UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD (SMR) Y MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA CANTERA SOLANGE AR

PRESENTADO POR:

BACH. ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 061

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD N° 121-2025-CF-FAIN-UNAM

Fecha: 09-08-2025

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

" ANALISIS DE LA CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD (SMR) Y METODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) PARA UA OPTIMIZACION DE ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN UA CANTERA SOLANGE AR "

Bachiller: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA

Asesor Principal: DR. CHRIST. JESUS BARRIGA PARIA

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 12:00 horas, del 09 de SETIEMBRE del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Mg. AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Bertha Silvana Vera Barrios
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Enrique Rivaldo Valderrama Charaja
(Nombres y Apellidos)

RESUMEN

Esta tesis aborda de manera integral el problema de la estabilidad de taludes en una explotación minera a cielo abierto, donde la seguridad estructural de los taludes es determinante para garantizar la continuidad y sostenibilidad de la operación. Este estudio se caracteriza por un enfoque técnico y aplicado, propio de las investigaciones realizadas en canteras, que buscan conectar la teoría con la práctica y proporcionar soluciones inmediatas a problemáticas in situ del sector extractivo. El trabajo parte de la necesidad de caracterizar geotecnicamente el macizo rocoso mediante el uso de clasificaciones empíricas, específicamente el Slope Mass Rating (SMR), con el fin de evaluar las condiciones actuales de los taludes y determinar los niveles de estabilidad. Este sistema de clasificación permite correlacionar parámetros estructurales como orientación de discontinuidades, calidad de la roca y condiciones geométricas del talud con un índice numérico que refleja el grado de estabilidad. Sin embargo, dado que el comportamiento de los macizos rocosos presenta un carácter no lineal y anisotrópico, se complementa este análisis empírico con la simulación numérica mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), herramienta que permite modelar la respuesta del macizo frente a condiciones de carga estática y pseudoestática, reproduciendo de manera más realista la interacción entre esfuerzos, deformaciones y posibles mecanismos de falla. La investigación se sustenta en un nivel predictivo–aplicativo, coherente con el objetivo principal de identificar y reducir los riesgos asociados a la inestabilidad de taludes en la Cantera Solange AR. La variable independiente está conformada por el análisis geomecánico a través del SMR y la modelación numérica FEM, mientras que la variable dependiente corresponde a la optimización de la estabilidad del macizo rocoso. Para ello, se trabajó con una muestra representativa de taludes en explotación, ubicados en las progresivas 000+00, 000+40, 000+80, 000+240, 000+280 y 000+320, donde se realizó la

recolección de datos de campo, incluyendo levantamiento geológico-estructural, registro de orientaciones de discontinuidades, propiedades físicas y mecánicas del macizo, así como parámetros geométricos de los taludes en estudio. La integración de los resultados obtenidos mediante la clasificación SMR y el análisis FEM permite realizar una evaluación comparativa entre métodos empíricos y numéricos, identificando los mecanismos de falla más probables y proponiendo diseños de talud optimizados, con factores de seguridad acordes a los estándares internacionales de estabilidad. Asimismo, se plantea la implementación de medidas de sostenimiento y refuerzo (pernos, malla metálica, concreto lanzado, drenaje superficial y subterráneo) en los sectores críticos donde la modelación evidencia condiciones de riesgo. En términos aplicados, la investigación contribuye a optimizar la seguridad de la operación minera, reducir la probabilidad de accidentes, minimizar pérdidas económicas asociadas a caídas de material y garantizar una explotación sostenible de la cantera. De este modo, el estudio no solo responde a una necesidad práctica del sector minero, sino que también se enmarca en los avances científicos y tecnológicos de la geomecánica, ofreciendo un aporte metodológico al combinar de manera complementaria las clasificaciones empíricas tradicionales con los modelos numéricos predictivos, fortaleciendo la toma de decisiones en el diseño y gestión de taludes.

Palabras Clave: Estabilidad de taludes, minería superficial, cantera.

ABSTRACT

This thesis comprehensively addresses the problem of slope stability in an open pit mine, where the structural safety of the slopes is crucial to ensure the continuity and sustainability of the operation. This study is characterized by a technical and applied approach, typical of research conducted in quarries, which seeks to connect theory with practice and provide immediate solutions to in-situ problems in the extractive sector. The work is based on the need to geotechnically characterize the rock mass using empirical classifications, specifically the Slope Mass Rating (SMR), in order to assess the current conditions of the slopes and determine the stability levels. This classification system allows for the correlation of structural parameters such as discontinuity orientation, rock quality, and slope geometric conditions with a numerical index that reflects the degree of stability. However, given the nonlinear and anisotropic behavior of rock masses, this empirical analysis is complemented by numerical simulation using the Finite Element Method (FEM), a tool that allows modeling the response of the rock mass to static and pseudo-static loading conditions, reproducing more realistically the interaction between stresses, deformations, and potential failure mechanisms. The research is based on a predictive-application level, consistent with the main objective of identifying and reducing the risks associated with slope instability in the Solange AR Quarry. The independent variable consists of geomechanical analysis through SMR and FEM numerical modeling, while the dependent variable corresponds to the optimization of rock mass stability. To this end, a representative sample of slopes in operation, located at elevations 000+00, 000+40, 000+80, 000+240, 000+280, and 000+320, was used to collect field data, including geological and structural surveys, recording discontinuity orientations, physical and mechanical properties of the massif, and geometric parameters of the slopes under study. The integration of the results obtained through SMR classification and FEM analysis allows for a comparative evaluation of

empirical and numerical methods, identifying the most likely failure mechanisms and proposing optimized slope designs with safety factors in accordance with international stability standards. Likewise, the implementation of support and reinforcement measures (bolts, wire mesh, shotcrete, surface, and subsurface drainage) is proposed in critical sectors where the modeling reveals risk conditions. In applied terms, the research contributes to optimizing the safety of mining operations, reducing the likelihood of accidents, minimizing economic losses associated with material falls, and ensuring sustainable quarry operations. Thus, the study not only responds to a practical need in the mining sector but also integrates with scientific and technological advances in geomechanics, offering a methodological contribution by complementarily combining traditional empirical classifications with predictive numerical models, strengthening decision-making in slope design and management.

Keywords: Slope stability, surface mining, quarry.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 5

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5

1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 5

1.1.1 Descripción de la realidad del problema *5*

1.1.2 Formulación del problema de investigación *6*

Interrogante general 6

Interrogantes especificas 6

1.2 OBJETIVOS 6

1.2.1 Objetivo general *6*

1.2.2 Objetivos específicos *6*

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 7

1.3.1 Justificación Práctica *8*

1.3.2 Justificación Teórica *8*

1.3.3 Justificación Metodológica *9*

1.3.4 Importancia *9*

1.4 HIPÓTESIS 10

1.4.1 Hipótesis general *10*

1.4.2 Hipótesis especificas *10*

1.5 VARIABLES 11

1.5.1 Variable independiente *11*

1.5.2 Variable dependiente *11*

CAPÍTULO II 13

MARCO TEÓRICO 13

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 13
2.1.1 Antecedentes Internacionales *13*
2.1.2 Antecedentes Nacionales *18*
2.1.3 Antecedentes Locales *28*
2.2 BASES TEÓRICAS 34
2.2.1 Geomecánica *34*
2.2.2 Caracterización geomecánica tradicional *36*
2.2.3 Geología del área estratigrafía *39*
Jurásico Superior *39*
Formación Guaneros 39
Cretácico Superior *40*
Formación Matalaque 40
Geología Estructural *40*
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 41
Definición de discontinuidades *41*
Orientación *42*
Espaciamiento *42*
Persistencia *43*
Abertura *44*
Relleno *45*
Rugosidad *46*
Imtemperismo *47*
Clasificación de macizos rocosos *47*
RMR (Clasificación del Macizo Rocoso) *48*
SMR (Slope Mass Rating) *51*
Calculo del Factor de Seguridad por FEM *55*
CAPÍTULO III 56
METODOLOGÍA 56

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 56
3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 57
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA 57
3.3.1 Población *57*
3.3.2 Muestra *58*
3.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS PARA LA INVESTIGACIÓN 58
Nota: Elaboración Propia *59*
3.5 PROCEDIMIENTO 60
Validación de los instrumentos *61*
Juicio de expertos 61
Conformidad con normas técnicas 61
Confiabilidad de los instrumentos *62*
Estandarización de los procedimientos de campo 62
Triangulación de datos 62
3.6 ANÁLISIS DE DATOS 63
Análisis de datos de campo (método SMR) *63*
Análisis numérico (método FEM) *63*
Interpretación y síntesis *63*
CAPÍTULO IV 65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 65
4.1 INTRODUCCIÓN 65
4.2 RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD (SMR) 71
4.2.1 Generalidades *71*
4.2.2 Datos base del RMR básico (Bieniawski, 1989) *72*
4.2.3 Factores de ajuste específicos del SMR *73*
4.3 RESULTADOS DE MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) 76
4.3.1 Generalidades *76*
4.3.2 Propiedades operativas necesarias para el análisis *77*

Peso específico del suelo (γ = 16.67 kN/m³)....77
Cohesión (c = 0.039 ton/m² ≈ 3.82 kPa)....77
Ángulo de fricción interna (φ = 32.58°)....78
Coeficiente de Poisson (ν = 0.25)....78
Módulo de Elasticidad (E = 1500 MPa)....78
4.3.3 Resultados del análisis por Método de Elementos Finitos (FEM)....79
Progresiva 000+00....80
Progresiva 000+40....81
Progresiva 000+80....81
Progresiva 000+240....81
Progresiva 000+280....81
Progresiva 000+320....82
4.4 DEMOSTRACIÓN DE LA VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS....82
4.4.1 Validación de la hipótesis general....82
Criterios de verificación (operacionales):....82
Evidencia cuantitativa:....82
4.4.2 Validación de las hipótesis específicas....83
(H1) Iteración SMR–FEM mejora la precisión en la identificación de zonas inestables....83
(H2) Un modelo FEM con parámetros in situ reproduce con precisión el comportamiento ante cargas y condiciones de borde....83
(H3) Las medidas derivadas del procedimiento SMR–FEM son más eficaces y seguras que enfoques convencionales....84
4.5 DISCUSIÓN....84
CAPÍTULO V....87
CONCLUSIONES....87
CAPÍTULO VI....89
RECOMENDACIONES....89
REFERENCIAS....91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 36

Esquema de las propiedades geométricas más relevantes de las discontinuidades en macizos rocosos 36

Figura 02 42

Modelo que muestra la dirección, inclinación y sentido de inclinación de la discontinuidad..... 42

Figura 03 43

Influencia del número de familias e intensidad de fractura en el modo de ruptura..... 43

Figura 04 44

Modelo de tipos de apertura, con discontinuidades cerradas (A), abiertas (B) y rellenas (C) 44

Figura 05 46

Los perfiles de rugosidad conjunta de roca que muestra el típico rango de JRC 46

Figura 06 52

Factor de ajuste para las juntas F1 52

Figura 07 53

Factor de ajuste para las juntas F2 53

Figura 08 54

Factor de ajuste para las juntas F3 54

Figura 09 55

Factor de ajuste para las juntas F4 55

Figura 10 57

Mapa de Ubicación de la Cantera Solange Ar 57

Figura 11 67

Vista panorámica de la zona de explotación en la cantera Solange AR..... 67

Figura 12 68

Exposición de talud en la cantera Solange AR..... 68

Figura 13 69

Parte superior del macizo rocoso en la cantera Solange AR 69

Figura 14 70

Explotación de la cantera 70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01 12

Operacionalización de las Variables 12

Tabla 02 43

Espaciamiento de discontinuidades 43

Tabla 03 44

Persistencia de discontinuidades 44

Tabla 04 45

Clasificación de aberturas de discontinuidad 45

Tabla 05 47

Clasificación del estado de meteorización del macizo rocoso 47

Tabla 06 50

RMR (Rock Mass Rating System) 50

Tabla 07 59

Resumen de Técnicas y sus Instrumentos 59

Tabla 08 72

Parámetros obtenidos del levantamiento geotécnico 72

Tabla 09 74

Parámetros del SMR 74

Tabla 10 75

Descripción de Slope Mass Rating (SMR) 75

Tabla 11..... 79

Propiedades operativas del material de la cantera..... 79

Tabla 12..... 80

Análisis por Método de Elementos Finitos en condiciones Estáticas y Pseudoestáticas 80

.

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de taludes en macizos rocosos constituye uno de los principales retos de la ingeniería geotécnica y minera, debido a que su comportamiento influye directamente en la seguridad de las operaciones, los costos de explotación y la sostenibilidad ambiental de los proyectos. Las fallas en taludes no solo generan pérdidas económicas y retrasos en la producción, sino que también representan un alto riesgo para la integridad de los trabajadores y las comunidades cercanas. En este contexto, resulta indispensable aplicar metodologías de análisis que permitan caracterizar, evaluar y optimizar la estabilidad de los macizos rocosos.

Entre las metodologías más empleadas se encuentra la clasificación geomecánica de macizos rocosos mediante el Slope Mass Rating (SMR), una adaptación del sistema RMR de Bieniawski que incorpora factores de ajuste específicos para taludes, orientados a identificar condiciones de inestabilidad y posibles modos de falla. Por otro lado, el Método de Elementos Finitos (FEM) se ha consolidado como una herramienta numérica poderosa, capaz de modelar el comportamiento del terreno ante diferentes condiciones de carga, geometría y propiedades mecánicas, proporcionando resultados más realistas y detallados sobre el desempeño estructural del macizo.

La integración de ambos enfoques —el análisis empírico del SMR y la simulación numérica del FEM— constituye una estrategia eficaz para lograr un diagnóstico integral de la estabilidad de taludes. Mientras el SMR facilita una primera caracterización práctica de las discontinuidades y la calidad del macizo, el FEM permite validar y optimizar las conclusiones mediante modelos computacionales que simulan el comportamiento real de la roca. Esta combinación metodológica ofrece una base sólida para la propuesta de medidas correctivas y preventivas orientadas a garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones en canteras.

En este marco, la presente investigación titulada “Análisis de la Clasificación del Macizo Rocoso del Talud (SMR) y Método de Elementos Finitos (FEM) para la Optimización de Estabilidad del Macizo Rocoso en la Cantera Solange AR”, tiene como propósito evaluar la estabilidad de los taludes de dicha cantera aplicando de manera complementaria ambas metodologías. El estudio permitirá identificar las condiciones geomecánicas del macizo,

analizar su comportamiento ante distintas situaciones de carga y proponer lineamientos de optimización que contribuyan a la seguridad operativa y al aprovechamiento sostenible de los recursos.

Asimismo, la tesis se estructura en seis capítulos que abordan de forma progresiva y ordenada el desarrollo de la investigación:

Capítulo I: Planteamiento del problema. Este capítulo expone la problemática principal relacionada con la estabilidad de los taludes de la Cantera Solange AR. En primer lugar, se describe la realidad del problema y sus implicancias técnicas, económicas y de seguridad. Luego, se formula el problema de investigación en términos generales y específicos, se establecen los objetivos —tanto el general como los específicos— y se justifican las razones prácticas, teóricas y metodológicas que sustentan el estudio. Finalmente, se plantea la hipótesis de investigación junto con la definición de las variables independiente y dependiente, delimitando el marco conceptual inicial.

Capítulo II: Marco teórico. En este capítulo se desarrolla el sustento académico y científico de la investigación. Se presentan antecedentes internacionales, nacionales y locales que evidencian los avances y experiencias en la aplicación del SMR y del FEM en proyectos similares. Posteriormente, se detallan las bases teóricas de la geomecánica, los métodos de caracterización de macizos rocosos, la geología estratigráfica y estructural del área de estudio, así como la definición de términos clave relacionados con discontinuidades y parámetros geotécnicos. Finalmente, se describe la clasificación geomecánica RMR y su adaptación al SMR, junto con los fundamentos del Método de Elementos Finitos.

Capítulo III: Metodología. Este capítulo especifica el tipo y nivel de investigación, así como su ámbito temporal y espacial. Se define la población y muestra de análisis, junto con los

instrumentos y equipos utilizados en la recolección de datos. Se detallan los procedimientos empleados en campo y laboratorio, el proceso de validación y confiabilidad de los instrumentos, y la estandarización de las mediciones. También se presenta el esquema de análisis de datos: la aplicación del SMR para la clasificación de taludes y el uso del FEM para la simulación numérica de la estabilidad, lo que permite integrar resultados y compararlos.

Capítulo IV: Resultados y discusión. En este apartado se presentan de manera sistemática los resultados obtenidos. En primer lugar, se expone la clasificación del macizo rocoso a través del método SMR, destacando las condiciones del talud en diferentes progresivas de la cantera. Luego, se muestran los resultados del análisis numérico con FEM, considerando parámetros como peso específico, cohesión, ángulo de fricción interna, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson. Posteriormente, se valida la hipótesis general y las hipótesis específicas mediante la comparación entre los métodos empírico y numérico. La discusión se centra en interpretar los resultados, contrastarlos con estudios previos y resaltar su importancia práctica para la optimización de la estabilidad.

Capítulo V: Conclusiones. Este capítulo sintetiza los principales hallazgos de la investigación, respondiendo a los objetivos planteados. Se destacan los aportes obtenidos al integrar los métodos SMR y FEM, la identificación de zonas críticas de inestabilidad y la eficacia de las propuestas de optimización.

Capítulo VI: Recomendaciones. Finalmente, se proponen lineamientos prácticos para la gestión de la estabilidad de taludes en la cantera, incluyendo sugerencias de monitoreo, diseño de taludes y aplicación de metodologías combinadas. Asimismo, se plantean recomendaciones para investigaciones futuras que puedan complementar y ampliar los resultados del presente trabajo.

De esta manera, la investigación no solo busca resolver la problemática puntual de la Cantera Solange AR, sino también aportar un marco metodológico replicable que combine la clasificación geomecánica y el análisis numérico, fortaleciendo la toma de decisiones en proyectos de explotación minera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema de investigación

1.1.1 Descripción de la realidad del problema

El análisis de la caracterización del macizo sano y de las discontinuidades en un macizo rocoso es esencial para una mejor comprensión de los problemas de estabilidad de taludes, especialmente en casos de canteras de material de agregados. Este análisis incluye características propuestas por un sistema de clasificación geomecánica utilizado para evaluar la calidad del macizo rocoso en taludes, el SMR se basa en el RMR (Rock Mass Rating) básico, pero incorpora factores específicos de taludes, como el paralelismo entre las discontinuidades y el talud. La adquisición de estos datos se realiza principalmente mediante cartografía tradicional delante del talud, un método muy utilizado.

A lo largo de los años, la Ingeniería de Minas a través del estudio del macizo rocoso se ha visto desafiada a crear y desarrollar métodos y materiales, para buscar soluciones que permitan presentar modelos geotécnicos sean seguras y económicas, es decir, que tengan mejor desempeño. Por tanto, uno de estos métodos es el uso de metodologías como los softwares con uso de Elementos Finitos, es una forma de encontrar una solución óptima que pueda minimizar o maximizar los detalles de diseño, teniendo en cuenta el costo-beneficio al proponer un rediseño para la estabilidad del macizo. De esta manera, es posible, por ejemplo, cambiar la geometría del talud reduciendo la complejidad del proyecto sin comprometer significativamente el desempeño de la estructura. Esto supone que, dependiendo del tipo de proyecto, variables, restricciones y funciones objetivo, pueden existir diferentes situaciones para la optimización del talud del macizo.

Los datos de discontinuidad se pueden utilizar en análisis cinemáticos, como ayuda en las clasificaciones de macizos del tipo RMR (Bienawski, 1989) y Slope Mass Rating (SMR; Romana, 1985).

1.1.2 Formulación del problema de investigación

Interrogante general

¿Cómo optimiza el uso de clasificación del macizo rocoso del talud (SMR) y método de elementos finitos (FEM) en la estabilidad del macizo rocoso en la cantera Solange Ar?

Interrogantes especificas

¿Qué relación existe entre los valores del SMR y los tipos de mecanismos de falla observados en campo como deslizamientos planares, cuña o vuelco?

¿Qué parámetros geotécnicos deben calibrarse con mayor precisión para una modelación con Método de Elementos Finitos (FEM) realista del talud?

¿Cómo se puede estructurar un procedimiento iterativo donde los resultados FEM retroalimenten la zonificación geomecánica basada en SMR?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Optimizar la estabilidad del macizo rocoso con la aplicación de un procedimiento iterativo con la clasificación del macizo rocoso del talud (SMR) y el Método de Elementos Finitos (FEM) para la Cantera Solange Ar.

1.2.2 Objetivos específicos

Diseñar un procedimiento iterativo de retroalimentación entre SMR y FEM, que permita ajustar progresivamente los modelos y mejorar la precisión en la identificación de zonas inestables.

Desarrollar un modelo numérico del talud mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) incorporando los parámetros geotécnicos obtenidos y validando el comportamiento del macizo ante distintos escenarios de carga y condiciones de borde.

Proponer medidas de mitigación o rediseño del talud basadas en los resultados integrados del procedimiento SMR-FEM, enfocadas en garantizar la estabilidad y seguridad operacional en la cantera Solange Ar.

1.3 Justificación e importancia

El desarrollo científico en el área de clasificación de macizos rocosos y el uso de metodologías computacionales ha ido evolucionando debido a su importancia y principalmente a su aplicabilidad práctica. El uso de clasificaciones como RMR (Bienawski, 1989), SMR (Romana, 1985), Q (Barton et al., 1974) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI; Hoek, 1994; y Hoek et al., 1998) es bien conocido en los sectores de minería, análisis de riesgo urbano e ingeniería de presas.

La evolución natural de los procesos de adquisición de datos tiende actualmente hacia una mayor informatización, visando la seguridad con una geotecnia tradicional y computarizada que realizan con agilidad del trabajo y el ahorro generado.

A nivel mundial, el número de trabajos publicados sobre adquisición de datos mediante técnicas de aplicación de metodologías con elementos finitos ha aumento, siendo este último más aplicado al trabajo en entornos donde los cálculos deben ser muy preciso. En Perú, sin embargo, estos empleos todavía son escasos para canteras, especialmente de agregados.

La publicación de trabajos académicos que involucran la clasificación del macizo rocoso del talud (SMR) y método de elementos finitos (FEM) se justifica para visualizar nuevos puntos

positivos del uso de las técnicas conjuntas. Además, la creación de metodologías utilizando estas herramientas para pequeña minería y minería artesanal, que trabajan en análisis de riesgo geotécnico, es relevante, ya que estas técnicas son servicios relativamente accesibles, con costos cada vez menores, tendiendo a ser cada vez más explorado.

1.3.1 Justificación Práctica

La aplicación estas técnicas eficientes para evaluar la estabilidad de macizos rocosos es crucial en actividades extractivas como la explotación de canteras, donde la seguridad del personal, la continuidad operativa y la protección ambiental dependen directamente de un conocimiento preciso del comportamiento del terreno. En el contexto peruano, donde muchas canteras aún operan con recursos limitados y técnicas tradicionales, la integración de herramientas como la clasificación SMR y los análisis con el Método de Elementos Finitos (FEM) representa una oportunidad para optimizar recursos, minimizar riesgos y elevar los estándares técnicos sin incurrir en altos costos. Este estudio es particularmente relevante para iniciativas de pequeña minería y minería artesanal, ya que plantea un enfoque accesible y escalable para mejorar la gestión geotécnica en este tipo de operaciones.

1.3.2 Justificación Teórica

Desde el punto de vista teórico, el desarrollo científico en el área de la geotecnia ha permitido consolidar diversos sistemas de clasificación de macizos rocosos como el RMR (Bieniawski, 1989), Q (Barton et al., 1974), GSI (Hoek, 1994) y SMR (Romana, 1985), los cuales han demostrado utilidad en distintos contextos de ingeniería. Sin embargo, estos métodos empíricos poseen limitaciones al representar condiciones reales complejas, especialmente en taludes con geometrías irregulares o con múltiples mecanismos de falla. En este sentido, los modelos numéricos como el Método de Elementos Finitos (FEM) ofrecen una alternativa poderosa al

permitir simular el comportamiento mecánico del macizo bajo diferentes condiciones de carga, deformación y resistencia. La combinación teórica de ambos enfoques (empírico y numérico) permite una mayor robustez en la interpretación de la estabilidad del macizo, abriendo nuevas posibilidades para el desarrollo de procedimientos iterativos más precisos y adaptables a diversas realidades geológicas.

1.3.3 Justificación Metodológica

Desde una perspectiva metodológica, la presente investigación propone un enfoque iterativo que integra la clasificación del macizo rocoso mediante el sistema SMR con simulaciones numéricas mediante FEM. Este procedimiento permite retroalimentar los resultados entre ambos métodos, logrando una convergencia más precisa en la identificación de zonas críticas de inestabilidad. La metodología plantea una secuencia clara de levantamiento de datos, modelación, validación cruzada y ajuste, lo que constituye un aporte original frente a estudios que utilizan ambos enfoques de manera aislada. Además, esta estrategia puede ser replicada y adaptada en otros entornos mineros similares, contribuyendo al avance metodológico en la evaluación de taludes en canteras. Al considerar herramientas computacionales de bajo costo y software de libre acceso, se favorece la aplicabilidad del método incluso en contextos de recursos limitados.

1.3.4 Importancia

La aplicación del SMR permite evaluar de manera empírica y sistemática la calidad geomecánica del macizo rocoso, identificando debilidades estructurales relacionadas con la orientación de discontinuidades, buzamientos y condiciones geométricas de los taludes. Sin embargo, dado que los macizos rocosos presentan un comportamiento complejo, heterogéneo y anisotrópico, este análisis requiere ser complementado con métodos más avanzados. En este sentido, el FEM ofrece la capacidad de simular con mayor precisión la interacción entre

esfuerzos y deformaciones, previendo escenarios de falla bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas.

La combinación de ambas metodologías garantiza una evaluación integral del macizo rocoso, proporcionando resultados confiables que sirven de base para optimizar el diseño de taludes, proponer medidas de sostenimiento adecuadas y reducir los riesgos geotécnicos. En el contexto de la Cantera Solange AR, este estudio contribuye a minimizar las pérdidas económicas por inestabilidad, a mejorar la seguridad ocupacional y a promover una explotación sostenible en el tiempo.

En términos académicos y profesionales, la investigación es significativa porque conecta los métodos empíricos tradicionales con las herramientas numéricas modernas, fortaleciendo el conocimiento aplicado en geotecnia y mecánica de rocas, y ofreciendo un modelo metodológico replicable en otras operaciones mineras de características similares.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La aplicación de un procedimiento iterativo que combine la clasificación del macizo rocoso del SMR y FEM optimiza la evaluación de la estabilidad del macizo rocoso, permitiendo una identificación más precisa de zonas críticas y una mejor toma de decisiones en el diseño y sostenimiento de taludes.

1.4.2 Hipótesis especificas

La implementación de un procedimiento iterativo de retroalimentación entre la clasificación SMR y el análisis FEM permite ajustar progresivamente los modelos geotécnicos,

incrementando la precisión en la identificación de zonas inestables del talud en la cantera Solange Ar.

La construcción de un modelo numérico del talud mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), que incorpore parámetros geotécnicos reales obtenidos in situ, permite simular de forma precisa el comportamiento del macizo rocoso ante distintos escenarios de carga y condiciones de borde, validando su utilidad como herramienta de predicción y análisis de estabilidad.

