, en el cual se llevaron a cabo estudios geomecánicos y análisis mineralógicos. La metodología empleada se basó en la caracterización y descripción in situ del macizo rocoso del yacimiento para comprender sus condiciones específicas como la litología, las estructuras y características geomecánicas de las rocas. Los resultados revelan que el macizo rocoso tiene una inclinación de SE 40° y un rumbo de 5° OE, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos, y las discontinuidades, como fracturas y fallas, afectan la estabilidad del talud. Sin embargo, el índice RQD es alto (75% a 90%), lo que indica una buena calidad del macizo. La resistencia a la compresión uniaxial varía entre 100 y 250 MPa, reflejando la solidez del material, que está compuesto principalmente por calcita (59,30%) y dolomita (15,10%). La investigación también destaca la importancia de considerar la alteración de las fases mineralógicas, ya que estas pueden debilitar la estructura del macizo si no se gestionan adecuadamente. Se concluye que el sistema de explotación por banqueo descendente es adecuado para las condiciones geológicas del yacimiento, permitiendo bancos de mayor altura y reduciendo el riesgo de colapsos. Este estudio proporciona información valiosa para la planificación de operaciones mineras seguras y eficientes, contribuyendo al desarrollo sostenible de la minería en la región.

Palabras clave: Explotación Minera, banqueo descendente, yacimiento de caliza, geomecánica.

ABSTRACT

The search for efficiency in a top-down bench mining system in the limestone deposit allowed for the study to be carried out, with the objective of implementing a top-down bench mining system in the Cambrune limestone deposit, ensuring the method's efficiency under the specific conditions of the deposit. The research was conducted over a six-month period, during which geomechanical studies and mineralogical analyses were performed. The methodology employed was based on the characterization and in-situ description of the rock mass of the deposit to understand its specific conditions, such as lithology, structures, and geomechanical characteristics of the rocks. The results reveal that the rock mass has a dip of 40° SE and a strike of 5° NW, which increases the risk of landslides, and discontinuities, such as fractures and faults, affect slope stability. However, the RQD index is high (75% to 90%), indicating good quality of the rock mass. The uniaxial compressive strength varies between 100 and 250 MPa, reflecting the solidity of the material, which is mainly composed of calcite (59.30%) and dolomite (15.10%). The research also highlights the importance of considering the alteration of mineralogical phases, as these can weaken the structure of the rock mass if not properly managed. It is concluded that the top-down bench mining system is suitable for the geological conditions of the deposit, allowing for higher benches and reducing the risk of collapses. This study provides valuable information for planning safe and efficient mining operations, contributing to the sustainable development of mining in the region.

Keywords: Mining Exploitation, down-banking, limestone deposit, geomechanics.

ÍNDICE

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

RESUMEN iv

ABSTRACT v

ÍNDICE vi

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE TABLAS xi

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1. Descripción y formulación del problema 2

1.1.1. Problema General 2

1.1.2. Problemas Específicos 2

1.2. Objetivos 3

1.2.1. Objetivo General 3

1.2.2. Objetivos Específicos 3

1.3. Justificación e importancia 3

1.3.1. Justificación Teórica 3

1.3.2. Justificación Práctica 4

1.3.3. Justificación Metodológica 4

1.3.4. Importancia de la Tesis 5

1.4. Hipótesis 5

1.4.1. Hipótesis General 5

1.4.2. Hipótesis Específicas 5

1.5. Variables 6

1.5.1. Variable independiente 6

1.5.2. Variable dependiente 6

CAPÍTULO II 7

MARCO TEÓRICO 7

2.1. Antecedentes del problema 7

2.2. Bases teóricas 18

2.2.1. Calidad de la roca 18

2.2.2. Ensayo de compresión simple 18

2.2.3. Normas y Métodos de Ensayo 19

2.2.4. Geomecánica y estabilidad de taludes 23

2.2.5. Métodos de Explotación Minera: Banqueo descendente. 23

2.2.6. Implementación de Equipos Mecanizados 24

2.2.7. Caracterización Geomecánica de Yacimientos 25

2.2.8. Mineralogía y Litología de la Caliza 25

2.2.9. Hidrogeología y Gestión del Agua en Minería 25

2.2.10. Planificación y Diseño de Minas 26

2.2.11. Seguridad en Minería 27

2.2.12 Sostenibilidad y medio ambiente 28

2.2.13. Gestión de proyectos mineros 29

2.2.14. Los factores geométricos primordiales que determinan la planificación de una operación minera al descubierto. 29

2.3. Definición de términos 30

CAPÍTULO III 33

METODOLOGÍA 33

3.1. Tipo y nivel de investigación 33

3.1.1. Tipo de investigación 33

3.1.2. Nivel de investigación 33

3.2. Ámbito temporal y espacial 33
3.2.1. Ámbito temporal 33
3.2.2. Ámbito espacial 34
3.3. Población y muestra 36
3.3.1. Población 36
3.3.2. Muestra 36
3.4. Instrumentos y materiales 36
3.5. Procedimientos 37
3.6. Análisis de datos 41
3.6.1. Análisis cinemático mediante software Dips 44
3.6.2. Análisis estático mediante software Slide2 47
3.6.3. Análisis pseudoestático (condición sísmica) 50
3.6.4. Análisis económico estimado 52
CAPÍTULO IV 53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 53
4.1. Descripción de la realidad 53
4.1.1. Inclinación y Buzamiento del Macizo Rocoso 54
4.1.2. Discontinuidades y Calidad del Macizo 54
4.1.3. Resistencia a la Compresión Uniaxial 54
4.1.4. Condiciones Hidráulicas 55
4.2. Características geológicas, geomecánicas y geométricas del macizo rocoso. 55
4.2.1. Características de la roca 56
4.2.2. Meteorización y alteración 56
4.2.3. Criterios según la resistencia de la masa rocosa 56
4.2.4. Criterios según las características de fracturamiento de la roca 56
4.2.5. Criterios según las condiciones de las paredes de las discontinuidades 57

4.2.6. Condiciones geomecánicas 57
4.2.7. Controles y sostenimiento 57
4.2.8. Descripción del método 58
4.2.9. Sustento de los ciclos de minado 58
4.3. Diseño geométrico del sistema de banqueo descendente 58
4.3.1. Parámetros de diseño 58
4.3.2. Secuencia y Avance de la Explotación 61
4.3.3. Arranque y Cargue 62
4.3.4. Ventajas del sistema mecánico frente a la voladura 62
4.3.5. Análisis cinemático y estabilidad del talud 63
4.3.6. Comparación con diseños anteriores 64
4.3.7. Implicaciones para la explotación 65
4.4. Extracción de reservas aplicando el método de banqueo descendente 65
4.4.1. Producción estimada semanal 65
4.5. Infraestructura necesaria 66
4.6. Transporte del material extraído 67
CAPÍTULO V 75
CONCLUSIONES. 75
CAPÍTULO VI 76
RECOMENDACIONES 76
CAPÍTULO VII 78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 78
VIII. ANEXOS 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Correlación entre calidad del macizo rocoso y diseño de sostenimiento……...19
Figura 2: Caracterización del Macizo Rocoso para Estimar su Resistencia. Clasificación GSI, Hoek y Brown……..….21
Figura 3: Ubicación del centro poblado Cambrune……..…….…..…..34
Figura 4: Actividades de campo in situ……..…...37
Figura 5: Ensayo de carga puntual en laboratorio…….…..38
Figura 6: Equipo de laboratorio…….…….…39
Figura 7: Afloramiento de roca caliza determinada como cantera…….……..…40
Figura 8: Análisis cinemático de falla planar mediante Dips…….….43
Figura 9: Análisis cinemático de falla en cuña mediante Dips……...44
Figura 10: Análisis cinemático de volcamiento mediante Dips……..45
Figura 11: Perfil del talud modelado en Slide2……..….46
Figura 12: Cálculo del Factor de Seguridad estático (Fellenius)……....48
Figura 13: Factor de Seguridad en condición pseudoestática……..…49
Figura 14: Perfil de banco de explotación…….……..……59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados del análisis químico de la muestra de caliza del yacimiento Cambrune…41
Tabla 2: Análisis de fases mineralógicas por difracción de rayos X (DRX) en muestra de caliza del yacimiento Cambrune……....42
Tabla 3: Parámetros de diseño de talud……...…47
Tabla 4: Resultados de factor de seguridad (estático)…….....48
Tabla 5: Resultados de factor de seguridad (pseudoestático)……..…50
Tabla 6: Coordenadas UTM de cada parte del talud…….....62
Tabla 7 : Discontinuidades principales del talud…….63
Tabla 8 : Análisis económico del transporte con mini dumper eléctrico…….67

INTRODUCCIÓN

La minería representa una de las principales actividades económicas del Perú, destacándose no solo por su contribución al producto bruto interno, sino también por su impacto en el desarrollo tecnológico y social de diversas regiones. En este contexto, el estudio y optimización de métodos de explotación minera cobran especial relevancia, en particular para yacimientos no metálicos como la caliza, material esencial para la industria de la construcción y la fabricación de cemento.

El yacimiento de caliza Cambrune, ubicado en el distrito de Carumas, región Moquegua, presenta condiciones geológicas específicas que requieren de técnicas de extracción cuidadosamente adaptadas para garantizar tanto la eficiencia operativa como la estabilidad geomecánica del macizo rocoso. Frente a esta necesidad, la presente investigación plantea la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente como una alternativa eficiente para la extracción de caliza en dicho yacimiento. El banqueo descendente es un método de explotación a cielo abierto que permite aprovechar de manera óptima la inclinación natural del terreno, facilitando la estabilidad de los taludes y minimizando riesgos geotécnicos. Su aplicación adecuada depende de un análisis riguroso de las características geomecánicas del macizo rocoso, tales como la resistencia a la compresión, el índice de calidad de la roca (RQD) y las propiedades de las discontinuidades presentes.

La investigación aborda un enfoque descriptivo y exploratorio, en el cual se realizaron estudios de campo, ensayos geomecánicos y análisis mineralógicos, permitiendo diseñar un sistema de explotación adaptado a las condiciones particulares del yacimiento. El desarrollo de esta tesis no solo busca optimizar la producción y garantizar la seguridad operativa, sino también contribuir al conocimiento técnico en la planificación y diseño de explotaciones mineras de caliza.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

La explotación del yacimiento de caliza Cambrune en la región de Carumas se enfrenta a desafíos específicos relacionados con la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente. Este método requiere una planificación detallada y una evaluación precisa de las características del yacimiento para asegurar su viabilidad en un entorno sin el uso de explosivos.

El yacimiento de caliza Cambrune presenta particularidades geológicas y geomecánicas que influyen directamente en la implementación del sistema de banqueo descendente. La ausencia de explosivos en el proceso de extracción añade una capa adicional de complejidad, requiriendo técnicas mecánicas que deben ser cuidadosamente adaptadas al entorno específico del yacimiento. La correcta formulación e implementación de este sistema es crucial para evitar problemas de estabilidad y para asegurar una recuperación óptima del mineral.

1.1.1. Problema General

¿Cómo se puede implementar un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, asegurando la eficiencia del método en las condiciones específicas del yacimiento?

1.1.2. Problemas Específicos

¿Cómo se puede plantear la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, considerando las técnicas mecánicas necesarias y las condiciones geológicas del entorno?

¿Qué características geomecánicas del yacimiento de caliza Cambrune deben evaluarse para determinar la adecuación del sistema de banqueo descendente, y qué medidas deben adoptarse para garantizar la estabilidad y eficiencia del método?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, asegurando la eficiencia del método en las condiciones específicas del yacimiento.

1.2.2. Objetivos Específicos

Plantear la implementación de un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune.

Evaluar las características geomecánicas del yacimiento de caliza Cambrune para determinar la adecuación del sistema de explotación por banqueo descendente.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Teórica

La tesis se fundamenta en la teoría geomecánica y los modelos de estabilidad de taludes, los cuales son esenciales para el diseño y planificación de operaciones mineras en yacimientos de caliza. La implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de Cambrune se apoya en los principios de mecánica de rocas y geotecnia, específicamente en la evaluación de la resistencia a la compresión uniaxial de la caliza y el análisis del RQD (Rock Quality Designation). Estos conceptos teóricos permiten comprender el comportamiento del macizo rocoso bajo condiciones de extracción y asegurar que las operaciones mineras se realicen de manera segura y eficiente. La tesis también se enmarca en la literatura existente sobre métodos de explotación y diseño geométrico de bancos, lo que contribuye a la validación y contraste de los resultados obtenidos.

En este contexto, el estudio busca primero plantear técnicamente la implementación del banqueo descendente, considerando el diseño de los bancos, bermas y ángulos de talud adecuados. Asimismo, es fundamental evaluar las características geomecánicas del yacimiento de caliza Cambrune, como la

resistencia de la roca, la presencia de fracturas, planos de debilidad y comportamiento bajo esfuerzos para asegurar que el sistema propuesto no solo sea viable, sino también seguro y rentable.

La investigación aportará conocimiento técnico esencial para la adecuada toma de decisiones sobre el método de explotación más eficiente y sostenible, reduciendo riesgos de inestabilidad, optimizando costos operativos y asegurando un aprovechamiento racional de los recursos del yacimiento.

1.3.2. Justificación Práctica

Desde una perspectiva práctica, esta investigación proporciona una guía para la implementación efectiva del método de banqueo descendente en yacimientos de caliza, adaptado a las condiciones geomecánicas específicas del yacimiento de Cambrune. Al establecer un diseño geométrico adecuado y medidas de sostenimiento, la tesis ofrece soluciones concretas para optimizar la extracción de minerales, minimizando los riesgos de deslizamientos y colapsos. Los hallazgos de este trabajo permiten a los ingenieros mineros y geotécnicos tomar decisiones informadas sobre la altura de los bancos y el ángulo de inclinación de los taludes, asegurando la estabilidad del macizo rocoso y la seguridad de las operaciones mineras. Además, los resultados pueden ser aplicables a otros yacimientos con características similares, ampliando así el alcance práctico de la investigación.

1.3.3. Justificación Metodológica

Metodológicamente, la tesis sigue un enfoque riguroso basado en la recopilación y análisis de datos geomecánicos, como la resistencia a la compresión uniaxial, el RQD, y la caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X. Estos datos fueron utilizados para modelar la estabilidad de los taludes y determinar la altura óptima de los bancos. El uso de software especializado para simulaciones y cálculos geomecánicos garantiza la precisión de los resultados, mientras que el análisis comparativo con estudios previos en la literatura

proporciona un marco de referencia sólido. La metodología adoptada es replicable y puede ser aplicada en otros contextos mineros, lo que fortalece la validez de los hallazgos.

1.3.4. Importancia de la Tesis

Esta tesis es de importancia para la industria minera, especialmente en el contexto de la explotación de yacimientos de caliza. Al proporcionar un diseño optimizado del sistema de banqueo descendente, la investigación contribuye a mejorar la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras, lo que puede traducirse en una mayor rentabilidad y sostenibilidad del proyecto. Además, el estudio ofrece un aporte valioso al conocimiento técnico en la disciplina de la ingeniería de minas, ampliando la comprensión sobre el comportamiento de macizos rocosos en condiciones específicas de explotación. La investigación también tiene un impacto potencial en la formación de políticas y normativas relacionadas con la minería, al proponer prácticas basadas en datos científicos y metodologías validadas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La implementación de un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune puede ser efectivamente realizada, asegurando la eficiencia operativa al considerar las condiciones geomecánicas específicas del yacimiento.

1.4.2. Hipótesis Específicas

La implementación de un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune será viable y eficiente al identificar y considerar adecuadamente los factores técnicos y operativos específicos del yacimiento.

Las características geomecánicas del yacimiento de caliza Cambrune, como la resistencia de la roca y la estabilidad del talud, son adecuadas para la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente y permitirán diseñar un plan de explotación eficiente.

1.5.Variables

1.5.1. Variable independiente

Implementación del sistema de explotación por banqueo descendente

Indicadores de variable independiente:

- Técnicas de extracción mecánica
- Planificación de la secuencia de extracción

1.5.2. Variable dependiente

Adecuación y eficacia del sistema de explotación por banqueo descendente

Indicadores de variable dependiente:

- Estabilidad del talud
- Recuperación de la roca
- Seguridad operativa
- Eficiencia del proceso

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Internacionales

En un proyecto de autoría conjunta de Alvear et al. (2011), titulado: “Diseño y Análisis Económico de la Explotación a Cielo Abierto de un Yacimiento de Caliza”, en Guayaquil-Ecuador, el objetivo planteado fue el diseño y la planificación de las operaciones de arranque, carga y transporte en la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza. Este proyecto se caracterizó por su enfoque en la planificación minera a 5 años, además de un plan a largo plazo para la explotación de las reservas de la cantera. La propuesta de diseño adoptada consistió en un sistema de "banqueo descendente" que incluía 8 niveles de explotación, cada uno con una altura de 10 metros. Para estimar las reservas, se llevaron a cabo cortes longitudinales y transversales en la cantera. Posteriormente, se realizó un análisis económico que consideró dos alternativas: una con inversión en volquetas para la fase de carga y otra que no las empleaba, modificando el proceso de acarreo del material. La elección se basó en la alternativa que ofreció la mayor rentabilidad, lo que indicó que la inversión realizada resultó favorable en términos de rentabilidad a lo largo del tiempo.

Contento y Pinto (2014), en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, presentaron un proyecto de tesis titulado "Diseño del método de explotación del yacimiento de caliza Módulo Norte de la Mina La Esperanza, Municipio La Calera – Cundinamarca." Su objetivo general fue diseñar un método de explotación de caliza con el propósito de mejorar los procesos extractivos y permitir la restauración progresiva de los terrenos afectados por la explotación en la mina La Esperanza, que abastecía a la empresa Cemex Colombia en la producción de cemento. Tras un análisis, concluyeron que el método de "Bancos Escalonados Descendentes" resultaba más apropiado, permitiendo alcanzar una producción diaria de 107 m^3. Además, destacaron que la elección del método se basó en consideraciones de geometría, topografía, propiedades físicas y geomecánicas del depósito de caliza. El estudio también mencionó alternativas aplicables en este tipo de explotaciones, como

el "Banco único," "Bancos escalonados descendentes," y "Bancos escalonados ascendentes".

Muñoz (2015), llevó a cabo una investigación titulada "Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 10231", en Quito-Ecuador, con el propósito de estimar las reservas en el Área Minera Mary Elena y diseñar un método de explotación adecuado. Como resultado de su estudio, se optó por el método de explotación por "bancos descendentes," con la propuesta de cuatro bancos, cada uno con una altura de cinco metros. Para estimar las reservas, se realizaron nueve perfiles transversales utilizando software especializado como Civil3D, lo que arrojó una cifra de 367,222.500 toneladas de reservas probadas. Además, se utilizaron programas como Vulcana y Gemcom para estimar reservas adicionales, obteniendo cifras de 399,325 toneladas y 399,318.46 toneladas, respectivamente. Estos resultados fueron fundamentales para la planificación y gestión de la explotación en el Área Minera Mary Elena, mejorando la comprensión de las reservas disponibles y el diseño del sistema de explotación.

Moreno (2015), llevó a cabo un proyecto que tenía como objetivo evaluar la viabilidad, tanto técnica como económica, de la explotación de una cantera de calizas en la formación geológica Calizas del Páramo, ubicada en la subcomarca de la Alcarria de Alcalá, al sureste de la Comunidad de Madrid, España. La caliza extraída se destinaba a la fabricación de cemento, micronizados y pinturas, mientras que el subproducto se empleaba como árido en diversas aplicaciones de construcción. El proyecto planteó una explotación a cielo abierto por el método de banqueo descendente en profundidad con restauración progresiva. Se estimó que se extraería un volumen total de aproximadamente 32,85 millones de toneladas durante un período de explotación de alrededor de 30 años a partir de la situación actual. El análisis de indicadores económicos indicó que el proyecto era rentable, lo que llevó a la conclusión de que, tanto desde una perspectiva técnica como económica, la explotación de la cantera era viable y beneficiosa.

Tshibangu et al. (2015) en su estudio "Assessment of rock slope stability in limestone quarries: A coupled mining planning and FEM approach", publicado

en Engineering Geology for Society and Territory, desarrollaron un enfoque integrado que combinó planificación minera con análisis de elementos finitos (FEM) para evaluar la estabilidad de taludes en canteras de caliza. La investigación, de tipo aplicado-analítica, implementó modelos geomecánicos 3D basados en datos de campo como son los mapeos de discontinuidades y laboratorio. Los resultados demostraron que la integración de la secuencia de explotación en los modelos FEM permitió predecir zonas críticas de inestabilidad con una precisión del 89%, reduciendo los costos de estabilización en un 23% mediante la optimización del ángulo final del talud (entre 60°-65° para calizas fracturadas). El estudio concluyó que esta metodología es particularmente efectiva para operaciones de banqueo descendente en yacimientos sedimentarios, donde la orientación de las discontinuidades afecta significativamente la estabilidad a largo plazo.

Yılmaz et al. (2015) en su estudio "Rock Slope Stability Assessment of Limestone Quarry; An Example from Istanbul Cebeci Region, Turkey", presentado en el 12th IAEG Congress, investigó problemas de estabilidad en taludes de calizas carboníferas altamente fracturadas y kársticas en una cantera de agregados. Mediante un enfoque integrado (campo-laboratorio-numérico), realizaron: (1) levantamientos detallados de discontinuidades, (2) ensayos de propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, y (3) análisis cinemáticos y de elementos finitos para evaluar zonas críticas. Los resultados identificaron múltiples modos de falla (ej. planar, cuña) en distintos sectores del talud, con factores de seguridad inferiores a 1.3 en zonas disturbadas. Como medidas correctivas, propusieron: (a) optimización geométrica del ángulo de talud (reducción a ≤65°), (b) instalación de mallas metálicas con pernos, y (c) barreras dinámicas para caída de rocas. El estudio concluyó que la combinación de métodos empíricos y numéricos es clave para diseñar taludes estables en calizas fracturadas, minimizando riesgos operativos y ambientales.

En 2018, Asof & Gofar publicaron el artículo "Block model approach for analysis of rock bench stability in open pit mines" en la Malaysian Journal of Civil Engineering . Este estudio presenta un enfoque basado en un modelo de bloques para analizar la estabilidad de los bancos de roca en minas a cielo abierto. El objetivo principal fue identificar zonas inestables dentro del macizo rocoso mediante la

segmentación del talud en bloques discretos, lo que permitió evaluar las condiciones estructurales que comprometen la estabilidad. La metodología empleada se centró en el análisis geomecánico y la simulación computacional, destacando cómo las discontinuidades y propiedades del material influyen en el comportamiento del talud. Los resultados subrayan la utilidad del modelo de bloques como herramienta para predecir fallas potenciales y optimizar el diseño geométrico de los bancos, garantizando operaciones mineras más seguras y eficientes.

Sah et al. (2018) en su estudio "Hill slope instability of Nainital City, Kumaun Lesser Himalaya, Uttarakhand, India", publicado en el Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, investigaron los factores geomecánicos que contribuyen a la inestabilidad de taludes en un contexto geológico complejo dominado por calizas dolomíticas, esquistos y areniscas de la Formación Krol. Mediante un enfoque integrado de campo y laboratorio, los autores identificaron que la combinación de sistemas de discontinuidades (incluyendo fallas como la del Lago Nainital y el Manto de Cabalgamiento Principal), sobrecarga por construcciones civiles no planificadas, y actividad neotectónica, reducían el factor de seguridad (FOS) a niveles críticos (<1.2) durante la temporada de monzones. Los análisis de clasificación del macizo rocoso (RMR) y cinemática de discontinuidades revelaron que los mecanismos predominantes de falla eran de cuña y planar, especialmente en zonas con buzamiento de estratos hacia el NW (dirección del lago). El estudio concluyó que estas condiciones son análogas a las encontradas en canteras de caliza a cielo abierto con alta densidad de fracturas, destacando la necesidad de: (a) monitoreo geotécnico continuo, (b) optimización de ángulos de talud (<50° para RMR <45), y (c) medidas de soporte como mallas metálicas en áreas crítica.

Oggeri et al., (2019), son importantes las propiedades geológicas, topografía y la morfología como se emplaza la cantera de caliza para las explotaciones a cielo abierto, se suman los aspectos medioambientales que poseen parámetros máximos permisibles, relacionados con una elección determinada del método de extracción del material, tornándose fundamental una caracterización detallada de factores positivos y negativos precisaron los investigadores del Instituto Politécnico de Torino en Turín, Italia.

Elkarmoty et al., (2020), los investigadores de la universidad de El Cairo y Bolonia Italia señalan, con la finalidad de tener mejores promedios de recuperación en los cortes de bloques para explotar caliza, al emplearse un algoritmo 3D, se logra mejorar la geometría de los bancos y reducen con la información el problema d las fracturas que causan pedida económica y materiales.

Azarafza et al. (2021) en su artículo de revisión "Discontinuous rock slope stability analysis by limit equilibrium approaches", publicado en International Journal of Digital Earth, realizaron un análisis exhaustivo de los métodos de equilibrio límite (LEM) aplicados a la estabilidad de taludes rocosos discontinuos en minería a cielo abierto y cortes naturales. El estudio, de tipo teórico-comparativo, destacó que los LEM son preferidos por su simplicidad, rapidez de análisis y capacidad para integrarse con funciones probabilísticas para estima el factor de seguridad (F.S), superficies de falla probables y mecanismos de falla variados (planar, cuña, vuelco). Los autores identificaron que los LEM 2D/3D son efectivos para analizar taludes con discontinuidades complejas (ej. fracturas, estratificación), especialmente cuando se combinan con criterios no lineales como Hoek-Brown generalizado para macizos rocosos fracturados. La revisión también señaló limitaciones, como la subestimación de efectos de dilatancia por corte y ablandamiento por deformación, que requieren métodos híbridos (LEM + elementos finitos) para su corrección 7. Como conclusión, el estudio propuso un marco sistemático para seleccionar LEM según el tipo de falla y condiciones geológicas, relevante para diseñar taludes en canteras de caliza con alturas superiores a 30 m y ángulos entre 50°-70°

Şirin et al., (2021), en la investigación realizada en Poggio Imperiale, Foggia, Italia, se centra en bancos de una cantera de caliza, donde detectan que su mejor recuperación llega al 53%, empleándose un cortador con hilo de diamante, se redujo notablemente los costos de la huella de carbono, consumo de energía, generación de polvo, y otros factores como la optimización medioambiental y económica.

Low (2022) en su estudio "Context-Dependent Parameter Sensitivities in Rock Slope Stability", publicado en Rock Mechanics and Rock Engineering, investigó cómo la sensibilidad de los parámetros geomecánicos varía según el contexto en análisis de

estabilidad de taludes rocosos. Mediante el método de confiabilidad de primer orden (FORM) y comparaciones con simulaciones de Monte Carlo, el autor demostró que factores como la cohesión (c) y el ángulo de fricción (φ) tienen influencia variable dependiendo de la geometría del talud, la presencia de discontinuidades, y las condiciones hidrológicas. En un caso aplicado a una cantera de caliza, el estudio reveló que la altura del talud y el ángulo de inclinación eran los parámetros más críticos (contribuyendo al 60% de la variabilidad del factor de seguridad), mientras que la cohesión solo era determinante en taludes con bajos ángulos (<45°). La investigación concluyó que el enfoque FORM permite optimizar diseños de banqueo descendente al identificar parámetros clave caso por caso, reduciendo costos de estabilización en un 15-20% frente a métodos deterministas tradicionales.

Silva et al (2022) Sobre el problema de estabilidad de taludes en bancos altos en minería, esbozó que está influenciada por las tensiones internas y las propiedades mecánicas de las rocas, lo cual impacta directamente en la geometría segura de los taludes, por ello se planteó el siguiente objetivo: analizar la estabilidad de taludes en bancos altos, evaluando las tensiones y propiedades mecánicas de las rocas (como la densidad y resistencia a compresión uniaxial) y su influencia en el factor de seguridad (SF) según diferentes alturas de banco. Como resultado determinó que, a 50 m de altura, el factor de seguridad disminuye a valores menores a 1, especialmente en la zona superior, donde ocurre la intersección entre el manto de meteorización y la roca firme, indicando condiciones críticas de inestabilidad.

Reddy (2023) en su estudio "Monitoring and Prediction of Slope Failure Instability in a Limestone Mine", publicado en el Journal of Mines, Metals & Fuels, realizó una investigación de tipo aplicada-descriptiva con un diseño de campo no experimental. El objetivo principal fue evaluar la estabilidad de taludes en una mina de caliza mediante técnicas de monitoreo predictivo para prevenir colapsos y optimizar la seguridad operativa. La muestra incluyó el análisis de una falla en el sector norte de la mina, utilizando métodos como inspección visual, monitoreo con prismas, piezómetros y extensómetros de cable. Los resultados demostraron que un programa de monitoreo integral permite operar con márgenes de seguridad más eficientes, reduciendo riesgos económicos y laborales. Además, se identificó que estas técnicas

proporcionan alertas tempranas de inestabilidad, facilitando medidas correctivas. Como conclusión, el autor destacó que la implementación de sistemas de monitoreo proactivo es esencial para minas de caliza, ya que mejora la estabilidad de los taludes y cumple con normativas de seguridad minera.

Wang et al. (2023) en su estudio "Failure mechanism and stability analysis of an open-pit slope under excavation unloading conditions", publicado en Frontiers in Earth Science, desarrolló un análisis teórico y numérico para evaluar la estabilidad de taludes en minas a cielo abierto bajo condiciones de excavación y descompresión. Mediante la teoría de mecánica de fracturas, los autores derivaron expresiones para el factor de intensidad de esfuerzos en la punta de grietas, el ángulo de iniciación de fracturas y la altura máxima segura del talud, definiendo un factor de estabilidad como la relación entre la tenacidad a la fractura del macizo rocoso y el factor de intensidad de esfuerzos compuestos. Los resultados demostraron que el ángulo de iniciación de grietas disminuía al aumentar la inclinación de la fisura, pero aumentaba con el coeficiente de presión lateral, ángulo del talud y coeficiente de fricción la altura segura crítica del talud seguía una relación no lineal con el ángulo de la grieta y era inversamente proporcional al ángulo del talud; y el método propuesto mostró concordancia con el método de equilibrio límite, validando su precisión para predecir colapsos inducidos por descompresión. El estudio concluyó que este enfoque proporciona bases teóricas para el control de riesgos en taludes mineros, especialmente en proyectos con alturas crecientes y condiciones geomecánicas complejas.

Mitchell & Sass (2024) investigaron sobre los procesos de meteorización de la caliza, en ciclos térmicos y de congelamiento-deshielo, su objetivo fue investigar cómo el contenido de humedad en la roca afecta los procesos de meteorización y cambios en la porosidad. La metodología empleada fue someter a varios ciclos de intemperismo con distintos niveles iniciales de humedad (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %). El resultado fue que, en los ciclos térmicos cortos, el contenido de humedad no tuvo un efecto significativo en el aumento de porosidad.

Kainthola et al (2025) en su investigación de los taludes rocosos a lo largo de las carreteras en los terrenos del Himalaya Superior dijo que son propensos a diversos

tipos de fallas. Esto representó un riesgo significativo para la infraestructura vial y la seguridad, por lo que se requirió una evaluación detallada del comportamiento del macizo rocoso, para discernir esto se planteó el siguiente objetivo, para evaluar el comportamiento de los macizos rocosos a lo largo de un tramo de carretera en el Himalaya Superior mediante la aplicación comparativa de distintos esquemas de clasificación geomecánica (RQD, RMR, SMR, Q-slope y GSI), e identificar los parámetros más influyentes en la estabilidad de los taludes utilizando algoritmos de aprendizaje automático. Empleó la metodología del algoritmo de Random Forest para determinar la importancia de los parámetros que influyen en RMR, SMR y Q-Slope, en sus resultados de la investigación demostró que el uso combinado de múltiples esquemas de clasificación geomecánica puede ofrecer una evaluación más completa y complementaria de la estabilidad de taludes.

Li et al (2025) investigaron sobre la extracción de roca expuesta en regiones kársticas para el monitoreo de peligros y la evaluación ecológica. Sin embargo, en áreas con vegetación dispersa, las rocas expuestas tienen características espectrales similares a otras coberturas del suelo y presentan límites poco definidos, lo que dificulta su identificación, para ello fijaron su Objetivo: Desarrollar un método eficaz de extracción de roca expuesta en regiones kársticas. La metodología se plasmó mediante un modelo mejorado y liviano de segmentación semántica de enfoques tradicionales en términos de precisión y eficiencia computacional. Aplicaron el modelo a imágenes ortofotográficas de la región de estudio. Los resultados concluyen que para el monitoreo se deben emplear ortofotos

Alabere et al (2025) en su investigación sobre la conectividad de poros y permeabilidad en calizas del Cretácico en Abu Dhabi, se plantearon el objetivo: Investigar y comprender la conectividad porosa, el tamaño poro y la distribución de la permeabilidad en un reservorio de caliza del Cretácico en Abu Dhabi, utilizando un enfoque combinado de laboratorio y física digital de rocas. Su metodología consistió en el análisis mediante tomografía eléctrica, microscopia y una simulación mediante la ley de Darcy. Se identificó una mayor proporción de poros conectados en comparación con poros mal interconectados, debido a formaciones tempranas y enterramiento por suelos húmedos.

Nacionales

Contreras (2017) en su tesis "Diseño del plan de explotación de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín", de tipo aplicada-explicativa con diseño no experimental, determinó el método de explotación óptimo para un yacimiento de caliza con 22,877,926 toneladas métricas de reservas probadas. El estudio incluyó cuatro etapas: análisis de calidad de calizas, cubicación de reservas, diseño geométrico del sistema de banqueo (perforación, voladura y acarreo), y planificación de producción. Los resultados mostraron una capacidad inicial de extracción de 1,200 toneladas diarias, con proyección de incremento según demanda de mercado, utilizando hornos Maerz ubicados a 500 metros de la cantera. El autor concluyó que el diseño propuesto optimizó la explotación garantizando eficiencia operativa y escalabilidad, destacando la importancia de la cubicación precisa y la adaptabilidad a condiciones geológicas (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco).

Chávez & Longa (2019) llevaron a cabo una tesis titulada "Influencia del Diseño de Bancos Múltiples Descendentes en la Explotación de Caliza en la Mina Resurrección, Bambamarca 2018", Cajamarca-Perú. Su objetivo general fue demostrar la factibilidad de un método de explotación que garantizara una producción constante de caliza de buena calidad a bajo costo. Según la clasificación RMR, la calidad de la roca se clasificó como regular, con una cohesión de 200 a 300 Kpa y un coeficiente de fricción entre 25° y 35°. El factor de seguridad para el talud final se calculó en 1.479, utilizando el software Slide (Método de Janbú), lo cual se consideró aceptable para este tipo de explotación con un talud de 70°. El diseño del método de explotación incluyó una profundidad máxima del tajo en el nivel 2890, con bancos de 10 metros y bermas finales de 3.4 metros, formando un talud final de 70°. La producción diaria programada fue de 1230 toneladas métricas, con un factor de recuperación del 65% en la planta de trituración, proporcionando 800 toneladas métricas disponibles para la calcinación en los hornos. Los costos de operación se evaluaron en US$ 7.60 por tonelada métrica. Los resultados respaldaron la viabilidad técnica y económica de la explotación de caliza en la Mina Resurrección de Bambamarca con el diseño de bancos múltiples descendentes.

Huamán & Quispe (2019), llevaron a cabo una investigación titulada "Método de extracción por bancos descendentes para optimizar la producción de agregados en la Cantera La Tuna Blanca, Santa Cruz – Cajamarca." El objetivo general de este trabajo fue proponer un método de extracción por bancos descendentes con el fin de mejorar la producción de agregados en dicha cantera. La conclusión del estudio incluyó el diseño de 13.5 niveles de explotación, con una altura de banco de seguridad de 10 metros, un ancho de berma de 6.5 metros, ángulos de talud específicos para arcilla y áridos. Según los resultados obtenidos, la implementación de este método permitiría optimizar la producción de agregados en la Cantera La Tuna Blanca, generando una utilidad diaria de s/.1,570.08, mensual de s/.37,681.92, y anual de s/.452,183.04. Además, se proyectó una vida útil de la cantera de 235.9 años, evidenciando así su viabilidad a largo plazo y su potencial contribución económica significativa.

Quispe (2020), llevó a cabo un estudio en la concesión minera Encanto Blanco Lyof, ubicada en Huancayo, Junín, Perú. Su objetivo principal fue determinar el aumento de la producción mediante la implementación de un nuevo método de extracción a cielo abierto. En este trabajo, se empleó un diseño de investigación de tipo correlacional para establecer relaciones entre las variables dependientes, como la producción y los costos de operación, y la variable independiente representada por el método de extracción a cielo abierto. En cuanto a la muestra, la elección no siguió un enfoque probabilístico, sino que se basó en las características específicas de la investigación y criterios predefinidos. La decisión de seleccionar la veta secundaria en la concesión Encanto Blanco se fundamentó en su rica reserva de calcita con alto contenido de carbonato de calcio. Los resultados obtenidos revelaron que la aplicación del método de extracción a cielo abierto, con un enfoque particular en el banqueo descendente, generó un incremento sustancial en la producción mineral. Este aumento fue notable, pasando de 15 TM/disparo a 4,992.84 TM/disparo. Además, se logró una reducción significativa en los costos operativos, disminuyendo de 28.55 S/. /TM a 7.44 S/. /TM. Estos cambios resultaron en un aumento notable en la rentabilidad del proyecto, pasando de S/. 15,121.13 a S/. 1,235,041.64, con un avance de 10 m en longitud a lo largo de la veta. Las conclusiones extraídas indican que la

implementación del método de extracción a cielo abierto no solo propició un aumento en la producción, sino que también posibilitó la recuperación eficiente de calizas con alto contenido de carbonato de calcio.

Regional

En la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, se ha presentado la tesis titulada "Optimización del Plan de Minado de la Cantera de Caliza La Unión, ubicada en el distrito de Baños del Inca - Cajamarca", cuyo autor fue Piérola (2017), como requisito para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas. La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (SMRL) "La Unión de Cajamarca" es la titular de la concesión minera no metálica "La Unión", que abarca 100 hectáreas. Esta empresa realizaba una producción artesanal de aproximadamente 30 toneladas métricas por día. Ante la necesidad de aumentar la producción, se planteó la interrogante central: ¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca? El objetivo principal era evaluar las características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte. Se utilizó como línea de base las operaciones mineras actuales. La calidad del macizo rocoso de calizas, definida como RMR 57, indicó que es una roca de calidad regular, con una densidad en banco de 2.51 TM/m3. Las reservas minerales se estimaron en 855,972.00 TM. Los resultados de la voladura mostraron una producción diaria de 65 m3 de roca fragmentada o suelta. El transporte se realizaba con volquetes Dodge 800 de 6 cubos. La producción diaria se ajustó a 30 TM/día de calcinación en los dos hornos, con una capacidad operativa del 50%. Esta producción diaria resultó en una ganancia mensual de US $10,468.67.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad de la roca

La caliza es una roca sedimentaria que se compone en su mayor parte de carbonato de calcio (CaCO3) en forma de minerales como la calcita o el aragonito. Esta roca es una de las más frecuentes y ampliamente distribuidas en todo el planeta, encontrándose en numerosas aplicaciones dentro de distintas industrias y en entornos naturales. Su formación se lleva a cabo a lo largo de millones de años por medio de la acumulación y compactación de restos de organismos marinos, principalmente conchas de mariscos y corales. La piedra caliza puede manifestar diversas texturas y colores, dependiendo de su composición, y ha sido aprovechada por la humanidad para una variedad de propósitos a lo largo de la historia.(Mahmut, 2018)

La roca caliza se compone principalmente de carbonato de calcio, pero también puede contener cantidades variables de impurezas como arcilla, limo y material orgánico. La presencia de impurezas puede afectar su color y textura. Se forma en ambientes marinos donde la acumulación de desechos orgánicos ricos en carbonato de calcio, incluidas conchas y coral, es frecuente. Con el tiempo, estos materiales se comprimen y endurecen, formando piedra caliza.

Existen varios tipos de piedra caliza, cada una con sus características únicas. Algunas variedades comunes incluyen tiza, marga, travertino y toba, que difieren en términos de textura, origen y uso.(Mahmut, 2018).

2.2.2. Ensayo de compresión simple

El ensayo de compresión simple es un método estándar utilizado para determinar la resistencia a la compresión de materiales, especialmente rocas y suelos, bajo condiciones controladas. Este ensayo mide la capacidad de un material para soportar cargas axiales aplicadas hasta el punto de falla, proporcionando datos críticos para el diseño y la evaluación de la estabilidad de estructuras y excavaciones en ingeniería civil y minería (Barton & Choubey, 1977).

2.2.3. Normas y Métodos de Ensayo

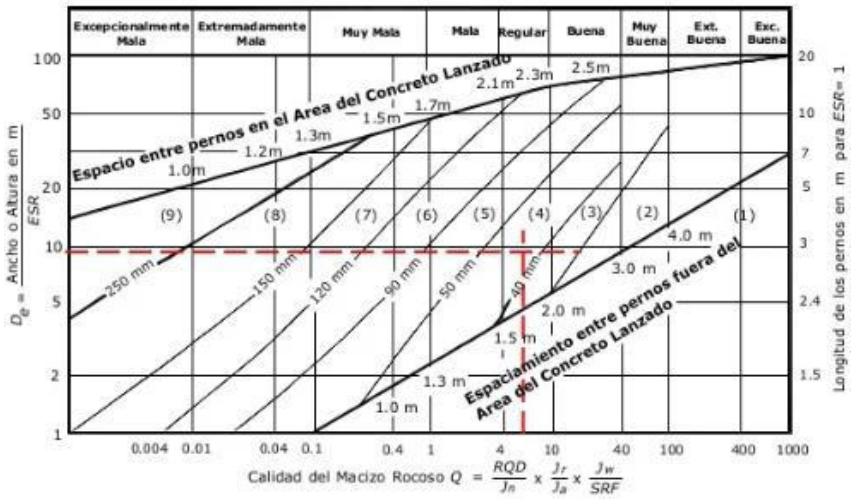
El ASTM (2019) establece los métodos para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto, que se utiliza frecuentemente como referencia para ensayos de compresión en materiales de construcción. Según esta norma, se utilizan cilindros de concreto para medir la resistencia máxima antes del fallo, proporcionando datos relevantes sobre la calidad y resistencia del material. ASTM International.