Las medidas de mitigación y rediseño del talud propuestas a partir de los resultados integrados del procedimiento SMR-FEM ofrecen soluciones más eficaces y seguras que aquellas basadas en métodos convencionales, mejorando la estabilidad operativa del macizo rocoso en la cantera Solange Ar.

1.5 Variables

La operacionalización de las variables se puede ver detalladamente en la Tabla 01.

1.5.1 Variable independiente

Análisis de la clasificación del macizo rocoso del talud y método de elementos finitos

1.5.2 Variable dependiente

Optimización de estabilidad del macizo rocoso

Tabla 01
Operacionalización de las Variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES
INDEPENDIENTE	ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD Y MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	Esta variable se refiere al proceso combinado de caracterización geomecánica del macizo rocoso que conforma un talud natural o artificial, mediante sistemas de clasificación reconocidos SMR, y el análisis numérico de su comportamiento mecánico a través de la aplicación del Método de los Elementos Finitos	Caracterización geomecánica del macizo rocoso	Evalúa las propiedades físicas, mecánicas y estructurales del macizo rocoso.	Tipo de roca (litología) Espaciamiento y orientación de discontinuidades Intemperismo Presencia de agua o alteración
			Modelado numérico mediante el Método de Elementos Finitos	Simulación del comportamiento mecánico del talud usando el FEM.	Deformaciones del terreno. Distribución de esfuerzos y tensiones Comportamiento ante distintas condiciones de carga. Resultados comparativos entre geometrías y condiciones.
DEPENDIENTE	OPTIMIZACIÓN DE ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO	Conjunto de estrategias, métodos de análisis y diseño orientados a maximizar las condiciones de equilibrio y seguridad de un macizo rocoso frente a agentes naturales o inducidos, minimizando al mismo tiempo los costos y recursos técnicos empleados. Esta variable involucra tanto el diagnóstico del estado actual del macizo rocoso, como la implementación de soluciones técnicas que permitan mejorar su estabilidad estructural.	Diagnóstico geomecánico del macizo rocoso.	Evaluación de las condiciones iniciales del macizo en cuanto a su resistencia, estructura y estabilidad.	Clasificación geomecánica (RMR y SMR) Estado de fracturamiento Condición de las discontinuidades Influencia de agua subterránea
			Diseño de medidas de estabilización.	Selección y dimensionamiento de soluciones técnicas para mejorar la estabilidad.	Nuevas Cantidad y disposición de refuerzos Longitud de anclajes o pernos Reducción del riesgo de falla

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 Antecedentes Internacionales

De acuerdo con Singh et al (2020) la combinación de diferentes métodos empíricos y el método de elementos finitos para el análisis de estabilidad de taludes, en Uttarakhand, India, se torna interesante para estudios de caso como en terrenos montañosos donde la geomorfología es compleja y posee una importancia estratégica para la solución de necesidades del desarrollo estratégico. Con numerosos deslizamientos de tierra a lo largo de la vía de acceso debido a diversas actividades naturales y antropogénicas, el autor consideró que el desarrollo del análisis de estabilidad de taludes es crucial en los tramos del área de estudio, para identificar las zonas vulnerables y recopilar datos geotécnicos, se realizó una investigación de campo entre Shivpuri y Byasi. Posteriormente, el autor analizó los datos geotécnicos, se analizaron las características del macizo rocoso, el análisis cinemático y la estabilidad de la pendiente Q. Además, para revisar los resultados de estabilidad, se empleó simulación numérica (método de elementos finitos) y se evaluó el comportamiento del macizo rocoso y el mecanismo de falla de los taludes de corte. Los resultados de diferentes métodos empíricos muestran una buena correlación entre ellos. Además, el análisis de simulación numérica evalúa que dos taludes de corte son inestables y el otro críticamente estable. Este sustancial análisis empírico y numérico de taludes de corte proporciona un enfoque colectivo para estabilizar y desarrollar actividades de beneficio económico.

Según An et al (2022) la estabilidad de los taludes rocosos es de importancia para poder realizar actividades de ingeniería, ya que incluso la falla más leve puede resultar en daños a la infraestructura y catástrofes para los colaboradores que desarrollan sus actividades. Por lo tanto, este artículo científico se centra en la revisión de las técnicas actuales disponibles para el análisis de estabilidad de taludes rocosos. Las técnicas de estabilidad de taludes rocosos pueden clasificarse como métodos convencionales y métodos numéricos, los métodos numéricos incluyeron principalmente tres tipos: métodos continuos, métodos discontinuos y métodos combinados/híbridos continuo-discontinuos. Se presenta el método combinado/híbrido de elementos finitos-discretos (FDEM), que podría ser el método continuo-discontinuo más ampliamente utilizado, e ilustramos sus capacidades en el modelado completo del proceso de falla de taludes rocosos. Los procesos de falla de taludes rocosos de alta intensidad mediante la implementación del método de reducción de resistencia (SRM), concluyen que el FDEM puede modelar eficazmente todo el proceso de falla de taludes rocosos, incluso sin la implantación de ningún modo de talud, y que el FDEM constituye una herramienta prometedora para el estudio y la aplicación de la estabilidad de taludes rocosos.

De acuerdo con Steiakakis et al (2023) indica que el diseño de taludes en minas a cielo abierto requiere un profundo conocimiento del comportamiento del terreno para predecir el mecanismo de falla potencial y determinar mejor las medidas de estabilización. El autor hace una comparación entre la superficie crítica de deslizamiento definida por el método de equilibrio límite (MEL), el análisis límite (AL) y el método de elementos finitos (MEF) para el análisis de estabilidad, con el fin de

abordar mejor la estabilidad en un talud multicapa. El factor de seguridad, el tamaño y la ubicación de la superficie crítica de deslizamiento obtenidos a partir de los métodos aplicados se consideran en las comparaciones. También se puede destacar de esta investigación algunas características que afectan la estabilidad del talud y presenta un procedimiento para abordar los desafíos de evaluación en una formación multicapa. Además, presenta algunos aspectos del cálculo del límite superior del factor de seguridad de un talud estratificado sujeto a los efectos de las presiones de agua intersticial. Dadas las diferencias en la forma y ubicación de la superficie crítica de deslizamiento, así como los valores obtenidos para el factor de seguridad, se recomienda que se analice los taludes críticos utilizando el método de elementos finitos en combinación con el método de equilibrio límite o análisis límite como referencia cruzada. Los autores proponen que, al definir la masa de falla potencial, se considere la investigación y el monitoreo de campo realizados.

Según Kolapo et al (2022) para la operación minera contemporáneas tienen la meta principal de extraer la mayor cantidad de mineral posible de manera segura y económica. La estabilidad de los taludes rocosos en las operaciones de minas a cielo abierto y canteras es extremadamente importante tanto desde el punto de vista económico como de seguridad porque los taludes inestables pueden resultar en la pérdida de vidas humanas y daños a las propiedades. Una revisión bibliográfica muestra casos de falla de taludes en operaciones mineras y explica varios modos de falla en taludes rocosos, así como los factores que influyen en la estabilidad de las paredes de taludes. Con el objetivo de reforzar la importancia de monitorear y evaluar la estabilidad de taludes en minería, se revisaron tanto las técnicas de equilibrio lineal

como las de modelado numérico para elaborar su importancia en el diseño de taludes estables. Para prevenir que las minas se vean afectadas por los riesgos de derrumbes de taludes, el autor presenta trabajos previos para determinar estos deslizamientos y los modelos más avanzados, que integran métodos analíticos con técnicas de inteligencia artificial, ayudando a superar las desventajas de las técnicas de predicción convencionales, que son engorrosas y ambiguas.

De acuerdo con Yang et al (2021) existe una estrecha relación entre la seguridad de la producción y el beneficio económico de la mina, como resultado del aumento en el número y la escala de taludes mineros, la inestabilidad de taludes se encuentra con frecuencia en las minas. Para clasificar con precisión la estabilidad del macizo rocoso de taludes en una mina a cielo abierto, los autores establecieron se basaron en la clasificación SMR para un nuevo modelo de evaluación de la estabilidad del macizo rocoso de taludes basado en la teoría del peso variable y la extensión materia-elemento. Primero, con base en los principales índices de evaluación de la geología, el medio ambiente y la ingeniería, se construyó el sistema del índice de evaluación de la estabilidad del macizo rocoso de taludes utilizando los criterios de clasificación correspondientes del índice de evaluación. Segundo, se calculó el peso constante del valor del índice de evaluación utilizando la teoría de la entropía extrema, y se utilizó la teoría del peso variable para optimizar el peso constante para obtener el peso variable del valor del índice de evaluación. Con base en la teoría de extensión de materia-elemento, se calculó la correlación integral entre los índices de los límites superior e inferior de los criterios de clasificación y cada clasificación, además de la correlación integral entre los índices del macizo rocoso y el grado de estabilidad de cada talud. Los

resultados de la comparación mostraron que los resultados de clasificación del modelo propuesto se ajustan a la práctica de ingeniería y son más precisos que los del modelo de extensión jerárquica y el modelo de análisis de pares de conjuntos de medidas no determinados multinivel.

De acuerdo con Wu et al (2024) los problemas de los taludes en primer plano se han ido incrementando, lo que dificulta significativamente el progreso hacia el desarrollo seguro y sostenible de las minas a cielo abierto. Además, las pendientes altas y empinadas con estratos rocosos débiles, al ser un tipo de pendiente más complejo, representan un mayor riesgo potencial. Para garantizar la fiabilidad de los resultados de la evaluación de seguridad de las pendientes altas y empinadas de las minas a cielo abierto con rocas blandas, los autores crearon un sistema de índices de evaluación con intervalos de ley cuantificados, basado en un proceso analítico jerárquico. Se utilizó softwares especializados para calcular los valores numéricos característicos del modelo numérico, también se estableció un modelo estándar de estabilidad basado en la teoría de nubes. Tomando como ejemplo la mina a cielo abierto, se generó una imagen de nube de práctica de estabilidad de taludes y se calculó la similitud entre esta imagen y las leyes del modelo de nubes mediante el algoritmo ECM para identificar eficazmente la estabilidad y verificar la cientificidad y validez del modelo. El método propuesto por los autores proporciona una guía sustancial para garantizar la seguridad de la producción en esta mina a cielo abierto específica, además de proporcionar ideas y medios para otros análisis y prevención de estabilidad de taludes complejos similares, promueve el desarrollo seguro y sostenible de las minas a cielo abierto.

De acuerdo con Aguedo (2020) el diseño estructural de las discontinuidades afecta la estabilidad global de los taludes en un tajo abierto, utilizando la metodología de elementos finitos (FEM) para lograr un diseño más práctico de los taludes. El autor llevó a cabo una revisión bibliográfica del estado del arte del tema para establecer una base sobre los posibles hallazgos de la investigación, así como también, diferenciar entre el modelo a emplear para el modelado de las discontinuidades y la metodología de cálculo. De igual manera, para los datos de entrada del macizo rocoso se empleó información sobre caracterización geomecánica de una mina a cielo abierto en Canadá, mientras que la caracterización de las discontinuidades se derivó de valores teóricos. En el estudio de estabilidad de los taludes se empleó el software RS2 de Rockscience, que facilitó la modelación de las discontinuidades de forma discreta, permitiendo modificar las variables de orientación, separación, longitud y persistencia de las discontinuidades utilizadas en la investigación. Los resultados del análisis indican que la configuración estructural afecta la estabilidad del talud; no obstante, esta influencia es reducida gracias a las propiedades de resistencia del macizo rocoso, que le proporciona un alto factor de estabilidad.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Según Velásquez (2016) la implementación de una clasificación geomecánica específica para taludes se torna un objetivo importante para las empresas mineras, el SMR (Slope Mass Rating), evaluar la estabilidad de los taludes en una mina no metálica de calcáreos durante el año 2016, con el fin de entender el comportamiento del macizo rocoso de la mina en análisis. El autor toma un enfoque que lo caracteriza y limita a un tipo de investigación aplicada que llevó a cabo en afloramientos de calizas en dos áreas

de explotación, llamadas: Estación M-1 y Estación M-2, considerando como población al macizo rocoso que se encuentra en la cantera. Los instrumentos de recolección que consistieron en la obtención de muestras directamente del campo y una serie de actividades llevadas a cabo para el desarrollo del presente estudio incluyó las salidas al campo para identificar el área de estudio, recolectar muestras y caracterizar el macizo rocoso; labores de laboratorio como la determinación de las propiedades físicas (peso específico, índice de vacíos, granulometría y permeabilidad) además de las propiedades mecánicas de la roca intacta; los trabajos en gabinete fueron realizados para procesar los datos obtenidos en el campo y laboratorio para poder mejorar la aplicación del SRM como técnica de clasificación del macizo rocoso.

Alvarez (2020) denota la problemática del cierre de labores por la altura de los bancos, por lo que se realizará un proceso de la caracterización geomecánica. Así, se la tesis tuvo como objetivo general diseñar el banco a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR en U.E.A. encanto Blanco Lyof, Chongos Alto. Es de mucha importancia en los sectores de pequeña y minería artesanal no metálica a tajo abierto, ya que ayudo a mejorar la seguridad operacional de las canteras y a continuar con su explotación, para poder realizar el modelamiento se usó software especializado que ayudó a determinar el factor de seguridad y así obtener un diseño óptimo. El método de investigación es de carácter científico con un tipo de investigación aplicada, debido a que en su primera instancia se utilizarán los conocimientos de la investigación básica para poder solucionar el diseño del banco en U.E.A. Encanto Blanco Lyof, por lo que su nivel de investigación es explicativo y el diseño a investigar es experimental, de tal manera que las variables dependientes serán manipuladas.

Arenas (2019) esta investigación se realizó en la Cantera Mucra, que se ubica en el departamento de Puno, provincia de San Román – Juliaca, a una altitud de 3894 msnm. La actualidad la cantera Mucra, está siendo explotada intensamente, sin tener precauciones que puede causar accidentes por deslizamientos de rocas; para ello, se tiene el propósito de proponer una metodología técnica de evaluar la problemática de estabilidad de taludes y criterios de excavación en roca. Para realizar la investigación recogida en la cantera y dar solución a problemas de estabilidad de taludes seguimos métodos establecidos, los cuales han venido desarrollándose y aplicando en minería. El presente estudio consistió en la aplicación práctica de los métodos más conocidos para el análisis de estabilidad en taludes en roca. Los métodos estereográficos y de equilibrio límite han sido utilizados para el análisis de estabilidad de talud de la cantera Mucra. En el área de investigación se ha realizado la caracterización geológica. La caracterización geotécnica y finalmente el análisis de estabilidad de taludes y su interacción por métodos, empíricos, cinemático, analítico o equilibrio límite; en base a parámetros típicos para cada una de las familias de discontinuidades de la zona de mapeo.

Carnero (2019) trabajo desarrollado en cantera ubicada en el departamento de Puno, provincia de San Román – Juliaca, a una altitud de 3894 msnm, donde se explota intensamente, sin tener precauciones que puede causar accidentes por deslizamientos de rocas; para ello, el autor propone una metodología técnica de evaluar la problemática de estabilidad de taludes y criterios de excavación en roca. Para realizar la investigación recogida en la cantera y dar solución a problemas de estabilidad de taludes siguió métodos establecidos, los cuales han venido desarrollándose y aplicando en minería y

obras civiles. El presente estudio consistió en la aplicación práctica de los métodos más conocidos para el análisis de estabilidad en taludes en roca. Los métodos estereográficos y de equilibrio límite han sido utilizados para el análisis de estabilidad de talud de la cantera en estudio. En el área de investigación se ha realizado la caracterización geológica. La caracterización geotécnica y finalmente el análisis de estabilidad de taludes y su interacción por métodos, empíricos, cinemático, analítico o equilibrio límite; en base a parámetros típicos para cada una de las familias de discontinuidades de la zona de mapeo.

Villanueva (2023) realizó 22 estaciones geomecánicas en una cantera para obtener una caracterización, revelando que el miembro Inferior del Huaylillas es una roca mala y el miembro superior es una roca buena a regular, al acercarse a la Fm. Millo o al contacto con el Huaylillas Inferior la roca desciende su calidad RMR. El autor determinó las propiedades físicas y mecánicas de 20 muestras donde los valores obtenidos son: porosidad (1,6-32,4%), densidad seca (1.5-2.3 gr/cm^3), absorción (0.7-20.4%), peso específico (2.0-2.5 gr/cm^3) y la resistencia a la compresión uniaxial (7.98-91.45 Mpa). Se tiene tobas consolidadas con litología vitroclastolítica con textura Vitrofídica, Eutaxítica y Perlítica de composición riolítica a traquítica. El autor concluye que el miembro inferior es de mala calidad y el miembro superior de la Fm. Huaylillas es de mejor calidad considerando el halo de alteración (15 a 20 m) de los contactos de la Fm. Millo y la Fm. Huaylillas Inferior. Se ubican 02 zonas como canteras ubicadas en la quebrada Caramolle y en la quebrada cercana al km 17 de carretera Tarata.

Paredes (2019) realizó una investigación en la cantera el Arbolito en el talud que está ubicado en el distrito de Juliaca, San Román, en el departamento de Puno, durante el año 2019, y surge de la necesidad de resolver problemas relacionados a la estabilidad de talud en roca, trazándose una evaluación geomecánica y analizar la estabilidad del talud en roca en la cantera el Arbolito, mediante una revisión y recopilación de informes preliminares, caracterización geológica (reconocimiento de la litología); caracterización geomecánica y geotécnica del macizo rocoso, y por último se analizó la estabilidad del talud mediante métodos: empíricos, cinemático, equilibrio limite y numéricos. Analizándose 385 puntos de muestreo que están presentados en tablas de resumen y gráficos estadísticos. La clasificación de RMR varía entre 58.46 y 74.78, el GSI varía entre 53.46 y 69.78 determinándose como una roca de regular a buena calidad, se determinó los parámetros geotécnicos con el criterio de resistencia generalizado de Hoek– Brown para macizos rocosos, para las estructuras de discontinuidades se utilizó el criterio de resistencia de Barton – Bandis. El autor consiguió un análisis de estabilidad se realizó en 5 zonas con diferentes métodos, identificando por el método cinemático fallas planares en zona 2 y 5 y fallas en cuña en la zona 5 mediante el método de equilibrio limite en la zona 2 falla planar con FS = 1.11 y en la zona 5 con FS = 1.04 en condiciones estáticas y FS < 1 en condiciones pseduoestaticas. Finalmente, el autor mediante el método numérico identificó en la zona 5 inestables con FS<1.

Gaona (2021) analizó cada una de las etapas que se deben de llevar a cabo para hacer el diseño de una cantera en Cañete, la determinación del límite final de un tajo abierto conlleva a la aplicación de diversas herramientas en las etapas de este proceso y el

objetivo final como cualquier negocio es obtener la máxima rentabilidad. Para el desarrollo del estudio el autor realizaró investigaciones geológicas – geomecánicas en campo, mapeo geomecánico, además se extrajeron muestras representativas de roca. Se empleó varios criterios o sistemas de clasificación para caracterizar el macizo rocoso predominante en la zona del proyecto siendo el principal: Rock Mass Rating (RMR) de Z. T. Bieniawski en su versión de 1989. El autor destaca que la información geológica, hidrológica y geomecánica son de mucha importancia en todas las etapas de los proyectos; perfilado, estudio de pre-factibilidad, estudio de factibilidad, ingeniería, desarrollo del proyecto y en la propia extracción del mineral, dicha información se analizó y se creó diversos modelos donde se puede tener la información geológica, hidrológica, geotécnica, etc. El diseño geométrico de la Mina está en función a varios factores como el tamaño del yacimiento, geología, ratio de minado, tamaño del equipo, etc. Los contornos propuestos en campo nos sirven de guía para poder hacer las fases de minado y el Tajo final del proyecto y los accesos. Para hacer la secuencia de minado por bloques, usamos como guía las fases de minado, así las primeras fases que en general pueden tener poco desbroce son extraídas al inicio, mientras las fases siguientes se puede iniciar el desbroce, con la finalidad de tener siempre mineral disponible en toda la vida útil del proyecto, el objetivo de la secuencia de minado es proveer de manera constante el material económico a las diferentes empresas compradoras.

Chegne (2023) llegó a la conclusión que diversos problemas relacionados con la estabilidad de taludes en macizos rocosos o suelos dúrate la realización de la investigación en la cantera El Gavilán en Cajamarca. La identificación de los modos de falla en un talud en roca es primordial para un posterior análisis de estabilidad del

talud. El autor baso su investigación mediante estudios geomecánicos y geotécnicos del macizo rocoso para la estabilidad de taludes en cantera; buscando dar una adecuada solución, presentando un análisis detallado sobre la evaluación geomecánica y geotécnica del macizo rocoso, como también los resultados obtenidos de su caracterización y clasificación la cual nos dará la posibilidad de conocer la calidad cuantitativa de la roca. En este proceso el autor empleó estudios como base, Mecánica de Rocas y estudios matemáticos; también se usaron RMR, SMR Y GSI y aplicará los softwares Dips y Slide. Con los datos tomados, recopilados y analizados en campo se pudo determinar los parámetros de la calidad del macizo rocoso y sus diversas clasificaciones geomecánicas; de igual manera, la evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes a partir de la cual obtuvo los parámetros requeridos para el factor de seguridad en los macizos rocosos.

Huaylla (2022) realizó el análisis geotécnico y del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de los taludes de la Cantera AN-110, distrito Catac, en el departamento de Ancash, 2021. Según el análisis de estabilidad de talud en la zona del macizo rocoso aprovechable para la explotación de agregados se tiene un facto de seguridad como mínimo de 1.024 considerando el modelo Pseudoestático. Por otra parte, en la zona del deslizamiento histórico este llega hasta 0.97, pero no es un problema para la explotación de agregados debido a que en esa parte no se tiene una gran cantidad de recursos, pero si es importante realizar un diseño de drenaje. Se recomienda la explotación de los recursos ubicados en la parte alta conformado de conglomerados y areniscas, pero para su ejecución es importante realizarlo de manera gradual desde la parte baja y hacer desquinches de la parte alta para que no haya un deslizamiento que

pueda afectar a la maquinaria pesada a utilizar. Finalmente, el autor indica que es importante hacer un diseño de drenaje en forma de espina de pescado para que las aguas provenientes del bofedal no sobresaturen los poros de la roca y no influya en la estabilidad del talud.

Zapata (2022) investigó como caso de estudio la cantera “El Porvenir” del distrito Yura en el departamento de Arequipa, con el propósito de resolver la problemática acerca de la estabilidad de los taludes, pensando en una interrogante referente a como se realiza una correcta evaluación geotécnica para el análisis de la estabilidad del talud, para efectuar la investigación en la cantera y dar solución al problema planteado sobre la estabilidad del talud, el autor siguió métodos tradicionalmente establecidos, los cuales se desarrollan y realizan en minería a tajo abierto, en minerales metálicos y en obras civiles. Es así como, la investigación se fundamenta en la aplicación práctica de conceptos técnicos para la estabilidad de taludes, los cuales son: revisión de informes preliminares, caracterización geológica (litología), caracterización geotécnica del macizo rocoso, y por último el autor analizó la estabilidad del talud por medio del método cinemático y equilibrio límite para así para determinar los mecanismos de fracturamiento y la estabilidad en el talud mediante el sustento técnico. Desde un punto de vista económico, con esta propuesta metodológica se realizó primero una correcta caracterización del macizo rocoso a un bajo costo, para así iniciar con el análisis de datos por el método cinemático. En simultáneo el autor realizó el análisis de datos por el método de equilibrio límite con el cual se obtendrá el factor de seguridad del macizo rocoso y se verificará que cumpla la normativa peruana de estabilidad de taludes, caso contrario, se realizará un nuevo modelamiento hasta cumplir la normativa peruana. Con

esta propuesta se buscó no solo cumplir con la normativa peruana para el Factor de Seguridad, sino que también se complementó ambos métodos para certificar la seguridad del talud, usando los nuevos datos obtenidos por el método de equilibrio límite para reemplazarlos en el método cinemático.

Chuquimango (2016) realizo un estudio en el departamento de Cajamarca, para la explotación de una canteras de agregados, pues no se contaba con una adecuada evaluación geomecánica de los macizos rocosos para el diseño de estabilidad de taludes, por ello el autor obtuvo un adecuado diseño y un factor de seguridad mayor a 1, en el cual garantizando una adecuada estabilidad de los taludes y el control de los accidentes por deslizamiento, para ello se determinó la situación actual de la explotación de agregados en la Cantera Juan sin Miedo. Para una mejor clasificación de los macizos rocosos se pudo hacer una comparación del método de RMR, en el cual nos ha permitido determinar la condición del macizo rocoso, aplicando la cuantificación de parámetros de fácil acceso a ser medido, los cuales se determinan en el campo de manera veloz y con costos económicos accesibles. El método RMR incluye los siguientes parámetros: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua y orientación de las discontinuidades. Para dicha investigación el autor analizó 03 tipos de ensayos: uniaxial, diametral y de bloques, concluyendo que, de las evaluaciones realizadas a la Cantera Juan sin miedo, y determinando que el macizo rocoso es de regular calidad, para las clasificaciones RMR y GSI, mientras que para el análisis de estabilidad SMR nos resulta un talud inestable que requiere corrección.

Montoya (2020) estudio la influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la Cantera Aylambo en el departamento de Cajamarca. Como resultado el autor obtuvo que la evaluación geomecánica influye en la estabilidad de los taludes de la cantera Aylambo. El autor calculó los parámetros geomecánicos del GSI con un valor de 32 y RMR con un puntaje de 46, siendo este de calidad Regular. pseudoestáticas, pero con la corrección de la geometría del talud Realizó el análisis cinemático encontrando un 28,57% de deslizamiento por vuelco. Obtuvo el factor de seguridad en condiciones estáticas de 1,010 y un factor de seguridad de 0,650 para condiciones se obtuvo un factor de seguridad de 1,513 en condiciones pseudoestáticas. Se halló el SMR obtenido como puntuación 43,25 siendo este de clase III b (parcialmente estable). El autor finalmente propone medidas de sostenimiento como cunetas al pie de talud, pernos sistemáticos, hormigón lanzado localizado y/o muro de pie; también que el talud conste de 3 bancos con un ángulo de 60° una altura de talud de 17m y un ancho de berma de 20 m, para que sea estable.

Chilón (2021) elaboró el diseño de explotación al realizar el estudio geomecánico de los materiales pétreos en la Cantera San Cirilo en el departamento de Cajamarca, para lo cual trabajó con una población conformada por los macizos rocosos en la cantera San Cirilo, del cual fue extraída la muestra que se compone por 3 estaciones de evaluación de los parámetros geotécnicos, ya que la técnica de viene a ser la observación directa, el autor usó tablas geomecánicas del RMR y GSI para determinar la calidad del macizo rocoso, así mismo para para el posterior tratamiento y análisis de los datos obtenidos en campo se usaron softwares como ArcGIS, Dips. Los resultados dieron una evaluación geomecánica con el fin de obtener la caracterización de los

macizos rocosos y su levantamiento topográfico de la zona, también el análisis de los taludes con el software especializado para obtener datos del factor de seguridad. encontrando discontinuidades en la zona de estudio. Posteriormente el autor realizó el diseño de los bancos de explotación que están diseñados teniendo en cuenta los parámetros Geomecánicos y el levantamiento topográfico, incluyendo el factor de seguridad y el ángulo óptimo para la realización de la explotación de materiales pétreos en la cantera estudiada.