Barton y Choubey (1977) introducen métodos para evaluar la resistencia al corte de materiales de relleno rocoso, que se pueden correlacionar con la resistencia a la compresión en el contexto de la mecánica de rocas. El estudio de Barton y Choubey ofrece una visión sobre cómo las propiedades mecánicas de los materiales de relleno afectan la estabilidad estructural.

La evaluación de la calidad del macizo rocoso es esencial para determinar las medidas de sostenimiento necesarias en la explotación del yacimiento de caliza Cambrune. La Figura 1 presenta un gráfico que relaciona el índice de calidad del macizo rocoso (Q) con parámetros como el espaciamiento entre pernos (ESR), el diámetro de los anclajes (D_e), y la longitud de los pernos, según el sistema de clasificación de Barton. Este diagrama, basado en las curvas de diseño para concreto lanzado, permite identificar las condiciones óptimas de refuerzo, considerando un RQD que varía entre 75% y 90% y una resistencia a la compresión uniaxial de 100-250 MPa, lo que respalda la estabilidad del macizo para el método de banqueo descendente.

Figura 1

Correlación entre calidad del macizo rocoso y diseño de sostenimiento



Fuente: Adaptado de Barton, N. (2002). "Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design." Rock Mechanics and Rock Engineering.

Hoek y Brown (1980) proporcionan una base sólida para comprender cómo la resistencia a la compresión afecta el diseño de excavaciones subterráneas y la estabilidad de taludes. Su libro es una referencia clásica que detalla el comportamiento de las rocas bajo carga, incluyendo pruebas de compresión.

La Figura 3 presenta una tabla de caracterización del macizo rocoso, diseñada para estimar su resistencia a la compresión y evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de fracturación y estructura.

La tabla se organiza en función de dos criterios principales: estructura y condición del frente, permitiendo identificar cuatro categorías principales de macizos rocosos:

1. Bloques Regulares (BR): Se refiere a un macizo rocoso con una estructura bien definida, formado por bloques angulares sin alteraciones significativas. Este tipo de macizo es ideal para aplicaciones donde se requiere alta resistencia y estabilidad.
2. Bloques Irregulares (BI): Indica un macizo parcialmente alterado, con bloques irregulares y formas más redondeadas debido a la presencia de discontinuidades o

fracturas. Este tipo de macizo puede presentar mayor debilidad comparado con los bloques regulares.

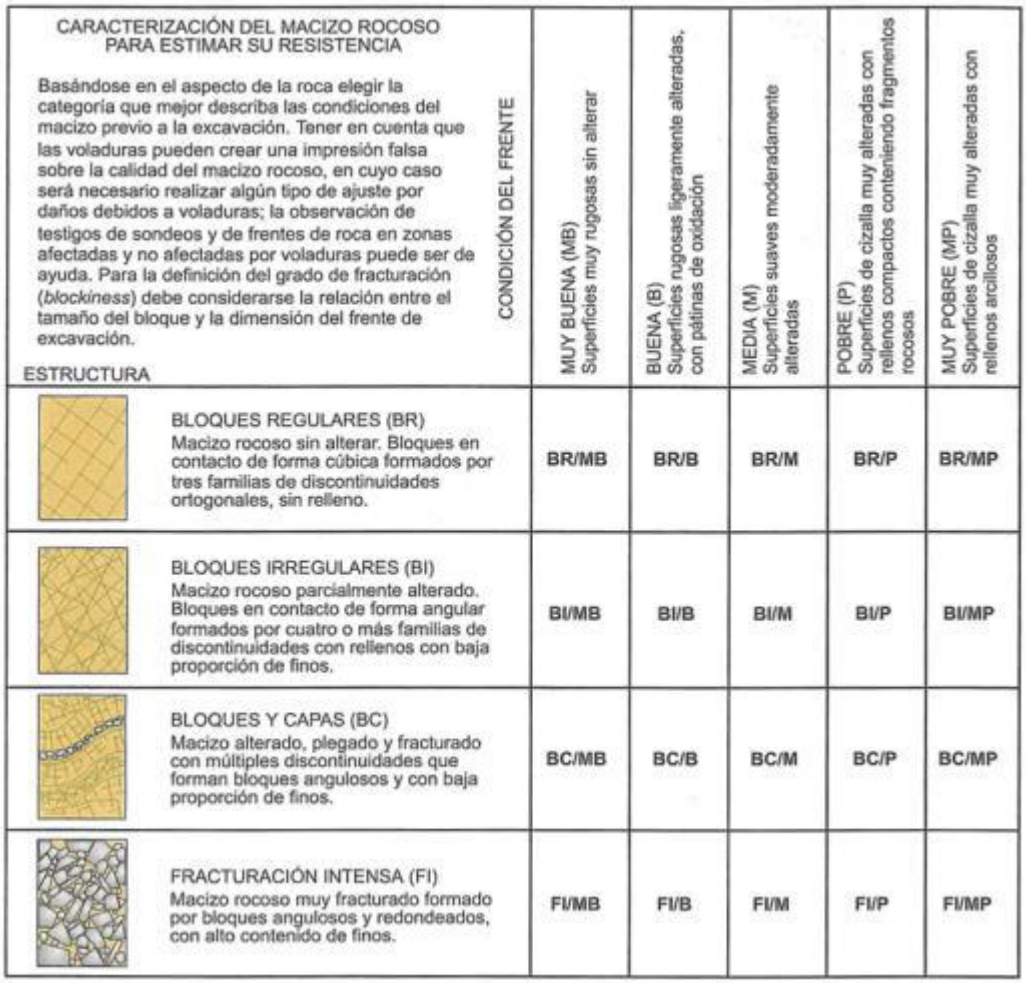
3. Bloques y Capas (BC): Describe un macizo altamente alterado, con evidentes signos de pliegues y fracturas, formando bloques angulares y capas. Este tipo de macizo suele requerir medidas adicionales de sostenimiento debido a su menor resistencia.
4. Fracturación Intensa (FI): Representa un macizo extremadamente frágil y fragmentado, con una alta proporción de finos y materiales desmenuzados. Este tipo de macizo es el menos resistente y demanda un diseño especializado para garantizar la seguridad durante las operaciones.

Cada categoría está asociada con diferentes niveles de alteración del macizo, desde "Muy Buena" hasta "Muy Pobre", lo que permite evaluar tanto la calidad intrínseca del material como su capacidad para resistir cargas externas. Esta clasificación es crucial para determinar el método de explotación óptimo, así como las medidas de sostenimiento necesarias para garantizar la estabilidad del talud y la seguridad operativa.

En la Figura 2 se muestra una tabla que es una herramienta práctica para caracterizar el macizo rocoso basándose en su estructura y condición superficial. Esta herramienta proporciona una clasificación sistemática que ayuda a los ingenieros y geólogos a evaluar la resistencia del material y planificar adecuadamente las operaciones de excavación o construcción.

Figura 2

Caracterización del Macizo Rocoso para Estimar su Resistencia. Clasificación GSI, Hoek y Brown



CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (*blockiness*) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación. ESTRUCTURA	CONDICIÓN DEL FRENTE MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Fuente: Gonzales Vallejo et al., 2002. (Fig. 3.94)

ISRM (2007) sugiere métodos para la caracterización y prueba de rocas, incluyendo el ensayo de compresión. Este documento de la International Society for Rock Mechanics proporciona directrices para realizar ensayos precisos y obtener datos confiables sobre las propiedades de las rocas.

Jaeger, Cook y Zimmerman (2007) ofrecen una visión integral de los fundamentos de la mecánica de rocas, cubriendo el ensayo de compresión entre otros métodos de prueba. Su texto es esencial para comprender las propiedades mecánicas de las rocas y la interpretación de los resultados de los ensayos.

2.2.4. Geomecánica y estabilidad de taludes

La geomecánica es el estudio del comportamiento de los materiales geológicos bajo condiciones de carga y deformación. En minería, se utiliza para evaluar la estabilidad de los taludes y diseñar sistemas de explotación seguros y eficientes. Hoek & Bray (1981) en su libro *Rock Slope Engineering* proporcionan métodos fundamentales para el análisis y diseño de taludes en roca.

En este caso, dadas las características del macizo rocoso y la necesidad de evitar técnicas convencionales como la voladura, se ha propuesto el uso de equipos mecánicos como el martillo rompedor y la aplicación de cemento expansivo como alternativa principal para el arranque del material. Estas técnicas posibilitan una extracción regulada y segura, minimizando al máximo los peligros vinculados a vibraciones, liberación de fragmentos y modificación del macizo alrededor.

2.2.5. Métodos de Explotación Minera: Banqueo descendente.

El método de explotación por banqueo descendente es una técnica que se utiliza en la minería y la extracción de minerales, incluyendo calizas, que se encuentran en forma de laderas o inclinaciones. Sin embargo, la elección de este método dependerá de una serie de factores, como la geología del yacimiento, el tamaño y la forma del depósito de caliza, las condiciones geotécnicas, los costos operativos y las consideraciones medioambientales.

- Geología del yacimiento: La estructura geológica del yacimiento de caliza es fundamental para determinar si el método de banqueo descendente es adecuado. Si el yacimiento se encuentra en una ladera con una inclinación adecuada y una disposición favorable de las capas de caliza, este método podría ser apropiado.

- Tamaño del depósito: El tamaño del depósito de caliza es un factor importante. Los yacimientos más extensos y continuos suelen ser más adecuados para el banqueo descendente, ya que permiten la extracción a lo largo de la ladera de manera eficiente.

- Condiciones geotécnicas: Las condiciones del suelo y la estabilidad de la ladera son fundamentales. Si el suelo es inestable o la ladera presenta riesgos de deslizamiento, el banqueo descendente podría no ser seguro ni recomendable.

- Costos operativos: Los costos asociados con el método de banqueo descendente, como la construcción de rampas de acceso y la disposición de los desechos, deben ser evaluados en comparación con otros métodos de explotación.
- Consideraciones medioambientales: Es importante considerar los impactos medioambientales y obtener las autorizaciones necesarias para la explotación de caliza en laderas. El método elegido debe cumplir con las regulaciones y estándares ambientales aplicables.

Para el yacimiento de calizas Isimanchi el sistema apropiado de explotación es a cielo abierto (tipo cantera) ya que se trata de un depósito superficial, con escasa cobertura (sobrecarga), que por su morfología corresponde al de tipo "ladera", caracterizado por tener un gran número de bancos donde el frente de extracción será descendente y el abandono del talud final (ángulo de reposo) irá desde los bancos superiores hasta los de menor cota.(Cuenca Manya, 2015)

En el método convencional de explotación por un banqueo descendente la secuencia de ataque o avance se puede realizar en tres direcciones: vertical, horizontal y diagonal; principalmente en el caso de depósitos minerales sedimentarios de morfología longitudinal y alargada, aunque esto es cierto para cualquier tipo, pues siempre hay una dirección preferente y una mayor longitud. (Herrera Herbert, 2022)

2.2.6. Implementación de Equipos Mecanizados

Para llevar a cabo la extracción sin el uso de explosivos, se sugiere la implementación de equipos mecanizados. Estos equipos se integrarán en el frente de explotación para asegurar una operación eficiente y segura. La selección de maquinaria y su configuración se basará en los datos recolectados durante el trabajo de campo.

2.2.7. Caracterización Geomecánica de Yacimientos

La caracterización geomecánica implica la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas y su entorno geológico. Esto es crucial para diseñar sistemas de explotación seguros y eficientes.

Barton, N. (2002). "Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design." Rock Mechanics and Rock Engineering. Este artículo introduce el índice Q, una herramienta utilizada para evaluar la calidad de la roca y su impacto en el diseño de excavaciones.

2.2.8. Mineralogía y Litología de la Caliza

La comprensión de la composición mineralógica y las características litológicas de la caliza es un pilar fundamental en la planificación de cualquier operación minera. No se trata solo de saber que es caliza, sino de conocer qué minerales la componen, en qué proporciones y cómo se distribuyen. Esta información es crítica porque impacta directamente en cada fase del ciclo minero, desde la extracción en la mina hasta su posterior procesamiento para diversos usos industriales.

Por ejemplo, la presencia y proporción de minerales como la calcita y la dolomita definen la pureza de la caliza y su aptitud para aplicaciones específicas, como la fabricación de cemento, el uso en la agricultura o en la industria siderúrgica. Además, la identificación de minerales accesorios o impurezas como la sílice o la arcilla es vital, ya que pueden afectar negativamente la calidad del producto final y generar desafíos adicionales durante el procesamiento.

En definitiva, un conocimiento detallado de estas propiedades es la clave para desarrollar una estrategia de extracción eficiente, segura y económicamente viable, minimizando costos operativos y maximizando el valor del recurso (Tucker, 2001).

2.2.9. Hidrogeología y Gestión del Agua en Minería

La gestión del agua es un aspecto absolutamente crítico en la minería, y su importancia va mucho más allá de una mera consideración operativa. Influye

directamente en la estabilidad geotécnica de las excavaciones, como taludes y frentes de trabajo, y es un pilar fundamental para la sostenibilidad global de las operaciones a largo plazo. Un manejo inadecuado del agua puede llevar a fallas de talud, inundaciones en los frentes de minado, mayores costos de bombeo y, lo que es aún más grave, impactos ambientales negativos en las fuentes de agua circundantes.

Una gestión hídrica robusta, basada en una sólida comprensión hidrogeológica, no solo protege la infraestructura de la mina y la seguridad del personal, sino que también garantiza el cumplimiento normativo ambiental y fomenta una relación positiva con las comunidades locales al proteger sus recursos hídricos. Es, en esencia, una inversión indispensable para la viabilidad y la licencia social para operar de cualquier proyecto minero moderno (Fetter, 2001).

2.2.10. Planificación y Diseño de Minas

La planificación y diseño de minas es una disciplina fundamental que se sitúa en el corazón de cualquier proyecto minero exitoso, integrando de manera intrínseca aspectos técnicos, económicos y ambientales para desarrollar estrategias de explotación que no solo sean eficientes, sino también plenamente sostenibles a largo plazo. No se trata simplemente de excavar, sino de un proceso estratégico y detallado que busca optimizar la recuperación del recurso mientras se minimizan los impactos negativos.

Desde el punto de vista técnico, la planificación y diseño abarca la selección del método de minado más adecuado, ya sea a cielo abierto o subterráneo, basándose en la geología del depósito, las características geomecánicas de la roca (como la caliza en el yacimiento Cambrune) y la profundidad del mineral. Implica diseñar la geometría de la mina —desde la altura y ángulo de los taludes en minas a cielo abierto.

Los aspectos económicos son el motor de la viabilidad del proyecto. La planificación y diseño evalúan la rentabilidad a través de complejos modelos financieros que consideran los costos de capital (inversión inicial), los costos operativos (mano de obra, energía, insumos), los ingresos esperados por la venta

del mineral, los precios de mercado y los impuestos. Se realizan análisis de sensibilidad para entender cómo las variaciones en estos factores pueden afectar la viabilidad del proyecto, buscando maximizar el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

El objetivo es minimizar el impacto ecológico, cumplir con la estricta normativa ambiental vigente y, fundamentalmente, obtener y mantener la licencia social para operar por parte de las comunidades cercanas. La integración exitosa de estos tres pilares asegura que la mina no solo sea productiva, sino también responsable y duradera (Hartman & Mutmansky, 2002).

2.2.11. Seguridad en Minería

La seguridad minera es una prioridad en la industria de la minería y desempeña un papel crítico en todas las etapas de una operación minera, desde la exploración y la planificación hasta la extracción y el cierre del yacimiento. La implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune en Carumas requiere una atención especial a los aspectos de seguridad para garantizar un entorno de trabajo seguro y proteger la salud y la integridad de los trabajadores.

La seguridad minera abarca una amplia gama de consideraciones, que incluyen la estabilidad de las laderas, la prevención de deslizamientos, la protección contra caídas, la gestión de explosivos, la ventilación en espacios subterráneos (si es aplicable), el entrenamiento y la capacitación de los trabajadores, la gestión de riesgos, el cumplimiento de regulaciones y estándares de seguridad, entre otros. En el contexto del banqueo descendente, es esencial abordar aspectos específicos relacionados con la seguridad en la operación en laderas, tales como la prevención de deslizamientos de tierra, la estabilidad de los taludes y la construcción de rampas de acceso seguras.

Las prácticas específicas de seguridad vinculadas al método de banqueo descendente incluyen medidas fundamentales para prevenir deslizamientos de tierra. Estas precauciones son esenciales para garantizar la integridad de la operación minera y la seguridad de los trabajadores. Algunas de estas medidas

comprenden la implementación de sistemas de monitoreo geotécnico continuo para evaluar la estabilidad del terreno, la aplicación de técnicas de revegetación para fortalecer la cobertura del suelo y reducir la erosión, así como la instalación de estructuras de contención, como muros de contención y anclajes, para mitigar el riesgo de deslizamientos. Estas prácticas están diseñadas no solo para salvaguardar la infraestructura minera sino también para preservar el entorno circundante y minimizar los impactos ambientales adversos.

2.2.12 Sostenibilidad y medio ambiente

La sostenibilidad es un principio fundamental que implica la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Este concepto se basa en el equilibrio de tres dimensiones interconectadas: la económica, a social y la ambiental.

La sostenibilidad económica se refiere a la capacidad de mantener y mejorar la calidad de vida a través del desarrollo económico responsable, Esto implica la gestión prudente de los recursos financieros, la creación de empleo y la promoción de la equidad económica.

La sostenibilidad social se relaciona con la promoción de sociedades justas y equitativas. Esto incluye protección de los derechos humanos, la igualdad de oportunidades y la participación de las comunidades en la toma de decisiones.

La sostenibilidad ambiental se centra en la conservación y protección del entorno natural y sus recursos. Esto implica la gestión responsable de los recursos naturales, la reducción de la contaminación y la mitigación del cambio climático. E n el contexto de la implementación del método de baqueo descendente en un yacimiento de caliza, la sostenibilidad se vuelve esencial. La búsqueda de la explotación de recursos energéticos debe estar en consonancia con la preservación del medio ambiente y el bienestar de las futuras generaciones. La consideración de estos principios en este proyecto contribuirá a un enfoque más equilibrado y responsable.

2.2.13. Gestión de proyectos mineros

Los proyectos mineros pasan por diversas etapas, desde la exploración y desarrollo hasta la producción y cierre. Comprender este ciclo de vida es esencial para la gestión de cualquier proyecto minero. Antes de iniciar un proyecto minero se debe realizar una evaluación de factibilidad que incluya estudios de viabilidad económica, técnica y ambiental Esto ayuda a determinar si el proyecto es viable o no y cuáles serían sus costos y beneficios. La planificación detallada es primordial para establecer los objetivos, el alcance, los plazos y los recursos necesarios. La gestión de costos implica estimar, controlar y optimizar los gastos del proyecto. La gestión de equipos y recursos humanos es fundamental. Esto incluye la contratación, capacitación y motivación del personal, así como la resolución de conflictos y la gestión de las relaciones laborales.

Los proyectos mineros enfrentan una variedad de riesgos, desde fluctuaciones en los precios de los minerales hasta los desafíos ambientales y de seguridad. La gestión de riesgos implica la identificación, evaluación y mitigación de estos riesgos-

La gestión de la calidad se refiere a la implementación de estándares y controles de calidad para garantizar que los productos mineros cumplan con la especificaciones y normativas requeridas.

2.2.14. Los factores geométricos primordiales que determinan la planificación de una operación minera al descubierto.

"La implementación del método de banqueo descendente en un yacimiento de caliza, como el de Caliza Cambrune, se ve directamente influida por factores geométricos fundamentales. La disposición específica de bancos y la determinación del ángulo de talud son aspectos críticos que modelan la planificación operativa de una operación minera al descubierto. Estos elementos geométricos, al ser considerados con detenimiento, se convierten en pilares clave para asegurar la eficacia y seguridad de la extracción de minerales en este yacimiento en particular. Explorar cómo estos factores influyen en la estrategia operativa es esencial para abordar de manera efectiva los retos específicos

asociados con la explotación de la caliza en el yacimiento de Caliza Cambrune, optimizando así la aplicación del método de banqueo descendente."

2.3. Definición de términos

Banqueo descendente.

Método de explotación minera que consiste en extraer material mineralizado desde niveles superiores hacia inferiores mediante bancos o terrazas escalonadas, garantizando la estabilidad y continuidad del trabajo. La esencia de este sistema radica en la creación de una serie de bancos o terrazas escalonadas. Esta progresión descendente ofrece varias ventajas críticas:

Garantiza la estabilidad: Al trabajar de arriba hacia abajo, se controla mejor la geometría de los taludes de los bancos. La excavación descendente ayuda a mantener la estabilidad general de la mina, reduciendo el riesgo de deslizamientos y derrumbes, lo cual es vital en yacimientos con características geomecánicas específicas. La gravedad juega a favor del método, facilitando el transporte.

Asegura la continuidad del trabajo: La secuencia escalonada permite que diferentes operaciones (perforación, carguío y transporte) se realicen simultáneamente en distintos bancos. Permite una adaptación progresiva: A medida que la mina profundiza, las condiciones geológicas pueden variar. El método de banqueo descendente permite adaptar el diseño de los bancos y las estrategias de explotación de forma gradual, basándose en la información obtenida de los niveles superiores ya explotados (Hustrulid & Kuchta, 2006).

Macizo rocoso.

Conjunto de rocas unidas o fracturadas que constituyen un volumen continuo de material geológico, cuyas propiedades geomecánicas son esenciales para el análisis de estabilidad en minería. Se considera también como la unidad fundamental de estudio en geomecánica minera, y su caracterización minuciosa es la base para garantizar la seguridad y la eficiencia de las operaciones, especialmente en entornos complejos como los yacimientos de caliza que podrían encontrarse en Moquegua, Perú (Hoek & Brown, 1980).

Caliza.

Roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio ($CaCO_3$), de origen químico o bioquímico, ampliamente utilizada en la construcción y la industria cementera, Su origen químico se da cuando el carbonato de calcio se precipita directamente de soluciones acuosas sobresaturadas, generalmente en ambientes marinos cálidos y poco profundos, o en cuevas, formando estalactitas y estalagmitas (Tucker, 2001).

Discontinuidad.

Defecto estructural natural de una masa rocosa, como fracturas, fallas o planos de estratificación, que afecta la resistencia y estabilidad del macizo. La importancia de estas discontinuidades radica en que afectan drásticamente la resistencia y estabilidad del macizo rocoso. Mientras que una roca intacta puede ser muy resistente, la presencia de incluso una pequeña fractura puede reducir su resistencia significativamente. Estas discontinuidades crean planos de debilidad a lo largo de los cuales la roca puede deslizarse, volcarse o colapsar, especialmente cuando se somete a los esfuerzos generados por la excavación minera. En el contexto minero de lugares como Moquegua, Perú, su análisis detallado es crucial para el diseño seguro de taludes, la selección de métodos de voladura y la determinación de las necesidades de sostenimiento para garantizar la seguridad operativa y la estabilidad a largo plazo de las excavaciones (ISRM, 2007).

RQD (Rock Quality Designation).

Índice que mide la calidad de la roca con base en el porcentaje de recuperación de fragmentos de testigo de perforación mayores a 10 centímetros. Su importancia radica en que el RQD proporciona una estimación rápida y objetiva del grado de fracturamiento o diaclasamiento de la masa rocosa. Un valor alto de RQD (por ejemplo, 75% o más) indica un macizo rocoso de buena a excelente calidad, con pocas fracturas naturales, lo que sugiere mayor resistencia y estabilidad. Por el contrario, un RQD bajo (por debajo del 50%) señala una roca muy fracturada, alterada o de baja calidad, lo que implica mayores desafíos en términos de estabilidad y puede requerir más soporte en las excavaciones mineras (Deere, 1963).

Resistencia a la compresión uniaxial.

Capacidad máxima que una muestra de roca puede soportar antes de fracturarse

bajo una carga de compresión aplicada axialmente. Es importante destacar que se refiere a la roca intacta, no al macizo rocoso completo, cuyas propiedades se ven afectadas por la presencia de discontinuidades. Sin embargo, una alta resistencia en la roca intacta es un buen indicador de la calidad general del material base del macizo (ASTM D7012-14).

Ángulo de talud.

Inclinación medida entre la horizontal y la superficie de un talud o banco de extracción, parámetro crítico para la estabilidad en operaciones a cielo abierto. La inclinación del talud o banco de extracción, a menudo simplemente llamada ángulo del talud, es un parámetro geotécnico en la minería a cielo abierto. Este ángulo es fundamental porque influye directamente en la estabilidad geotécnica de las excavaciones, la seguridad del personal y la eficiencia económica de la operación.

Un talud con un ángulo demasiado pronunciado (más inclinado) puede ser inestable y propenso a deslizamientos o fallas, lo que podría resultar en accidentes, pérdida de equipos y retrasos significativos en la producción. Por otro lado, un talud con un ángulo demasiado suave (menos inclinado) requiere remover una mayor cantidad de material estéril para acceder al mineral (Wyllie & Mah, 2004).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación que se llevó a cabo es de tipo aplicada, ya que se centra en la implementación práctica de un sistema de explotación minera. El objetivo fue resolver un problema específico y mejorar el proceso de extracción en un yacimiento particular, utilizando el método de banqueo descendente. La investigación aplicada buscó generar conocimientos que puedan ser directamente utilizados para resolver problemas concretos en el campo de la minería (Leedy & Ormrod, 2015).

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue descriptivo y exploratorio. La investigación descriptiva se enfocó en detallar las características del sistema de explotación por banqueo descendente y evaluar su aplicación en el yacimiento de caliza Cambrune. La investigación exploratoria, por otro lado, buscó obtener información preliminar sobre la viabilidad del sistema en un entorno específico, dado que es un campo menos explorado o nuevo para el yacimiento en cuestión (Creswell, 2014).

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

La investigación sobre la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune se llevó a cabo durante un período de seis meses. Este plazo permitió la recopilación de datos, el análisis de las características geomecánicas del yacimiento y la evaluación de la eficiencia del sistema propuesto.

El trabajo de campo incluyó campañas técnicas para la identificación de discontinuidades, evaluación de factores de seguridad en los taludes y análisis

estructural del yacimiento, lo cual permitió sustentar las decisiones de diseño del sistema de banqueo descendente. Asimismo, se realizaron mediciones de productividad y estabilidad de los bancos proyectados.

3.2.2. Ámbito espacial

La presente investigación se llevó a cabo en el yacimiento de caliza Cambrune, ubicado en la jurisdicción del distrito de Carumas, perteneciente a la provincia de Mariscal Nieto, en el departamento de Moquegua, al sur del Perú. Esta zona forma parte del contexto geológico de la Cordillera Occidental de los Andes, caracterizada por afloramientos sedimentarios de edades paleozoicas y mesozoicas, entre los que destacan formaciones de caliza de alta pureza, utilizadas en distintas formas en la industria.

El yacimiento de caliza Cambrune presenta condiciones geotécnicas y geomecánicas particulares, tales como estratificación inclinada, presencia de fracturas y variaciones litológicas, que lo convierten en un entorno propicio para evaluar métodos de explotación minera como el banqueo descendente. La accesibilidad a la zona, así como su cercanía a rutas logísticas y plantas de procesamiento, también fueron factores determinantes para seleccionar este sitio como unidad de estudio.

Este ámbito espacial permitió realizar un análisis integral del comportamiento del macizo rocoso bajo condiciones reales de explotación, considerando tanto los aspectos técnicos como operativos en el desarrollo de labores mineras sostenibles y eficientes.

Lugar de Ejecución

El yacimiento de Caliza se encuentra en el centro poblado de Cambrune en Carumas provincia de Mariscal Nieto, en la región de Moquegua.

Ubigeo: 180102

Latitud Sur: 16°49´29.1” S

Longitud Oeste: 70°40´41.1” W

Altitud: 3203 m.s.n.m.

La ubicación geográfica del yacimiento de caliza Cambrune es un aspecto fundamental para comprender el contexto logístico y geológico de las operaciones mineras propuestas. La Figura 3 muestra un mapa que detalla la localización del centro poblado Cambrune, en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua, Perú

Cambrune se encuentra en la parte alta andina del distrito de Carumas, en una zona de relieve montañoso y clima frío de altura. Es una localidad rural de importancia estratégica por su cercanía a yacimientos de caliza y otros recursos no metálicos. La zona forma parte de la cuenca hidrográfica del río Tambo y se encuentra relativamente aislada, con accesos a través de caminos afirmados desde el centro del distrito de Carumas.

Figura 3

Ubicación del centro poblado Cambrune



Nota: Extraído de Google Maps

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población específica de interés para este estudio abarcó los yacimientos de caliza ubicados en el valle de Carumas, centro poblado de Cambrune.

3.3.2. Muestra

La muestra fue determinada mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple, bajo el supuesto de que todos los elementos explotables en la cantera de caliza Cambrune poseen la misma probabilidad de ser seleccionados. Se estableció un marco muestral conformado por los bloques geológicos definidos en el área de estudio, y se utilizó un procedimiento de selección aleatoria para garantizar la representatividad y evitar sesgos en los datos obtenidos. Según Hernández Sampieri, el muestreo probabilístico implica que todos los elementos de la población tienen una probabilidad conocida y distinta de cero de ser seleccionados

3.4. Instrumentos y materiales

Para la observación de campo se hizo:

- Listas de verificación
- Registros fotográficos
- Notas de campo
- Mediciones y pruebas in situ
- Mapas y cartografía existente
- Libreta de campo
- Brújula
- GPS
- Picsa
- Cinta métrica y distanciómetros
- Estación Total
- Nivel de ingeniero

- Prismas
- Nivel de burbuja y plomada
- Trípodes y soportes
- Software Topográfico
- Formatos de clasificación geomecánica del macizo

Equipo de seguridad

- Equipo de protección personal (EPP)
- Elementos de seguridad adicionales como arneses, cuerdas y sistemas de rescate.

3.5. Procedimientos

Para el desarrollo del estudio geomecánico en la cantera de caliza ubicada en Cambrune, se aplicó un enfoque cuantitativo basado en una campaña de exploración in situ. Las actividades de campo se llevaron a cabo mediante la ejecución de inspecciones directas en los frentes de explotación, con el objetivo de recolectar datos estructurales y físicos del macizo rocoso.

Durante la exploración, se realizó la medición sistemática de estructuras geológicas, utilizando brújula geológica para determinar parámetros como el rumbo y buzamiento de las discontinuidades. Asimismo, se identificaron y caracterizaron elementos estructurales relevantes como diaclasas, juntas, fallas y planos de estratificación, evaluando su orientación, espaciamiento, apertura y continuidad.

Para la caracterización mecánica de la roca, se registraron propiedades como la rugosidad superficial, la dureza mediante el martillo de Schmidt, la resistencia a la intemperie, y la presencia de alteraciones o rellenos en las discontinuidades. Estos datos fueron complementados con descripciones litológicas, observaciones de campo in situ y fotografías (Figura 4).

La información obtenida se sistematizó en fichas de levantamiento geomecánico y sirvió como insumo para la posterior clasificación del macizo rocoso.

Este conjunto de procedimientos permitió establecer una base técnica sólida para la evaluación de la estabilidad del macizo rocoso, así como para proponer recomendaciones adecuadas en relación con el método de explotación por banqueo

descendente. Guía de observación: Este instrumento permitió la recolección de información de campo, con pautas de observación establecida de acuerdo con las variables de estudio, y recomendada por autores de la especialidad.

Figura 4

Actividades de campo in situ



Nota: Fotografía de investigadora (tesista)

Se realizó el ensayo de carga puntual en muestras de roca, un método directo que emplea una fórmula específica para cuerpos irregulares, con el fin de estimar la resistencia a compresión uniaxial (UCS) del material. La Figura 5 muestra el equipo de laboratorio utilizado tanto para la preparación como para el ensayo de las muestras de roca extraídas del yacimiento de caliza Cambrune. Este equipamiento permitió llevar a cabo las pruebas en condiciones controladas, asegurando así una caracterización geomecánica precisa y confiable del material estudiado.

Figura 5

Ensayo de carga puntual en laboratorio



Nota: Elaboración Propia

Con el objetivo de obtener información detallada sobre la composición química de la roca caliza presente en el yacimiento de Cambrune, se empleó la técnica instrumental de espectrometría por fluorescencia de rayos X. Este método analítico permitió identificar y cuantificar los elementos presentes en las muestras recolectadas.

La espectrometría XRF se llevó a cabo en laboratorio de mineralogía de la Universidad Nacional de Moquegua (Figura 6), bajo condiciones controladas, a partir de muestras representativas del macizo rocoso. A través de este procedimiento, fue posible determinar su composición, proporcionando una caracterización precisa de la composición mineralógica de la caliza.

Los resultados obtenidos son fundamentales para evaluar la calidad del material y así como para complementar los estudios geotécnicos del yacimiento, permitiendo correlacionar las propiedades químicas con el comportamiento físico-mecánico de la roca.

Figura 6

Equipo de laboratorio



Nota: Elaboración Propia

Como parte del desarrollo del estudio geomecánico en la cantera de caliza ubicada en el sector de Cambrune, distrito de Carumas, se llevaron a cabo diversas actividades de campo (Figura 7) orientadas a la recolección de información estructural y física del macizo rocoso. Estas actividades se realizaron bajo un enfoque cuantitativo y técnico. Las principales actividades iniciaron con un reconocimiento general del área de estudio: Se efectuó una inspección visual preliminar en los frentes de explotación de la cantera para identificar zonas representativas del macizo rocoso y establecer los puntos de muestreo y medición.

Así mismo, se llevaron a cabo mediciones sistemática de discontinuidades utilizando brújula geológica, registrando parámetros como rumbo, buzamiento, espaciamiento, apertura, continuidad y tipo de estructura como diaclasas, juntas, fallas, estratificación, etc.

Se evaluaron propiedades como: Rugosidad de las discontinuidades y dureza mediante el uso del martillo de Schmidt, presencia de rellenos y alteraciones en las discontinuidades, se tomaron notas de campo que permitieron elaborar una descripción litológica y estructural detallada.

Con estas actividades se pudo obtener una caracterización integral del macizo rocoso, información esencial para la aplicación de sistemas de clasificación geomecánica y la evaluación de la estabilidad del talud en la explotación por banqueo descendente.

Figura 7

Afloramiento de roca caliza determinada como cantera



Nota: Elaboración Propia

3.6. Análisis de datos

En base a la información obtenida en campo y gabinete se desarrolló inicialmente un análisis descriptivo de los resultados y logros, hecha la sistematización de información se procedió con los análisis de datos, que se consideran a continuación:

La presente investigación se basó en un enfoque determinista, donde las decisiones de diseño y planificación se tomaron en función de los parámetros geomecánicos y geológicos específicos del yacimiento de caliza de Cambrune. Los análisis realizados se fundamentaron en datos precisos de la resistencia del macizo rocoso, la geometría de los taludes y la caracterización mineralógica.

La Tabla 1 presenta los resultados del análisis químico de laboratorio realizado a la muestra de caliza extraída del yacimiento de Cambrune. Se identifican los principales óxidos presentes, como el CaO, SiO_2 y MgO, determinando la viabilidad del uso industrial de la caliza. Esta información es clave para evaluar la pureza del mineral y su potencial aplicación en la industria cementera y de cal.

Tabla 1

Resultados del análisis químico de la muestra de caliza del yacimiento Cambrune

Parámetro	Símbolo	Contenido (%)	Relevancia industrial
Carbonato de calcio	$CaCO_3$	80.18	Principal componente para producción de cal y cemento
Óxido de hierro	Fe_2O_3	0.71	Impureza que afecta coloración en productos finales
Materiales insolubles	-	5.24	Reduce pureza del material (arcillas/sílice)
Pérdida por ignición	LOI	8.61	Indica contenido de CO_2 y materia orgánica
Carbonato de magnesio	$MgCO_3$	12.55	Modifica propiedades de fraguado en cementos
Óxido de potasio	K_2O	0.06	Traza sin impacto significativo
Óxido de manganeso	Mn_2O_3	0.02	Elemento minoritario
Óxido de sodio	Na_2O	0.44	Puede generar eflorescencias en productos

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos (L.A.S.), 2024. Muestra MN24013895.

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis de difracción de rayos X (DRX) aplicados a la muestra de caliza proveniente del yacimiento de Cambrune, análisis que fue realizado en los Laboratorios Analíticos del Sur, entidad que cuenta con certificación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL), lo que garantiza la confiabilidad y precisión de los datos obtenidos. Este análisis mineralógico permite identificar de manera cualitativa y cuantitativa las fases cristalinas presentes en la muestra, destacando principalmente la presencia de minerales como calcita y dolomita.

La identificación de estos minerales es fundamental para lograr una caracterización detallada de la litología del depósito, dado que las propiedades físicas y químicas de dichos minerales influyen directamente en diversos aspectos de la

explotación minera. Por ejemplo, la proporción de calcita y dolomita puede afectar parámetros como la dureza de la roca, la fragmentación durante las voladuras, así como los procesos de trituración y molienda. Asimismo, estos resultados tienen implicancias importantes en el diseño del método de explotación, la estabilidad de taludes y la planificación de operaciones posteriores, como el procesamiento metalúrgico o la producción de cal viva y cemento.

En síntesis, la información proporcionada por el análisis DRX constituye una herramienta clave para la toma de decisiones técnicas en las etapas de exploración, diseño y operación minera, asegurando un aprovechamiento más eficiente, seguro y rentable del yacimiento de caliza Cambrune.

Tabla 2

Análisis de fases mineralógicas por difracción de rayos X (DRX) en muestra de caliza del yacimiento Cambrune

No.	Mineral (Nombre técnico)	Fórmula química	Contenido (%)	Relevancia industrial/geológica
1	Corindón	Al_2O_3	5.1	Mineral accesorio, aumenta dureza
2	Cuarzo	SiO_2	1.87	Reduce pureza, afecta reactividad
3	Flogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}F_2$	2.9	Mineral arcilloso, influye en plasticidad
4	Albita	$Na(Si_3Al)O_8$	0.92	Feldespato sódico, traza
5	Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1.59	Afecta tiempo de fraguado en cementos
6	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(Cl/F/OH)$	1.56	Fosfato común en calizas
7	Ankerita	$Ca(Fe^{2+},Mg)(CO_3)_2$	11.7	Carbonato ferroso-magnésico
8	Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	15.1	Carbonato doble (reduce reactividad)
9	Calcita	$CaCO_3$	59.3	Fase principal (>50% garantiza uso cementero)

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos (L.A.S.), 2024. Método: Difracción de Rayos X (Norma ASTM E390-20). Muestra MN24013895.

El análisis de estabilidad del talud del yacimiento de caliza Cambrune se desarrolló con base en dos enfoques complementarios: el análisis cinemático mediante el software Dips y el análisis estático utilizando el software Slide2, bajo el método de equilibrio límite de Fellenius. Ambos procedimientos permitieron evaluar los posibles modos de falla del macizo rocoso, considerando las condiciones geomecánicas específicas del área de estudio

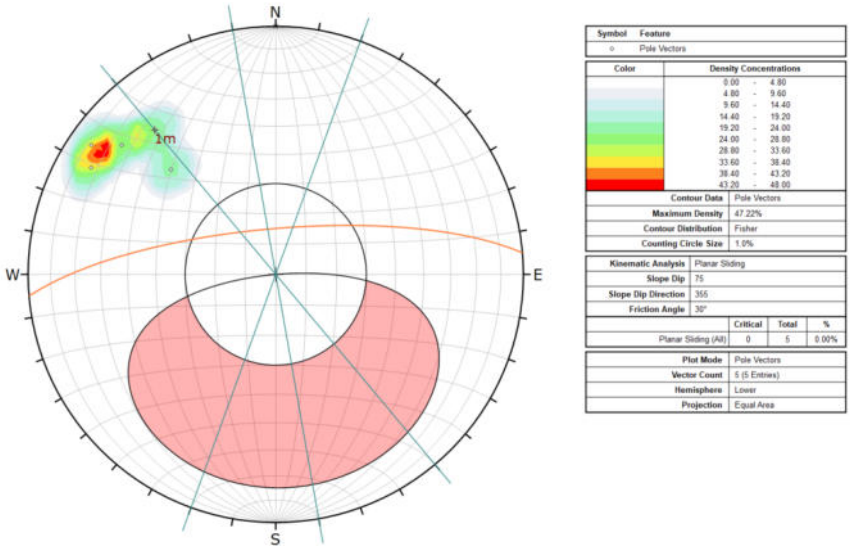
3.6.1. Análisis cinemático mediante software Dips

Se realizó un mapeo estructural de campo, identificándose cinco principales discontinuidades en el talud, con buzamientos entre 50° y 80° y direcciones entre 120° y 140°. Estos datos fueron representados estereográficamente en el software Dips, lo que permitió reconocer los modos de falla potenciales: planar, en cuña y volcamiento.

La Figura 8 muestra la concentración de polos alineados con el buzamiento del talud (40° SE), lo que evidencia riesgo de deslizamiento por falla planar, especialmente en las discontinuidades 1 (70°/130°) y 2 (65°/140°), que buzan en la misma dirección que el talud.

Figura 8

Análisis cinemático de falla planar mediante Dips.