2.1.3 Antecedentes Locales

Turpo (2018) en su tesis, menciona que la geometría final de la labor refleja la optimización binomial, que rodea la seguridad y la economía, de modo que la exploración de la estabilidad de la pendiente del cielo abierto significa determinar la geometría de la excavación con acceso directo al interés, que es una gran seguridad. Esta geometría está considerando la determinación de ángulos en pendientes individuales, ángulos globales, bermas y altura del banco. El estudio actual describe que los parámetros geométricos óptimos de la pendiente mediante el uso del método propuesto están establecidos para garantizar la estabilidad del tajo superficial en el área de la cantera Moise Randy 2010. Los resultados obtenidos fueron consistentes con los datos de investigación anteriores y las observaciones de campo y confirmaron la metodología de trabajo utilizada en este estudio y determinaron los parámetros geométricos óptimos del diseño para garantizar su estabilidad.

Yujra (2023) da énfasis en optimizar el planeamiento de la unidad minera Solange AR mediante el uso del análisis exploratorio de dato de las características geotecnias. La autora usa como base la información, correspondiente productividad, equipos, tiempos,

ratios de explotación, etc. Para evaluación de los proyectos propone una simulación mediante el software Mineplan para realizar el modelo de bloques y posterío el cálculo de reservas. Los resultados reflejan la rentabilidad de la explotación del Tajo 2 con y un VAN 8981042.39 U.S.$ en una producción de 8 años, el TIR como resultado de un 24% en el proyecto, en el primer año se tendrá el retorno de la inversión inicial playback. Para el diseño de construcción de rampas y accesos se tuvieron en cuenta las del año de los volquetes más el ancho de berma con un total de 10.5 metros, la pendiente máxima permisible de inclinación de 11° en el caso de las curvas se considera una inclinación del 3%. La explotación del tajo dará inicio el 16 de febrero del 2024 y terminará 24 de diciembre del año 2032, un total de 8 años con nueve meses y 8 días. Los rendimientos utilizados para el planeamiento fueron de acuerdo con el resultado obtenido en el análisis de los datos de meses pasados.

Catari (2024) el análisis de la estabilidad de un talud mediante el método de elementos finitos, utilizando el software Phase2 optimizó el factor de seguridad. La autora usó una metodología que fue de carácter aplicativo y la manipulación de datos se llevó a cabo de manera cualitativa, la técnica empleada fue la observación y descripción de propiedades en campo, utilizando como instrumento el software Phase2. Para el análisis de datos se recurrió a la estadística inferencial, con distribución Normal o Campana de Gauss, para evaluar los factores de seguridad obtenidos. Los resultados revelaron que el análisis de estabilidad realizado mediante el método de Elementos Finitos con el software Phase2 mostró un factor de seguridad de 0.92 en el diseño propuesto por la ingeniería minera en el sector sur, con un ángulo de incidencia de 49° (inestable). Por otro lado, en otro sector analizado, con un ángulo de incidencia de 38°,

el FOS fue de 1.57 (estable), lo que indicó una mayor estabilidad. La autora recomienda reconfigurar el diseño del talud en el sector sur utilizando un ángulo de incidencia de 43° para lograr un FOS de 1.1 (estable) y una ocurrencia de rotura planar del 25%. Esto reduciría el ancho de la plataforma de desacople a 52m. Además, mantener el ángulo de incidencia en 43° para el sector sur y 41° para el sector norte, asegurando así la estabilización del talud analizado. Esta medida permitió continuar con el minado bancos abajo, eliminando las condiciones inseguras en la zona inestable y contribuyendo al plan de minado ya que la alternativa extrae 2.2 Mt de mineral con 0.596% de mineral.

Neira y Rivera (2021) estudiaron la cantera Transervel ubicada en el departamento de Moquegua en el centro Poblado de Los Ángeles, los autores desarrollaron la mecánica de rocas, un mapeo geomecánico, cálculo de la estabilidad de taludes mediante la obtención del factor de seguridad, además de los software que se usaron para realizar el modelamiento; la recopilación de la geología local del área de estudio, considerándose las altitudes de 1000 msnm y 2200 msnm, enfatizaron con el Modelamiento Geomecánico 3D y la Estabilidad del Talud, el nivel de investigación es descriptiva, aplicada y no experimental, se ubicó la localización del proyecto, reconocimiento del terreno el levantamiento y procesamiento de información, la clasificación geomecánica del RMR, donde se obtuvo un valor de 59, el cual según la cartilla de Bieniawski es considerado una roca de clase III y de calidad media, posteriormente se realizó el análisis de taludes, el cual según el método de Bishop y con sostenimiento de pernos Split Set en un escenario estático se obtuvo un valor de

1.389 el que es considerado estable, y finalmente ya teniendo los parámetros anteriores se realizó el modelamiento Geomecánico 3D en un escenario estático.

Ronda et al. (2024) las geoamenazas por deslizamientos ha sido el fundamento para realizar las investigaciones recientes que han concluido que algunas técnicas de retaludamento podrían aumentar el riesgo de deslizamientos debido al aumento de la percolación de agua y la intercepción del flujo superficial en pendientes inestables, lo que provoca fallas. En este estudio, los autores generaron un inventario de 170 deslizamientos y áreas de terrazas para evaluar la coherencia espacial, las relaciones causales y los procesos geomecánicos que vinculan la presencia de deslizamientos y las terrazas incas en un área de 250 km² ubicada en el valle de Ticsani, sur de Perú. Para evaluar la coherencia espacial, se desarrolló una herramienta basada en el enfoque de la matriz de confusión. A mayor escala, se obtuvo un rendimiento bajo que apunta a la existencia de procesos adicionales vinculados a la presencia de deslizamientos. Para investigar el rol de otras variables naturales en la predicción de deslizamientos, se realizó un análisis de regresión logística. Los resultados mostraron que un factor estadísticamente relevante que refuerza las predicciones de presencia de deslizamientos son los cambios en el retaludamento, además de variables naturales de primer orden como la distancia a ríos, la curvatura y la geología. Para explorar los posibles procesos geomecánicos que vinculan las terrazas con los derrumbes de taludes, se realizó un modelado numérico por elementos finitos (FEM).

Romero (2022) El objetivo de analizar la estabilidad del talud en la Concesión Minera Camila III, ubicado en la Quebrada San Antonio en el departamento de Moquegua, una cantera de agregados de material grueso y fino comercializados en el sector

construcción y trabajos de vialidad. El autor se enfatiza en un estudio de estabilidad del talud de importancia ya que permitió conocer los criterios de alarma ante eventos antropogénicos y naturales que podrían presentarse en la zona de mina y afectar la estabilidad del talud evitando riesgos o daños que afecten a la infraestructura existente y al personal que labora. El autor realizó trabajos de campo para la obtención de muestras para analizar en laboratorio y conocer las características físicas, geomecánicas, hidráulicas y dinámicas, estos datos técnicos han sido empleados en el cálculo de inestabilidad. El autor encontró valores de factor de seguridad mayores a 1.2 considerando el análisis estático y concluyó que existe estabilidad en el talud estudiado ya que el valor del factor de seguridad corresponde al rango de valores aceptables según normativa además nos permitirán establecer los criterios de seguridad correspondiente al cierre de operaciones y establecer a futuro el tipo de estabilización de estos.

Ancocallo (2024) realizó una investigación en una cantera de agregado grueso constituido por grava y agregado fino constituido por arena bien graduada, ubicada en Yanapujio del distrito de Ichuña – provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua, realizando un trabajo de caracterización geológica - geomecánica del área de estudio, con una altitud de 3595 m.s.n.m. El autor realizó un trabajo preliminar de la recopilación de datos, seguido de los trabajos realizados en campo, donde se realizaron las descripciones de las características geológicas – geotécnicas del área de estudio y la realización de pruebas en terreno y laboratorio imprescindibles para establecer las características geotécnicas y para finalizar los trabajos de gabinete donde se analiza, interpreta y correlaciona la información obtenida en campo y laboratorio. En lo que se refiere a las condiciones geológicas del área de estudio se aprecia la

presencia de la Formación Hualhuani, Formación Murco y depósitos Cuaternarios cubriendo el área de embalse. Los resultados de las investigaciones geotécnicas del área de estudio, en el área de estudio a 12 metros de profundidad se encuentra un macizo rocoso con capacidad de carga de 17.09 Kg/cm^2. En el área de embalse se ubican depósitos cuaternarios con coeficientes de permeabilidad $7.18x10^{-03}$ cm/s, $8.02x10^{-04}$ cm/s y $4.74x10^{-05}$cm/s. garantizan la construcción de la presa. En general las características geotécnicas (continuidad de los estratos, permeabilidad, capacidad de carga, tipo de suelo) del área de estudio garantizan la estabilidad de acuerdo con el análisis desarrollado.

Cueto (2024) caracterizó los agregados explotados en la cantera Karlita del departamento de Moquegua con la finalidad de determinar si la producción cumple con los parámetros establecidos en las normativas vigentes y así cumplir con el ciclo de minado de acuerdo con el tiempo de vida estimado. En la recopilación de información, el autor procedió a revisar detalladamente los datos obtenidos durante el proceso de caracterización de los agregados, concluyendo que mediante la caracterización y análisis de los agregados producidos por la Cantera Karlita son óptimos para su uso en la industria de la construcción, y los convierte en una opción confiable y de alta calidad para los clientes que buscan materiales de construcción de primera categoría en el sur del Perú, con una ubicación estratégica y una reserva significativa de recursos minerales y método de explotación adecuado. El autor estimó con proyección de explotación de 20 años, esta concesión se destaca como una de las más relevantes en la región, contribuyendo de manera significativa al sector minero del país describiendo de manera minuciosa los procedimientos y técnicas que se utilizan en las operaciones

mineras. En este aspecto se detalla, la planificación de la explotación, secuencia de las actividades mineras, así como los equipos y maquinarias necesarios para llevar a cabo dichas operaciones.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Geomecánica

De acuerdo con Vieira (2025) la explotación minera en una mina a cielo abierto, especialmente en canteras, el estudio del macizo rocoso y los procesos geológicos son fundamentales para comprender su comportamiento geomecánico y la estabilidad de sus taludes, ya sean taludes naturales o cortes proyectados. Los avances en las tecnologías de teledetección han permitido el desarrollo de nuevas metodologías para el mapeo geomecánico de taludes rocosos, haciendo el proceso más eficiente y seguro.

En las últimas décadas el conocimiento sobre geomecánica ha aumentado considerablemente especialmente en estos años con el uso de inteligencia artificial, en gran medida como resultado del desarrollo de actividad minera, otras proporciones con fines urbanos en áreas agrestes y los desafíos que enfrentan los ingenieros y geocientíficos en la explotación minera de minerales de índole metálica y no metálica (Stead; Wolter, 2015).

Dentro de la geomecánica, la geotecnia aplicada al análisis de estabilidad de taludes considera varios aspectos interesantes para un proyecto como la geometría de taludes, la naturaleza del área a trabajar, las tensiones y las sobrecargas, y demás parámetros secundarios, para cuantificar qué tan cerca está el macizo de la falla. Los modelos de análisis de estabilidad se pueden dividir en: modelos cinemáticos, que se basan en proyecciones estereográficas; modelos analíticos, basados en la teoría del equilibrio

límite; y modelos numéricos, que son modelos matemáticos de tensión y formación (Oliveira; Monticeli, 2018).

Es relevante conocer los límites de regiones que coinciden con estructuras geológicas o contactos entre litologías. En algunos casos, dentro del mismo tipo de roca, pueden ocurrir cambios significativos en el espaciamiento u otras características de las discontinuidades, lo que subdivide el macizo en un mayor número de regiones estructurales de menor escala. Uno de los principales objetivos del mapeo geomecánico es definir las principales estructuras geotécnicas para poder inferir sobre la calidad del macizo y los factores que pueden influir en su estabilidad (Herrera, 2019).

Los atributos que definen la calidad de un macizo, desde el punto de vista de la geología de ingeniería, están asociados con la litología, el grado de alteración, la coherencia (capacidad del macizo rocoso para mantener la integridad estructural) y las discontinuidades (por ejemplo, estratificaciones, fracturas y juntas), para caracterizar las discontinuidades en relación con la geometría, la mecánica y la hidráulica, se deben observar los siguientes parámetros: orientación, espaciamiento, persistencia/longitud de la traza, relleno, rugosidad, apertura y resistencia de las paredes, número de familias de discontinuidades, tamaño de los bloques y condiciones de humedad/presencia de agua (ISRM, 1978).

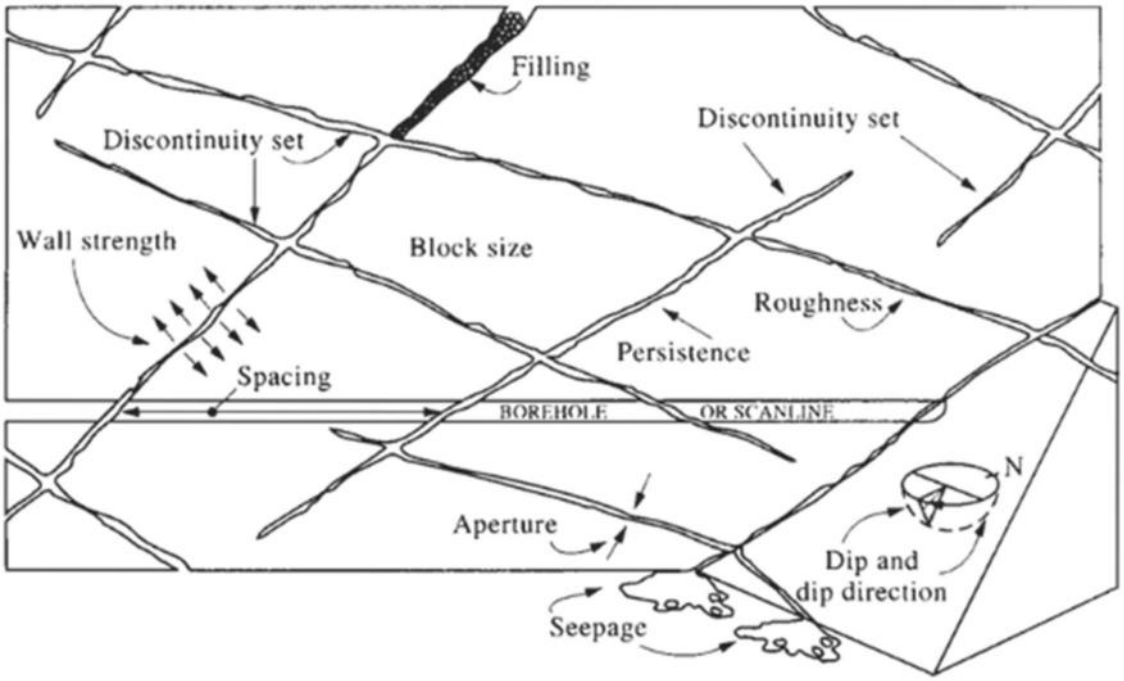
Estas discontinuidades desempeñan un papel importante en la estabilidad de taludes, y la mayoría de los métodos de análisis de estabilidad se basan en su orientación y caracterización, ya que definen planos de debilidad en el macizo, a lo largo de los cuales los bloques se desprenden y caen, como son los casos de las rupturas tipo planar, cuña y vuelco, que justamente tienen un alto potencias de generar un deslizamiento o

caída de rocas por los parámetros estandarizados para que ocurran (Battulwar et al., 2021).

2.2.2 Caracterización geomecánica tradicional

Las características métricas de las discontinuidades en un macizo rocoso incluyen orientación, espaciamiento, apertura y persistencia (Figura 01), y son definidas por el manual ISRM (1978).

Figura 01
Esquema de las propiedades geométricas más relevantes de las discontinuidades en macizos rocosos



Nota: Esquema de las propiedades geométricas más relevantes de las discontinuidades en macizos rocosos (extraído de Hudson y Harrison (1997)).

• La orientación se refiere al rumbo/buzamiento. Cuando se mide con una brújula, el buzamiento es el ángulo entre la línea de mayor inclinación del plano de interés y el plano de referencia horizontal, y el rumbo consiste en el valor del ángulo formado entre

el Norte verdadero y la proyección de la línea de mayor inclinación sobre el plano de referencia horizontal.

• El espaciamiento es la distancia perpendicular modal entre discontinuidades de la misma familia.

• La apertura es la distancia perpendicular que separa las dos paredes de una discontinuidad abierta, para los casos en que el espacio está lleno de aire o agua. Cuando el espacio entre las paredes está lleno de otro material, como minerales, el valor se entiende como el espesor del relleno.

• La persistencia es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad en su plano. Según el manual, este parámetro es uno de los más importantes a cuantificar para el análisis del macizo, sin embargo, uno de los más difíciles.

De acuerdo con el ISRM (1978) las mediciones de la orientación del plano de fractura se realizan en campo utilizando una brújula y un clinómetro ISRM (1978). Recientemente, se ha vuelto relativamente común obtener estas mediciones mediante aplicaciones específicas para teléfonos inteligentes. Mediante sensores internos en los dispositivos, se pueden registrar las mediciones de orientación, lo que facilita la organización de los datos y la comunicación con programas de análisis de datos estructurales (Lee; Suh; Park, 2013; Farny, 2017).

Según Viana (2021) el campo es un área para cartografiar y, tras identificar las discontinuidades de la misma familia, se mide la separación entre fracturas con una cinta métrica. Dado que esta propiedad debe tomarse perpendicularmente al plano de fractura, la recopilación de datos suele realizarse utilizando una línea de base (línea de

escaneo) asociada a una técnica de muestreo. Para medir la abertura de las paredes, se puede utilizar una cinta métrica para aberturas más grandes o un fisurómetro/calibrador de espesores para aberturas muy pequeñas.

Con una cinta métrica, también es posible obtener, de forma aproximada, las medidas de la persistencia de las fracturas, que se identificarán observando la longitud de su traza a lo largo del plano de exposición, si bien es posible, sería extremadamente laborioso y lento intentar obtener todas estas propiedades para cada una de las discontinuidades expuestas en un macizo (Viana, 2021).

Por ello, los expertos recurren a técnicas de muestreo, que consisten en recopilar, según el propósito de la investigación, las principales características de las discontinuidades en cantidad suficiente para permitir una buena aproximación a la realidad. El método de muestreo tradicionalmente utilizado en campo se denomina línea de escaneo o línea de detalle. Este método consiste en extender una cinta métrica graduada paralela a la cara expuesta del talud y recopilar todas las características de las fracturas que la intersecan (Viana, 2021).

Si bien es el método más rápido para caracterizar discontinuidades, puede generar un sesgo de orientación cuando se muestrean diferentes familias utilizando la misma línea. Como forma de mitigar este sesgo dice que las familias de fracturas deben identificarse con anticipación y establecer diferentes líneas de exploración a lo largo del macizo rocoso expuesto Viana (2021).

2.2.3 Geología del área estratigrafía

La estratigrafía del área comprende unidades que van desde el Jurásico inferior hasta el reciente, En más del 50% del área total las secuencias son volcanoclásticas siendo ademas las más extensas (Formación Guaneros, Grupo Toquepala, formaciones Huaylillas, Capillune y Grupo Barroso). Los rasgos estructurales más resaltantes corresponden a los sistemas de Fallas de Incapuquio, Micalaco y Quellaveco cuyas cizallas transversales albergan a los pórfidos cupríferos de Cuajone, Quellaveco y Toquepala. El Grupo Toquepala ha sido mejorado y dividido en las formaciones Huaracane, Inogoya, Paralaque y Quellaveco, las formaciones Huaracane y Quellaveco han sido subdivididas en otras unidades volcánicas cuyas características, morfológicas e interpretativas son resaltantes. La Formación Moquegua ha sido redefinida y diferenciada como formaciones Sotillo (antes Moquegua inferior) y Moquegua (antes Moquegua superior). La Formación Millo ha remplazado a secuencias cuaternarias y el Grupo Barroso ha sido subdividido de acuerdo con sus rasgos litomorfo estructurales (INGEMMET, 2005).

Jurásico Superior

Formación Guaneros

Los niveles superiores lo conforman lavas coherentes, porfiríticas con cristales de plagioclasas aciculares encerradas en una pasta afanítica oscura. Los afloramientos tienentonalidades oscuras, no presentan estratificación evidente, infrayace disconforme a tobas rosadas asignadas al Grupo Toquepala (Hoja de Clemesi). Se correlaciona lateralmente con parte de las formaciones Cachios y Labra del Grupo Yura. Afloran en

las cercanías de la ciudad de Moquegua, Cerro Trapiche, Aeropuerto Alto de Villa y Chimba (INGEMMET, 2005).

Cretácico Superior

Formación Matalaque

Aflora restringidamente al norte del poblado de Ilabaya, infrayaciendo a tobas soldadas de la Formación Paralaque e intruida por dioritas de la superunidad Yarabamba, consiste de rocas volcánicas gris oscuras afaníticas, de composición andesítica-basáltica, moderadamente estratificada, formando farallones en la Qda. Calumbraya, siendo afectada por el sistema de fallas Incapuquio. En el área tiene un grosor máximo de 250 m. Su edad esta asignada al Cretácico superior en base a dataciones radimétricas tomadas cerca de Qunistaquillas : 75 Ma (INGEMMET, 2005).

Geología Estructural

Las características estructurales de esta región son complejas, se puede diferenciar unidades morfoestructurales y litológicas, con grados de deformación, producto de por lo menos cinco eventos distróficos y cuyos efectos están sobreimpuestos. Los plegamientos están presentes en las secuencias volcánicas - sedimentarias (Grupo Toquepala). La región está dividida en dos zonas estructurales una occidental representado por la cuenca Moquegua en donde se depositaron decenas de metros de sedimentos limoarcillosos, areniscas y conglomerados (formaciones Sotillo - Moquegua) como producto del levantamiento y degradación del frente montañoso oriental, relacionado directamente al sistema Incapuquio; y una zona oriental maciza conformada por secuencias volcánicas e intrusivas afectada por juegos de fallas con orientación paralela NO-SE (Micalaco, Capillune y Quellaveco) (INGEMMET, 2005).

2.3 Definición de términos

Definición de discontinuidades

El enfoque principal para clasificar macizos rocosos es la caracterización de las discontinuidades, método que suelen utilizar organismos públicos, como URBEL, para caracterizar taludes en zonas urbanas. Por lo tanto, la definición y el tipo de caracterización de las discontinuidades existentes son esenciales.

Según Romana (1993), un sistema de clasificación válido en relación con el comportamiento geomecánico de taludes debe, en resumen, considerar los siguientes aspectos:

Características generales del macizo rocoso (incluyendo la frecuencia de discontinuidades y las condiciones de percolación del agua).

Relaciones angulares entre las orientaciones de las discontinuidades y el paramento del talud.

Relación entre el ángulo de inclinación de las discontinuidades y el ángulo de fricción (para fallas planas y/o en cuña).

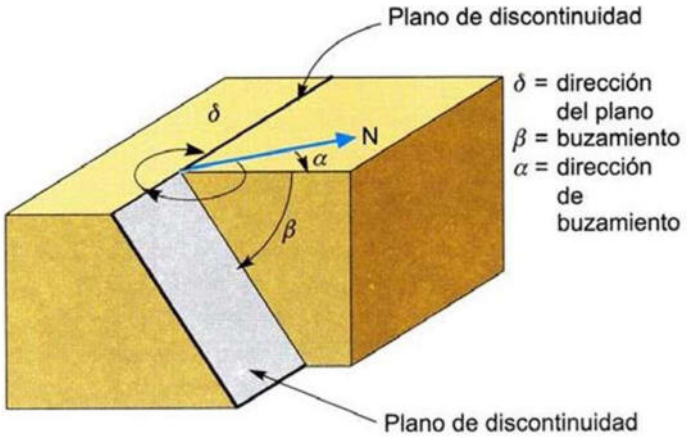
Relación entre la resistencia al corte y el ángulo de fricción de las discontinuidades (para fallas por vuelco).

Para varios autores, como ISRM (1978), Hoek y Bray (1981), Priest (1983) y Singh y Goel (2011), el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos fracturados está vinculado a: la orientación de las discontinuidades; el espaciamiento; la persistencia; la apertura; el relleno; la rugosidad de las paredes; la meteorización; y la presencia de agua en las discontinuidades.

Orientación

La orientación de una discontinuidad viene dada por su actitud, definida por dos factores: la dirección o dirección de buzamiento y el ángulo de buzamiento (Figura 02). En la práctica, el análisis de la orientación consiste en definir familias de discontinuidades mediante proyecciones estereográficas que, al compararlas con la pendiente asociada, generan análisis cinemáticos preliminares.

Figura 02
Modelo que muestra la dirección, inclinación y sentido de inclinación de la discontinuidad.

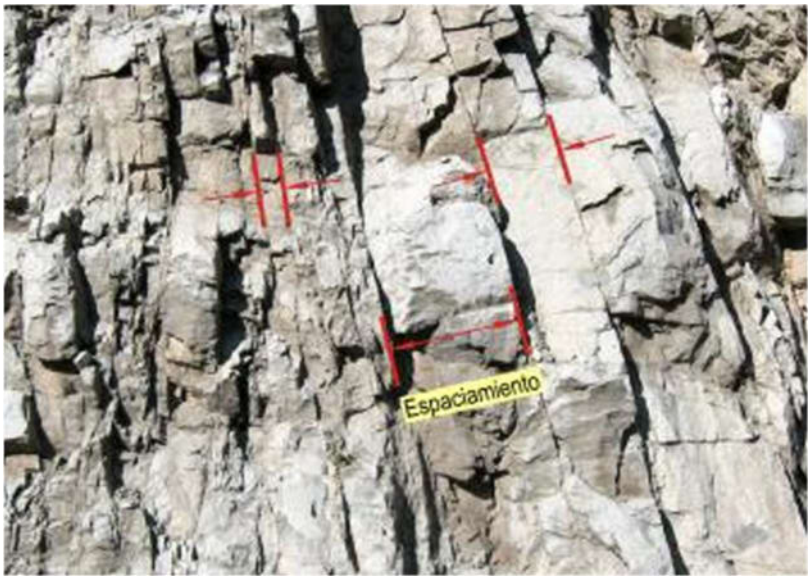


Nota: Modificado de ISRM, 1981

Espaciamiento

Se define por la distancia entre discontinuidades de la misma familia (Figura 03) y puede clasificarse según el espaciamiento encontrado. Según ISRM (1981), el espaciamiento entre discontinuidades controla el tamaño de los bloques de roca intacta.

Figura 03
Influencia del número de familias e intensidad de fractura en el modo de ruptura.



Nota: Dusseault y Franklin (1989)

Dependiendo de los valores encontrados, el espaciamiento puede influir en el comportamiento del macizo rocoso en términos de deformabilidad, (Tabla 02) resistencia al corte y permeabilidad (ABGE 2018).