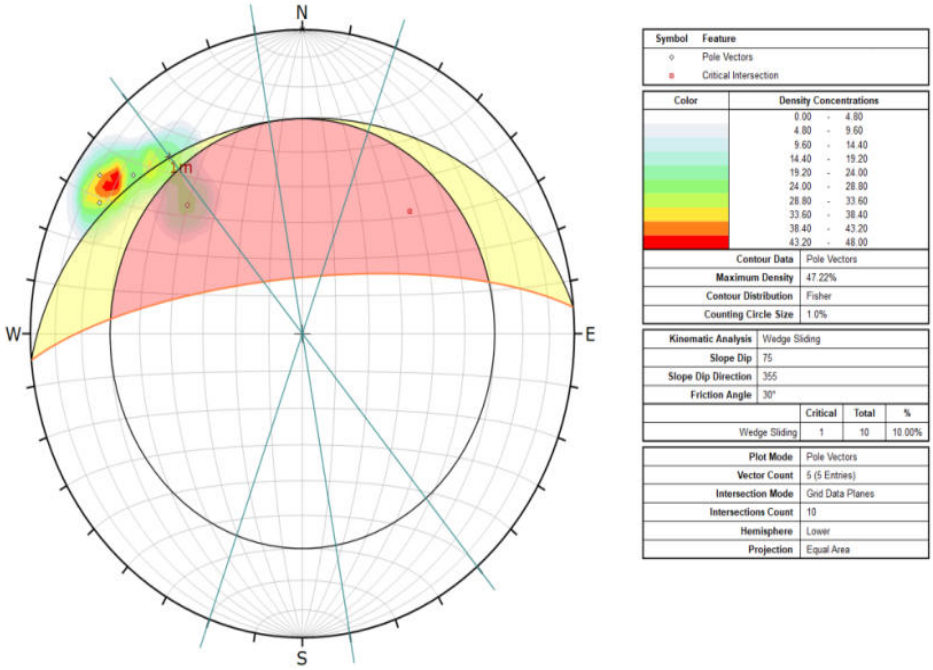
Nota: Elaboración Propia

La Figura 9 representa los puntos de intersección entre planos de fractura, los cuales generan bloques triangulares inestables, lo que sugiere la posibilidad de falla en cuña. Este tipo de geometría es característico de un mecanismo de falla en cuña, el cual ocurre cuando dos planos de discontinuidad interceptan con una línea de intersección que se orienta favorablemente hacia el talud y supera los límites de fricción internos del material. En este caso, la orientación del talud, combinada con la dirección de la línea de intersección de los planos, sugiere la posibilidad de deslizamiento de dichos bloques por acción de la gravedad.

El análisis fue realizado utilizando el software Dips**,** lo que permitió proyectar los datos estructurales obtenidos en campo en un plano estereográfico y evaluar su relación con la orientación del talud de explotación. Como puede observarse en la figura, varios puntos de intersección se encuentran dentro del dominio cinemáticamente activo para fallas en cuña, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas de control geotécnico en dichas zonas.

Figura 9

Análisis cinemático de falla en cuña mediante Dips.



Nota: Elaboración Propia

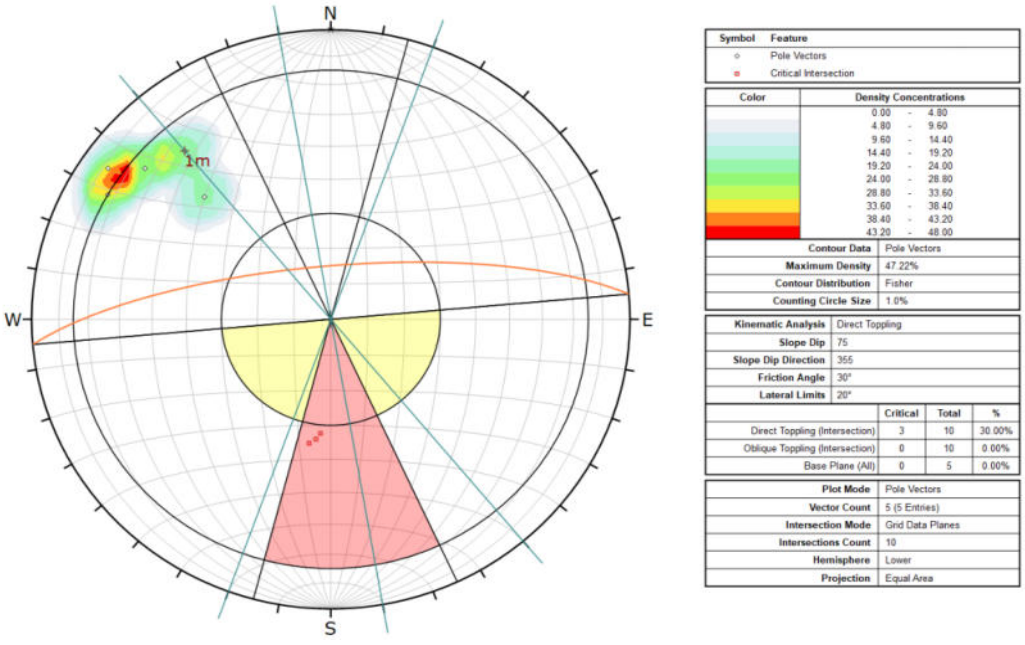
En la Figura 10 se muestra el análisis de posibles fallas por volcamiento,

aunque este modo de inestabilidad no se considera crítico en este yacimiento, sí puede ocurrir en sectores con fracturas opuestas al buzamiento del talud.

Los resultados del análisis indican que las orientaciones de las discontinuidades predominantes en el macizo rocoso no interceptan el campo cinemático asociado al volcamiento, lo cual descarta la posibilidad de ocurrencia de este mecanismo de falla en las condiciones actuales del yacimiento. Esto sugiere que la configuración estructural del macizo es favorable para la estabilidad, ya que las fracturas presentes no se oponen al buzamiento del talud ni generan geometrías que favorezcan el giro o desprendimiento de bloques.

Por tanto, se puede afirmar con base en el análisis realizado que la probabilidad de ocurrencia de fallas por volcamiento es mínima o nula, lo que representa un aspecto positivo en cuanto a la estabilidad geotécnica del talud proyectado.

Figura 10
Análisis cinemático de volcamiento mediante Dips.



Nota: Elaboración Propia

3.6.2. Análisis estático mediante software Slide2

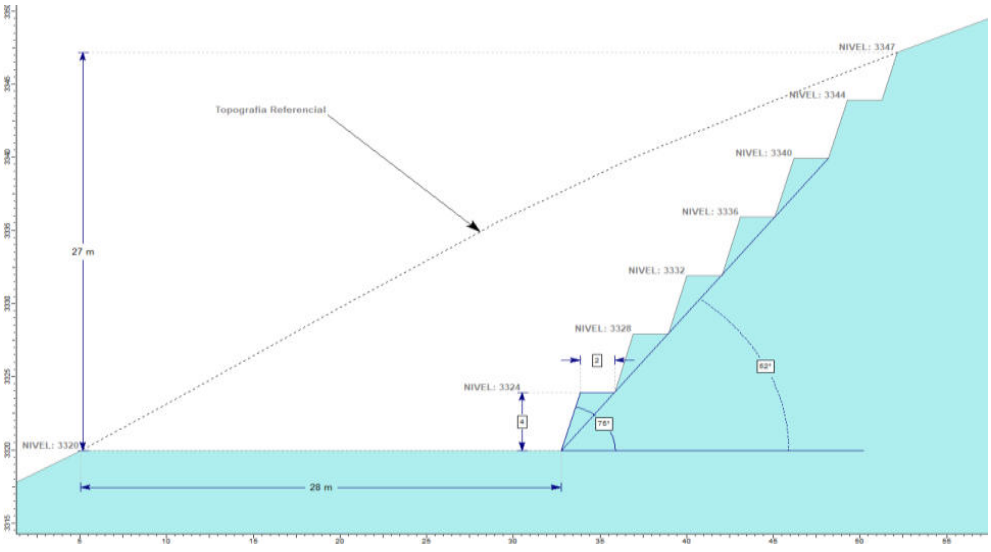
Se utilizó el software Slide2 para realizar el análisis de estabilidad estática, aplicando el método de equilibrio límite de Fellenius. El perfil del talud modelado tuvo una altura de 4 metros y un ángulo de 75°, considerando las siguientes propiedades del macizo de caliza:

- Cohesión (c): 400 kPa
- Ángulo de fricción interna (φ): 40°
- Peso específico (γ): 25.1 kN/m³
- Condición: seca (sin presencia de nivel freático)

La Figura 11 muestra el perfil del talud modelado utilizando el software Slide2, un herramienta especializada en el análisis de estabilidad estática y pseudoestática de taludes. Este modelo es fundamental para evaluar la seguridad estructural del talud bajo condiciones tanto estáticas como sísmicas, lo que permite determinar el factor de seguridad (FS) necesario para garantizar la estabilidad durante las operaciones de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune.

Figura 11

Perfil del talud modelado en Slide2.



Nota: Elaboración Propia

Este modelo permitió realizar un análisis estático mediante el método de equilibrio límite de Fellenius, obteniendo un Factor de Seguridad (FS) de 3.69, valor que supera ampliamente el mínimo requerido para diseño en minería superficial (FS ≥ 1.3). Esto confirma la alta estabilidad del talud bajo condiciones estáticas.

En la Tabla 3 podemos observar que los parámetros de diseño del talud consideran una altura de banqueta de 4 metros y un ancho de banqueta de 2 metros, lo que define las dimensiones básicas de cada nivel de excavación dentro del sistema de banqueo descendente.

Tabla 3

Parámetros de diseño de talud.

Parámetro	**Valor**
Altura de banqueta	4 metros
Ancho de banqueta	2 metros
BFA	75°
IRA	52°

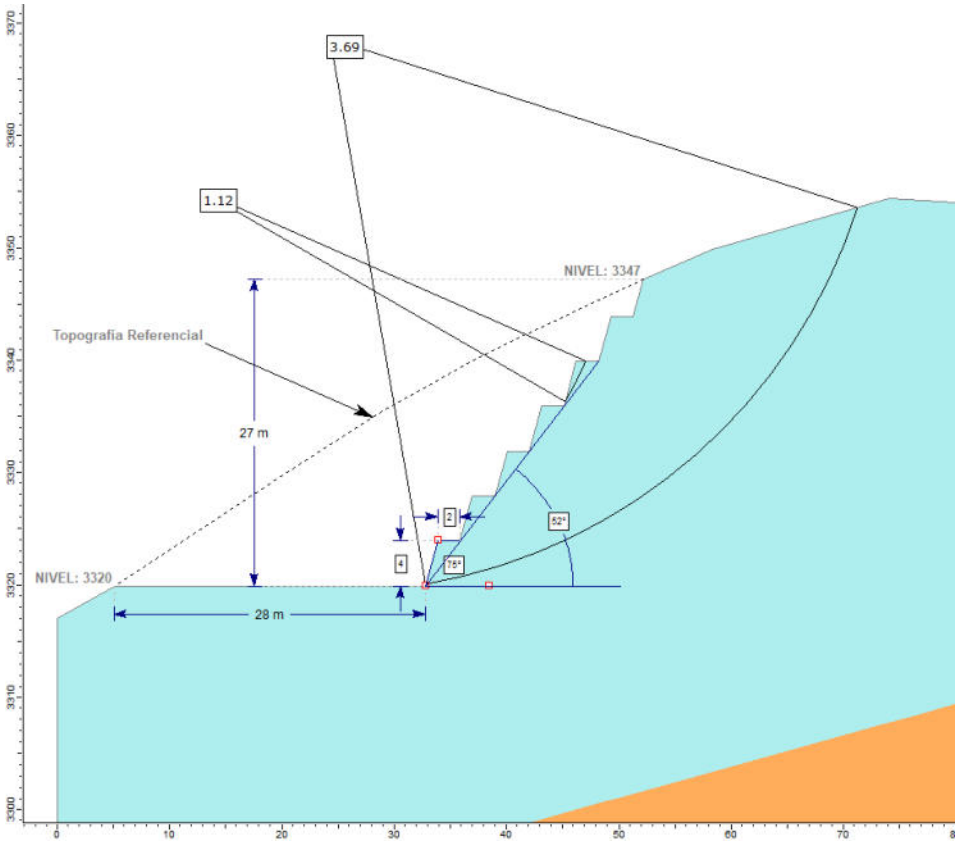
Nota: Elaboración Propia

El ángulo de la cara del banco (BFA) se establece en 75°, lo cual representa una inclinación relativamente pronunciada, pero viable en función de la calidad y resistencia del macizo rocoso calizo. Además, el ángulo interrampa (IRA) se define en 52°, valor que permite garantizar estabilidad entre los distintos niveles de banqueta durante la fase de explotación.

La Figura 12 muestra los resultados del análisis de estabilidad estática del talud realizado mediante el método de equilibrio límite de Fellenius, utilizando el software Slide2. Este análisis se enfocó en identificar las superficies críticas de falla y calcular el Factor de Seguridad (FS) bajo condiciones estáticas, es decir, sin considerar efectos sísmicos.

Figura 12

Cálculo del Factor de Seguridad estático (Fellenius).



Nota: Elaboración Propia

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis de estabilidad estática obtenidos mediante el método de equilibrio límite de Fellenius, aplicado al talud modelado en Slide2. Se evaluaron dos posibles superficies de falla: una falla local y una falla interrampa.

Tabla 4

Resultados de factor de seguridad (estático).

Ubicación	Factor de seguridad
Falla Local	1.12
Falla Interrampa	3.69

Nota: Elaboración Propia

El resultado indica que la falla local presenta un Factor de Seguridad (FS) de 1.12, valor cercano al umbral mínimo recomendado de 1.3 para minería a cielo abierto. Esto sugiere que esta zona podría requerir monitoreo constante o medidas adicionales de sostenimiento para garantizar su estabilidad durante las operaciones mineras.

Por otro lado, la falla interrampa arrojó un FS de 3.69, lo cual refleja una alta estabilidad en esta sección del talud, incluso bajo condiciones estáticas. Este valor confirma que el diseño propuesto es viable desde el punto de vista geotécnico, siempre que se mantenga el control sobre las zonas más críticas identificadas, como la falla local.

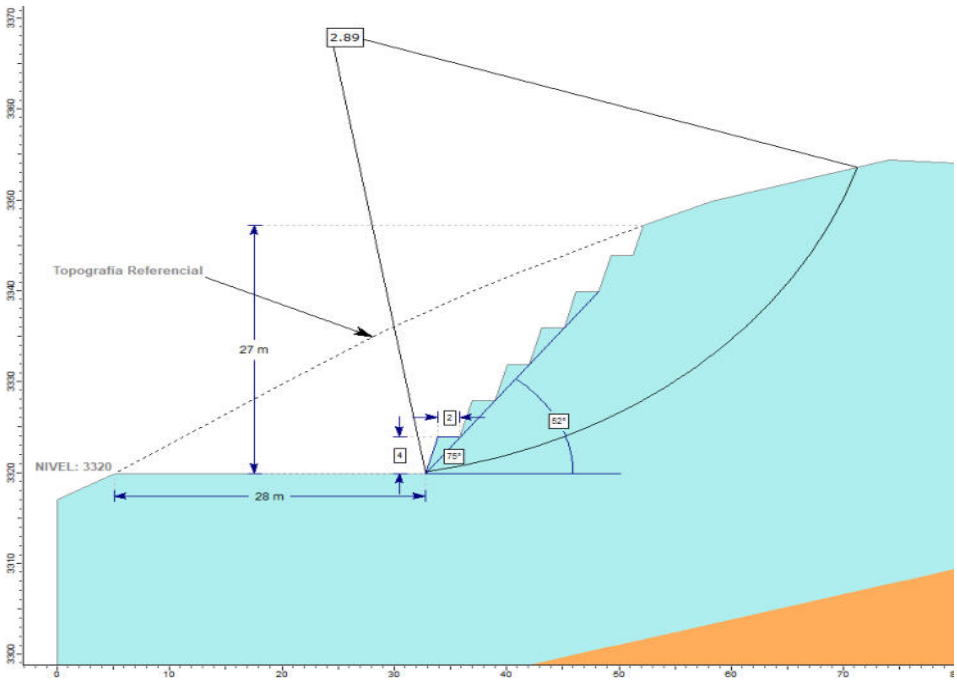
3.6.3. Análisis pseudoestático (condición sísmica)

Como complemento al análisis estático, se desarrolló un modelo pseudoestático en Slide2, considerando un coeficiente sísmico horizontal equivalente. Este análisis reflejó una reducción del FS respecto al valor estático, manteniéndose sin embargo por encima de 1.3, lo que confirma la viabilidad del diseño geotécnico propuesto, incluso ante solicitaciones sísmicas.

La Figura 13 muestra los resultados del análisis de estabilidad del talud bajo condiciones pseudoestáticas, es decir, considerando la influencia de una solicitación sísmica representada por un coeficiente horizontal equivalente (Kh = 0.15).

En síntesis, el análisis pseudoestático proporciona una evaluación robusta de la seguridad del talud frente a movimientos sísmicos, constituyendo un elemento clave en el diseño geotécnico y en la planificación de medidas de mitigación de riesgos para la explotación segura del yacimiento de caliza Cambrune

Figura 13
Factor de Seguridad en condición pseudoestática.



Nota: Elaboración Propia

La Tabla 5 muestra los resultados del análisis de estabilidad del talud bajo condiciones pseudoestáticas, es decir, considerando una solicitación sísmica representada por un coeficiente horizontal equivalente (Kh = 0.15).

Tabla 5
Resultados de factor de seguridad (pseudoestático).

Ubicación	Factor de seguridad
Falla Local	-
Falla Interrampa	2.89

Nota: Elaboración Propia

Se evaluaron dos posibles superficies de falla: local e interrampa. Sin embargo, en el caso de la falla local, no fue posible obtener un valor de Factor de Seguridad debido a la complejidad del modelo bajo condiciones dinámicas. Por otro lado, la falla interrampa arrojó un Factor de Seguridad de 2.89, lo cual indica que, aunque se presenta una disminución respecto al análisis estático, el talud

mantiene una estabilidad aceptable incluso bajo efectos sísmicos moderados.

Este valor supera ampliamente el umbral mínimo recomendado de 1.3 para minería a cielo abierto, lo que confirma la viabilidad del diseño geotécnico propuesto bajo las condiciones analizadas.

3.6.4. Análisis económico estimado

Para complementar la viabilidad del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, se desarrolló un análisis económico basado en estimaciones de producción, costos operativos y valor de venta.

1. Estimación de producción:

De acuerdo con las proyecciones técnicas realizadas y considerando las condiciones actuales del yacimiento Cambrune, así como la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente sin el uso de explosivos, se estima una producción semanal de una tonelada métrica de caliza. Este volumen responde a las capacidades operativas de los equipos mecanizados utilizados, principalmente el martillo rompedor y el uso complementario de cemento expansivo, los cuales permiten una extracción controlada y segura, aunque con ritmos más reducidos comparados con métodos convencionales.

2. Costos operativos:

Los costos operativos considerados incluyen:

- Perforación: US$ 0.80/m³
- Carguío y acarreo: US$ 1.20/m³
- Operación de equipos y combustible: US$ 1.00/m³
- Mano de obra directa: US$ 0.70/m³
- Mantenimiento y servicios: US$ 0.50/m³
- Costos indirectos (administración, seguridad): US$ 0.50/m³
- Costo total estimado: US$ 4.70 por m³ extraído.

Según estudios previos en explotación de caliza por banqueo descendente en la sierra sur del Perú (Salazar, 2022), este valor se encuentra dentro del rango promedio esperado (US$ 4.50 a 5.00/m³).

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo presentar y analizar los resultados obtenidos de la investigación sobre la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, complementados con los análisis químicos y mineralógicos realizados en las muestras de caliza del yacimiento. En esta sección, se detallarán los hallazgos derivados de la recolección de datos de campo, los ensayos geomecánicos, y los resultados de laboratorio, proporcionando una visión clara de cómo el sistema propuesto se ha comportado bajo las condiciones específicas del yacimiento y cómo las características químicas y mineralógicas de la caliza influyen en la explotación.

Inicialmente, se describieron los resultados obtenidos a partir de las pruebas de campo, análisis geomecánicos y caracterización mineralógica, siguiendo la estructura metodológica establecida en capítulos anteriores. A continuación, se discute la relevancia de estos resultados en el contexto de los objetivos de investigación, comparándolos con la literatura existente y evaluando su impacto en la eficiencia del método de banqueo descendente, así como en la calidad del material extraído.

Este capítulo también aborda cómo los resultados se alinean con las hipótesis formuladas y los aspectos teóricos discutidos previamente, con especial énfasis en la influencia de la composición mineralógica de la caliza en la operación minera. Se reflexionará sobre las implicaciones prácticas y teóricas de los hallazgos, proporcionando recomendaciones basadas en el análisis realizado y considerando las características específicas del yacimiento.

La estructura de este capítulo está diseñada para ofrecer una comprensión integral de los resultados y su significancia, facilitando la interpretación de los hallazgos en relación con los objetivos de la investigación y el contexto del yacimiento de caliza Cambrune.

4.1. Descripción de la realidad

La presente tesis, titulada "Implementación del Sistema de Explotación por Banqueo Descendente en el Yacimiento de Caliza Cambrune - Carumas", se enfoca en

el análisis y la evaluación de las características geológicas, geomecánicas, geométricas y mineralógicas del macizo rocoso del yacimiento de caliza. ubicado en Cambrune, Carumas, así como en la implementación del método de banqueo descendente para la extracción de sus reservas minerales.

4.1.1. Inclinación y Buzamiento del Macizo Rocoso

El área de estudio se caracteriza por un macizo rocoso con una inclinación que presenta un buzamiento de SE 40° y un rumbo de 5° OE, estos ángulos influyen en la forma en que las fuerzas gravitacionales afectan el macizo. Una inclinación pronunciada puede aumentar el riesgo de deslizamientos o colapsos durante la extracción, lo que puede requerir medidas adicionales de sostenimiento para garantizar la seguridad operativa y la estabilidad del banco.

4.1.2. Discontinuidades y Calidad del Macizo

La presencia de discontinuidades dentro del macizo rocoso, como fracturas y fallas, afecta significativamente la estabilidad del talud y la seguridad de las operaciones. Además, la composición mineralógica, que incluye fases como calcita, dolomita y ankerita, contribuye a la cohesión y resistencia del material. No obstante, la alteración en estas fases, observada en las juntas, podría debilitar la estructura del macizo si no se gestiona adecuadamente.

Las discontinuidades con una persistencia de 1 a 3 metros y una rugosidad significativa, tal como se identificó en el yacimiento, pueden actuar como planos de debilidad que faciliten el deslizamiento o la fractura del material durante la extracción. La calidad del macizo, medida por el índice RQD, proporciona una indicación de su continuidad y solidez. Un RQD alto, en el rango de 75% a 90% como en este caso, sugiere que el macizo es relativamente sólido y menos propenso a fallas, lo cual es favorable para la aplicación del método de banqueo descendente.

4.1.3. Resistencia a la Compresión Uniaxial

La resistencia a la compresión uniaxial de la caliza oscila entre 100 y 250

MPa, lo que refleja la alta resistencia del material rocoso. Esta resistencia puede atribuirse en parte a la predominancia de minerales como la calcita y la dolomita, que constituyen la mayor parte de la composición del macizo.

Las clasificaciones geomecánicas, basadas en los sistemas GSI de Hoek y Brown, categorizan el macizo como un bloque regular con una calidad muy buena (BR/MB), lo que confirma la adecuación de las condiciones geológicas para las operaciones mineras propuestas.

Una alta resistencia a la compresión es beneficiosa para el método de banqueo descendente, ya que indica que el material es lo suficientemente fuerte para resistir el estrés aplicado durante la extracción. Esto permite la implementación de bancos de mayor altura, reduciendo el riesgo de colapsos durante la operación.

4.1.4. Condiciones Hidráulicas

En cuanto a las condiciones hidráulicas, no se observa presencia de agua superficial en la caliza, pero sí se detecta goteo de agua subterránea en ciertas áreas, lo cual debe ser considerado en el diseño de las medidas de drenaje y sostenimiento.

El proyecto propuesto incluye la implementación del método de banqueo descendente, que se considera la estrategia más eficiente y segura para la extracción de reservas minerales en esta área. Este método se adapta a las características geológicas y geomecánicas del yacimiento, permitiendo una extracción secuencial y controlada de la caliza.

4.2. Características geológicas, geomecánicas y geométricas del macizo rocoso.

El macizo rocoso está compuesto principalmente de caliza, cuya caracterización química y mineralógica reveló una predominancia de calcita (59,30%) y dolomita (15,10%), acompañadas de ankerita y otras fases menores. Estos componentes juegan un papel crucial en la resistencia y estabilidad de la roca, lo que es favorable para las operaciones mineras en curso.

4.2.1. Características de la roca

El macizo rocoso está compuesto principalmente de caliza, que presenta una resistencia a la compresión uniaxial que varía entre 100 y 250 MPa. Esta alta resistencia es favorable para la estabilidad de las excavaciones, ya que indica que el material rocoso puede soportar cargas significativas sin fallar.

La Figura 16 presenta una muestra representativa de la roca caliza del yacimiento Cambrune. Esta imagen permite observar las características físicas del material, tales como su textura, color y estructura, las cuales fueron fundamentales para su caracterización geomecánica y la Figura 18 ofrece una vista general del área del yacimiento de caliza en Cambrune, donde se desarrolló el estudio. Esta imagen evidencia el contexto geológico y topográfico del sitio, factores clave en la planificación de la explotación mediante banqueo descendente.

4.2.2. Meteorización y alteración

Las discontinuidades dentro del macizo rocoso muestran signos de alteración, lo que puede afectar la cohesión entre los bloques de roca. Aunque la caliza en general se encuentra en buenas condiciones, sin presencia de agua superficial, se ha observado goteo de agua subterránea. Esta condición debe ser considerada en el diseño de los sistemas de sostenimiento y drenaje para evitar problemas durante la extracción.

4.2.3. Criterios según la resistencia de la masa rocosa

La resistencia de la masa rocosa es alta, con valores de compresión uniaxial entre 100 y 250 MPa. De acuerdo con las clasificaciones GSI de Hoek y Brown, el macizo rocoso se clasifica como un bloque regular con una calidad de "Muy Buena" (BR/MB). Esto refleja una alta resistencia y estabilidad del macizo, lo cual es favorable para la implementación del método de banqueo descendente.

4.2.4. Criterios según las características de fracturamiento de la roca

El macizo presenta un fracturamiento con discontinuidades espaciadas entre 1 y 3 metros. La rugosidad de las juntas es alta, lo que incrementa la fricción

y contribuye a la estabilidad del macizo rocoso. Sin embargo, la presencia de alteración en las discontinuidades debe ser monitoreada, y la orientación de las discontinuidades, con un buzamiento de SE 40°, también debe ser considerada en el diseño de las excavaciones.

4.2.5. Criterios según las condiciones de las paredes de las discontinuidades

Las paredes de las discontinuidades son rugosas, lo que aumenta la fricción entre los bloques rocosos y favorece la estabilidad. No obstante, la alteración presente en las juntas puede reducir la cohesión y la estabilidad. Además, el goteo de agua subterránea observado sugiere la necesidad de implementar medidas de drenaje adecuadas para mantener la estabilidad de las excavaciones.

4.2.6. Condiciones geomecánicas

En general, las condiciones geomecánicas del macizo rocoso son favorables, con una alta resistencia y una calidad estructural buena. El RQD, que varía entre 75% y 90%, sugiere una estructura sólida. Sin embargo, la presencia de agua subterránea y la alteración en las juntas son factores que deben ser gestionados cuidadosamente para asegurar la estabilidad durante la explotación.

4.2.7. Controles y sostenimiento

Para garantizar la estabilidad del macizo rocoso durante las operaciones de extracción, es esencial implementar medidas de control y sostenimiento adecuadas. Se recomienda el uso de pernos de anclaje y mallas de refuerzo, especialmente en áreas donde las discontinuidades presentan mayor persistencia y se ha detectado la presencia de agua subterránea.

La rugosidad de las juntas debe ser aprovechada para maximizar la fricción entre los bloques rocosos, lo que contribuirá a reducir el riesgo de deslizamientos. Además, la gestión del agua subterránea mediante sistemas de drenaje eficientes es crucial para evitar la acumulación de presión hidrostática, que podría comprometer la estabilidad del macizo.

Estas medidas de sostenimiento son fundamentales para asegurar que las

operaciones mineras se realicen de manera segura y eficiente, minimizando los riesgos de colapso y asegurando la integridad de las estructuras durante el proceso de explotación.

4.2.8. Descripción del método

El método de banqueo descendente es una técnica de explotación minera utilizada para extraer minerales en yacimientos inclinados. Este método implica la creación de bancos o terrazas descendentes que permiten una extracción controlada y segura de los recursos minerales. En el yacimiento de caliza en Cambrune - Carumas, el banqueo descendente se adapta de manera óptima a las características geológicas del macizo rocoso. Este enfoque asegura la estabilidad de las operaciones y optimiza la recuperación del mineral, aprovechando la inclinación natural del yacimiento para mejorar la eficiencia de la extracción.

4.2.9. Sustento de los ciclos de minado

Los ciclos de minado en el método de banqueo descendente están diseñados para maximizar la eficiencia y minimizar los riesgos operacionales. Cada ciclo incluye fases de arranque, carga y transporte del material extraído. El diseño de estos ciclos se basa en las características geomecánicas del macizo rocoso, lo que garantiza la estabilidad de los bancos y la seguridad de los trabajadores. La secuencia de operaciones se planifica cuidadosamente para mantener un flujo continuo de material y optimizar el uso de equipos y recursos.

4.3. Diseño geométrico del sistema de banqueo descendente

4.3.1. Parámetros de diseño

El diseño geométrico del sistema de banco descendente en el yacimiento de caliza Cambrune se ha basado en una serie de parámetros clave para garantizar la estabilidad y eficiencia de la explotación. Los parámetros considerados incluyen la altura de los bancos, el ángulo de inclinación de los taludes, y la configuración de los bancos en función de las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso.

Banco: Es una sección horizontal de trabajo en una cantera, que se encuentra entre dos niveles de excavación. Se trata de un bloque definido por su ancho y altura, donde se realiza la extracción de mineral o material estéril. Este módulo de explotación permite operar en capas horizontales, facilitando el proceso de extracción en forma ordenada.

Altura de Banco (H): Es la distancia vertical entre la cresta del banco y el pie del banco, determinada por las especificaciones de la maquinaria y equipos a utilizar, además de las características geológicas y geotécnicas. Para el diseño de la altura de los bancos, se ha considerado la resistencia del material y el tamaño del volquete. Dado que la roca es competente y se utilizarán volquetes pequeños, se ha establecido una altura de banco de 4 metros, permitiendo una extracción eficiente y segura.

Ancho de Banco (A): Se define como el espacio mínimo necesario para el trabajo, considerando el movimiento de maquinaria y equipos en el banco. Basado en el uso de una excavadora Caterpillar 312D L **y** volquetes de tamaño pequeño HINO FG8J, modelo 2012, con capacidad de 7 m^3**,** se ha determinado un ancho de banco de 4 metros, asegurando suficiente espacio para operar y manejar el material extraído.

Ángulo de Inclinación del Talud (α): Es el ángulo entre la horizontal y la línea que une la cresta con el pie del banco, obtenido a través del análisis de estabilidad del banco. Considerando la inclinación del macizo rocoso de SE 40°, se ha calculado un ángulo de inclinación del talud de 75°, que ofrece una condición aceptable de seguridad y estabilidad para el método de banqueo descendente.

Ángulo de la Cara del Banco: Es el ángulo de operación en el arranque, formado entre la línea de máxima pendiente del banco y un plano vertical. Dado que el material es resistente y la inclinación del macizo es significativa, se ha seleccionado un ángulo de la cara del banco de 20°, para facilitar la operación de extracción y carga sin comprometer la estabilidad.

Bermas: Estas se emplean para prevenir y retener materiales que puedan caer desde los bancos superiores, además de servir como plataformas de acceso a

las áreas de trabajo. Dado el análisis geomecánico de la zona, se ha decidido que el ancho de las bermas de seguridad será de 0,5 metros, asegurando así una protección eficaz y un espacio adecuado para acceder de manera segura a los frentes de excavación.

Ángulo del Talud Final (β): Este parámetro determina la estabilidad del talud final de explotación. Basado en la calidad del macizo rocoso y las condiciones geológicas, se ha establecido un ángulo del talud final de 55°. Este ángulo se calcula para mantener la estabilidad a largo plazo y prevenir deslizamientos o colapsos.

Dado:

- Altura de Banco (H): 4 metros
- Ángulo de Inclinación del Talud (α): 75°

La fórmula para calcular la longitud de la cara del banco (L) es:

$L=H / \sin(\alpha)$

Donde:

- H es la altura del banco.
- α es el ángulo de inclinación del talud.

Para el ángulo de 75°: $\sin(75°) = 0.9659$

Luego $L=4\ m / 0.9659 = 4.14\ m$

Por lo tanto, la longitud de la cara del banco es aproximadamente 4.14 metros.

Dado:

- Altura de Banco (H): 4 metros
- Longitud de la Cara del Banco (L): 4.14 m

El ángulo de talud de trabajo (θ) se puede calcular usando la fórmula del ángulo de inclinación basado en la relación de la altura y la longitud:

$\tan(\theta)=H / L$

Donde:

- H es la altura del banco.
- L es la longitud de la cara del banco.

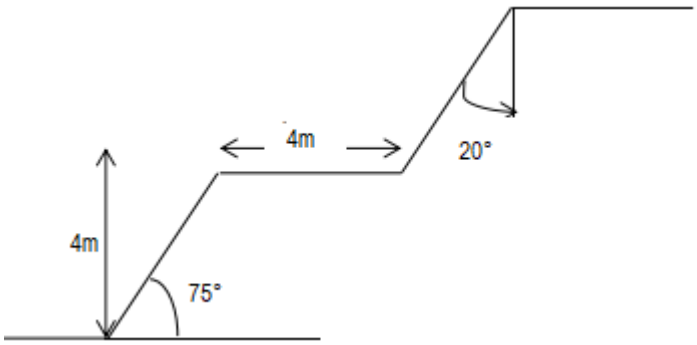
Primero, calculamos la tangente del ángulo:

$\tan(\theta)=4\text{ m} / 4.14\text{ m} = 0.967$

$\theta=\arctan^{-1}(0.967) = 44.5°$

Por lo tanto, el ángulo de talud de trabajo es aproximadamente 44**.5°**. La Figura 14 muestra el perfil de banco de explotación.

Figura 14
Perfil de banco de explotación



Nota: Elaboración Propia

4.3.2. Secuencia y Avance de la Explotación

La secuencia y el avance en la explotación del yacimiento se llevarán a cabo de acuerdo con los parámetros establecidos en el diseño. En este contexto, los bancos de caliza serán extraídos en una sola etapa, es decir, se abordará cada banco en su totalidad, abarcando toda su altura y ancho en cada fase de arranque. Este enfoque permite un uso óptimo de la maquinaria involucrada en la explotación y asegura condiciones de seguridad adecuadas. La extracción se realizará siguiendo el rumbo del banco y avanzando en dirección opuesta al buzamiento.

4.3.3. Arranque y Cargue

El arranque del material se realizará utilizando un martillo rompedor hidráulico, montado sobre una excavadora Caterpillar 320D, que permitirá fracturar el macizo rocoso de manera precisa y sin generar impactos dinámicos ni ondas sísmicas que puedan afectar la estabilidad del entorno. Este método se adapta especialmente bien al tipo de caliza presente en el yacimiento Cambrune, cuya resistencia a la compresión varía entre 100 y 250 MPa, lo cual indica un buen grado de fracturabilidad mediante medios mecánicos.

Además, se incorporará el uso de cemento expansivo, una solución química no detonante que genera presión interna dentro de barrenos previamente realizados, provocando la fisuración controlada del bloque rocoso. Este sistema es ideal para zonas sensibles donde se deben evitar efectos dañinos de la voladura, como es el caso de este proyecto.

El cargue del material será realizado por medio de una excavadora hidráulica Caterpillar 320DL, equipada con un cucharón de 1.2 m^3, encargada también del manejo del material suelto resultante del proceso de arranque mecanizado.

4.3.4. Ventajas del sistema mecánico frente a la voladura

La utilización de martillo rompedor y cemento expansivo presenta varias ventajas frente al uso tradicional de explosivos:

- Se eliminan riesgos asociados a la detonación, como proyección de escombros, ondas sísmicas locales y exposición al humo tóxico.
- Al no usar explosivos, se minimiza la fracturación secundaria del material, manteniendo su integridad estructural.
- No hay emisiones contaminantes ni ruido excesivo durante el proceso de arranque.
- Es especialmente útil en áreas cercanas a infraestructuras, viviendas o cuerpos de agua subterránea.

4.3.5. Análisis cinemático y estabilidad del talud

El estudio cinemático del macizo rocoso del yacimiento Cambrune se llevó a cabo con información recogida en terreno, añadida a datos geomecánicos del macizo calizo y modelado en programas especializados como Dips v.7 y Slide2. Se analizaron diversas formas de inestabilidad, teniendo en cuenta las propiedades estructurales del área.

4.3.5.1. Mapeo estructural y geometría del talud

La dirección de buzamiento del talud se estableció en 40° al sureste (SE) , con una altura de banco de 4 metros y un ángulo de cara del banco de 75°. El peso específico del material es de 25.1 kN/m³ , mientras que los parámetros de resistencia estimados son:

- Cohesión (c): 400 kPa
- Ángulo de fricción interna (φ): 40°

A continuación, en la Tabla 6 se presentan las coordenadas UTM específicas de cada parte del talud.

Tabla 6

Coordenadas UTM de cada parte del talud

Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Observación
P1	321382	8138221	3270	Centro del talud
P2	321400	8138235	3272	Banco superior
P3	321370	8138200	3268	Pie del talud
P4	321390	8138210	3271	Fractura F1 – 70°/130°
P5	321410	8138250	3274	Fractura F2 – 65°/140°

Nota: Elaboración propia.

4.3.5.2. Análisis cinemático (DIPS)

Se identificaron cinco discontinuidades principales en el talud, cuyas características se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7

Discontinuidades principales del talud

ID	BUZAMIENTO (°)	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (°)	TIPO	OBSERVACIONES
1	70	130	Principal	Mayor riesgo de deslizamiento
2	65	140	Principal	Alta persistencia
3	75	120	Menor	Localizada
4	50	135	Menor	Intersección crítica
5	80	125	Estructural puntual	Posible influencia en cuñas

Nota: Elaboración propia

Los datos fueron procesados en el software Dips v.7, generando representaciones estereográficas que permitieron evaluar modos de falla potenciales, tales como:

- Falla planar
- Falla en cuña
- Volcamiento

4.3.6. Comparación con diseños anteriores

Comparando con el diseño de Alvear et al. (2011), que implementó un sistema de banqueo descendente con 8 niveles de 10 metros cada uno, el diseño geométrico de este estudio [describe las diferencias o similitudes]. La adaptación

en la altura de los bancos y el ángulo de inclinación busca optimizar la explotación en función de las características particulares del yacimiento de Cambrune, lo que podría ofrecer mejoras en la eficiencia y seguridad de la extracción.

4.3.7. Implicaciones para la explotación

El diseño geométrico propuesto está alineado con los objetivos de la investigación, proporcionando un marco sólido para la implementación del método de banco descendente. La adaptación del diseño a las condiciones geológicas y geomecánicas específicas del yacimiento garantiza que el sistema sea efectivo y seguro, contribuyendo a la optimización de la explotación de las reservas minerales en Cambrune.

4.4. Extracción de reservas aplicando el método de banqueo descendente

La extracción de reservas en el yacimiento de caliza Cambrune se llevará a cabo utilizando el método de banqueo descendente. Este método facilita la creación de bancos con alturas controladas, lo que permite un manejo más eficiente del material y reduce los riesgos de deslizamientos. La implementación de este método incluirá una planificación detallada de las fases de extracción, asegurando tanto la recuperación eficiente del mineral como la estabilidad del macizo rocoso durante todo el proceso.

4.4.1. Producción estimada semanal

De acuerdo con las proyecciones técnicas realizadas y considerando las condiciones actuales del yacimiento Cambrune, así como la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente sin el uso de explosivos, se estima una producción semanal de una tonelada métrica de caliza . Este volumen responde a las capacidades operativas de los equipos mecanizados utilizados, principalmente el martillo rompedor y el uso complementario de cemento expansivo, los cuales permiten una extracción controlada y segura, aunque con ritmos más reducidos comparados con métodos convencionales.

Este volumen semanal, aunque modesto en términos industriales, se alinea con los objetivos del proyecto, enfocado en demostrar la viabilidad técnica del

método mecánico en un entorno con limitaciones geomecánicas y sensibilidad ambiental. Además, esta tasa de producción permite realizar un monitoreo constante del comportamiento del macizo rocoso, garantizando la estabilidad del talud y minimizando riesgos operativos.

La planificación minera contempla ajustes progresivos en la eficiencia operativa, orientados a aumentar la productividad conforme se optimice el uso de maquinaria, se mejoren tiempos de ejecución y se incorporen mejores prácticas de manejo del material fragmentado. Esto asegurará no solo el cumplimiento de metas productivas, sino también la sostenibilidad del proyecto en el tiempo.

4.5. Infraestructura necesaria

Para la implementación del método de banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, se requiere una infraestructura adecuada que incluye:

- **Vías de acceso y transporte:** Carreteras y caminos diseñados para facilitar el movimiento seguro del equipo y del mineral extraído desde el frente de trabajo hasta los puntos de procesamiento y/o almacenamiento.

- **Sistemas de drenaje:** Instalaciones destinadas al manejo del agua subterránea detectada en ciertas áreas del yacimiento, asegurando que no interfiera con las operaciones mineras ni afecte la estabilidad de los taludes.

- **Equipos de perforación y arranque mecánico:** Maquinaria especializada para la perforación de barrenos y la extracción del material mediante técnicas no explosivas, tales como martillos rompedores hidráulicos y cemento expansivo. Estos equipos permiten un arranque controlado y sostenible del macizo rocoso.

- **Instalaciones de procesamiento y almacenamiento:** Espacios adecuados para realizar el procesamiento inicial del mineral extraído como la trituración, clasificación y su almacenamiento temporal antes de su posterior transporte o utilización industrial.