Tabla 02
Espaciamiento de discontinuidades

Siglas	Espaciado (centímetros)	Denominaciones
E1	>200	Muy separados
E2	60 a 200	Lejos
E3	20 a 60	Moderadamente separados
E4	6 a 20	Muy juntos
E5	<6	Muy juntos

Nota: Modificado de ISRM, 1993

Persistencia

La persistencia se define por la longitud de la discontinuidad y se obtiene midiendo la línea de discontinuidad en el talud rocoso (ABGE 2018). Normalmente, determinar la persistencia puede ser difícil, ya que la longitud real completa de la discontinuidad no

siempre es visible en el frente del talud. La medición de la línea de cada familia de discontinuidades se puede clasificar según la Tabla 03.

Tabla 03
Persistencia de discontinuidades

Persistencia (m)	Denominaciones
< 1	Persistencia muy baja
1 a 3	Persistencia baja
3 a 10	Persistencia media
10 a 20	Persistencia alta
> 20	Persistencia muy alta

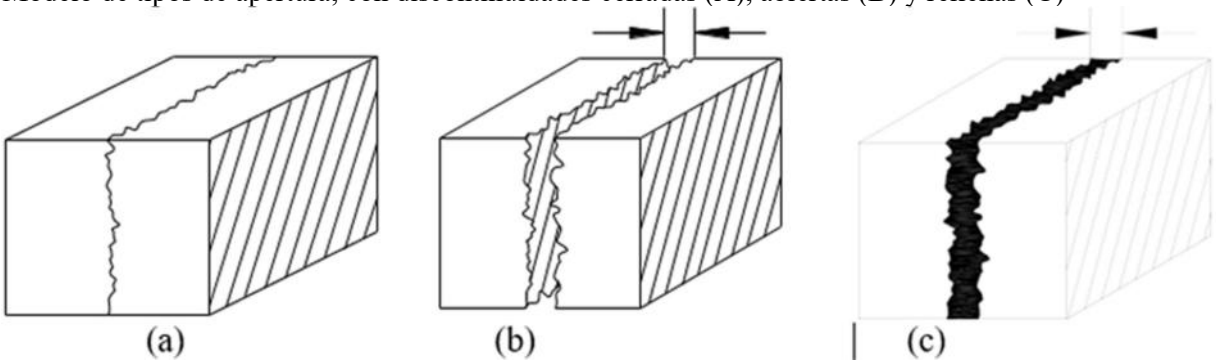
Nota: Modificado de ISRM, 1978

Según Vallejo et al. (2002, apud Fontinhas, 2012), las discontinuidades más extensas deben ser objeto de un estudio más detallado, debido a que determinan los principales planos de ruptura del macizo rocoso.

Abertura

Se define como la distancia medida en dirección ortogonal entre las paredes. Según la definición de ISRM (1978), puede ser cerrada, abierta o rellena (Figura 04). Una discontinuidad puede estar parcialmente rellena, con minerales arcillosos parcialmente "lavados" hacia una veta, o incluso presentar variaciones de tamaño.

Figura 04
Modelo de tipos de apertura, con discontinuidades cerradas (A), abiertas (B) y rellenas (C)



Nota: Modificado de ISRM, 1978

En cuanto al tamaño de la abertura, existe una clasificación según la Tabla 04, que debe considerarse con precaución, ya que las aberturas, a menudo más grandes o pequeñas, descritas en laderas de afloramiento, pueden ser el resultado de la acomodación de masas o la alteración de las discontinuidades, por ejemplo (ISRM, 1978).

Tabla 04
Clasificación de aberturas de discontinuidad

Abertura (mm)	Descripción	Características
< 0,1	Muy estrecha	
0,1 a 0,25	Estrecha	Discontinuidad cerrada
0,25 a 0,50	Parcialmente abierta	
0,50 a 2,50	Abierta	
2,50 a 10	Ancho medio	Discontinuidad semiabierta
> 10	Ancho	
10 a 100	Muy ancha	
100 a 1000	Extremadamente ancha	Discontinuidad abierta
> 1000	Cavernosa	

Nota: Modificado de ISRM, 1978

Relleno

Según Fontinhas (2012), el relleno se define como el material que rellena, total o parcialmente, la abertura de las discontinuidades. El material que rellena la estructura puede ser desde el más blando y arcilloso hasta el más resistente, como el cuarzo.

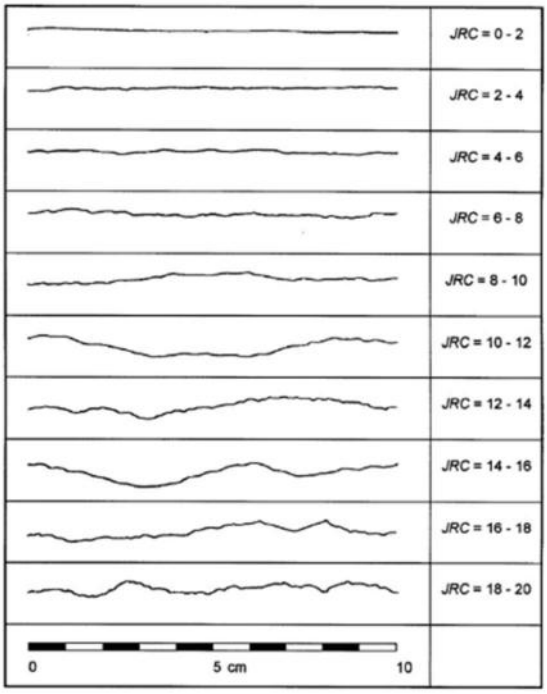
El relleno, así como la rugosidad de las paredes de las discontinuidades, influye directamente en el comportamiento mecánico de las estructuras. Geológicamente, el relleno puede ser primario — singenético a la formación de la roca, como una veta de cuarzo— o secundario, resultante de la alteración de la propia roca, formando, por ejemplo, minerales arcillosos.

Según ISRM (1978), el relleno de una discontinuidad debe describirse según las siguientes características: Mineralogía del relleno, Tamaño de partícula, Tasa de consolidación, Presencia de agua y permeabilidad, Rugosidad de la pared y Apertura

Rugosidad

Según Brady y Brown (2004), la rugosidad es una medida de las irregularidades y ondulaciones inherentes a la superficie de la discontinuidad en relación con su plano medio; es decir, está vinculada al perfil morfológico de la pared de la estructura. ISRM (1978) caracterizó la importancia del tipo de rugosidad de las paredes de la discontinuidad para la resistencia al corte de un macizo rocoso. Barton y Choubey (1977) presentaron el coeficiente de rugosidad de la junta (JRC) para cuantificar las características de los perfiles de rugosidad de las paredes de las discontinuidades (Figura 05).

Figura 05
Los perfiles de rugosidad conjunta de roca que muestra el típico rango de JRC



Nota: Barton & Chubey 1977

Imtemperismo

La caracterización del parámetro de alteración de la roca puede realizarse en relación con todo el macizo rocoso y, específicamente, con las paredes de las discontinuidades. En cuanto al macizo rocoso, su potencial de alteración está estrechamente vinculado a la mineralogía, el metamorfismo y los aspectos estructurales regionales. Según ISRM (1981), en la Tabla 5, se puede verificar la clasificación del grado de meteorización al analizar las paredes de las discontinuidades.

Tabla 05
Clasificación del estado de meteorización del macizo rocoso

Estado de intemperismo	Simbología	Descripción
Meteorizado o no	W1	No se observan signos de meteorización; puede haber cierta decoloración en las paredes de las discontinuidades principales.
Ligeramente meteorizado	W2	Cambios en el color original de la matriz rocosa, y su resistencia superficial puede ser ligeramente menor.
Moderadamente meteorizado	W3	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado en un suelo.
Muy meteorizado	W4	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado en un suelo.
Completamente meteorizado y descompuesto	W5	Todo el material rocoso está muy descompuesto o desintegrado en un suelo residual.

Nota: Modificado de ISRM, 1978

Clasificación de macizos rocosos

Terzaghi (1946) inicia el proceso de clasificación del macizo rocoso de una forma sencilla y descomplicada. Lauffer (1958) propuso un nuevo sistema de clasificación de macizos rocosos, adaptado para la construcción de túneles. Después de nueve años

parece Deere (1967) con una herramienta para clasificar cuantitativamente las características del macizo rocoso mediante testigos de perforación, denominado RQD (Designación de Calidad de Roca). Bieniawski (1973) creó el método RMR, que permitió establecer una correlación entre el valor aproximado de la clasificación y los parámetros geotécnicos del macizo rocoso. Barton et al. (1974), con una visión para túneles, propusieron el Sistema Q, hoy conocido como Q de Barton. Todos los métodos mencionados, especialmente los tres últimos, fueron ampliamente adaptados y actualizados según su aplicación práctica en la ingeniería. Entre las adaptaciones, cabe mencionar la creación del SMR por Romana (1985), en el que se considera principalmente la influencia de la orientación de la pendiente en relación con las discontinuidades. En 1994, Hoek creó el GSI o Índice de Resistencia Geológica.

RMR (Clasificación del Macizo Rocoso)

Bieniawski (1974) crea esta clasificación bajo su experiencia en trabajos en túneles, y este índice permite definir la zonificación según las características geomecánicas de un macizo rocoso. Como todas las clasificaciones geomecánicas, existen varias actualizaciones según las necesidades que van apareciendo; sin embargo, la esencia de la clasificación se mantiene igual que es la de 1989 Bieniawski (1989).

Según Freitas (2011) la definición de zonificación se rige por las características litológicas y estructurales, así como por el grado de alteración de las formaciones. Por lo tanto, en macizos rocosos estructuralmente heterogéneos, se recomienda un análisis de las diferentes zonas litológicas. Según Christofolletti (2014) y Aksoy (2008), el uso de la clasificación RMR tuvo como objetivo evaluar el período de estabilidad de un tramo libre excavado hasta su colapso.

De acuerdo con Singh & Goel (2011) la clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos): Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta; Grado de fracturamiento del macizo (RQD); Condiciones de las discontinuidades; Condiciones hidrogeológicas; Orientación de las discontinuidades en relación con la excavación.

Como factor de corrección al valor. Recordando que todos los parámetros se ponderan según la relevancia, de la suma se obtiene un índice llamado RMR (básico), con un rango de 0 a 100. Según Aksoy (2008), el sistema RMR es útil exclusivamente para el prediseño de túneles, y es evidente que la aplicación del sistema implica una gran experiencia de usuario. Es fundamental combinar los datos de clasificación con datos analíticos y numéricos para una caracterización más completa del macizo rocoso.

Cuando los planos de discontinuidad son paralelos o subparalelos al talud y buzantes hacia el vacío, se favorece la inestabilidad planar, pues los bloques pueden deslizar siguiendo esos planos. Si las discontinuidades forman un ángulo oblicuo, pueden dar lugar a inestabilidad en cuña, especialmente cuando dos o más familias de discontinuidades se intersectan con salida hacia el talud. Cuando los planos son verticales o inclinados hacia el macizo, tienden a confinar el talud, aportando mayor estabilidad.

La Tabla 06 presenta un resumen típico de la clasificación RMR. Muestra la relación entre el índice RMR y una estimación del ángulo de cohesión y fricción del macizo rocoso.

Tabla 06
RMR (Rock Mass Rating System)

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality *RQD*		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)						
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS						
Rating		100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21
Class number		I	II	III	IV	V
Description		Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. MEANING OF ROCK CLASSES						
Class number		I	II	III	IV	V
Average stand-up time		20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span
Cohesion of rock mass (kPa)		> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Friction angle of rock mass (deg)		> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions					
Discontinuity length (persistence) Rating	< 1 m 6	1 - 3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0
Separation (aperture) Rating	None 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0
Roughness Rating	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Infilling (gouge) Rating	None 6	Hard filling < 5 mm 4	Hard filling > 5 mm 2	Soft filling < 5 mm 2	Soft filling > 5 mm 0
Weathering Ratings	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0

F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**			
Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°	Dip 45 - 90°	Dip 20 - 45°
Very favourable	Favourable	Very unfavourable	Fair
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°	Dip 0-20 - Irrespective of strike°	
Fair	Unfavourable	Fair	

Nota: Bieniawski 1989

En condiciones de discontinuidad, los parámetros de relleno, meteorización, apertura, rugosidad y persistencia también pueden caracterizarse por separado y detalladamente para acercarse a un valor más próximo a la realidad. Al analizar la tabla de clasificación, también se destaca la importancia del número de fracturas (RQD) y el espaciamiento de las discontinuidades de la misma familia, pudiendo definir prácticamente el 40% del valor del RMR.

SMR (Slope Mass Rating)

Según Romana (1985) un nuevo método de clasificación era evolutivo y necesario del RMR, desarrollado para taludes (SMR). Así, se define un índice calculado a partir del RMR, restado de un factor de ajuste en relación con la discontinuidad y las actitudes del talud, y el método de excavación (Romana 1993). En la actualidad, el SMR se utiliza ampliamente para el análisis de taludes en todo el mundo y se incluye como estándar para el análisis de calidad de taludes (Romana et al. 2015).

Según Romana (2003), el uso del SMR se dirige a la clasificación geomecánica de macizos rocosos y a la obtención de los factores F1, F2 y F3, tanto para definir parámetros de riesgo, normalmente en taludes naturales, como como método de clasificación complementario. Toda clasificación de SMR se basa en un análisis cinemático previo del macizo, con la identificación del potencial de fallas planares, de vuelco y de cuña. Según la existencia de estas debilidades en el macizo rocoso, se realizan los cálculos de los parámetros de ajuste.

Todos los trabajos consultados reflejan la importancia de una buena caracterización de campo, además de un buen criterio de ingeniería. Por lo tanto, el SMR se define mediante la Ecuación 01 (Romana, 1985; 1993).

$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$ Ecu (01)

Donde:

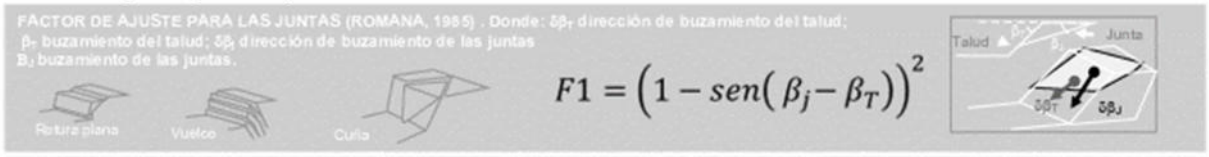
F1: depende del ángulo relacionado con la dirección del buzamiento de la discontinuidad en el plano de ruptura. F1 depende del paralelismo entre la dirección de las discontinuidades y la cara del talud y varía entre 1,00 (cuando ambas son paralelas) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambas es mayor de 30°, con una probabilidad muy baja de ruptura, ver Figura 06) (Romana, 1993). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la Ecuación 02.

$F1 = (1 - sen\ \alpha j - \alpha s)^2$ Ecu (02)

Donde: αj – dirección del buzamiento de la discontinuidad;

αs – dirección del buzamiento de la pendiente.

Figura 06
Factor de ajuste para las juntas F1



Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Rotura plana	$\delta\beta_J$-$\delta\beta_T$	> 30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	< 5°
Rotura por vuelco	$\delta\beta_J$-$\delta\beta_T$-180°					
Valores F1		0,15	0,40	0,70	0,85	1,00

Nota: Modificado de Romana (1985)

F2: depende del buzamiento de la discontinuidad para rupturas planares. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con un buzamiento mayor a 45°) y 0,15 (para

discontinuidades con un buzamiento menor a 20° ver Figura 07). Se establece empíricamente, pero puede ajustarse aproximadamente mediante la Ecuación 03.

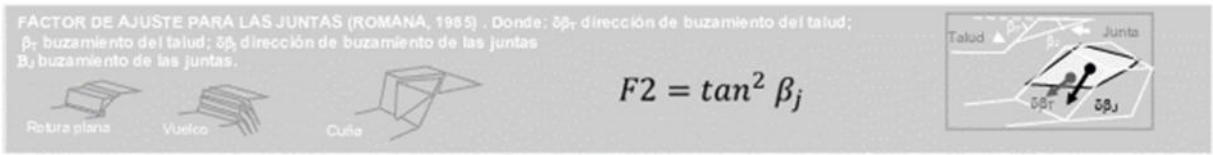
$F2 = \tan^2 \beta j$ Ecu (03)

Donde:

βj – ángulo de buzamiento de la discontinuidad.

Para casos de ruptura en cuña y vuelco, F2=1.

Figura 07
Factor de ajuste para las juntas F2



Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
	β_J	< 20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	> 45°
Rotura plana	Valores F2	0.15	0,40	0,70	0,85	1,00
Rotura por vuelco	Valores F2	1	1	1	1	1

Nota: Modificado de Romana (1985)

F3: Depende de la relación entre los ángulos de inclinación del buzamiento de la discontinuidad y la inclinación de la pendiente. Para rupturas planares, se analiza la probabilidad de que la cara de la discontinuidad aparezca en el talud. Los valores oscilan entre 0 y -60, según lo propuesto por Bieniawski (1976), y siempre son cero o negativos, lo que los convierte en el factor más relevante para el índice SMR (Ver Figura 08).

Figura 08
Factor de ajuste para las juntas F3



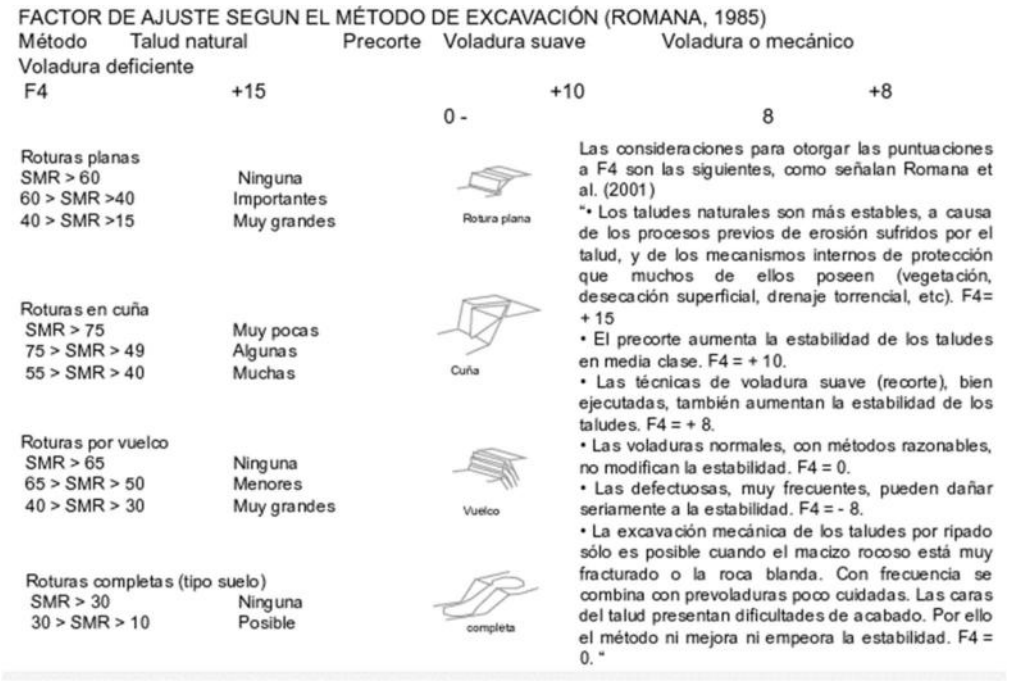
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Rotura plana	$\beta_J-\beta_T$	10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	< -10°
Rotura por vuelco	$\beta_J+\beta_T$	< 110°	110°-120°	>120°	-	-
	Valores F3	0	-6	-25	-50	-60

Nota: Modificado de Romana (1985)

F4: Se establece empíricamente según el tipo de excavación en el yacimiento. Para una mejor definición, es necesario conocer el historial del talud. Para no limitarse a las tablas de referencia propuestas por Romana (1985), Tomás et al. (2007), en una revisión del índice SMR, desarrollaron una serie de funciones continuas tras analizar varias pendientes. Estas funciones, para F1 (Ecuación 02) y F2 (Ecuación 03), son un poco más complejas que las consideradas originalmente por Romana (1985), pero se centran en el cálculo de F3, considerando las relaciones de buzamiento de las discontinuidades de falla y la inclinación del talud.

Según Freitas (2011), el valor de SMR debe asignarse a cada familia de discontinuidades y se considerará el valor más bajo del índice para el sitio analizado del talud. Los valores de SMR varían entre 0 y 100. En la Figura 09, se presenta una clasificación de las clases de estabilidad de taludes según el valor del índice, que predice el potencial de fallas y los tratamientos sugeridos.

Figura 09
Factor de ajuste para las juntas F4



Nota: Modificado de Romana (1985)

Calculo del Factor de Seguridad por FEM

El Strength Factor en Phase2 se calcula como el cociente entre la resistencia al corte disponible y el esfuerzo cortante actuante en cada punto del macizo. Mientras el SRF es global (Factor de Seguridad), el *Strength Factor* es local (índice de estabilidad por zona).

- El Strength Factor es local: te indica en qué zonas del modelo los esfuerzos están más cerca de la falla.

- Así, el mapa de *Strength Factor* en Phase2 sirve para identificar las áreas críticas del talud o excavación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

Este tipo de estudio que se realizan en una cantera se caracterizan por su enfoque técnico y directo, orientado a proyectar conocimientos que tengan una aplicación concreta en los problemas in-situ del sector extractivo como es la minería. Esta investigación es de tipo practica y se basa en los avances tecnológicos y científicos previos para conectar la teoría con el producto final, la investigación responde a una necesidad geomecánica dentro de la operación minera, que es optimizar la eficiencia y garantizar la seguridad de la operación.

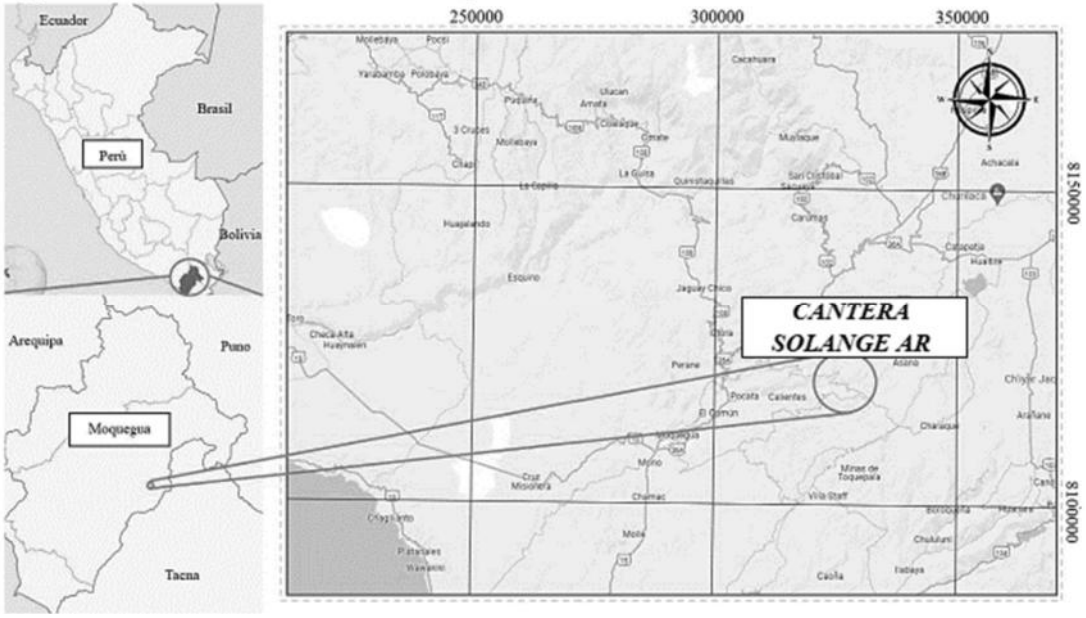
El nivel de la investigación es predictivo – aplicativa, esto es coherente con el propósito principal de la investigación, identificar y reducir los problemas de estabilidad de taludes de la Cantera Solange Ar mediante el uso de las clasificaciones geomecánicas y el uso de la metodología de elementos finitos. La investigación es aplicada, cuantitativa, descriptiva-explicativa, de diseño transversal, de campo-documental y con apoyo de simulación numérica (FEM).

La elección del diseño de investigación se dirige a lo transversal, ya que tiene como meta hacer un análisis geomecánico y una ampliación de la metodología de elementos inicios para optimizar el talud de operaciones, si la variable independiente ejerce un impacto de importancia sobre la variable dependiente del estudio (Hernández y Mendoza, 2018).

3.2 Ámbito temporal y espacial

La cantera en estudio es uno de los yacimientos de material de agregado más significativos a nivel provincial, situado en la región de Moquegua, al sur de Perú (Figura 10). Esta cantera representa una importante inversión minera no metálica de la región. Esta cantera cuenta con procesos tradicionales y un Centro Integrado Básico de Operaciones que permiten la producción para controlar la eficiencia y el uso de recursos.

Figura 10
Mapa de Ubicación de la Cantera Solange Ar



Nota: Elaboración propia en base a Google Maps, Sistema de coordenadas UTM.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población de estudios corresponde a todo el macizo rocoso para que se puedan realizar actividades de para la extracción de agregados.

3.3.2 Muestra

La muestra está referida a la toma de datos de los taludes estudiados y se encuentran en explotación, a las progresiones 000+00, 000+40, 000+80, 000+240, 000+280 y 000+320.

3.4 Instrumentos y Equipos para la investigación

Observación directa en campo**,** observación estructurada de las condiciones del macizo rocoso in situ. Levantamiento geomecánico, recolección sistemática de datos geomecánicos para clasificación del macizo. Ensayos de laboratorio, evaluación físico-mecánica de muestras de roca. Modelación numérica, simulación del comportamiento del talud usando el Método de Elementos Finitos. Revisión documental y análisis de planos, revisión de información técnica disponible sobre la cantera. Los instrumentos utilizados en esta tesis fueron:

Observación directa en campo y Ficha de registro geomecánico.

Cámara fotográfica digital y Brújula geológica (para medición de buzamiento y rumbo)

Cinta métrica / distanciómetro láser y Esclerómetro o martillo de Schmidt (opcional, para resistencia superficial)

Levantamiento geomecánico y Formato de levantamiento para SMR (Slope Mass Rating)

Códigos de clasificación (RMR, SMR)

Hoja de cálculo / software de clasificación (Excel, RocScience RockMass)

Ensayos de laboratorio

Ensayo de compresión simple

Ensayo de densidad y absorción

Equipos de laboratorio geotécnico (prensa uniaxial, balanza, etc.)

Modelación numérica

Software de modelado numérico FEM (Phase2)

Parámetros de entrada del macizo (de campo y laboratorio)

Resultados de simulaciones: factor de seguridad, distribución de esfuerzos y deformaciones

Revisión documental y análisis de planos

Informes geotécnicos previos

Planos topográficos y geológicos

Siendo importante la base de datos de operaciones mineras o producción de la cantera, de formar resumida se puede ver las técnicas e instrumento en la Tabla 07.

Tabla 07
Resumen de Técnicas y sus Instrumentos

Técnica	**Instrumento**
Observación directa	Ficha de campo, cámara, brújula geológica, cinta métrica
Levantamiento geotécnico	Formato de clasificación SMR, hoja de Excel
Ensayos de laboratorio	Prensa uniaxial, probetas de roca, balanza, instrumentos de medición
Modelado numérico (FEM)	Phase2
Revisión documental	Informes técnicos, planos topográficos y geológicos

Nota: Elaboración Propia

3.5 Procedimiento

El desarrollo de la investigación se estructura en las siguientes etapas:

Etapa 1: Revisión documental y planificación

Revisión de bibliografía sobre clasificación SMR, FEM y estabilidad de taludes.