4.6. Transporte del material extraído

Para el transporte del material fragmentado resultante de la operación de arranque mediante martillo rompedor y cemento expansivo, se ha propuesto el uso de mini dumpers eléctricos de 1.5 toneladas de capacidad y 3500 W de potencia. Este tipo de equipo representa una alternativa sostenible y eficiente frente a los vehículos convencionales con motores de combustión interna, ya que elimina por completo las emisiones de gases contaminantes en el área de operación, contribuyendo significativamente a la protección del entorno ambiental.

El mini dumper seleccionado cuenta con un sistema de propulsión totalmente eléctrico, alimentado por baterías recargables mediante corriente convencional, lo cual facilita su operación sin necesidad de infraestructura especializada para el cargado. Además, su diseño compacto permite maniobrar fácilmente en espacios reducidos, adecuándose perfectamente a las condiciones del terreno en el yacimiento Cambrune.

Sus principales características técnicas son:

- Capacidad de carga: 1.5 toneladas
- Potencia: 3500 W
- Sistema de transmisión: Directa (sin caja de cambios)
- Carga de baterías: Mediante enchufe estándar
- Dimensiones de tolva: Ancho: 900 mm x Alto: 600 mm x Largo: 1,450 mm
- Emisiones: Cero emisiones durante la operación.

Este medio de transporte no solo garantiza la movilidad eficiente del material desde el frente de trabajo hasta las zonas de acopio o procesamiento, sino que también respalda los principios de sostenibilidad ambiental, al priorizar tecnologías limpias dentro del ciclo productivo.

La Tabla 8 presenta una estimación económica del costo asociado al adquisición, operación y mantenimiento del equipo, considerando los parámetros técnicos y tarifarios locales. Además, se consideró un mantenimiento preventivo mensual que incluye revisión de baterías, sistemas eléctricos y ajustes mecánicos.

Tabla 8

Análisis económico del transporte con mini dumper eléctrico

Concepto	**Valor**
Modelo	Mini Dumper Eléctrico 1.5 tn
Potencia	3500 W
Capacidad de carga	1.5 toneladas
Precio unitario	S/ 16,199.00
Número de unidades requeridas	1 unidad
Inversión inicial total	S/ 16,199.00
Horas de operación diarias	8 horas
Días de operación mensual	25 días
Consumo mensual (kWh)	700 kWh (aprox.)
Costo promedio kWh en la región	S/ 0.40/kWh
Gasto mensual en energía	S/ 280.00
Mantenimiento mensual estimado	S/ 300.00
Repuestos y baterías	S/ 150.00/mes
Mano de obra	S/ 150.00/mes
Costo operativo mensual total	S/ 580.00
Vida útil estimada del equipo	5 años
Depreciación anual promedio	S/ 3,239.80/año

Nota: Valores estimados basados en cotizaciones actuales y proyecciones operativas promedio

4.7. Discusión de resultados

El análisis de estabilidad realizado mediante el software Slide2, usando el método de equilibrio límite, arrojó resultados significativos tanto en escenarios estáticos como pseudoestáticos.

- En condiciones estáticas, se obtuvo un Factor de Seguridad (FS) de Falla Local igual a 1.12 y Falla Interrampa igual a 3.69.
- En condiciones pseudoestáticas, considerando un coeficiente sísmico horizontal equivalente (Kh = 0.15), se registró un FS de 2.89 en la superficie crítica de falla interrampa.

Estos valores indican una alta estabilidad del macizo rocoso calizo del yacimiento Cambrune, incluso ante solicitaciones sísmicas moderadas.

Los parámetros geomecánicos utilizados fueron:

- Cohesión (c): 400 kPa
- Ángulo de fricción interna (φ): 40°
- Peso específico (γ): 25.1 kN/m³

Estas propiedades mecánicas, junto con la geometría del talud, permitieron obtener factores de seguridad elevados, lo cual respalda la viabilidad técnica del diseño geométrico propuesto.

La resistencia del macizo rocoso fue determinante para evitar inestabilidades locales o generales, especialmente en áreas donde se identificaron zonas con mayor concentración de discontinuidades.

Los resultados obtenidos son consistentes con otros estudios previos sobre el uso del método de banqueo descendente en yacimientos similares:

- Chávez & Longa (2019) reportaron factores de seguridad por encima de 1.4 al aplicar bancos múltiples descendentes en la mina Resurrección. Nuestro valor

de FS = 3.69 refuerza estos hallazgos, demostrando aún mayor estabilidad gracias a las características del macizo local.

- Huamán & Quispe (2019) propusieron una altura de banco de 10 metros en La Tuna Blanca, pero su macizo tenía una clasificación RMR diferente (regular vs. buena en nuestro caso), lo que justifica nuestra propuesta conservadora de 4 metros de altura .

- Contento & Pinto (2014) destacaron la importancia de un diseño integrado que combine estabilidad geomecánica con planes de restauración progresiva. Si bien este trabajo no aborda directamente la restauración, sus hallazgos apoyan la idea de que un diseño minero responsable puede ser compatible con la protección ambiental.

La alta estabilidad del talud se debe principalmente a:

-Buena calidad del macizo rocoso: Con cohesión elevada (400 kPa) y ángulo de fricción interna alto (40°), el material resiste esfuerzos sin generar deslizamientos críticos.

-Diseño geométrico optimizado: La combinación de un ángulo de talud (BFA) de 75° y un ángulo interrampa (IRA) de 52° permite mantener la pendiente dentro de rangos seguros.

-Uso de técnicas mecánicas: Al reemplazar la voladura por martillo rompedor y cemento expansivo, se evita generar fracturamiento secundario en el macizo, preservando su integridad estructural.

Los resultados del análisis de estabilidad demuestran que el diseño del sistema de banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune es técnicamente viable y seguro. Los factores de seguridad obtenidos, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas, superan los umbrales mínimos recomendados, lo cual respalda la hipótesis principal del estudio.

El presente estudio en el yacimiento de caliza Cambrune coincide con el trabajo de Alvear et al. (2011) en la implementación del sistema de banqueo descendente como método eficaz para la explotación a cielo abierto de caliza. Ambos estudios destacan su viabilidad técnica y económica, aunque difieren en escala y enfoque.

Mientras que Alvear et al. diseñaron una operación a gran escala con bancos de 10 metros y centrada en rentabilidad, el estudio en Cambrune aplicó un diseño más controlado (bancos de 4 metros) orientado a validar el método en condiciones geomecánicas específicas, priorizando la seguridad (con factores de seguridad estáticos de 3.69 y pseudoestáticos de 2.89) y la sostenibilidad ambiental mediante tecnologías limpias como mini dumpers eléctricos.

Además, a diferencia del enfoque tradicional del estudio ecuatoriano, en Cambrune se aplicaron herramientas modernas como Dips v.7 y Slide2 para evaluar con mayor precisión los modos de falla y garantizar la estabilidad del talud. Esto refuerza la importancia de una planificación técnica adecuada, que permita optimizar operaciones incluso en proyectos de menor escala, sin comprometer seguridad ni sostenibilidad.

La presente investigación en el yacimiento de caliza Cambrune guarda una relación metodológica y conceptual con el estudio de Contento & Pinto (2014), quienes también propusieron el sistema de bancos escalonados descendentes como el más adecuado para la explotación de caliza. Ambos trabajos coinciden en que la elección del método debe estar basada en las condiciones geomecánicas, topográficas y geométricas del yacimiento, así como en criterios de eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental.

Mientras que Contento & Pinto orientaron su propuesta hacia una producción diaria específica (107 m^3) para abastecer a una planta cementera, el estudio en Cambrune, aunque de menor escala, priorizó la validación técnica del método con énfasis en la seguridad del talud (factor de seguridad >8 en condiciones estáticas), el uso de tecnologías limpias para el acarreo y la reducción del impacto ambiental mediante técnicas de arranque no explosivas.

Ambos estudios resaltan la ventaja del banqueo descendente frente a otros métodos, como el banco único o los bancos ascendentes, por su capacidad de adaptarse a la estabilidad del macizo rocoso y por facilitar una explotación ordenada y progresiva. Esto reafirma la aplicabilidad del sistema propuesto en Cambrune, validando su pertinencia en contextos geológicos similares, tanto en Colombia como en el sur del Perú.

La investigación en el yacimiento de caliza Cambrune guarda similitud con el estudio de Moreno López (2015), quien evaluó la viabilidad técnica y económica de una cantera de calizas en España mediante el método de banqueo descendente con restauración progresiva. Ambos trabajos destacan la eficiencia y seguridad del método, adaptado a las condiciones geotécnicas del terreno. En Cambrune, aunque a menor escala, se priorizó una explotación controlada, sin uso de explosivos, y con equipos eléctricos, obteniéndose factores de seguridad elevados incluso bajo condiciones sísmicas, lo que valida la estabilidad del diseño.

Por su parte, Moreno López proyectó una operación a largo plazo con una producción masiva para uso industrial, lo que demuestra la escalabilidad del método de banqueo descendente. Ambas experiencias confirman que este sistema es aplicable en contextos diversos, siempre que se realice un análisis técnico-económico riguroso. Así, el caso Cambrune refuerza la viabilidad de implementar este método en explotaciones sostenibles y seguras, especialmente en proyectos piloto o de escala intermedia.

Los resultados del yacimiento de caliza Cambrune guardan similitud con el estudio de Chávez & Longa (2019) en la Mina Resurrección, donde se validó la viabilidad del método de bancos múltiples descendentes. Ambos casos demostraron estabilidad del talud y eficiencia operativa, respaldados por análisis con software Slide. Aunque en Cambrune se priorizó una operación más sostenible y de menor escala, y en Bambamarca una producción masiva, ambos estudios confirmaron que el diseño de banqueo descendente es una alternativa técnica y económicamente viable para la explotación segura de caliza.

Los hallazgos obtenidos en el yacimiento de caliza Cambrune guardan relación con los resultados del estudio de Huamán & Quispe (2019) en la Cantera La Tuna Blanca, donde también se implementó un método de explotación por bancos descendentes con el objetivo de optimizar la producción. Aunque el enfoque de Cambrune priorizó la sostenibilidad ambiental, la seguridad operativa y una escala reducida sin uso de explosivos, ambos estudios coincidieron en la eficacia del diseño descendente para garantizar estabilidad geotécnica y mejorar la eficiencia del proceso extractivo. En ambos casos, los análisis técnicos y económicos confirmaron que este método representa una alternativa viable, adaptable a diferentes contextos geológicos y operativos, logrando así una explotación segura y rentable en el tiempo.

El estudio realizado en el yacimiento de caliza Cambrune encuentra un punto de convergencia con la investigación de Piérola (2017), desarrollada en la cantera La Unión en Cajamarca, al enfocarse en la optimización del sistema de explotación mediante el análisis de las características geomecánicas del macizo rocoso. Si bien el enfoque de Cambrune priorizó un sistema mecanizado limpio, sin voladura, y con tecnologías sostenibles como mini dumpers eléctricos, el estudio de Piérola se orientó a mejorar un sistema tradicional que incluía perforación y voladura, elevando la producción artesanal. Ambas investigaciones coinciden en la importancia de la caracterización del macizo rocoso para definir parámetros de diseño seguros y eficientes, y en que un diseño técnico adecuado, basado en datos geomecánicos confiables, puede incrementar significativamente la eficiencia y rentabilidad de la operación, adaptándose a los recursos y condiciones específicas de cada proyecto.

La investigación en el yacimiento de caliza Cambrune comparte similitudes con el estudio de Kainthola et al. (2025), especialmente en la caracterización geomecánica del macizo rocoso para evaluar la estabilidad de taludes. En Cambrune se aplicaron métodos como RMR y softwares especializados, mientras que Kainthola et al. combinaron múltiples esquemas (RQD, RMR, SMR, Q-slope, GSI) y emplearon algoritmos como Random Forest para identificar los parámetros más influyentes.

Ambos trabajos destacan la utilidad de enfoques integrales para asegurar la estabilidad. Mientras Cambrune demostró resultados sólidos con métodos tradicionales, el estudio en el Himalaya sugiere que integrar herramientas de inteligencia artificial puede optimizar aún más el diseño de taludes. Esto plantea oportunidades de mejora para futuros proyectos en contextos similares.

La investigación de Alabere et al. (2025) sobre porosidad y permeabilidad en calizas del Cretácico en Abu Dhabi complementa el estudio geomecánico en el yacimiento Cambrune. Aunque centrado en reservorios, su análisis sobre conectividad porosa y uso de técnicas como tomografía eléctrica aporta información útil sobre la estructura interna de la caliza.

Estos hallazgos pueden aplicarse en contextos mineros como Cambrune, ya que la conectividad de poros influye en la resistencia del macizo rocoso. Integrar técnicas similares en estudios futuros permitiría una evaluación más completa del comportamiento mecánico e hidráulico de la roca.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES.

La implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune fue técnicamente viable y segura. Los análisis de estabilidad realizados mediante software especializado (Dips v.7 y Slide2) confirmaron que el diseño geométrico propuesto cumple con los factores de seguridad requeridos bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. Este sistema logró adaptarse eficientemente a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, garantizando la continuidad operativa con criterios de sostenibilidad y bajo impacto ambiental.

El diseño del sistema por banqueo descendente, que incluyó bancos de 4 m, bermas de 2 m y ángulo interrampa de 52°, demostró ser adecuado para el tipo de roca caliza presente. Las técnicas empleadas para la extracción, como el uso de martillo hidráulico y cemento expansivo, permitieron una operación controlada y segura, evitando el uso de explosivos. Además, se incorporaron equipos eléctricos para el transporte del material, reforzando el enfoque ambiental y la eficiencia logística del proyecto.

La evaluación de las características geomecánicas del yacimiento evidenció una alta calidad del macizo rocoso, con parámetros como cohesión de 400 kPa y ángulo de fricción interna de 40°. Se identificaron cinco principales discontinuidades, pero el análisis cinemático descartó fallas críticas, como volcamiento o cuña. La ausencia de nivel freático y la resistencia estructural del macizo confirmaron la estabilidad general del talud y validaron la pertinencia del sistema propuesto para este tipo de yacimiento.

CAPÍTULO VI
RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar y ajustar periódicamente el diseño del método de banqueo descendente para adaptarse a cambios en las condiciones geológicas y geomecánicas del yacimiento. La implementación de un sistema de monitoreo continuo permitirá ajustar los parámetros operativos en tiempo real, mejorando la estabilidad y eficiencia del proceso de extracción. Además, se sugiere realizar simulaciones y análisis adicionales para optimizar la altura de los bancos y el ancho de las bermas, adaptando el diseño a las características específicas del depósito.
- Se recomienda continuar utilizando y actualizar las herramientas tecnológicas para la estimación de reservas, incluyendo software especializado en modelado geológico y análisis geomecánico. La integración de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el modelado 3D avanzado, puede mejorar la precisión de las estimaciones y la planificación de la explotación. Además, se debería considerar la implementación de tecnologías de detección en tiempo real para monitorear las reservas durante el proceso de extracción.
- Es crucial implementar un plan integral de gestión del agua subterránea, que incluya medidas de drenaje y control de aguas para minimizar el impacto en la estabilidad del macizo rocoso. Se recomienda realizar un estudio detallado de las condiciones hidráulicas y desarrollar un sistema de drenaje adecuado que garantice la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras. Además, se sugiere la instalación de sensores de monitoreo para detectar y gestionar la presencia de agua en tiempo real.
- Para mejorar la viabilidad financiera del proyecto, se recomienda realizar un análisis económico exhaustivo que considere todos los costos operativos, de mantenimiento y de restauración progresiva. Este análisis debe incluir una evaluación de las alternativas económicas y su impacto en la rentabilidad del proyecto. La implementación de un sistema de control de costos y presupuestos permitirá identificar áreas de mejora y optimizar el uso de recursos.

- Se debe desarrollar e implementar un plan de restauración progresiva del terreno explotado, que contemple la rehabilitación del paisaje y la restauración del ecosistema afectado. Este plan debe incluir la revegetación de las áreas de explotación y la gestión de residuos, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental a largo plazo. Se recomienda colaborar con expertos en restauración ecológica para asegurar la eficacia de las medidas adoptadas.
- Se recomienda adoptar prácticas medioambientales que reduzcan la huella de carbono, el consumo de energía y la generación de polvo. La implementación de tecnologías limpias y eficientes, así como la optimización de los procesos de extracción y procesamiento, contribuirá a mejorar la sostenibilidad del proyecto. Además, se sugiere la implementación de un programa de capacitación para el personal en temas de gestión ambiental y sostenibilidad.
- Se recomienda establecer un sistema de monitoreo y evaluación constante para supervisar el desempeño del método de banqueo descendente y su impacto en la operación minera. La recolección de datos operativos, geomecánicos y económicos permitirá realizar ajustes oportunos y garantizar la eficiencia del proceso. Además, se sugiere la realización de auditorías periódicas para identificar oportunidades de mejora y asegurar el cumplimiento de las normativas y estándares establecidos.
- Se debe fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías en el campo de la minería de caliza. La participación en proyectos de investigación y colaboración con instituciones académicas y tecnológicas puede aportar nuevas soluciones y mejoras para la explotación de yacimientos. Se recomienda invertir en la capacitación continua del personal y en la adquisición de equipos innovadores que puedan mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proyecto.

CAPÍTULO VII
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alabere, A. O., Jouini, M. S., Alsuwaidi, M., Morad, D., Nader, F. H., Bouchala, F., Al-Shalabi, E. W., & Jallad, O. A. (2024). Pore to core plug scale characterization of porosity and permeability heterogeneities in a Cretaceous carbonate reservoir using laboratory measurements and digital rock physics, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Marine and Petroleum Geology, 162*, 107214. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2024.107214

Alvear, C., López, M., Pindo, J., & Proaño, G. (2011). *Diseño y análisis económico de la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio ESPOL. http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/17132

Asof, M., & Gofar, N. (2018). Block model approach for analysis of rock bench stability in open pit mines. *Malaysian Journal of Civil Engineering, 22*(1), 1–12. https://doi.org/10.11113/mjce.v22n1.243

Azarafza, M., Akgün, H., Ghazifard, A., Asghari-Kaljahi, E., Rahnamarad, J., & Derakhshani, R. (2021). Discontinuous rock slope stability analysis by limit equilibrium approaches – a review. *International Journal of Digital Earth*, *14*(12), 1918-1941. https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1988163

Barton, N., & Choubey, V. (1977). The shear strength of rockfill. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 103*(SM1), 1–19.

Barton, N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Rock Mechanics and Rock Engineering, 35*(1), 45–64. https://doi.org/10.1007/s00603-002-0025-1

Castro, S., & Guío, O. (2004). *Estudio de impacto ambiental para la explotación de roca caliza a cielo abierto y producción de cal en la vereda Las Caleras en el municipio de Nobsa, Boyacá* [Informe técnico]. Universidad Nacional de Colombia.https://ciencia.lasalle.edu.co/items/a5e58c02-f0f1-46d5-acce-fe05f4333335

Chávez Rojas, L. F., & Longa Muñoz, C. A. (2019). *Influencia del diseño de bancos múltiples descendentes en la explotación de caliza en la mina Resurrección, Bambamarca 2018* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/2421162

Contento Franco, J. A., & Pinto Cervantes, I. D. (2014). *Diseño del método de explotación del yacimiento de caliza módulo norte de la mina La Esperanza,*

municipio La Calera - Cundinamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. https://repositorio.uptc.edu.co/items/200f0f3e-5dc5-4ab3-9481-588261d8c770

Contreras, J. A. (2017). *Diseño del plan de explotación de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage Publications. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf

Cuenca Manya, E. J. (2015). *Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento "ISIMANCHI"* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional. https://es.scribd.com/document/434075915/T-UCE-0012-371-pdf

Elkarmoty, M., Bonduà, S., Bruno, R., & Colla, C. (2020). A 3D brute-force algorithm for the optimum cutting pattern of dimension stone quarries. *Journal of Computational Design and Engineering, 7*(3), 295–310. https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.12.001

Fetter, C. W. (2001). *Applied hydrogeology* (4th ed.). Prentice Hall. https://arjzaidi.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/unimasr-com_e7ce669a880a8c4c70b4214641f93a02.pdf

Gonzales, R. (2021). *Estimación de costos de producción en cantera de caliza no metálica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional.

Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory mining engineering*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. https://es.scribd.com/document/790095197/Introductory-Mining-Engineering-Howard-L-Hartman-Jan-M-Mutmansky

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill. http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Herrera Herbert, J. (2022). *Métodos de minería a cielo abierto*. Editorial UPM. https://doi.org/10.20868/upm.book.10675

Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering* (3rd ed.). Institution of Mining and Metallurgy. https://civilenglineering.wordpress.com/wp-

content/uploads/2014/10/rock_slope_engineering_civil_and_mining.pdf

Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). *Underground excavations in rock*. Institution of Mining and Metallurgy. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781482288926_A38306702/preview-9781482288926_A38306702.pdf

Huamán, V. J., & Quispe, S. C. B. C. (2019). *Método de extracción por bancos descendentes para optimizar la producción de agregados en la cantera La Tuna Blanca, Santa Cruz - Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3234881

ISRM. (2007). *Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods*. International Society for Rock Mechanics. https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-3926138-860dea33d2.pdf

Jaeger, J. C., Cook, N. G. W., & Zimmerman, R. (2007). *Fundamentals of rock mechanics* (4th ed.). Wiley.

Lai, P., Lv, C., Zhou, L., Yang, S., Xu, J., Dong, Q., & He, M. (2025). Improved lightweight DeepLabV3+ for bare rock extraction from high-resolution UAV imagery. *Ecological Informatics, 80*, 103204. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103204

Leedy, P. D., & Ormrod, J. E. (2015). *Practical research: Planning and design* (11th ed.). Pearson. https://pce-fet.com/common/library/books/51/2590_%5BPaul_D._Leedy,_Jeanne_Ellis_Ormrod%5D_Practical_Res(b-ok.org).pdf

Low, B. K. (2022). Context-dependent parameter sensitivities in rock slope stability. *Rock Mechanics and Rock Engineering, 55*(12), 7445-7468. https://doi.org/10.1007/s00603-022-03017-0

Mahmut, E. (2018). *Caliza*. Geology Science. https://es.geologyscience.com/rocks/sedimentary-rocks/limestone

MEF. (2023). *Valores referenciales para proyectos mineros no metálicos*. Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. https://www.mef.gob.pe

Mitchell, A., & Sass, O. (2024). Rock weathering: The effects of varying rock moisture on controlled weathering cycles in low porosity limestone. *Geomorphology, 457*, 109149. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109149

Moreno López, J. J. (2015). *Proyecto de explotación de cantera de calizas del páramo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional.

Muñoz Reinoso, C. R. (2015). *Evaluación de reservas y diseño del sistema de explotación del área minera Mary Elena* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional.

Oggeri, C., Fenoglio, T. M., Godio, A., & Vinai, R. (2019). Overburden management in open pits: Options and limits in large limestone quarries. *International Journal of Mining Science and Technology, 29*(2), 217–228. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.011

Piérola, V. (2017). *Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión, distrito Baños del Inca – Cajamarca 2015* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorios Latinoamericanos. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3276134

Quispe, M. S. (2020). *Ampliación de la producción aplicando el método de extracción a cielo abierto en la concesión minera Encanto Blanco Lyof* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional.

Reddy, S. K. (2023). Monitoring and prediction of slope failure instability in a limestone mine. *Journal of Mines, Metals & Fuels, 71*(4), 512–520. https://doi.org/10.18311/jmmf/2023/31743

Salazar, J. (2022). *Estudio técnico-económico de explotación por banqueo descendente en caliza* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional.

Silva, R. F. e., Zingano, A. C., Lima, R. R., Silva, J. P. da, & Holanda, C. C. (2022). Influence of geomechanical analysis on the stability of ornamental rock slopes. *Journal of South American Earth Sciences, 116*, 103859. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103859

Şirin, E., & Bonduà, S. (2021). Environmental and economic optimization for block cutting of dimension stones in a limestone quarry. *Resources Policy, 70*, 101913. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101913

Tshibangu, J.-P., Deloge, K. P.-A., Deschamps, B., et al. (2015). Assessment of rock slope stability in limestone quarries: A coupled mining planning and FEM approach. In *Engineering Geology for Society and Territory* (pp. 827-831). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3_142

Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks* (3rd ed.). Blackwell Science. https://virtual.ucaldas.edu.co/pluginfile.php/565981/mod_resource/content/1/Sedimentary_Petrology_Tucker.pdf

Wang, J., Zhou, Z., Chen, C., Wang, H., & Chen, Z. (2023). Failure mechanism and

stability analysis of an open-pit slope under excavation unloading conditions. *Frontiers in Earth Science, 11*, 1109316. https://doi.org/10.3389/feart.2023.1109316

Yılmaz, M., Tugrul, A., Er, S., Ertin, A., Tokgöz, N., & Arel, E. (2015). Rock slope stability assessment of limestone quarry; an example from Istanbul Cebeci region, Turkey. In *Engineering Geology for Society and Territory* (Vol. 2, pp. 827-831). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3_142

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBEJTIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Interrogante general	**Objetivo general**	**Hipótesis general**	**Variable independiente**		
¿Cómo se puede implementar un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, asegurando la eficiencia del método en las condiciones específicas del yacimiento?	Implementar un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, asegurando la eficiencia del método en las condiciones geomecánicas del yacimiento.	La implementación de un sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune puede ser efectivamente realizada, asegurando la eficiencia operativa al considerar las condiciones geomecánicas específicas del yacimiento.	Implementación del sistema de explotación por banqueo descendente.	Técnicas de extracción mecánica. Planificación de la secuencia de explotación.	- Método de explotación aplicado. - Diseño de bancos y taludes. - Eficiencia operativa.
Interrogantes específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**	**Variable dependiente**		
¿Cómo se puede plantear la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune, considerando las técnicas mecánicas necesarias y las condiciones geológicas del entorno?	Plantear la implementación del sistema de explotación por banqueo descendente en el yacimiento de caliza Cambrune.	La implementación del sistema de banqueo descendente será viable y eficiente al considerar los factores técnicos y operativos específicos del yacimiento.	Condiciones geomecánicas del yacimiento.	Estabilidad del talud. Recuperación del mineral.	- Ángulo de talud. - Altura y ancho de bancos. - Volumen de recuperación mineral.
¿Qué características geomecánicas del yacimiento deben evaluarse para determinar la adecuación del sistema de banqueo descendente?	Evaluar las características geomecánicas del yacimiento de caliza Cambrune para determinar la adecuación del sistema de explotación por banqueo descendente.	La caracterización adecuada del macizo rocoso permitirá definir un diseño seguro y eficiente para el sistema de explotación por banqueo descendente.			- Índice RQD. - Resistencia a la compresión uniaxial. - Presencia de fracturas y fallas.

Nota: Elaboración Propia

ANEXO 2: Material gráfico complementario

Figura A2.1

Vista general del yacimiento desde el nivel 3400.



Nota: Fotografía tomada durante la campaña de campo, abril 2025.

Figura A2.2

Equipo de trabajo realizando actividades de campo



Fuente: Archivo fotográfico propio, 2025.

Figura A2.3

Vista panorámica de la zona del yacimiento de caliza en Cambrune



Nota: Elaboración Propia

ANEXO 3: Resultados de laboratorio de caliza



Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 55E9A77D

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-24-09846
Fecha de emisión:20/7/2024

Página 1 de 1

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Dirección: CAL.ANCASH 1RA CUADRA NRO. SN MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA
Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Recepción: 8/6/2024
Realización: 8/6/2024
Observación El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados
*593 Método de Ensayo para Calizas elementos mayores (CaCO3, MgCO3, Na2O, K2O, Mn2O3, Fe2O3, Insolubles, LOI)

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*593							
				$CaCO_3$	Fe_2O_3	Insolubles	K_2O	LOI	$MgCO_3$	Mn_2O_3	Na_2O
				%	%	%	%	%	%	%	%
MN24013895	CALIZA	No proporcionado por el cliente.	Caliza	80,18	0,71	5,24	0,06	8,61	12,55	0,02	0,44

---------- Fin del informe ----------

Laboratorios Analíticos del Sur EIRL
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Nota: Extraído de Laboratorios Analíticos del Sur

ANEXO 4: Resultados de laboratorio de caracterización por difracción de caliza

Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

INFORME DE CARACTERIZACION POR DIFRACCION DE RAYOS X LAS01-PE-24-00067

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Dirección: CAL.ANCASH 1RA CUADRA NRO. SN MOQUEGUA - MARISCAL - NIETO - MOQUEGUA
Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Nro de muestras: 1
Código Interno LAS : MN24013895
Nombre de muestra: CALIZA
Producto(s) Declarado(s): CALIZA
Fecha de recepción: 8/06/2024
Fecha de ensayo: 8/06/2024
Fecha de emisión: 3/08/2024
Condiciones de recepcion de la muestra: Temperatura Ambiental
Observaciones : *Laboratorio No realiza la toma de muestra.*

Método de ensayo aplicado
*9532 Difracción de Rayos X, determinación de fases presentes.

Item.	Mineral	Mineral	Fórmula general	Resultado %
1	Corundum	Corindón	Al2O3	5,10
2	Quartz	Quartzo	SiO_2	1,87
3	Phlogopite	Flogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}F_2$	2,90
4	Albite	Albita	$Na(Si_3Al)O_8$	0,92
5	Gypsum	Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,59
6	Apatite	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(Cl/F/OH)$	1,56
7	Ankerite	Ankerita	$Ca\ (Fe^{+2}, Mg)(CO_3)_2$	11,70
8	Dolomite	Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	15,10
9	Calcite	Calcita	CaCO3	59,30

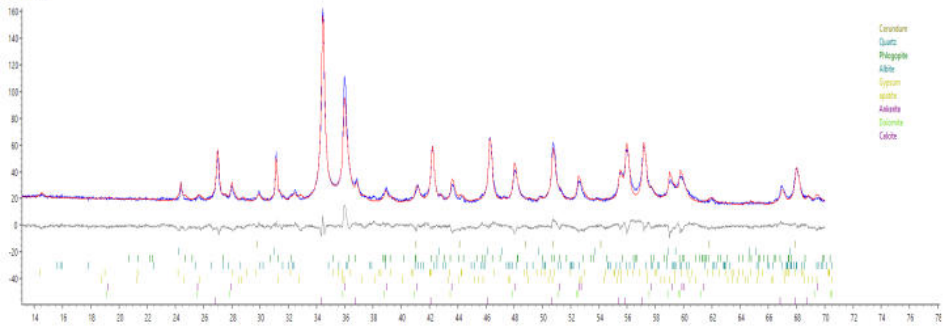
Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Dirección: CAL.ANCASH 1RA CUADRA NRO. SN MOQUEGUA - MARISCAL - NIETO - MOQUEGUA
Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Nro de muestras: 1
Código Interno LAS : MN24013895
Nombre de muestra: CALIZA
Producto(s) Declarado(s): CALIZA
Fecha de recepción: 8/06/2024
Fecha de ensayo: 8/06/2024
Fecha de emisión: 3/08/2024
Condiciones de recepcion de la muestra: Temperatura Ambiental
Observaciones : *Laboratorio No realiza la toma de muestra.*

Método de ensayo aplicado
*9532 Difracción de Rayos X, determinación de fases presentes.

Muestra MN 24013895

Calcita



'----------Fin del informe----------

Nota: Extraído de Laboratorios Analíticos del Sur

"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	: Esteffany Julyett Linares Molina
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 72350361
Correo electrónico	: esteffany.linares.molina@gmail.com
Teléfono/Celular	: 985694722

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 : "Implementación del Sistema de Explotación por Banqueo Descendente en el Yacimiento de Caliza Cambrune – Carumas"
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 -- Minería, Procesamiento de minerales
c) Fecha de publicación : 30 de Julio del 2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Arquímedes León Vargas Luque
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01309736
c) ORCID : 0000-0001-7619-2844

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72350361
NOMBRES Y APELLIDOS : Esteffany Julyett Linares Molina

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 : 72350361
NOMBRES Y APELLIDOS : Esteffany Julyett Linares Molina
FECHA : 04 de Agosto del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

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

Yo, Esteffany Julyett Linares Molina, bachiller de la Escuela Profesional de : Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: N° 72350361, autor(a) de la Tesis titulado "Implementación del Sistema de Explotación por Banqueo Descendente en el Yacimiento de Caliza Cambrune – Carumas"

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, 04 de agosto del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Esteffany Julyett Linares Molina
DNI: 72350361

Base legal: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 194-2020-SUNEDU-02-15

Arquimedes Vargas

Informe final_Esteffany Linares v10.pdf

Prueba turnitin

PRUEBA

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3290215942

Fecha de entrega

4 jul 2025, 11:41 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 jul 2025, 11:51 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Informe_final_Esteffany_Linares_v10.pdf

Tamaño de archivo

2.4 MB

97 Páginas

23.320 Palabras

138.458 Caracteres

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado

Fuentes principales

17% Fuentes de Internet
6% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

17% Fuentes de Internet
6% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net		5%
2	Internet	
unam.edu.pe		2%
3	Internet	
repositorio.uptc.edu.co		1%
4	Internet	
www.coursehero.com		<1%
5	Internet	
repositorio.unc.edu.pe		<1%
6	Internet	
repositorio.unap.edu.pe		<1%
7	Publicación	
Calla Fernandez, Juan Fredy. "Efectos de la disolución del mineral calcita en el co...		<1%
8	Internet	
es.geologyscience.com		<1%
9	Trabajos del estudiante	
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC		<1%
10	Internet	
repositorio.uleam.edu.ec		<1%
11	Internet	
repositorio.ucv.edu.pe		<1%

12	Internet	
repositorio.continental.edu.pe		<1%
13	Internet	
www.slideshare.net		<1%
14	Internet	
www.smig.org.mx		<1%
15	Internet	
repositorio.unsch.edu.pe		<1%
16	Publicación	
Valeriano Nina, Fredy Alonso. "Caracterización del dominio geomecánico para la ...		<1%
17	Trabajos del estudiante	
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez		<1%
18	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional de Moquegua		<1%
19	Trabajos del estudiante	
Universidad Pedagogica y Tecnologica de Colombia		<1%
20	Internet	
repositorio.unsaac.edu.pe		<1%
21	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo		<1%
22	Internet	
patents.google.com		<1%
23	Internet	
pesquisa.bvsalud.org		<1%
24	Internet	
repositorio.unah.edu.pe		<1%
25	Internet	
imagendeveracruz.mx		<1%

26	Internet	
repositorio.unam.edu.pe		<1%
27	Internet	
repositorio.urp.edu.pe		<1%
28	Internet	
www.caib.cat		<1%
29	Internet	
zaguan.unizar.es		<1%
30	Trabajos del estudiante	
Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador		<1%
31	Internet	
geologicas.ucm.es		<1%
32	Internet	
prezi.com		<1%
33	Internet	
repositorio.uap.edu.pe		<1%
34	Internet	
repositorio.ucsm.edu.pe		<1%
35	Internet	
vsip.info		<1%
36	Internet	
apirepositorio.unh.edu.pe		<1%
37	Internet	
doczz.es		<1%
38	Internet	
repositorio.unamba.edu.pe		<1%
39	Trabajos del estudiante	
uncedu		<1%

40 Internet
www.dspace.espol.edu.ec <1%

41 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac <1%

42 Internet
repositorio.uladech.edu.pe <1%

43 Internet
repositorio.unjfsc.edu.pe <1%

44 Internet
repositorio.unp.edu.pe <1%

45 Trabajos del estudiante
utn <1%

46 Internet
doku.pub <1%

47 Trabajos del estudiante
undac <1%

48 Internet
www.dspace.uce.edu.ec <1%

49 Trabajos del estudiante
Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE <1%

50 Internet
es.scribd.com <1%

51 Internet
repositorio.unu.edu.pe <1%

52 Internet
www.123toothfairy.com <1%

53 Trabajos del estudiante
Universidad de Málaga - Tii <1%

54 Internet
www.clubensayos.com <1%

55 Internet
1library.co <1%

56 Internet
diariocorreo.pe <1%

57 Internet
es.slideshare.net <1%

58 Internet
munimoquegua.gob.pe <1%

59 Internet
repositorio.unid.edu.pe <1%

60 Internet
themisdata.net <1%

61 Trabajos del estudiante
UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA <1%

62 Trabajos del estudiante
Universidad TecMilenio <1%

63 Internet
philpapers.org <1%

64 Trabajos del estudiante
udes-virtual <1%

65 Trabajos del estudiante
unsaac <1%

66 Internet
www.finesoftware.es <1%

67 Internet
www.gobernacion.gob.mx <1%

68 Internet
oa.upm.es <1%

69 Trabajos del estudiante
Centro Europeo de Postgrado - CEUPE <1%

70 Internet
cris.unibo.it <1%

71 Internet
doaj.org <1%

72 Internet
es.unionpedia.org <1%

73 Internet
issuu.com <1%

74 Internet
orientacion.universia.edu.pe <1%

75 Internet
repositorio.upla.edu.pe <1%

76 Internet
revistas.unal.edu.co <1%

77 Internet
revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe <1%

78 Internet
seguridadysaludeneltrabajo.co <1%

79 Trabajos del estudiante
uni <1%

80 Internet
worldwidescience.org <1%

81 Internet
www.bdigital.unal.edu.co <1%

82	Internet	
www.gob.mx		<1%
83	Internet	
www.iris.unina.it		<1%
84	Internet	
www.jove.com		<1%
85	Internet	
www.msn.com		<1%
86	Publicación	
"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derech...		<1%
87	Publicación	
FCA CONSULTORES AMBIENTALES S.A.C.. "PAMA del Fundo Blueberries Perú-IGA0...		<1%
88	Trabajos del estudiante	
Universidad La Gran Colombia		<1%
89	Internet	
andovabook.blogspot.com		<1%
90	Internet	
colposdigital.colpos.mx:8080		<1%
91	Internet	
dspace.espoch.edu.ec		<1%
92	Internet	
e-archivo.uc3m.es		<1%
93	Internet	
gcris.pau.edu.tr		<1%
94	Internet	
repositorio.ujcm.edu.pe		<1%
95	Internet	
repositorio.umariana.edu.co		<1%

96	Internet	
repositorio.unfv.edu.pe		<1%
97	Internet	
www.academia.edu		<1%
98	Internet	
www.criptonoticias.com		<1%
99	Internet	
www.eldiadecordoba.com		<1%
100	Internet	
www.engormix.com		<1%
101	Internet	
www.globalskm.com		<1%
102	Internet	
www.primuslabs.com		<1%
103	Internet	
www.ser.org.pe		<1%
104	Internet	
www.unccd.int		<1%
105	Publicación	
Garcia Giraldo, John Mario. "Comportamiento a flexion De Elementos De albaniler...		<1%
106	Publicación	
Iglesias, Nerea Lopez. "Analysing Nominal Phrase Contexts for the Automatic Ext...		<1%
107	Internet	
bilselkongreleri.com		<1%
108	Internet	
ciencia.lasalle.edu.co		<1%
109	Internet	
dokumen.pub		<1%

110 Internet
link.springer.com <1%

111 Internet
repositorio.comillas.edu <1%

112 Internet
repositorio.epnewman.edu.pe <1%

113 Internet
repositorio.uandina.edu.pe <1%

114 Internet
repositorio.uchile.cl <1%

115 Internet
repositorio.ucss.edu.pe <1%

116 Internet
repositorio.usmp.edu.pe <1%

117 Internet
tesis.ucsc.cl <1%

118 Internet
upc.aws.openrepository.com <1%

119 Internet
w3.cetem.gov.br <1%

120 Internet
www.colombiajoven.gov.co <1%

121 Internet
www.concepcion.gov.ar <1%

122 Internet
www.scribd.com <1%

123 Publicación
"Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2", Springer Nature, 2015 <1%

124 Publicación
GOLDER ASSOCIATES PERU S.A.. "Plan de Cierre de Minas del Proyecto Minero Cor... <1%

125 Publicación
E-GESTION AMBIENTAL S.A.C.. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Mejor... <1%

126 Publicación
Sheng-Qi Yang, Yu Song, Shi-Gui Du, Rui Yong, Su-Sheng Wang, Yun-Jin Hu, Jiang Z... <1%

127 Publicación
Vicente Eduardo Capa Guachón. "Estudio experimental y numérico del comporta... <1%

128 Internet
repositorio.autonoma.edu.pe <1%

129 Publicación
Bar, Neil. "The Q-slope method for rock slope engineering", Budapest University ... <1%

130 Internet
journals.utm.my <1%

131 Internet
www.informaticsjournals.com <1%

132 Internet
odysseus.prometeus.nsc.ru <1%

133 Internet
www.arqhys.com <1%

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 638-2025-CU

Moquegua, 05 de septiembre de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 3480-2025-R de fecha 03 de setiembre de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° 361-2025-UNAM-R/SG de fecha 03 de septiembre de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° 106-2025-UNAM/SEGE/GYT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Ordinaria N° 08-2025-SO-CU-UNAM, de fecha 03 de setiembre de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley N° 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 24° y numeral 2 del artículo 26° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Informe Técnico N° 106-2025-UNAM/SEGE/GYT, de fecha 03 de septiembre de 2025, e Informe N° 361-2025-UNAM-R/SG de fecha 03 de septiembre de 2025, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas de la Bachiller: LINARES MOLINA ESTEFFANY JULYETT de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas; razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 03 de setiembre de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 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 (...). Asimismo la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 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 N° 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, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-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, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Ordinaria N° 08-2025-SO-CU-UNAM, de fecha 03 de septiembre de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo; POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de sustentación de tesis a la Bachiller: LINARES MOLINA ESTEFFANY JULYETT, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua;

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO

N° 638-2025-CU

Moquegua, 05 de septiembre de 2025

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220-Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **LINARES MOLINA ESTEFFANY JULYETT**

TESIS : "IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN POR BANQUEO DESCENDENTE EN EL YACIMIENTO DE CALIZA CAMBRUNE – CARUMAS", cuyo Asesor Principal fue el Dr. Arquímedes León Vargas Luque.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria – SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE, Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM SECRETARÍA GENERAL

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACIA
EPIM
DASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

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