Recopilación de información técnica previa sobre la cantera.

Delimitación del área de estudio y planificación del trabajo de campo.

Etapa 2: Trabajo de campo y levantamiento geomecánico

Ejecución del levantamiento estructural del macizo rocoso: medición de discontinuidades, espaciamiento, tipo de roca, presencia de agua, entre otros.

Registro de datos en fichas estandarizadas para SMR y toma de fotografías.

Etapa 3: Clasificación del macizo rocoso con el método SMR

Procesamiento de los datos recolectados.

Aplicación del método SMR para obtener la calidad del macizo en taludes.

Determinación del tipo y mecanismo de falla probable.

Etapa 4: Ensayos de laboratorio

Toma de muestras de roca para evaluar resistencia a compresión simple, densidad, etc.

Obtención de parámetros físico-mecánicos requeridos para el modelado numérico.

Etapa 5: Modelado numérico con el Método de Elementos Finitos (FEM)

Elaboración del modelo geotécnico del talud en software especializado.

Simulación del comportamiento bajo condiciones actuales y escenarios de intervención.

Evaluación de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

Etapa 6: Propuesta de optimización de la estabilidad

Análisis comparativo entre el resultado del SMR y del modelo FEM.

Diseño de soluciones de estabilización: refuerzos, drenaje, cambio de geometría, etc.

Simulación de la eficacia de las soluciones propuestas en el modelo FEM.

Validación de los instrumentos

Para asegurar la validez de los instrumentos utilizados en la recolección de datos, se aplicará el criterio de validez de contenido, que consiste en verificar que los instrumentos realmente midan las características geomecánicas y estructurales del macizo rocoso, tal como se requiere en el análisis con SMR y el modelado numérico FEM. La validación se llevó a cabo mediante:

Juicio de expertos

Se consultó a especialistas en geotecnia y mecánica de rocas (asesor) para revisar las fichas de levantamiento geomecánico, el formato SMR, y la estructura del modelo FEM.

Conformidad con normas técnicas

Los instrumentos se diseñaron de acuerdo con estándares internacionales, como:

ISRM (International Society for Rock Mechanics) para levantamientos estructurales y pruebas de laboratorio.

Lineamientos del software FEM utilizado (RS2, Phase2, Dips) que establecen parámetros y métodos aceptados.

Así, los instrumentos utilizados presentan validez técnica al estar respaldados por literatura científica y normativa especializada del campo de la mecánica de rocas.

Confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad de los instrumentos se refiere al grado de precisión, estabilidad y consistencia de los datos recolectados. Se garantizará mediante los siguientes mecanismos:

Estandarización de los procedimientos de campo

Todos los datos estructurales fueron tomados usando el mismo protocolo de medición (dirección, buzamiento, espaciamiento, persistencia, etc.).

Se utilizaron fichas estructuradas y equipos calibrados (brújula geológica, distanciómetro, etc.).

Triangulación de datos

Se compararon los resultados del método SMR con los del modelado FEM para verificar la coherencia entre ambas fuentes de información.

Se complementó la observación directa con registros fotográficos y datos secundarios (planos e informes).

3.6 Análisis de datos

Análisis de datos de campo (método SMR)

Los datos obtenidos durante el levantamiento geomecánico fueron organizados y procesados mediante hojas de cálculo (Excel) y software especializado. Se aplicaron las técnicas como la Clasificación SMR: Cálculo de la calidad del macizo rocoso mediante la fórmula propuesta por Romana (1985), ajustando el sistema RMR a las condiciones del talud. Análisis estructural: Identificación de orientaciones desfavorables, espaciamiento, persistencia de discontinuidades, y tipo de falla potencial. Tabulación y sistematización con cuadros resumen por sectores y gráficos radiales (estereogramas) para representar las orientaciones estructurales.

Análisis numérico (método FEM)

Para simular el comportamiento mecánico del macizo rocoso y validar los resultados de campo, se aplicó el Método de Elementos Finitos (FEM) con apoyo de software geotécnico Phase2. Las técnicas empleadas fueron modelados 2D del talud con incorporación de geometría real, estratificación, y parámetros del macizo rocoso obtenidos en campo y laboratorio. Una simulación de esfuerzos y deformaciones: Evaluación del comportamiento del talud frente a distintas condiciones de carga, drenaje y geometría. También el cálculo del factor de seguridad: Análisis de estabilidad bajo condiciones actuales y de intervención. Una evaluación de escenarios con simulación de soluciones de estabilización y comparación de su efectividad.

Interpretación y síntesis

La información obtenida fue interpretada de forma comparativa y complementaria como una comparación SMR vs. FEM: Se analizó la concordancia entre la clasificación

geomecánica tradicional y los resultados del modelado numérico. El análisis integral de estabilidad: Se evaluará la condición general del macizo y se propondrán medidas de optimización en base a criterios técnicos y resultados cuantitativos. Para poder finalizar con las conclusiones técnicas: Se emitió juicios fundamentados sobre la calidad del macizo rocoso, los factores que influyen en su estabilidad, y la viabilidad de medidas de intervención.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Introducción

El presente capítulo expone y analiza los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología de Clasificación del Macizo Rocoso según Romana (Slope Mass Rating, SMR) y del análisis numérico mediante el Método de Elementos Finitos (Finite Element Method, FEM), con el propósito de evaluar y optimizar la estabilidad del talud principal en la cantera Solange AR. La integración de ambas metodologías permite contrastar un enfoque empírico-analítico con un modelo computacional, generando un diagnóstico robusto que sustenta la toma de decisiones técnicas orientadas a la seguridad y eficiencia operativa de la explotación.

En primer término, se presentan los resultados del levantamiento geomecánico en campo, con especial énfasis en la identificación de discontinuidades, sus orientaciones, espaciamiento, persistencia y condiciones superficiales, así como su influencia en el comportamiento estructural del talud. Estos parámetros, integrados al sistema SMR, permiten determinar el nivel de estabilidad del macizo rocoso y localizar zonas potencialmente críticas.

Posteriormente, se detalla el desarrollo de los modelos numéricos elaborados con FEM, incorporando las propiedades mecánicas determinadas para las litologías presentes y las condiciones de carga relevantes. El análisis considera tanto el estado actual del talud como escenarios de optimización mediante modificaciones geométricas y medidas de

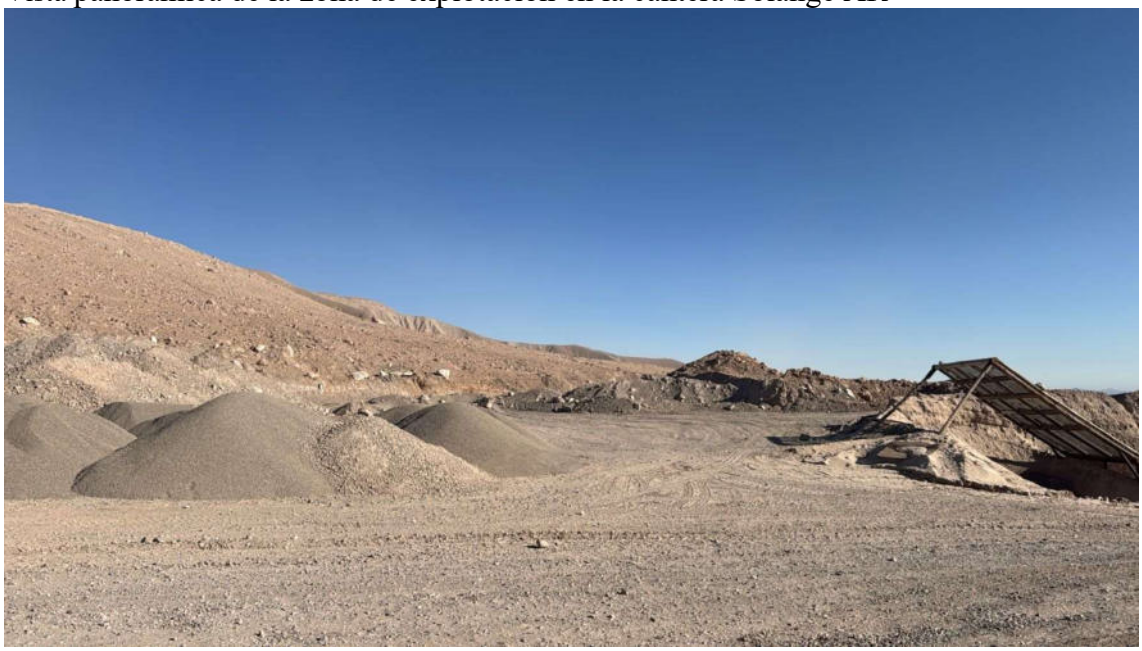
control, evaluando en cada caso el Factor de Seguridad (FS), las distribuciones de esfuerzos y los patrones de deformación.

La discusión de los resultados establece la correlación entre la clasificación SMR y los indicadores derivados del FEM, identificando coincidencias, divergencias y las causas que las originan. Asimismo, se evalúa la efectividad de las propuestas de optimización en términos de incremento del FS y mitigación de desplazamientos, priorizando soluciones viables desde el punto de vista técnico, económico y de seguridad.

Este capítulo, por tanto, constituye el eje integrador del trabajo, donde la información de campo y el modelamiento numérico convergen para generar conclusiones sólidas respecto a la estabilidad del macizo rocoso, ofreciendo criterios confiables para la gestión geotécnica de la cantera Solange AR.

La Figura 11 muestra una vista panorámica de la zona de explotación en la cantera Solange AR. En la imagen se observan pilas de material triturado y clasificado, producto del procesamiento primario del macizo rocoso. Al fondo, se aprecia el talud natural compuesto por material sedimentario y fragmentos rocosos de granulometría variada, correspondiente a las unidades geológicas presentes en el área de estudio. A la derecha, se distingue una estructura metálica inclinada tipo parrilla, utilizada para la clasificación preliminar y separación de granos de gran tamaño antes de su procesamiento. El terreno circundante muestra evidencias de tránsito de maquinaria pesada y actividades de acarreo, característicos de la operación extractiva a cielo abierto.

Figura 11
Vista panorámica de la zona de explotación en la cantera Solange AR



Nota: Fuente propia

La Figura 12 muestra la exposición de talud en la cantera Solange AR, donde se aprecia un macizo rocoso de naturaleza sedimentaria, compuesto predominantemente por gravas y arenas cementadas de origen fluvial–aluvial. El material presenta un grado de consolidación medio a bajo, con matriz areno–limosa y fragmentos líticos de granulometría heterogénea, predominando clastos subangulosos a subredondeados de composición cuarzosa y feldespática.

La estructura del talud muestra superficies de corte casi verticales, producto de la actividad de explotación, evidenciando zonas de debilidad asociadas a la pobre cohesión entre los granos y a la ausencia de una estratificación definida. En la parte superior se observa una acumulación de material clasificado como “sub base”, lo que sugiere su uso posterior en procesos de construcción vial. Al fondo, las lomas naturales exhiben un patrón de disectación por erosión hídrica superficial, generando surcos verticales característicos de zonas áridas con materiales poco consolidados. La litología

y morfología observadas indican una alta susceptibilidad a procesos de inestabilidad por erosión y deslizamiento superficial, especialmente bajo condiciones de saturación o vibración.

Figura 12
Exposición de talud en la cantera Solange AR



Nota: Fuente propia

La Figura 13 muestra desde la parte superior del macizo rocoso en la cantera Solange AR, orientada hacia el valle circundante. El paisaje está caracterizado por un relieve de colinas alargadas y crestas suaves, conformadas por depósitos sedimentarios de origen fluvial y aluvial, fuertemente modelados por procesos erosivos en clima árido. Se observan interfluvios angostos y laderas con surcos de erosión vertical bien definidos, producto del escurrimiento superficial concentrado en eventos pluviales esporádicos. En el horizonte, se distinguen las planicies del valle interandino, cubiertas por áreas agrícolas y asentamientos humanos, delimitadas por cadenas montañosas de mayor altitud y pendiente pronunciada.

La topografía local presenta un gradiente moderado a fuerte en las laderas, con pendientes estimadas entre 25° y 35°, lo que influye en el comportamiento geotécnico de los taludes en explotación. En primer plano, se aprecia al investigador realizando labores de levantamiento geológico-estructural, lo que indica la escala real del terreno y la magnitud de las geoformas observadas. La visibilidad amplia de la cuenca permite inferir relaciones entre la morfología regional, los procesos de sedimentación y la disposición estructural del macizo rocoso evaluado.

Figura 13
Parte superior del macizo rocoso en la cantera Solange AR



Nota: Fuente propia

Una cantera de agregados es una explotación a cielo abierto destinada a la extracción de materiales agregados, tales como grava, arena y piedra triturada, empleados en la construcción y obras civiles. Sus características geológicas incluyen la composición mineralógica de la roca, la textura, el grado de meteorización y la presencia de

discontinuidades estructurales como fracturas, diaclasas y planos de estratificación. Desde el punto de vista geomorfológico, presenta taludes de altura variable, superficies expuestas y zonas de acumulación de material suelto, factores que influyen en su estabilidad. La accesibilidad, la disposición en bancos y el método de extracción son elementos clave para la seguridad y eficiencia operativa. Asimismo, la explotación de la cantera implica un monitoreo continuo de las condiciones geotécnicas para prevenir riesgos asociados a desprendimientos y deslizamientos, garantizando así la integridad de las operaciones y del personal (Figura 14).

Figura 14
Explotación de la cantera



Nota: Fuente propia

En el campo de la geotecnia, una cantera de agregados adquiere gran importancia debido a que el comportamiento mecánico del macizo rocoso determina la seguridad

de los taludes y la viabilidad del proyecto. La clasificación geomecánica del macizo, como el SMR (Slope Mass Rating), permitió evaluar el estado de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad. Este análisis, complementado con herramientas numéricas como el Método de Elementos Finitos (FEM), posibilitó simular las condiciones reales de carga, drenaje y esfuerzos, optimizando el diseño y las medidas de soporte. La correcta caracterización del macizo no solo previene accidentes y pérdidas económicas, sino que también asegura el suministro continuo de agregados de calidad para obras de infraestructura. En este contexto, la cantera SOLANGE AR se convirtió en un laboratorio natural donde se aplicaron criterios de ingeniería geotécnica para el control y mejora de la estabilidad de taludes.

4.2 Resultados de clasificación del macizo rocoso del talud (SMR)

4.2.1 Generalidades

En este punto, esta investigación expone los resultados obtenidos de la clasificación geomecánica del macizo rocoso del talud de la Cantera Solange AR mediante la metodología Slope Mass Rating (SMR). Este sistema de evaluación, derivado del RMR de Bieniawski (1989), incorpora factores de ajuste que consideran la orientación de las discontinuidades en relación con la pendiente, así como las condiciones geológicas y de excavación, permitiendo obtener un índice que refleja de manera más precisa la estabilidad de taludes en macizos rocosos. La aplicación del SMR en el área de estudio permitió caracterizar de forma cuantitativa las condiciones estructurales y geotécnicas del talud, identificando los parámetros críticos que influyen en su comportamiento mecánico.

Los datos empleados para esta clasificación provienen de levantamientos geológicos de campo, mediciones de orientación de discontinuidades, descripción del grado de alteración y resistencia de la roca, además de observaciones sobre el tipo de excavación y procesos erosivos presentes. La interpretación de estos resultados constituye la base para la posterior modelación numérica mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), orientada a optimizar la estabilidad del talud. Asimismo, la evaluación SMR proporciona un diagnóstico preliminar del nivel de riesgo asociado, lo que permite proponer medidas de control y soporte adecuadas para garantizar la seguridad operativa y la continuidad productiva de la cantera.

4.2.2 Datos base del RMR básico (Bieniawski, 1989)

Antes de calcular el SMR, se obtiene el RMRb (Rock Mass Rating básico) a partir de: Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta (UCS, en MPa), el RQD (Rock Quality Designation): porcentaje de recuperación de testigos de perforación con longitudes >10 cm, el espaciamiento de discontinuidades (m), la condición de las discontinuidades (rugosidad, apertura, continuidad, relleno, alteración de paredes) y finalmente Condición de agua subterránea (seco, húmedo, goteo, flujo), tal como se detalla en la Tabla 08.

Tabla 08
Parámetros obtenidos del levantamiento geotécnico

PARÁMETRO	VALOR
Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta	7
RQD (Rock Quality Designation)	8
Espaciamiento de discontinuidades	10
Condición de las discontinuidades	22
Condición de agua subterránea	0
TOTAL	47

Nota: Los datos son replicables a todos los sectores de la cantera en estudio

4.2.3 Factores de ajuste específicos del SMR

Una vez que se calculó el RMRb, el SMR se obtuvo partir del uso de la Ecuación 01, que se detalla nuevamente:

$$\mathbf{SMR = RMRb + (F1 \times F2 \times F3) + F4}$$

F_1 → Relación entre la orientación del buzamiento de la discontinuidad y el buzamiento del talud.

F_2 → Influencia de la relación entre el buzamiento de la discontinuidad y el talud sobre el mecanismo de falla (cuña, planar, toppling).

F_3 → Dependencia con la pendiente del talud y la pendiente de la discontinuidad.

F_4 → Factor de método de excavación (natural, voladura controlada, voladura convencional, excavación mecánica).

El primer parámetro del SMR (F1) depende del ángulo relacionado con la dirección del buzamiento de la discontinuidad en el plano de ruptura, este depende del paralelismo entre la dirección de las discontinuidades y la cara del talud y varía entre 1,00 (cuando ambas son paralelas) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambas es mayor de 30°, con una probabilidad muy baja de ruptura, en este caso de estudio se encuentra en una posición normal a favorable, por lo que correspondería asignarle un valor de 0.55.

Para el segundo parámetro del SMR (F2) que depende del buzamiento de la discontinuidad para rupturas planares. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con un buzamiento mayor a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con un buzamiento menor a 20°). Se establece empíricamente, pero puede ajustarse aproximadamente mediante, para ello del levantamiento geotécnico se ha obtenido un valor normal, asignándole un valor de 0.7.

El tercer parámetro del SMR (F3) depende de la relación entre los ángulos de inclinación del buzamiento de la discontinuidad y la inclinación de la pendiente. Para

rupturas planares, se analiza la probabilidad de que la cara de la discontinuidad aparezca en el talud. Los valores oscilan entre 0 y -60, según lo propuesto por Bieniawski (1976), y siempre son cero o negativos, lo que los convierte en el factor más relevante para el índice SMR, asignándole un valor de -6 al considerar las condiciones como favorables.

Para el cuarto parámetro del SMR (F4) se establece empíricamente según el tipo de excavación en el yacimiento. El valor de SMR debe asignarse a cada familia de discontinuidades y se considerará el valor más bajo del índice para el sitio analizado del talud. Como el talud con frecuencia se combina con actividades mecánicas por ripado, las caras del talud presentan dificultades de acabado, por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad, en la Tabla 09, se presenta la clasificación final.

Tabla 09
Parámetros del SMR

PARÁMETRO	VALOR
RMRb	47
F1	0.55
F2	0.7
F3	-6
F4	0
TOTAL	44.69

Nota:Valores obtenidos de acuerdo a la metodología SMR

En el Slope Mass Rating (SMR), los valores entre 0 y 100 representan una clasificación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso y su estabilidad en taludes. El número final se obtiene a partir del RMR básico y los factores de ajuste de orientación y excavación, y se interpreta desde muy buena a muy mala donde el macizo rocoso no requiere soporte o medidas mínimas hasta intervención inmediata, rediseño del talud y soporte masivo, como se puede ver en la Tabla 10.

Tabla 10
Descripción de Slope Mass Rating (SMR)

SMR	Clase	Calidad del macizo rocoso	Estabilidad del talud	Recomendaciones de soporte
81 – 100	I	Muy buena	Estable	No requiere soporte o medidas mínimas
61 – 80	II	Buena	Parcialmente estable	Pequeñas medidas preventivas
41 – 60	III	Normal	Moderadamente estable	Refuerzo local (pernos, malla metálica)
21 – 40	IV	Mala	Inestable	Obras de sostenimiento importantes (anclajes, concreto lanzado, drenes)
0 – 20	V	Muy mala	Altamente inestable	Intervención inmediata, rediseño del talud y soporte masivo

Nota: valores del Slope Mass Rating (SMR)

El valor de SMR obtenido para el talud evaluado en la Cantera Solange AR fue de 44,69, lo que, según la clasificación de Romana, corresponde a la Clase III – Calidad Normal. Este rango describe un macizo rocoso de resistencia y comportamiento geotécnico intermedios, en el que la disposición de las discontinuidades presenta condiciones parcialmente desfavorables para la estabilidad. El talud se considera moderadamente estable, aunque con posibilidad de inestabilidades localizadas, especialmente en presencia de agentes desencadenantes (como lluvias intensas o actividad sísmica).

Los resultados sugieren que, si bien no se requieren intervenciones masivas, es necesario en zonas con mayor fracturamiento algún sostenimiento o en el peor de los casos cerrar la zona de trabajo para el retaludamiento y dirigirse a otra área, así como un sistema de drenaje que reduzca la presión de poros en épocas de lluvia o crecida del nivel freático. Asimismo, se recomienda establecer un programa de monitoreo

geotécnico continuo para detectar variaciones en el comportamiento del talud. Este diagnóstico constituye la base para la modelación numérica mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), que permitirá evaluar con mayor detalle los estados de esfuerzo y deformación, optimizando las condiciones de estabilidad y seguridad operativa del macizo rocoso.

4.3 Resultados de método de elementos finitos (FEM)

4.3.1 Generalidades

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis numérico con el Método de Elementos Finitos (FEM), aplicado al talud del macizo rocoso de la Cantera Solange AR (la observación de la calicata se ve en el Anexo 02). Este método permitió simular el comportamiento mecánico del talud bajo las condiciones geotécnicas determinadas en campo y a partir de la clasificación SMR, integrando parámetros como la resistencia al corte, cohesión, ángulo de fricción interna, módulo de deformación y peso unitario del material. El uso del FEM posibilitó la representación detallada de la geometría del talud y de las condiciones de contorno, evaluando su respuesta ante diferentes escenarios de carga estática y, de ser aplicable, sísmica.

Las simulaciones generadas proporcionaron información clave sobre la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en el macizo rocoso, identificando zonas potencialmente inestables y los mecanismos de falla predominantes. Los modelos desarrollados permitieron comparar la estabilidad en condiciones actuales con posibles alternativas de optimización del diseño del talud, considerando medidas de soporte o modificaciones geométricas. Estos resultados constituyen una herramienta

fundamental para la toma de decisiones, orientada a garantizar la seguridad estructural, reducir el riesgo de incidentes y optimizar la explotación sostenible de la cantera.

4.3.2 Propiedades operativas necesarias para el análisis

Peso específico del suelo ($\gamma = 16.67$ kN/m³)

El peso específico del suelo representa la relación entre el peso del material y su volumen total, incluyendo sólidos, agua y aire. Un valor de 16.67 kN/m³ indica que el suelo de la cantera posee una densidad intermedia, característica de suelos de tipo granular con cierto grado de compactación natural y humedad baja. Desde el punto de vista geotécnico, este parámetro es fundamental para calcular las presiones de sobrecarga en cimentaciones, el empuje de tierras en estructuras de contención y la estabilidad de taludes, siendo además un insumo clave en el análisis de tensiones efectivas.

Cohesión ($c = 0.039$ ton/m² ≈ 3.82 kPa)

La cohesión es la resistencia inherente al corte que presenta un suelo incluso en ausencia de esfuerzos normales. El valor reportado es muy bajo, lo que sugiere que el suelo de la cantera presenta un comportamiento predominantemente friccional y corresponde probablemente a arenas gravosas a arenas limosas (agregados). Este bajo nivel de cohesión indica que la resistencia al corte dependerá principalmente del ángulo de fricción interna, lo cual tiene implicancias directas en el diseño de cimentaciones superficiales, estabilidad de excavaciones y análisis de fallas por deslizamiento.

Ángulo de fricción interna (φ = 32.58°)

El ángulo de fricción interna refleja la resistencia al corte generada por la interacción entre partículas. Un valor de 32.58° es relativamente elevado y se asocia a suelos de grano medio a grueso (arenas o gravas), con buen intertrabado entre partículas. Geotécnicamente, este parámetro es decisivo en el diseño de muros de contención, cimentaciones superficiales y estabilidad de taludes, dado que condiciona la capacidad portante y la seguridad frente a deslizamientos. Su magnitud confirma que el comportamiento resistente del suelo está controlado por la fricción más que por la cohesión.

Coeficiente de Poisson (v = 0.25)

El coeficiente de Poisson expresa la relación entre las deformaciones laterales y longitudinales que experimenta el suelo bajo un esfuerzo axial. Un valor de 0.25 es característico de materiales de tipo granular con cierta compacidad y baja plasticidad. Desde el punto de vista ingenieril, este parámetro se utiliza en la modelación numérica de suelos (método de elementos finitos) y en el análisis elástico de esfuerzos y deformaciones. Indica que el suelo de la cantera presenta un comportamiento elástico relativamente estable, sin excesiva deformación lateral frente a cargas verticales.

Módulo de Elasticidad (E = 1500 MPa)

El módulo de elasticidad representa la rigidez del suelo frente a esfuerzos aplicados. Un valor de 1500 MPa resulta elevado en comparación con suelos arcillosos o limosos, y es más típico de depósitos granulares densos o suelos cementados. Esto implica que el suelo de Moquegua presenta una alta capacidad de soportar deformaciones elásticas

reducidas bajo cargas de servicio, lo que es favorable para cimentaciones y estructuras de ingeniería civil. En términos geotécnicos, este parámetro es crítico para el cálculo de asentamientos y el análisis de respuesta dinámica del terreno frente a cargas sísmicas.

En conclusión, el suelo analizado en la cantera se caracteriza como un material predominantemente granular, de baja cohesión y alta resistencia friccional, con rigidez considerable y deformabilidad moderada. Estas propiedades lo hacen adecuado para proyectos de cimentaciones y obras civiles, aunque requieren especial atención en la evaluación de la estabilidad de taludes y la influencia sísmica en la zona, los valores se ven resumidos en la Tabla 11 y los detalles de los resultados son mostrados en el Anexo 03.

Tabla 11
Propiedades operativas del material de la cantera

Propiedades	Unidad	Valor
Peso especifico	kN/m^3	16.67
Cohesión	Ton/m^2	0.039
Angulo de fricción	grados	32.58
Coeficiente de Poison	adimensional	0.25
Módulo de Elasticidad	MPa	1500

Nota: Datos obtenidos de ensayos de laboratorio certificado

4.3.3 Resultados del análisis por Método de Elementos Finitos (FEM)

En términos generales, los resultados que se observan en la Tabla 12 permiten evidenciar que los taludes en su condición natural presentan factores de seguridad estáticos apenas por encima de la unidad, lo que refleja una estabilidad muy ajustada y con márgenes de seguridad ligeramente adecuados para operaciones mineras. Sin embargo, es crítico el comportamiento bajo condiciones pseudoestáticas, donde los valores caen por debajo de 1.0 en todas las progresivas, lo que indica una clara

tendencia al colapso en escenarios sísmicos (los análisis detallados se pueden ver en los Anexos 03). Esta condición es particularmente relevante en contextos geológicos y mineros de regiones con actividad sísmica, como es el caso de Moquegua, donde la amenaza sísmica es alta y el diseño de taludes debe responder a tales exigencias.

Tabla 12
Análisis por Método de Elementos Finitos en condiciones Estáticas y Pseudoestáticas

PROGRESIVA	TALUD ACTUAL		TALUD OPTIMIZADO	
	Estático	Pseudoestático	Estático	Pseudoestático
000+00	1.143	0.770	1.305	1.029
000+40	1.126	0.813	1.323	1.103
000+80	1.167	0.841	1.298	1.154
000+240	1.122	0.685	1.357	1.007
000+280	1.159	0.792	1.328	1.157
000+320	1.208	0.854	1.364	1.203

Nota: Valores obtenidos del uso de software con metodología FEM (Anexo 04 y 05)

Las secciones de las progresivas fueron seleccionadas por la relevancia de las operaciones extractivas de la cantera, además al aplicar la optimización geométrica de los taludes, se observa una mejora consistente en todos los tramos, alcanzando factores de seguridad superiores a 1.3 en estático y ligeramente por encima de 1.0 en pseudoestático, lo que asegura un desempeño más confiable y alineado con los criterios de diseño recomendados en minería a cielo abierto. En este sentido, la optimización no solo incrementa los márgenes de estabilidad, sino que también permite reducir riesgos de deslizamientos, garantizar la seguridad operacional y dar sostenibilidad al proceso extractivo. Por lo tanto, puede concluirse que el rediseño de taludes es una medida necesaria y técnicamente justificada para la explotación segura de la mina.

Progresiva 000+00

En esta sección, el talud natural presenta un factor de seguridad estático de 1.143, apenas superior al límite mínimo de estabilidad, y en condición pseudoestática disminuye a 0.770, lo que evidencia una vulnerabilidad frente a solicitaciones sísmicas. Sin embargo, al aplicar la optimización geométrica del talud, los factores de seguridad se incrementan a 1.305 (estático) y 1.029 (pseudoestático), logrando una mejora

significativa y asegurando un comportamiento más estable y confiable frente a cargas dinámicas.

Progresiva 000+40

El talud natural en esta progresiva registra un factor de seguridad estático de 1.126, mostrando condiciones apenas aceptables, mientras que el pseudoestático es de 0.813, insuficiente para condiciones sísmicas. Con el rediseño optimizado, los factores alcanzan 1.323 (estático) y 1.103 (pseudoestático), superando los valores mínimos recomendados para operaciones seguras, lo que indica una geometría más eficiente que controla el deslizamiento bajo cargas dinámicas.

Progresiva 000+80

En el estado natural, el talud posee un factor de seguridad estático de 1.167, que cumple marginalmente con el criterio de estabilidad, y un valor pseudoestático de 0.841, que refleja deficiencia bajo condiciones sísmicas. Tras la optimización, se obtiene 1.298 en estático y 1.154 en pseudoestático, valores que representan un comportamiento más estable y consistente con criterios de diseño minero en zonas de actividad sísmica.

Progresiva 000+240

El talud natural en esta progresiva presenta uno de los valores más críticos, con un factor estático de 1.122 y pseudoestático de apenas 0.685, evidenciando una condición de inestabilidad severa en caso de sismos. No obstante, la geometría optimizada eleva los factores de seguridad a 1.357 (estático) y 1.007 (pseudoestático), alcanzando los umbrales mínimos exigibles, lo que garantiza una explotación más segura en este tramo particularmente vulnerable.

Progresiva 000+280

Aquí el talud natural alcanza 1.159 en estático y 0.792 en pseudoestático, resultados que sugieren un comportamiento estable limitado bajo condiciones gravitacionales, pero insuficiente en presencia de sismos. La optimización del talud mejora notablemente el desempeño, alcanzando 1.328 (estático) y 1.157 (pseudoestático), con márgenes adecuados de estabilidad tanto en condiciones normales como sísmicas.

Progresiva 000+320

Finalmente, en esta progresiva, el talud natural obtiene 1.208 en estático y 0.854 en pseudoestático, lo que muestra un comportamiento relativamente más favorable que otros tramos, aunque aún insuficiente para cargas dinámicas. Tras el rediseño, los valores se incrementan a 1.364 (estático) y 1.203 (pseudoestático), posicionándose como una de las configuraciones más estables del conjunto analizado, con un desempeño satisfactorio en escenarios sísmicos.

4.4 Demostración de la validación de hipótesis

4.4.1 Validación de la hipótesis general

Hipótesis: La aplicación de un procedimiento iterativo que combine SMR y FEM optimiza la evaluación de la estabilidad del macizo rocoso, permitiendo identificar con mayor precisión zonas críticas y mejorar la toma de decisiones de diseño y sostenimiento.

Criterios de verificación (operacionales):

(C1) Mejora sistemática del FS (optimizado > actual) en estático y pseudoestático.

(C2) Acercamiento a umbrales de diseño habituales para minería a cielo abierto (referenciales): FS≥1.30 (estático) y FS≥1.10 (pseudoestático).

(C3) Priorización de zonas críticas (identificación clara de progresivas con FS pseudoestático más bajo para orientar el sostenimiento y/o rediseño local).

Evidencia cuantitativa:

Mejora promedio del FS: +15.22 % (estático) y +40.08 % (pseudoestático).

Cumplimiento de umbrales tras optimización:

Estático: 5/6 progresivas ≥1.30 (83.3 %).

Pseudoestático: 4/6 progresivas ≥1.10 (66.7 %).

Zonas críticas post-optimización (pseudoestático): 000+240 (FS=1.007) y 000+00 (FS=1.029), ambas con mejoras muy altas (+47.0 % y +33.6 %, respectivamente), lo que evidencia la capacidad del procedimiento para señalar con precisión dónde concentrar medidas adicionales.

Conclusión: Se confirma la hipótesis general. El esquema iterativo SMR–FEM optimiza la evaluación (mejoras sustantivas de FS), delimita zonas críticas y ofrece insumos concretos para decisiones de diseño y sostenimiento.

4.4.2 Validación de las hipótesis específicas

(H1) Iteración SMR–FEM mejora la precisión en la identificación de zonas inestables

Criterios: (i) concordancia entre la respuesta numérica y la priorización de intervención; (ii) reducción de la dispersión de FS hacia valores meta mediante rediseño. Evidencia: La iteración conduce a incrementos de FS en todas las progresivas (estático y pseudoestático). En pseudoestático, las mayores ganancias se concentran en 000+240 (+47.0 %) y 000+280 (+46.1 %), que quedan claramente establecidas como sectores prioritarios. Conclusión: Confirmada. La retroalimentación SMR–FEM focaliza con mayor precisión las zonas inestables y orienta el rediseño local.

(H2) Un modelo FEM con parámetros in situ reproduce con precisión el comportamiento ante cargas y condiciones de borde

Criterios: (i) coherencia física del resultado (FS↑ con talud optimizado); (ii) respuesta diferenciada entre estático y pseudoestático, acorde a la demanda sísmica regional; (iii) sensibilidad espacial (diferencias por progresiva). Evidencia: El FEM refleja una

respuesta realista y diferenciada: Mejora consistente en estático (FS optimizado entre 1.298–1.364, 5/6 ≥1.30). Mayor severidad en pseudoestático (FS optimizado entre 1.007–1.203), con promedio 1.109 y dos progresivas bajo 1.10, lo que es coherente con la mayor demanda sísmica. Conclusión: Confirmada. El FEM parametrizado con datos in situ ofrece predicciones verosímiles, sensibles a la carga y al sitio.

(H3) Las medidas derivadas del procedimiento SMR–FEM son más eficaces y seguras que enfoques convencionales

Criterios: (i) incremento del FS respecto a la geometría/criterios actuales; (ii) acercamiento o cumplimiento de umbrales de diseño; (iii) reducción del número de secciones subcríticas. Evidencia: Incrementos medios de +15–40 % en FS (estático/pseudoestático). Reducción de la criticidad global: tras optimización, 4/6 cumplen pseudoestático ≥1.10 y 5/6 cumplen estático ≥1.30. Las secciones que aún no alcanzan 1.10 (000+240 y 000+00) presentan mejoras marcadas, lo que sugiere que pequeños ajustes adicionales (p. ej., bermas locales, variación de ángulo, pernos y drenaje dirigido) permitirían cerrar la brecha a coste razonable. Conclusión: Confirmada con matiz operativo. El procedimiento produce mejoras superiores a las esperables con prácticas convencionales; donde no se alcanza el umbral pseudoestático, la brecha remanente es acotada y claramente identificada para intervención focal.

4.5 Discusión

Los resultados obtenidos para los factores de seguridad (FS) en las diferentes progresivas de la Cantera Solange AR evidencian una clara diferencia entre la condición de talud actual y la condición de talud optimizado, tanto en análisis estático como pseudoestático.

En la evaluación estática del talud actual, los valores de FS varían entre 1.122 y 1.208, lo cual indica un comportamiento geomecánicamente aceptable en términos de estabilidad global. Sin embargo, al considerar el análisis pseudoestático, los factores de seguridad disminuyen significativamente, alcanzando valores mínimos de 0.685 (progresiva 000+240), lo que refleja una condición crítica frente a solicitaciones sísmicas y un riesgo elevado de inestabilidad bajo eventos dinámicos. Esta situación pone de manifiesto que la geometría original de los taludes no garantiza un desempeño adecuado frente a cargas sísmicas, aspecto particularmente relevante en contextos como el sur del Perú, donde la actividad sísmica es frecuente.

Por otro lado, los resultados de los taludes optimizados muestran un incremento consistente en los factores de seguridad. En condiciones estáticas, los valores se encuentran entre 1.298 y 1.364, mientras que en condiciones pseudoestáticas se elevan a rangos entre 1.007 y 1.203. Estos resultados son significativos, pues demuestran que mediante el ajuste geométrico del talud es posible incrementar la estabilidad general en más de un 20 % respecto a la condición actual, alcanzando valores que cumplen con los criterios de seguridad recomendados por la normativa internacional (FS $\geq$ 1.3 en estático y FS $\geq$ 1.1 en pseudoestático para taludes en explotación minera).

De manera particular, se destaca que en la progresiva 000+240, donde el talud actual presentó la condición más crítica (FS = 0.685 en pseudoestático), la optimización permitió alcanzar un FS de 1.007, lo que representa el cambio más relevante en términos de seguridad sísmica. Asimismo, en las progresivas 000+80 y 000+280 se registran factores de seguridad optimizados superiores a 1.15 en pseudoestático, lo que otorga mayor confiabilidad operativa a la explotación.

En síntesis, la discusión de los resultados confirma que el uso combinado de la clasificación del macizo rocoso (SMR) y la modelación numérica mediante FEM constituye una herramienta eficaz para diagnosticar y optimizar la estabilidad de taludes en macizos rocosos. Los taludes optimizados no solo alcanzan los factores de seguridad requeridos, sino que también permiten prolongar la vida útil de la operación minera, reducir riesgos geotécnicos y garantizar condiciones de trabajo más seguras en la Cantera Solange AR.

El análisis porcentual de la mejora en los factores de seguridad confirma la efectividad de la optimización geométrica de los taludes. En condiciones estáticas, los incrementos varían entre +11.22 % y +20.95 %, lo que evidencia un refuerzo significativo de la estabilidad global. No obstante, es en el análisis pseudoestático donde se observan los beneficios más relevantes, con mejoras que oscilan entre +33.63 % y +47.01 %, siendo la progresiva 000+240 el caso más crítico y a la vez más favorecido por el rediseño. Estos resultados demuestran que la optimización no solo permite alcanzar los factores de seguridad exigidos por normativa, sino que además incrementa la robustez del macizo frente a cargas sísmicas, reduciendo de manera considerable el riesgo de inestabilidad. En conjunto, la interpretación de los porcentajes ratifica que la metodología aplicada (SMR + FEM) constituye una herramienta eficaz para incrementar la seguridad operativa y prolongar la vida útil de los taludes en explotación minera.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Se logró optimizar la estabilidad del macizo rocoso de la Cantera Solange AR mediante la aplicación de un procedimiento iterativo que combina la clasificación SMR con la modelación numérica FEM. Los resultados evidenciaron incrementos significativos en los factores de seguridad, con mejoras de hasta +20.95% en análisis estático y +47.01% en análisis pseudoestático, lo que permitió que la mayoría de los taludes alcanzaran los valores de seguridad recomendados por la normativa internacional, garantizando así condiciones de mayor confiabilidad en la explotación minera.

El procedimiento iterativo diseñado entre la clasificación SMR y el análisis FEM permitió retroalimentar los modelos geotécnicos y mejorar la precisión en la identificación de zonas críticas. En particular, se evidenció que las progresivas 000+240 y 000+00 constituyen sectores prioritarios de intervención bajo condiciones pseudoestáticas, lo que confirma la utilidad del esquema iterativo para orientar acciones de mitigación de forma localizada y efectiva.

El desarrollo del modelo numérico mediante FEM, con parámetros geotécnicos obtenidos in situ, permitió simular de manera realista el comportamiento del macizo rocoso frente a distintos escenarios de carga y condiciones de borde. Los resultados diferenciaron adecuadamente entre estabilidad estática (con FS $\geq$1.30 en la mayoría de las secciones) y estabilidad pseudoestática (con FS $\geq$1.10 en dos tercios de los casos), reflejando con fidelidad la influencia de la sismicidad regional sobre los taludes. Esta capacidad predictiva valida al FEM como una herramienta robusta de análisis y soporte a la toma de decisiones.

Las medidas de rediseño geométrico y mitigación propuestas a partir del análisis integrado SMR–FEM demostraron ser más eficaces que los enfoques convencionales, al elevar los factores de seguridad hasta niveles aceptables para la operación minera. Asimismo, la identificación de sectores críticos posibilita la incorporación de refuerzos específicos (bermas adicionales, pernos de anclaje, drenaje y malla metálica) como medidas complementarias, lo que garantiza una explotación más segura, eficiente y sostenible de la Cantera Solange AR.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Implementar un programa de monitoreo geotécnico en las progresivas críticas (000+240 y 000+00), incluyendo levantamientos topográficos periódicos, inclinómetros y control de aperturas de discontinuidades, con el fin de verificar la evolución de la estabilidad bajo condiciones de explotación y sismicidad.

En las progresivas donde el factor de seguridad pseudoestático aún se encuentra cercano al umbral (FS ≈ 1.0–1.05), se recomienda aplicar medidas complementarias como pernos de anclaje, drenajes subhorizontales y bermas de seguridad, a fin de garantizar un margen adicional frente a sismos de mayor magnitud.

Recalibrar periódicamente el modelo numérico FEM incorporando nuevos datos de campo (propiedades mecánicas, cartografía de discontinuidades y resultados de ensayos), para mantener la validez predictiva del procedimiento SMR–FEM y adecuar las recomendaciones a las condiciones reales de la cantera.

Vincular los resultados de la optimización de taludes con el plan minado, de manera que las geometrías optimizadas se incorporen al diseño de fases y bancos, evitando retrabajos y maximizando la seguridad durante toda la vida útil de la explotación.

Dado que los factores de seguridad bajo condiciones pseudoestáticas son los más restrictivos, se recomienda incluir escenarios sísmicos en los planes de contingencia operativa, así como capacitar al personal en protocolos de seguridad frente a inestabilidad inducida por sismos.

Extender la aplicación del procedimiento iterativo SMR–FEM a otros sectores de la cantera o a operaciones mineras similares de la región, para validar su robustez y generar un protocolo estandarizado de evaluación y optimización de estabilidad de taludes.

Promover la publicación de los resultados de esta investigación en congresos de geotecnia y minería, ya que la combinación práctica de clasificaciones empíricas y modelación numérica constituye un aporte metodológico de interés para el sector académico y profesional.

REFERENCIAS

Aguedo A., A. G. (2020). *Influencia del arreglo estructural de las discontinuidades en la estabilidad global de taludes a escala global de tajos abiertos mediante la metodología de elementos finitos* (FEM).

Aksoy, C.O. (2008). *Review of rock mass rating classification: historical developments, applications, and restrictions*. Jounal of Mining Science, New YorK, v. 44, –n. 1, p. 51- 63.

An, H., Fan, Y., Liu, H., Cheng, Y., & Song, Y. (2022). *The State of the Art and New Insight into Combined Finite–Discrete Element Modelling of the Entire Rock Slope Failure Process*. Sustainability, 14(9), 4896. https://doi.org/10.3390/su14094896

Ancocallo C., O. H. (2024). *Evaluación geológico - geotécnica para el diseño de la presa Yanapujio del distrito de Ichuña – provincia de General Sánchez Cerro – departamento de Moquegua*. Universidad Nacional San Agustín, Arequipa.

Barton, N., Lien R., Lunde J. (1974). *Engineering classification of jointed rock masses, for design of tunnel support*. Rock Mechanics and Rock Engineering, Amsterdam, .v. 6: n.4, p.189-263,.

Battulwar, R. et al. (2021). *A state-of-the-art review of automated extraction of rock mass discontinuity characteristics using three-dimensional surface models*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 13(4), 920-936.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. 1º. s.l.: Wiley-Interscience,. pp. 51-72.

Carnero C., E.G. (2019) *Evaluación geomecánica del macizo rocoso con fines de estabilización de talud en la Cantera Mucra, Juliaca*. Universidad Nacional Altiplano, Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Catari C, P.P. (2024), *Análisis de estabilidad del talud noroeste de la mina Cuajone mediante el método de elementos finitos - 2023*. Universidad Nacional de Moquegua, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

Chegne M., J. L., & Santa Maria I., M. A. (2023). *Evaluación geomecánica – geotécnica para el diseño y estabilidad de taludes en la cantera El Gavilán – Cajamarca 2023*. Universidad Privada del Norte.

Chilón P., D., & López S., A. (2021). *Evaluación geomecánica de los macizos rocosos para el diseño de explotación de materiales pétreos en la cantera san Cirilo Cajamarca – 2021*. Universidad Privada del Norte.

Christofolletti, C. (2014). *Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica*. P.310. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências -IG, Universidade de São Paulo.

Chuquimango Ch., N. E. (2016). *Propuesta Técnica para la Construcción de Taludes en la Cantera Juan Sin Miedo, Cajamarca-2016*. Universidad Cesar Vallejo.

Cueto T., J. A. (2024) *Caracterización y su explotación en la Cantera Karlita de la Región Moquegua*. Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Farny, N. J. (2017). *Comparing rock discontinuity measurements using geological compass, smartphone application, and laser scanning methods*. Environmental and Engineering Geoscience, v. 23, no. 2, p. 97–111, doi: 10.2113/gseegeosci.23.2.97.

Freitas, S.B.N. (2011*). Caracterização geomecânica e classificações RMR (Bieniawsky) e SMR (Romana) de maciços rochosos em taludes do Funchal*. 124p. Dissertação (Mestrado) Universidade da Madeira, Funchal.

Gaona Saldaña, B. S., & Rodriguez Palacios, F. D. (2021). *Análisis geotécnico y modelamiento numérico para el diseño del talud final de la cantera Susy III en Cañete 2021*. Universidad Privada del Norte.

Hernandez - Smpieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education.

Herrera, J. A. (2019). *Modelagem numérica tridimensional para análise de eventos de ruptura na base de pilares inclinados em rocha foliada*. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

Hoek, E. (1994). *Strenghth of rock and rock masses*. ISRM News Journal, London, n. 2, p. 4- 16.

Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M. (1998). *Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of*

the Athens Schist Formation. Bulletin of Enginiering Geology and the Environment, v. 57, n.2, p.151-160.

Huaylla A., J. A., & Mantilla M., C. E. (2022). *Análisis geotécnico y del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de los taludes de la cantera AN-110, distrito Catac, Ancash, 2021*. Universidad Privada del Norte.

INGEMMET (2005). *Memoria Explicativa de la Geología del Cuadrángulo de Moquegua.*

ISRM (1978). *Suggested methods for rock mass classification: 1978*. International Society for Rock Mechanics.

Jhonny J. A. T. (2020). Evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando el SMR para el diseño del banco en U.E.A. Congos. Blanco. Universidad Continental.

John A. Hudson, John P. Harrison, (1997). *Discontinuities, Engineering Rock Mechanics,Pergamon*. ISBN 9780080438641. https://doi.org/10.1016/B978-008043864-1/50008-2.

Kolapo, P., Oniyide, G. O., Said, K. O., Lawal, A. I., Onifade, M., & Munemo, P. (2022). *An Overview of Slope Failure in Mining Operations. Mining*, 2(2), 350-384. https://doi.org/10.3390/mining2020019

Lee, S.; Suh, J.; Park, H. (2013). *Smart Compass-Clinometer: A smartphone application for easy and rapid geological site investigation: Computers and Geosciences*, v. 61, p. 32–42, doi: 10.1016/j.cageo.2013.07.014, URL http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.07.014

Montoya Y., M. G. (2020). *Influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo, 2019*. Universidad Privada del Norte.

Neira V., Y., & Rivera R., D. S. (2021). *Modelamiento geomecánicos 3D para la estabilización de taludes de la Cantera los Ángeles de la unidad minera Transervel, Moquegua 2021*. Universidad Tecnológica del Perú.

Oliveira, A. M. S.; Monticeli, J. J. (2018). *Geologia de Engenharia e Ambiental*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) Volume 2. pp. 400-412.

Paredes Ch., G. (2019). *Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera el Arbolito – Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano.

Romana M., (1985). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. In: International Symposium. On the role of rock mechanics - ISRM. Zacatecas,1985. Proceeding Zacatecas: 1985. p. 49-53.

Romana M., (1993). "*A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating*". In Hudson J. (ed). Comprehensive Rock Engineering. S.l.:. Pergamon, 1993 v.3, p. 575- 600.

Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., (2003). *SMR geomechanics classification: application, experience and validation*. ISRM, Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy. p.1-4.

Romana, M.; Tomás R. Serón, J.B., (2015). *Slope mass rating (SMR) geomechanics clssification: thirty years review*. In: International Society for Rock Mechanics Congress,13. Quebec: 2015 Proceedings. Quebec: 2015.

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

Ronda, G., Santi, P., Pope, I. E., Vargas Luque, A. L., & Paria, C. J. B. (2024). *Linking Inca Terraces with Landslide Occurrence in the Ticsani Valley, Peru*. Geosciences, 14(11), 315. https://doi.org/10.3390/geosciences14110315

Singh, H.O., Ansari, T.A., Singh, T.N. et al., (2020). E*mpirical and finite element based stability analysis of highway cut slopes in Uttarakhand Himalayan terrain, India*. Geo-Engineering 11, 20 (2020). https://doi.org/10.1186/s40703-020-00127-y

Stead, D.; Wolter, A. (2015). *A critical review of rock slope failure mechanisms: the importance of structural geology*. Journal of Structural Geology, v. 74, p. 1-23.

Steiakakis, E., Xiroudakis, G., Lazos, I., Vavadakis, D., & Bazdanis, G. (2023). *Stability Analysis of a Multi-Layered Slope in an Open Pit Mine*. Geosciences, 13(12), 359. https://doi.org/10.3390/geosciences13120359

Turpo P, J. (2018) *Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la Unidad Minera "Moises Randy 2010".* Universidad Nacional de Moquegua.

Velásquez A, J. S. (2017). *Aplicación del SMR al análisis de estabilidad de taludes en la mina Kadi II de la empresa productos Calcareos Kadi S.R.L. 2016*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Viana, C. D. (2021). *Fotogrametria digital multi-escala para aquisição de dados estruturais* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Vieira, V. R. de A. (2025). *Aerofotogrametria aplicada ao mapeamento geomecânico de taludes rochosos: avaliação de métodos de aquisição e processamento*. (Master dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto).

Villanueva A., J. D. (2023). *Caracterización tecnológica y geomecánica de la formación Huaylillas para fines de uso ornamental en la ciudad de Tacna*. Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Wu, G., Nie, X., Zhang, X., Yang, M., & Shi, G. (2024). *Stability Grade Evaluation of Slope with Soft Rock Formation in Open-Pit Mine Based on Modified Cloud Model*. Sustainability, 16(11), 4706. https://doi.org/10.3390/su16114706

Yang, S., Xu, Z., & Su, K. (2021). V*ariable Weight Matter–Element Extension Model for the Stability Classification of Slope Rock Mass*. Mathematics, 9(21), 2807. https://doi.org/10.3390/math9212807

Yujra M., Y. (2023). *Optimización de un planeamiento de minado en base a las características geotécnicas mediante el análisis exploratorio de datos en una unidad minera superficial no metálica en Moquegua*. Universidad Nacional de Moquegua.

Zapata S., E. J. (2022). *Metodología para determinar mecanismos de fracturamiento y la estabilidad de un talud mediante un modelamiento geotécnico - Caso de*

estudio: Cantera "El Porvenir" en el distrito de Yura de la ciudad de Arequipa -2022. Universidad Católica de Santa María.

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
GENERAL	¿Cómo optimiza el uso de clasificación del macizo rocoso del talud (SMR) y método de elementos finitos (FEM) en la estabilidad del macizo rocoso en la cantera Solange Ar?	Optimización de la estabilidad del macizo rocoso con la aplicación de un procedimiento iterativo con la clasificación del macizo rocoso del talud (SMR) y el Método de Elementos Finitos (FEM) para la Cantera Solange Ar.	La aplicación de un procedimiento iterativo que combine la clasificación del macizo rocoso del SMR y FEM optimiza la evaluación de la estabilidad del macizo rocoso, permitiendo una identificación más precisa de zonas	Variable independiente Análisis de la clasificación del macizo rocoso del talud y método de elementos finitos	Esta investigación es de tipo practica y se basa en los avances tecnológicos y científicos previos para conectar la teoría con el producto final, la investigación responde a una necesidad geomecánica dentro de la operación minera, que es optimizar la eficiencia y garantizar la seguridad de la operación.
	¿Qué relación existe entre los valores del SMR y los tipos de mecanismos de falla observados en campo como deslizamientos planares, cuña o vuelco?	Diseñar un procedimiento iterativo de retroalimentación entre SMR y FEM, que permita ajustar progresivamente los modelos y mejorar la precisión en la identificación de zonas inestables.	La implementación de un procedimiento iterativo de retroalimentación entre la clasificación SMR y el análisis FEM permite ajustar progresivamente los modelos geotécnicos, incrementando la precisión en la identificación de zonas inestables del talud en la cantera Solange Ar.		
ESPECIFICAS	¿Qué parámetros geotécnicos deben calibrarse con mayor precisión para una modelación con Método de Elementos Finitos (FEM) realista del talud?	Desarrollar un modelo numérico del talud mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) incorporando los parámetros geotécnicos obtenidos y validando el comportamiento del macizo ante distintos escenarios de carga y condiciones de borde.	La construcción de un modelo numérico del talud mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), que incorpore parámetros geotécnicos reales obtenidos in situ, permite simular de forma precisa el comportamiento del macizo rocoso ante distintos escenarios de carga y condiciones de borde, validando su utilidad como herramienta de predicción y análisis de estabilidad.		La elección del diseño de investigación se dirige a lo experimental, ya que tiene como meta hacer un análisis geomecánico y una ampliación de la metodología de elementos inicios para optimizar el talud de operaciones, si la variable independiente ejerce un impacto de importancia sobre la variable dependiente del estudio
	¿Cómo se puede estructurar un procedimiento iterativo donde los resultados FEM retroalimenten la zonificación geomecánica basada en SMR?	Proponer medidas de mitigación o rediseño del talud basadas en los resultados integrados del procedimiento SMR-FEM, enfocadas en garantizar la estabilidad y seguridad operacional en la cantera Solange Ar.	Las medidas de mitigación y rediseño del talud propuestas a partir de los resultados integrados del procedimiento SMR-FEM ofrecen soluciones más eficaces y seguras que aquellas basadas en métodos convencionales, mejorando la estabilidad operativa del macizo rocoso en la cantera Solange Ar.	Variable dependiente Optimización de estabilidad del macizo rocoso	La cantera en estudio es uno de los yacimientos de material de agregado más significativos a nivel provincial, situado en la región de Moquegua, al sur de Perú (Figura 10). Esta cantera representa una importante inversión minera no metálica de la región. Esta cantera cuenta con procesos tradicionales y un Centro Integrado Básico de Operaciones que permiten la producción para controlar la eficiencia y el uso de recursos

ANEXO 02

DOSSIER FOTOGRÁFICO DE CALICATA



Selección del área para realización de la calicata y la toma de muestra



Uso de maquinaria para la realización de la calicata



Calicata concluida para la descripción y toma de muestra



Toma de muestra del material extraído de la calicata

ANEXO 03

INFORME DE

ENSAYOS DE LABORATORIO

CALICATA Nº 01

ENSAYOS DE LABORATORIO

Urbanización Mercedes Cabello de Carbonera H-09 – Moquegua
Teléfono (053) 462372, RPM #985001834, RPC 956749062
contactanos@apcoorsac.com
www.apcoorsac.com

E-02

APCOOR S.A.C.	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Código de Documento:	AP-OP-01-16
GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	FORMATO	Fecha de Aprobación:	1/12/2020
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATAS	Versión de Documento:	2
		Cantidad de Páginas:	1 de 1

REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATAS

Norma: ASTM D 2488-09a

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025
Hoja 01 de 01

INFORMACIÓN GENERAL

Proyecto: PROYECTO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR LIZET TATIANA TACCA SILVA, GIANN PAULO CHIPOCO DIAZ

Solicitante: ENRIQUE EDVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — Contrato N°: —

Contacto: — Teléfono: — Departamento: MOQUEGUA Provincia: MARISCAL NIETO Distrito: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Identificación: C-01 Profundidad: 4.00 m Estrato N°: — Zona de Muestreo: CANTERA SOLANGE AR Tipo de Material: Terreno Natural

Lugar de Muestreo: CANTERA SOLANGE AR Tramo Evaluado: — Coordenadas E: 299713.7 Coordenada N: 8095294.793

Elevación m.s.n.m.: — Requisito y/o Especificación del Solicitante: — Fecha de Ensayo: 6/05/2025

PANEL FOTOGRÁFICO — C-01



DATOS DE PROYECTO

Actividad: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION

Zona: — Lugar Muestreo CANTERA SOLANGE AR

Coordenada E: 299713.7 Coordenda N.: 8095294.8 Elevación: —

DESCRIPCIÓN DE LA CALICATA

Nivel Freático: NO PRESENTA Fecha de Calicateo: 6/05/2025

Superficie: IRREGULAR

Raíces: NO PRESENTA

DATOS DEL PERSONAL QUE EJECUTO

Ing. Responsable: C. PECHE Equipo: RETROEXCAVADORA

Téc. Responsable: L. ASTORGA Operador: —

Aux. de Laboratorio: A. ASTORGA

Profundidad (m)	Estrato Nº	Descripción del Material (Nombre y Símbolo del Grupo) Humedad, estructura, tamaño máximo de la partícula, dureza grava/bolones, resistencia en seco, dilatancia y tenacidad	% Sobretamaño (1)	% de Grava (2)	% de Arena (2)	% de Finos (2)	Color	Consistencia (3) o Densidad Relativa (4)	Plasticidad (NP=, B, M, A)	Cementación (5)	Cortes Test (6), (7)
0.00 – 0.20	E-01	MATERIAL DE COBERTURA CONTAMINADO									
0.20 – 1.10	E-02	GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA CON BLOQUES, EXCELENTE A BUENO COMO SUBGRADO FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA	6.03	40.97	49.94	3.06	Blanco y Gris	Suelto	Baja	Debil	—
1.10 – 4.00	E-03	MATERIAL DE CLASIFICACION TIPO GW, CON CONTENIDO DE HUMEDAD BAJO, GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA. EXCELENTE A BUENO COMO SUBGRADO, FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA ESTRUCTURA HOMOGENEA TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULA 6" GRAVAS DURAS, DILATANCIA BAJA, TENACIDAD BAJA.	6.87	51.18	38.09	1.86	Marron Claro	Suelta	NP	Debil	—

NOTA:

(1) Porcentaje Material > 3 Pulg.

(2) Suma de Grava, Arena y Finos = 100%

(3) Para suelos de grano fino (cohesivos): muy blando, blando, firme, duro y muy duro

(4) Para Suelos de grano grueso (sin cohesión): muy suelto, suelto, compacto, denso, muy denso

(5) Débil, moderada, fuerte

(6) Densidad in situ

(7) Estratificado, laminado, fisurado, lajoso (si densidad), en bloques, lenticular, homogéneo

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46628

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de validez sin las firmas de validación.

EURO CERT

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento	AP-OP-01-01
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/06/2021
	FORMATO:	Versión de Documento	01
	INFORME DE LABORATORIO DE SUELOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

INFORME DE LABORATORIO DE SUELOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

DIVISIÓN DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

HOJA 01 DE 06

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 CONTRATO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: EL SOLICITANTE CALICATA N°: C-01 ESTRATO N° E-02 PROFUNDIDAD: 4.00 m TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO NÚMERO DE MUESTRA: M-01 COORDENADA N: 8098294.8 COORDENADA E: 199715.7 ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 FECHA DE RECEPCIÓN: 8/05/2025 FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA BOLANGE AR TRAMO EVALUADO: — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

INFORME

Descripción de Ensayo	Normas	Resultados				Registro de Ensayo	Observación
		% Pasante		% Pasante			
DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE SUELOS POR TAMIZADO	Norma: ASTM D6913/6913M-17, ASTM D 422, AASHTO T-88, MTC E107, NTP 339.128	3 in	93.97 %	N° 10	92.84 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 02 de 08	—
		2 in	88.18 %	N° 20	22.88 %		
		1 1/2 in	81.44 %	N° 40	15.77 %		
		1 in	75.56 %	N° 60	11.54 %		
		3/4 in	69.60 %	N° 140	8.20 %		
		1/2 in	61.72 %	N° 200	3.06 %		
		3/8 in	62.37 %	< N° 200	0.00 %		
		N° 04	58.00 %				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS	Normas: ASTM D2216-19, MTC E 108, NTP 339.127	Porcentaje de Humedad	=	7.86 %		AP-REG-LS-165-2025 Hoja 03 de 08	—
LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	Normas: ASTM D4318-17e1, AASTHO T 89, AASTHO T 90, MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129	Límite Líquido	=	23 %		AP-REG-LS-165-2025 Hoja 04 de 08	—
		Límite Plastico	=	22 %			
		Indice de Plasticidad	=	1 %			
SALES SOLUBLES EN AGREGADOS	Normas: ASTM D1888, MTC E 219, NTP 339.177	Contenido de sales Agregado Grueso	=	0.07 %		AP-REG-LS-165-2025 Hoja 05 de 08	—
		Contenido de Sales Agregado Fino	=	0.09 %			
ENSAYOS QUIMICOS DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS	Normas: ASTM D1888, MTC E 219, NTP 339.177	Contenido de Cloruros	=	0.07 %		AP-REG-LS-165-2025 Hoja 06 de 08	—
		Contenido de Sulfatos	=	0.07 %			
MÉTODO DE CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	Norma: NTP 339.134	GW	Grava bien graduada con arena con bloques			AP-REG-LS-165-2025 Hoja 07 de 08	—
MÉTODO DE CLASIFICACIÓN AASHTO	MÉTODO DE CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1-a (0)	Fundamentalmente como subgrado fragmentos de roca, grava y arena			AP-REG-LS-165-2025 Hoja 08 de 08	—

Ing. Cesar Poche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE SUELOS POR TAMIZADO	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE SUELOS POR TAMIZADO

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Norma: ASTM D6913/6913M-17, ASTM D 422, AASHTO T-88, MTC E107, NTP 339.128

HOJA 02 DE 05

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: — — CONTRATO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: MARISCAL NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-02 — PROFUNDIDAD: 4.00 m — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-01 — COORDENADA N: 8093294.793 — COORDENADA E: 289713.738 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

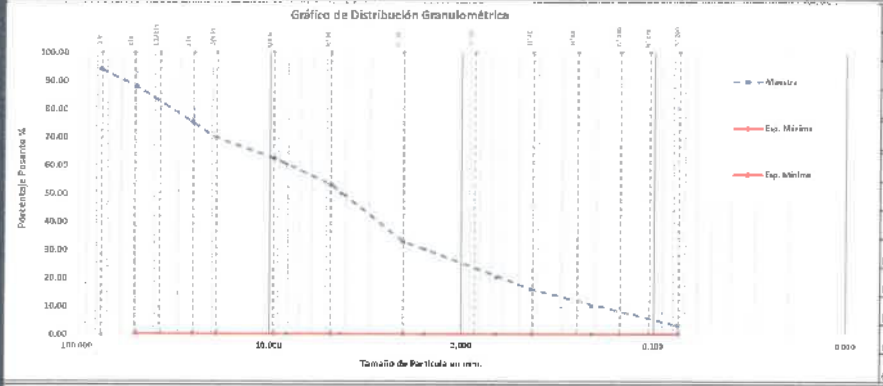
PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MASAS
Masa Seca Fracción Gruesa Retenida en Tamiz 3/4 in	g	20,960.00
Masa Seca Fracción Fina Retenida en Tamiz N° 04	g	11,443.00
Masa Seca Fracción Fina Pasante en Tamiz N° 04	g	36,542.00
Masa Seca Total	g	68,945.00

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Tamaño Máximo de la Muestra	in	4.00
Tamaño Máximo Nominal de la Muestra	in	3.00
Masa Fracción Fina a Ensayar	g	1,936.00
Tipo de Procedimiento	—	—

Tamiz de Diámetro Ø Bfn			Masas Secas Retenidas				ESPECIFICACIÓN		Tolerancias %
Abertura en (Pulg.)	Abertura en (mm.)	Certificado de Calibración	Masa Retenida (g.)	Factor de Tamizado	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)	Mínimo Pasante %	Máximo Pasante %	
3 in	75.000	TC-06362-2025	4,156.00	0.001450	6.03	6.03	93.97	—	—	
2 in	50.000	TC-06363-2025	3,984.00	0.001450	5.78	11.81	88.19	—	—	
1 1/2 in	37.500	TC-06364-2025	4,659.00	0.001450	6.76	18.55	81.44	—	—	
1 in	25.000	TC-06365-2025	4,036.00	0.001450	5.85	24.42	75.58	—	—	
3/4 in	19.000	TC-06366-2025	4,125.00	0.001450	5.98	30.40	69.60	—	—	
1/2 in	12.700	TC-06367-2025	5,432.00	0.001450	7.88	38.28	61.72	—	—	
3/8 in	9.500	TC-06368-2025	4,585.00	0.001450	7.23	37.63	62.37	—	—	
N° 04	4.750	TC-06370-2025	6,458.00	0.001450	9.37	47.00	53.00	—	—	
N° 10	2.000	TC-06377-2025	698.00	0.028884	20.16	67.16	32.84	—	—	
N° 20	0.850	TC-06375-2025	345.00	0.028884	9.96	77.12	22.88	—	—	
N° 40	0.425	TC-06377-2025	246.00	0.028884	7.11	84.23	15.77	—	—	
N° 60	0.250	TC-06378-2025	112.00	0.028884	3.23	87.46	12.54	—	—	
N° 140	0.106	TC-06382-2025	150.00	0.028884	4.33	91.80	8.20	—	—	
N° 200	0.075	TC-06383-2025	176.00	0.028884	5.14	96.94	3.06	—	—	
< N° 200	—	—	106.00	0.028884	3.06	100.00	0.00	—	—	



Porcentaje de Sobretamaño (%)	6.03
Porcentaje de Grava (%)	41.0
Porcentaje de Arena (%)	49.9
Porcentaje de Finos (%)	3.1
Especificación Granulométrica	—

Diámetro Efectivos	
Diámetro Efectivo 10 (D_{10})	0.21
Diámetro Efectivo 20 (D_{20})	0.66
Diámetro Efectivo 30 (D_{30})	1.55
Diámetro Efectivo 50 (D_{50})	4.25
Diámetro Efectivo 60 (D_{60})	8.18
Coef. De Uniformidad (Cu)	38.95
Coef. De Curvatura (Cc)	1.40

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACION

Ing. Cesar Pecho Fernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46633

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotecnia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D2216-19, MTC E 108, NTP 339.127

HOJA 03 DE 06

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: — — CONTRATO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: MARISCAL NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACION DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N° E-02 — PROFUNDIDAD: 4.80 m — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-01 — COORDENADA N: 8098294.793 — COORDENADA E: 288713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 5/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 8/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

SELECCION DE METODO DE ENSAYO

Método A (± 1%): [ ] — Método B (± 0.1%): [X]

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico: [X] — Temperatura de Secado: 110 °C — Suelo Granular: [X] — Suelo Fino: [ ]

Certificado de Calibración N°: TC-05355-2025 — Código de Equipo: AP-17038-LAB

DATOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	1.02	2.00		
Masa de Recipiente	g	—	—		
Masa de Suelo Humedo + Recipiente	g	645.50	748.50		
Masa de Suelo Seco + Recipiente	g	628.85	726.85		
Masa del Agua	g	16.65	21.65		
Masa de Suelo Seco	g	628.85	726.85		
Contenido de Humedad en el Suelo	%	2.63	2.98		

Resultado Contenido de Humedad en la Muestra: 2.80 %

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACION

Ing. Cesar Pedro Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., además carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotécnica y Construcción GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP CORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	27/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D4318-17^{e1}, AASTHO T 89, AASTHO T 90, MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129

HOJA 01 DE 08

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — COTIZACIÓN N°: — CONTRATO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-02 — PROFUNDIDAD: 4.00 m — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-01 — COORDENADA N: 8098294.783 — COORDENADA E: 299713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 5/05/2026 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2026 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2026 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2026

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Secado al Aire		Agua Destilada para Mezcla	X	Mezclado de Partículas de Arena Removidas en Cápsula	X
Secado al Horno		Agua Desmineralizada para Mezcla		Lavado de Muestra por Tamiz N° 40	
Humedecida 24h	X	Otro Tipo de Agua		Tamizado en Seco de Muestra por Tamiz N° 40	

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE MATERIAL

Normas: ASTM D4318-17e1, AASTHO T 89, MTC E 110, NTP 339.129

DATOS DE EQUIPO EMPLEADO

Equipo Manual: X — Equipo Motorizado: — Ranurador Metálico: — Ranurador Plástico: X

Certificado de Calibración N°: TC-07166-2025 — Código de Equipo: AP-16029-LAB

Método Multipunto

Descripción	Unidad	Punto N° 01	Punto N° 02	Punto N° 03
Número de Cápsula	Nro.	6	14	25
Número de Golpes	Nro.	32	25	15
Temperatura Ambiente	°C	22.90	22.50	22.90
Suelo Humedo + Masa de Capsula	g	93.67	88.45	80.10
Suelo Seco + Masa de Cápsula	g	78.15	84.15	75.48
Temperatura de Secado	°C	110	110	110
Masa del Agua Contenida	g	5.52	4.3	4.62
Masa de la Cápsula	g	51.3	49	50.1
Masa del Suelo Seco	g	26.85	18.56	17.58
Contenido de Humedad	%	20.56	23.19	26.28

Método del Unipunto

Descripción	Unidad	Punto N° 01
Número de Cápsula	Nro.	
Número de Golpes	Nro.	
Temperatura Ambiente	°C	
Suelo Humedo + Masa de Capsula	g	
Suelo Seco + Masa de Cápsula	g	
Temperatura de Secado	°C	
Masa del Agua Contenida	g	
Masa de la Cápsula	g	
Masa del Suelo Seco	g	
Contenido de Humedad	%	

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE SUELOS

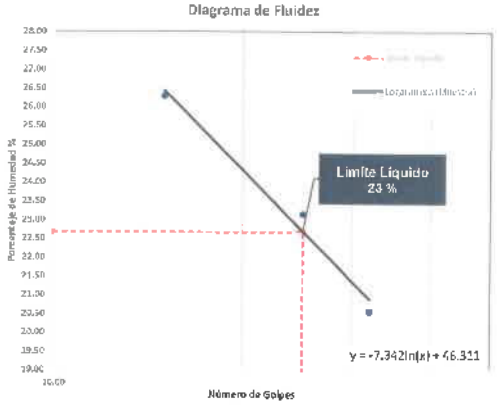
Normas: ASTM D4318-17e1, AASTHO T 90, MTC E 111, NTP 339.129

Descripción	Unidad	Punto N° 01	Punto N° 02
Número de Cápsula	Nro.	1	8
Temperatura Ambiente	°C	22.50	22.50
Suelo Humedo + Masa de Capsula	g	45.36	48.15
Suelo Seco + Masa de Cápsula	g	40.15	37.85
Temperatura de Secado	°C	110	110
Masa del Agua Contenida	g	5.21	5.3
Masa de la Cápsula	g	15.19	14.22
Masa del Suelo Seco	g	24.96	23.63
Contenido de Humedad	%	20.87	22.43

RESULTADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RESULTADOS
Límite Líquido del Suelo (LL)	%	23
Límite Plástico del Suelo (LP)	%	22
Indice de Plasticidad del Suelo (IP)	%	1
Indice de Liquidez (IL)	—	
Interpretación del Indice de Liquidez (IL)	—	

Diagrama de Fluidez



OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Sonar Pecho Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	SALES SOLUBLES EN AGREGADOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SALES SOLUBLES EN AGREGADOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D1888, MTC E 219, NTP 339.177

HOJA 05 DE 08

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: — CONTRATO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACION DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: EL SOLICITANTE CALICATA N°: C-01 ESTRATO N°: E-02 PROFUNDIDAD: 4.50 m TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO NÚMERO DE MUESTRA: M-01 COORDENADA N: 8098284.78 COORDENADA E: 295713.728 ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 5/05/2025 FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 FECHA DE ENSAYO: 9/05/2026 FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2026

PROGRESIVA DE MUESTREO: — TRAMO EVALUADO: — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico: X | Temperatura de Secado: 110 °C | Suelo Granular: X | Suelo Fino:

Certificado de Calibración N°: TC-06355-2025 | Código de Equipo: AP-17038-LAB

DATOS DE ENSAYO CONTENIDO DE SALES EN AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	1.00	2.00		
Masa del Recipiente	g	50.25	51.98		
Masa de Recipiente + Agua + Sal	g	162.25	155.24		
Masa de Recipiente + Sal	g	50.31	52.06		
Masa de Sal Contenida	g	0.06	0.08		
Masa de Agua	g	111.94	103.18		
Porcentaje de Sal Contenido	%	0.05	0.08		
Contenido de Sales	ppm	586	775		

Resultado Porcentaje de Sales en la Muestra: 0.07 %

Resultado Contenido de Sales en la Muestra: 656 ppm

DATOS DE ENSAYO CONTENIDO DE SALES EN AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	3.00	4.00		
Masa del Recipiente	g	49.85	47.84		
Masa de Recipiente + Agua + Sal	g	165.25	168.25		
Masa de Recipiente + Sal	g	49.94	47.98		
Masa de Sal Contenida	g	0.09	0.14		
Masa de Agua	g	115.31	120.27		
Porcentaje de Sal Contenido	%	0.08	0.10		
Contenido de Sales	ppm	781	998		

Resultado Contenido de Sales en la Muestra: 0.09 %

Resultado Contenido de Sales en la Muestra: 889 ppm

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46628

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de validez sin las firmas de validación.

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	ENSAYOS QUIMICOS DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

ENSAYOS QUIMICOS DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-166-2025

HOJA 06 DE 08

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: — — CONTRATO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: MARISCAL NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-02 — PROFUNDIDAD: 4.00 m — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NUMERO DE MUESTRA: M-01 — COORDENADA N: 8098294.793 — COORDENADA E: 298713.726 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 8/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 8/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico: X — Temperatura de Secado: 110 °C — Suelo Granular: X — Suelo Fino: ( )

Certificado de Calibración N°: TC-06353-2025 — Código de Equipo: AP-17056-LAB

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CLORUROS

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	9.00	10.00		
Masa del Recipiente	g	184.25	142.36		
Masa del Recipiente + Agua + Cloruros	g	289.69	249.88		
Masa del Recipiente Seco + Cloruros	g	184.32	142.43		
Masa de Contenido de Cloruros	g	0.07	0.07		
Masa de Agua	g	105.37	107.45		
Porcentaje de Cloruros Contenido	%	0.07	0.07		
Contenido de Sales	ppm	664	651		

Resultado Porcentaje de Cloruros en la Muestra: 0.07 %

Resultado Contenido de Cloruros en la Muestra: 658 ppm

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE SULFATOS

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	11.00	12.00		
Masa del Recipiente	g	175.15	168.55		
Masa del Recipiente + Agua + Sulfatos	g	346.95	318.52		
Masa del Recipiente Seco + Sulfatos	g	175.27	169.05		
Masa de Contenido de Sulfatos	g	0.12	0.10		
Masa de Agua	g	171.68	149.47		
Porcentaje de Sulfatos Contenido	%	0.07	0.07		
Contenido de Sulfatos	ppm	699	609		

Resultado Contenido de Sulfatos en la Muestra: 0.07 %

Resultado Contenido de Sulfatos en la Muestra: 664 ppm

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Pedie Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las Firmas de validación

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

MÉTODO DE CLASIFICACIÓN S.U.C.S.

Norma: NTP 339.134

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

HOJA 07 DE 08

INFORMACIÓN GENERAL

Proyecto: ESTUDIO DE SUELOS

Solicitante: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: — CONTRATO N°: —

Contacto: — Teléfono: — Departamento: MOQUEGUA Provincia: MARISCAL NIETO Distrito: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

CALICATA N°: C-01 Profundidad: 4.00 m Estrato N°: E-02 Zona de Muestreo: 4.00 m Tipo de Material: GRANULAR

Prog. Muestreo: CANTERA SOLANGE AR Tramo Evaluado: — Coordenadas E: 289713.728 Coordenada N: 8058294.8

Elevación m.s.n.m.: — Requisito y/o Especificación del Solicitante: — Fecha de Ensayo: 9/05/2025

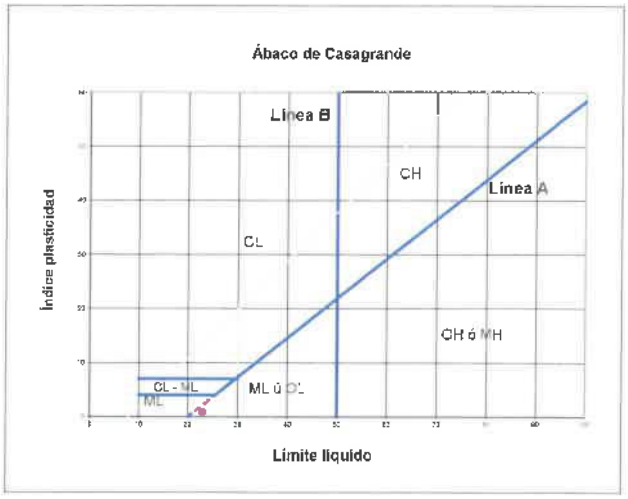
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
Diámetro 10 (D_{10})	%	0.210
Diámetro 30 (D_{30})	%	1.550
Diámetro 60 (D_{60})	%	8.180
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	%	38.95
Coeficiente de Curvatura (Cc)	%	1.40
Pasante Malla N° 04	%	45.12
Pasante Malla N° 200	%	2.61
Límite Líquido	%	23.00
Límite Plástico	%	22.00
Indice de Plasticidad	%	1.00

CLASIFICACIÓN DEL SUELO MÉTODO S.U.C.S.

GW

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Grava bien graduada con arena con bloques



OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 466[illegible]

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación.

MÉTODO DE CLASIFICACIÓN AASHTO

REGISTRO DE LABORATORIO Nro.
AP-REG-LS-165-2025
HOJA 08 DE 08

INFORMACIÓN GENERAL

Proyecto: ESTUDIO DE SUELOS

Solicitante: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: — CONTRATO N°: —

Contacto: — Teléfono: — Departamento: MOQUEGUA Provincia: MARISCAL NIETO Distrito: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Calicata: C-01 Profundidad: 4.00 m Estrato N°: E-02 Zona de Muestreo: — Tipo de Material: GRANULAR

Prog. Muestreo: CANTERA SOLANGE AR Tramo Evaluado: — Coordenadas E: 295713.728 Coordenada N: 8098294.8

Elevación m.s.n.m.: — Requisito y/o Especificación del Solicitante: — Fecha de Ensayo: 9/05/2025

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
Pasante Malla N° 10	%	27.96
Pasante Malla N° 40	%	13.43
Pasante Malla N° 200	%	2.61
Límite Líquido	%	23.00
Límite Plástico	%	22.00
Indice de Plasticidad	%	1.00

Valor de Indice de Grupo	0

CLASIFICACIÓN DEL SUELO MÉTODO AASHTO

A-1-a (0)

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Excelente a bueno como subgrado
Fragmentos de roca, grava y arena

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación.

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

E-03

INFORME DE LABORATORIO DE SUELOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

DIVISIÓN DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-158-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8088294.793 — COORDENADA E: 288713.73 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 5/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 6/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

INFORME

Descripción de Ensayo	Normas	Resultados	Registro de Ensayo	Observación
DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE SUELOS POR TAMIZADO	Norma: ASTM D6913/6913M-17, ASTM D 422, AASHTO T-88, MTC E107, NTP 339.128	% Pasante: 3 in 91.13 %; 2 In 84.51 %; 1 1/2 In 76.69 %; 1 In 69.51 %; 3/4 in 60.65 %; 3/8 in 52.15 %; N° 04 39.95 %; % Pasante: N° 10 32.11 %; N° 20 24.74 %; N° 40 18.18 %; N° 60 14.56 %; N° 100 11.19 %; N° 140 7.09 %; N° 200 1.85 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 02 de 15	—
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS	Normas: ASTM D2216-19, MTC E 108, NTP 339.127	Porcentaje de Humedad = 2.68 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 03 de 15	—
LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	Normas: ASTM D4318-17e1, AASTHO T 89, AASTHO T 90, MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129	Limite Liquido = 22 %; Limite Plastico = NP; Indice de Plasticidad = NP	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 04 de 15	—
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZA Y MATERIA ORGÁNICA DE TURBAS Y OTROS SUELOS ORGÁNICOS	Normas: ASTM D2974	Contenido de Materia Orgánica = 0.22	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 05 de 15	—
DETERMINACION DEL VALOR DE pH EN SUELOS Y AGUA SUBTERRANEA	Normas: ASTM D 4972, MTC E 129, NTP 339.176	LECTURA DE pH PROMEDIO: = 7.085	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 06 de 15	—
SALES SOLUBLES EN AGREGADOS	Normas: ASTM D1888, MTC E 219, NTP 339.177	Contenido de sales Agregado Grueso = 0.07 %; Contenido de Sales Agregado Fino = 0.08 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 07 de 15	—
ENSAYOS QUIMICOS DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS	Normas: ASTM D1888, MTC E 219, NTP 339.177	Contenido de Cloruros = 0.06 %; Contenido de Sulfatos = 0.04 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 08 de 15	—
METODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y AGREGADOS MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA	Normas: ASTM C127, ASTM D854, AASTHO T-85, AASTHO T-100, , MTC E 113, MTC E 206, NTP 339.131, NTP 400.021	Gravedad Especifica = 2.576 g/cm3; Porcentaje de Absorción = 1.267 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 09 de 15	—
DENSIDAD NATURAL DEL SUELO METODO CONO DE ARENA	Normas: ASTM D 1556, MTC E 117	Densidad Natural Seca 1.657 gr/cm3	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 10 de 15	—
METODO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	ASTM D 2487	GW Grava bien graduada con arena	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 11 de 15	—
METODO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO	—	A - 1 - a(0) Excelente a bueno como subgrado Fragmentos de roca, grava y arena	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 12 de 15	—
ENSAYO DE CORTE DIRECTO RESIDUAL	Normas: ASTM D 3080	Ángulo de Fricción Interna 37.58°; Cohesión 0.04 %	AP-REG-LS-165-2025 Hoja 15 de 15	—

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 466.29

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	Codigo de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE SUELOS POR TAMIZADO	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE SUELOS POR TAMIZADO

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Norma: ASTM D6913/6913M-17, ASTM D 422, AASHTO T-88, MTC E107, NTP 339.128

HOJA 02 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: --- — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: ---

CONTACTO: --- — TELÉFONO: --- — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8098294.783 — COORDENADA E: 299713.728 — ALTITUD: ---

FECHA DE MUESTREO: 8/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 9/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: --- — TRAMO EVALUADO: --- — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: ---

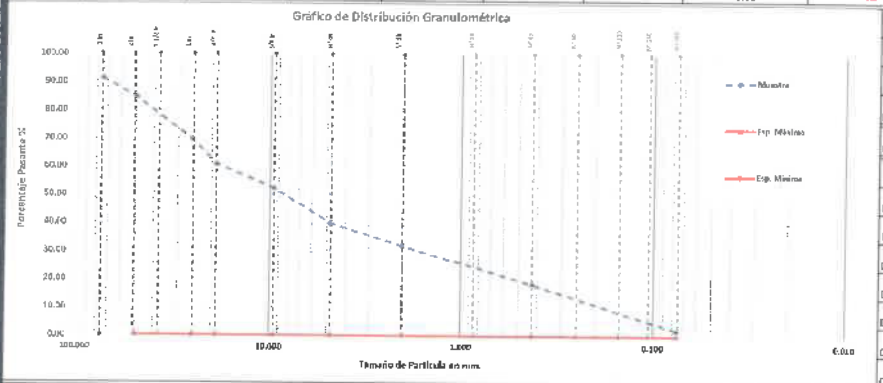
DATOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MASAS
Masa Seca Fracción Gruesa Retenida en Tamiz 3/4 in	g	27,312.00
Masa Seca Fracción Fina Retenida en Tamiz N° 04	g	14,362.00
Masa Seca Fracción Fina Pasante en Tamiz N° 04	g	27,726.00
Masa Seca Total	g	69,400.00

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Tamaño Máximo de la Muestra	in	1.00
Tamaño Máximo Nominal de la Muestra	in	---
Masa Fracción Fina a Ensayar	g	1,074.70
Tipo de Procedimiento	---	---

Tamiz de Diámetro Ø 8 in

Abertura en (Pulg.)	Abertura en (mm.)	Certificado de Calibración	Masas Secas Retenidas: Masa Retenida (g.)	Factor de Tamizado	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)	ESPECIFICACIÓN: Mínimo Pasante %	ESPECIFICACIÓN: Máximo Pasante %	Tolerancias %
3 in	75.000	TC-07207-2024	6,158.00	0.001441	8.87	8.87	91.13	---	---	
2 in	50.000	TC-07205-2024	4,589.00	0.001441	6.61	15.49	84.51	---	---	
1 1/2 in	37.500	TC-07189-2024	5,428.00	0.001441	7.82	23.31	76.69	---	---	
1 in	25.000	TC-07188-2024	5,085.00	0.001441	7.18	30.49	69.51	---	---	
3/4 in	19.000	TC-07187-2024	6,152.00	0.001441	8.86	39.35	60.65	---	---	
3/8 in	9.500	TC-07191-2024	5,894.00	0.001441	8.49	47.85	52.15	---	---	
N° 04	4.750	TC-07216-2024	8,468.00	0.001441	12.20	60.05	39.95	---	---	
N° 10	2.000	TC-07214-2024	210.80	0.037174	7.84	67.89	32.11	---	---	
N° 20	0.850	TC-07210-2024	198.40	0.037174	7.38	75.26	24.74	---	---	
N° 40	0.425	TC-07206-2024	176.50	0.037174	6.56	81.82	18.18	---	---	
N° 60	0.250	TC-06379-2024	97.20	0.037174	3.61	85.44	14.56	---	---	
N° 100	0.150	TC-07186-2024	90.80	0.037174	3.38	88.81	11.19	---	---	
N° 140	0.106	TC-07168-2024	110.20	0.037174	4.10	92.91	7.09	---	---	
N° 200	0.075	TC-07167-2024	140.80	0.037174	5.23	98.14	1.86	---	---	
< N° 200	---	---	50.00	0.037174	1.86	100.00	0.00	---	---	



Porcentaje de Sobretamaño (%)	8.9
Porcentaje de Grava (%)	51.2
Porcentaje de Arena (%)	38.1
Porcentaje de Finos (%)	1.9
Especificación Granulométrica	---

Diámetros Efectivos	
Diámetro Efectivo 10 (D_{10})	0.14
Diámetro Efectivo 20 (D_{20})	0.54
Diámetro Efectivo 30 (D_{30})	1.67
Diámetro Efectivo 50 (D_{50})	8.66
Diámetro Efectivo 60 (D_{60})	18.28
Coef. De Uniformidad (Cu)	133.20
Coef. De Curvatura (Cc)	1.11

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería General y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/03/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D2216-19, MTC E 108, NTP 339.127

HOJA 01 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-186-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8058294.793 — COORDENADA E: 288713.726 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/06/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

SELECCIÓN DE METODO DE ENSAYO

Método A (± 1%): | Método B (± 0.1%): X

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico: X — Temperatura de Secado: 110 °C — Suelo Granular: X — Suelo Fino:

Certificado de Calibración N°: TC-07184-2024 — Código de Equipo: AP-17038-LAB

DATOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	11.00			
Masa de Recipiente	g	—			
Masa de Suelo Humedo + Recipiente	g	846.75			
Masa de Suelo Seco + Recipiente	g	824.15			
Masa del Agua	g	22.10			
Masa de Suelo Seco	g	824.15			
Contenido de Humedad en el Suelo	%	2.68			

Resultado Contenido de Humedad en la Muestra: 2.68 %

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Peche Hernández
FISP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-QP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D4318-17^{e1}, AASTHO T 89, AASTHO T 90, MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129

HOJA 04 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 1.20 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-01 — COORDENADA N: 8068294.793 — COORDENADA E: 299713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Secado al Aire		Agua Destilada para Mezcla	X	Mezclado de Partículas de Arena Removidas en Cápsula	X
Secado al Horno		Agua Desmineralizada para Mezcla		Lavado de Muestra por Tamiz N° 40	
Humedecida 24h	X	Otro Tipo de Agua		Tamizado en Seco de Muestra por Tamiz N° 40	

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LIQUIDO DE MATERIAL

Normas: ASTM D4318-17e1, AASTHO T 89, MTC E 110, NTP 339.129

DATOS DE EQUIPO EMPLEADO

Equipo Manual	Equipo Motorizado	Ranurador Metálico	Ranurador Plástico
X			X

Certificado de Calibración N°: TC-07166-2024 — Código de Equipo: AP-16025-LAB

Método Multipunto

Descripción	Unidad	Punto N° 01	Punto N° 02	Punto N° 03
Número de Cápsula	Nro.	11	13	15
Número de Golpes	Nro.	15	25	34
Temperatura Ambiente	°C	24.50	24.50	24.50
Suelo Humedo + Masa de Capsula	g	59.89	62.65	62.88
Suelo Seco + Masa de Cápsula	g	56.25	57.86	59.05
Temperatura de Secado	°C	110	110	110
Masa del Agua Contenida	g	3.64	4.19	3.83
Masa de la Cápsula	g	40.15	38.78	40.89
Masa del Suelo Seco	g	16.1	19.08	18.16
Contenido de Humedad	%	22.61	21.96	21.09

Método del Unipunto

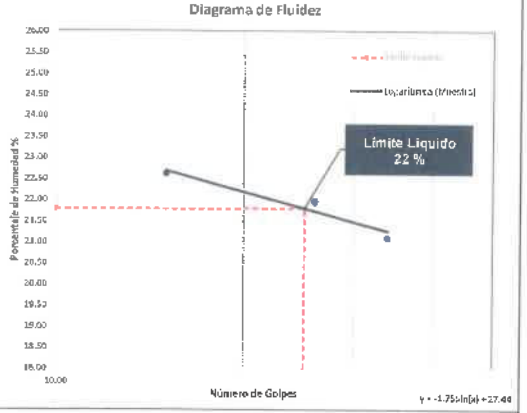
Descripción	Unidad	Punto N° 01
Número de Cápsula	Nro.	
Número de Golpes	Nro.	
Temperatura Ambiente	°C	
Suelo Humedo + Masa de Capsula	g	
Suelo Seco + Masa de Cápsula	g	
Temperatura de Secado	°C	
Masa del Agua Contenida	g	
Masa de la Cápsula	g	
Masa del Suelo Seco	g	
Contenido de Humedad	%	

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE SUELOS

Normas: ASTM D4318-17e1, AASTHO T 90, MTC E 111, NTP 339.129

Descripción	Unidad	Punto N° 01	Punto N° 02
Número de Cápsula	Nro.		
Temperatura Ambiente	°C		
Suelo Humedo + Masa de Capsula	g		
Suelo Seco + Masa de Cápsula	g		
Temperatura de Secado	°C		
Masa del Agua Contenida	g		
Masa de la Cápsula	g		
Masa del Suelo Seco	g		
Contenido de Humedad	%		

Diagrama de Fluidez



RESULTADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RESULTADOS
Limite Liquido del Suelo (LL)	%	22
Limite Plástico del Suelo (LP)	%	NP
Indice de Plasticidad del Suelo (IP)	%	NP
Indice de Liquidez (IL)	—	0.12
Interpretación del Indice de Liquidez (IL)	—	Estado Plastico

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotecnia y Construcción GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	Codigo de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Version de Documento:	01
	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZA Y MATERIA ORGÁNICA DE TURBAS Y OTROS SUELOS ORGÁNICOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Paginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZA Y MATERIA ORGÁNICA DE TURBAS Y OTROS SUELOS ORGÁNICOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D2974

HOJA 05 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8096294.793 — COORDENADA E: 296713.726 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/5/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2026 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico	X	Temperatura de Secado	441 °C	Suelo Granular	X	Suelo Fino	

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	1.00			
Masa de Recipiente	g	0.00			
Masa de Suelo Humedo + Recipiente	g	993.80			
Masa de Suelo Seco + Recipiente	g	987.80			
Masa del Agua	g	6.00			
Masa de Suelo Seco	g	987.80			
Contenido de Humedad en el Suelo	%	0.61			
Promedio de Contenido de Humedad	%	0.61			

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	T-14			
Masa de Recipiente	g	81.85			
Masa de Suelo Seco + Recipiente	g	146.25			
Temperatura de Horno Mufla	°C	441.00			
Fecha de Ingreso a Horno	dd/mm/yy	9/05/2025			
Hora de Ingreso a Horno	hh:mm:ss	08:24:00			
1er. Registro: Masa Ceniza + Recipiente	g	146.17			
Fecha de Ingreso a Horno	dd/mm/yy	9/05/2025			
Hora de Ingreso a Horno	hh:mm:ss	12:40:00			
2do. Registro: Masa Ceniza + Recipiente	g	146.11			
Fecha de Ingreso a Horno	dd/mm/yy	9/05/2025			
Hora de Ingreso a Horno	hh:mm:ss	15:15:00			
Masa de Suelo Seco	g	64.40			
Masa de Ceniza	g	64.26			
Contenido de Ceniza	%	99.78			
Contenido de Materia Orgánica	%	0.22			

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACION

Ing. Cesar Pecho Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotecnia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DETERMINACION DEL VALOR DE pH EN SUELOS Y AGUA SUBTERRANEA	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DETERMINACION DEL VALOR DE pH EN SUELOS Y AGUA SUBTERRANEA

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Norma: ASTM D 4792, MTC E 129, NTP 339.176

HOJA 06 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. MISTI — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8096294.76 — COORDENADA E: 299713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

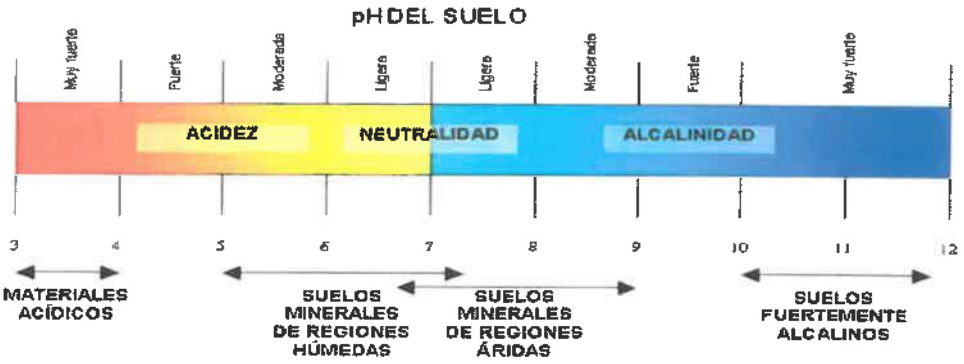
LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DEL EQUIPO UTILIZADO

Equipo Utilizado: POTENCIOMETRO pH — Código de Equipo: AP-17058-LAB

DATOS DE ENSAYO VALOR pH EN SUELOS Y AGUA SUBTERRANEA

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	1.00	3.00		
Masa del Recipiente	g	114.25	116.52		
Masa de Recipiente + Suelo	g	146.11	148.08		
Masa del Suelo	g	31.86	31.18		
Masa del Agua Destilada	g	70.00	70.00		
Masa de Recipiento + Suelo + Agua Destilada	g	216.24	217.70		
Lectura pH	Und.	7.06	7.11		



LECTURA DE pH PROMEDIO: **7**

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Peche Hernandez
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 : 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotecnia y Construcción GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP CORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	SALES SOLUBLES EN AGREGADOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

SALES SOLUBLES EN AGREGADOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D1888, MTC E 219, NTP 339.177

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: M. NIETO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE CALICATA N°: C-01 ESTRATO N°: E-03 PROFUNDIDAD: 4.00 m. TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO NÚMERO DE MUESTRA: M-02 COORDENADA N: 8098294.785 COORDENADA E: 298713.729 ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — TRAMO EVALUADO: — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico: X Temperatura de Secado: 110 °C Suelo Granular: X Suelo Fino:

Certificado de Calibración N°: TC-07184-2024 Código de Equipo: AP-17038-LAB

DATOS DE ENSAYO CONTENIDO DE SALES EN AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	12.00			
Masa del Recipiente	g	136.32			
Masa de Recipiente + Agua + Sal	g	235.26			
Masa de Recipiente + Sal	g	136.39			
Masa de Sal Contenida	g	0.07			
Masa de Agua	g	98.87			
Porcentaje de Sal Contenida	%	0.07			
Contenido de Sales	ppm	708			

Resultado Porcentaje de Sales en la Muestra: 0.07 %

Resultado Contenido de Sales en la Muestra: 708 ppm

DATOS DE ENSAYO CONTENIDO DE SALES EN AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	13.00			
Masa del Recipiente	g	135.25			
Masa de Recipiente + Agua + Sal	g	223.50			
Masa de Recipiente + Sal	g	135.33			
Masa de Sal Contenida	g	0.07			
Masa de Agua	g	88.17			
Porcentaje de Sal Contenida	%	0.08			
Contenido de Sales	ppm	793			

Resultado Contenido de Sales en la Muestra: 0.08 %

Resultado Contenido de Sales en la Muestra: 793 ppm

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Pecho Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46628

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería, Geotecnia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	ENSAYOS QUIMICOS DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

ENSAYOS QUIMICOS DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-185-2025

HOJA 08 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-168-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8086284.793 — COORDENADA E: 299713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DATOS DE EQUIPO DE SECADO EMPLEADO

Horno Eléctrico: X — Temperatura de Secado: 110 °C — Suelo Granular: X — Suelo Fino: ☐

Certificado de Calibración N°: TC-07184-2024 — Código de Equipo: AP-17035-LAB

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CLORUROS

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	13.00	14.00		
Masa del Recipiente	g	135.26	138.52		
Masa del Recipiente + Agua + Cloruros	g	254.25	253.25		
Masa del Recipiente Seco + Cloruros	g	135.31	138.61		
Masa de Contenido de Cloruros	g	0.05	0.09		
Masa de Agua	g	118.94	114.64		
Porcentaje de Cloruros Contenido	%	0.04	0.08		
Contenido de Sales	ppm	420	785		

Resultado Porcentaje de Cloruros en la Muestra: 0.06 %

Resultado Contenido de Cloruros en la Muestra: 603 ppm

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE SULFATOS

DESCRIPCIÓN	Unidad	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Número de Recipiente	Nro.	32.00	28.00		
Masa del Recipiente	g	132.52	132.66		
Masa del Recipiente + Agua + Sulfatos	g	256.25	254.25		
Masa del Recipiente Seco + Sulfatos	g	132.58	132.71		
Masa de Contenido de Sulfatos	g	0.06	0.05		
Masa de Agua	g	123.67	121.54		
Porcentaje de Sulfatos Contenido	%	0.05	0.04		
Contenido de Sulfatos	ppm	469	411		

Resultado Contenido de Sulfatos en la Muestra: 0.04 %

Resultado Contenido de Sulfatos en la Muestra: 440 ppm

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Pecho Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin los sellos de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería, Gerencia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/06/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	METODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y AGREGADOS MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y AGREGADOS MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM C127, ASTM D854, AASTHO T-85, AASTHO T-100, , MTC E 113, MTC E 205, NTP 339.131, NTP 400.021

HOJA 09 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8092294.793 — COORDENADA E: 299713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

PROGRESIVA DE MUESTREO: — — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Normas: ASTM C127, AASTHO T-85, MTC E 206, NTP 400.021

PREPARACION DE LA MUESTRA

Porcentaje de Fracción de Sobretamaño: 39.35 % — Porcentaje de Fracción de Ensayo: 60.65 % — Clasificación S.U.C.S: GW

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA > 3/4 in			3/4 in > MUESTRA > # 04		
		PUNTO 01	PUNTO 02	PROMEDIO	PUNTO 01	PUNTO 02	PROMEDIO
Temperatura de Agua de Ensayo	°C				23.20	23.40	
Masa de Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire	g				5000.00	5000.00	
Masa de Muestra Saturada Superficialmente Seca en Agua	g				3033.25	3032.50	
Volumen de Masa + Volumen de Vacios	cm^3				1,966.75	1,967.50	
Masa de Material Seco en Estufa a 110°C (24 Horas)	g				4931.25	4928.52	
Volumen de Masa	cm^3				1,898.00	1,896.02	
Gravedad Específica BULK Base Seca	g/cm^3				2.507	2.505	2.506
Gravedad Específica BULK Base Saturada	g/cm^3				2.542	2.541	2.542
Gravedad Específica Aparente Base Seca	g/cm^3				2.598	2.599	2.599
Capacidad de Absorción	%				1.394	1.456	1.422
Porosidad del Agregado	%				3.622	3.770	3.696

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DEL PIGNÓMETRO

Normas: ASTM D854, AASTHO T-100, MTC E 113, NTP 339.131

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Método de Ensayo a Aplicar: A — Muestra Saturada: SI — Tamaño Máx. de Partículas Consideradas:

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PUNTO 01	PUNTO 2	PUNTO 3	PROMEDIO
N° de Picnómetro	N°	1.00	2.00	3.00	
Masa de Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire	g	500.00	500.00	500.00	
Masa de Picnómetro + Agua	g	693.05	652.90	655.69	
Masa de Pignómetro + Agua + Muestra	g	1158.05	1152.90	1155.69	
Masa de Muestra + Agua en el Picnómetro	g	955.39	954.28	956.16	
Volumen de Masa + Volumen de Vacios	cm^3	199.16	198.62	199.53	
Masa de Material Seco en Estufa a 110°C (24 Horas)	g	495.25	496.02	494.25	
Volumen de Masa	cm^3	192.41	194.64	193.78	
Gravedad Específica BULK Base Seca	g/cm^3	2.477	2.497	2.477	2.484
Gravedad Específica BULK Base Saturada	g/cm^3	2.511	2.517	2.506	2.511
Gravedad Específica Aparente Base Saturada	g/cm^3	2.564	2.548	2.551	2.554
Capacidad de Absorción	%	1.368	0.802	1.163	1.111
Porosidad del Agregado	%	3.508	2.045	2.967	2.840

Peso Específico Aparente Promedio (Gs)	2.576 gr/cm^3	Porcentaje de Absorción Promedio	1.267 %

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Gerencia y Construcción GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-CP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DENSIDAD NATURAL DEL SUELO METODO CONO DE ARENA	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DENSIDAD NATURAL DEL SUELO METODO CONO DE ARENA

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D 1556, MTC E 117

HOJA 10 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: --- COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 ORDEN DE SERVICIO N°: ---

CONTACTO: --- TELÉFONO: --- DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: M. NIETO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE CALICATA N°: C-01 ESTRATO N°: E-03 PROFUNDIDAD: 4.00 m. TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO NÚMERO DE MUESTRA: M-02 COORDENADA N: 8068294.793 COORDENADA E: 299713.739 ALTITUD: ---

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR TRAMO EVALUADO: --- REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: ---

DATOS DE ENSAYO METODO CONO DE ARENA

Descripción	Unidad	Punto N° 01	Observaciones
Peso de la Arena + Frasco	gr.	8815.0	
Peso de la Arena Remanente + Frasco	gr.	3486.0	
Peso de la Arena Empleada	gr.	5329.0	
Peso de la Arena en el Cono y Placa	gr.	1570.0	
Peso de la Arena en el Hoyo	gr.	3759.0	
Densidad de la Arena	gr/cm3	1.443	
Volumen del Hoyo	cm3	2602.9	
Peso de la Muestra Extraida del Hoyo + Recipiente	gr.	4455.0	
Peso del Recipiente	gr.	0.0	
Peso de la Muestra Extraida del Hoyo	gr.	4455.0	
Densidad Natural Humeda	gr/cm3	1.712	
Porcentaje de Humedad Natural (Speedy)	%	2.7	
Densidad Natural Seca	gr/cm3	1.667	

DENSIDAD NATURAL SECA	1.667 gr/cm3

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACION

Ing. Cesar Poche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 166233

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotecnia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	METODO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

METODO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

HOJA 11 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-03 — COORDENADA N: 8068294.3 — COORDENADA E: 289713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
Diámetro 10 (D_{10})	%	0.137
Diámetro 30 (D_{30})	%	1.670
Diámetro 60 (D_{60})	%	18.278
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	%	133.20
Coeficiente de Curvatura (Cc)	%	1.11
Pasante Malla N° 04	%	38.95
Pasante Malla N° 200	%	1.86
Límite Líquido	%	21.78
Límite Plastico	%	NP
Indice de Plasticidad	%	NP

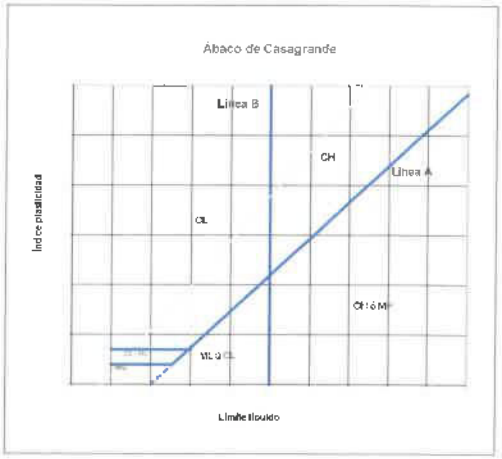
CLASIFICACIÓN DEL SUELO MÉTODO S.U.C.S.

GW



DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Grava bien graduada con arena



OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Pedro Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. Ingeniería Geotecnia y Construcción — GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	METODO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

METODO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°:

CONTACTO: — — TELÉFONO: — — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8098364.79 — COORDENADA E: 293713.723 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 8/05/2026 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
Pasante Malla N° 10	%	32.11
Pasante Malla N° 40	%	18.18
Pasante Malla N° 200	%	1.86
Límite Líquido	%	21.73
Límite Plástico	%	NP
Indice de Plasticidad	%	NP

Valor de Indice de Grupo	(0)

CLASIFICACIÓN DEL SUELO MÉTODO AASHTO

A - 1 - a

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Excelente a bueno como subgrado Fragmentos de roca, grava y arena

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Pérez Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 46623

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CODIGO QR

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE. (C-01).

APCOOR S.A.C. GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2024
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	ENSAYO DE CORTE DIRECTO RESIDUAL	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

ENSAYO DE CORTE DIRECTO RESIDUAL

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D 3080

HOJA 13 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: M. ILO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.60 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8082264.795 — COORDENADA E: 299713.725 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 8/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 13/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR — TRAMO EVALUADO: — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P-01	P-02	P-03
N° de Recipiente	Nro.	11	12	13
Peso de Recipiente	g	33.46	33.86	33.82
Peso de Recipiente + Suelo Húmedo	g	153.85	154.26	156.89
Peso de Recipiente + Suelo Seco	g	143.58	144.58	147.25
Peso del Agua	g	10.07	9.67	9.63
Porcentaje de Humedad	%	9.14	8.71	8.48

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P-01	P-02	P-03
N° de Recipiente	Nro.	14	15	17
Peso de Recipiente	g	33.02	33.10	33.61
Peso de Recipiente + Suelo Húmedo	g	186.26	155.86	184.86
Peso de Recipiente + Suelo Seco	g	142.60	142.70	142.06
Peso del Agua	g	13.67	13.15	12.80
Porcentaje de Humedad	%	12.48	12.00	11.85

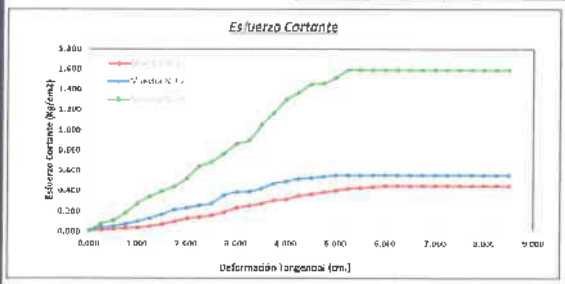
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y APLICACIÓN DE CARGAS

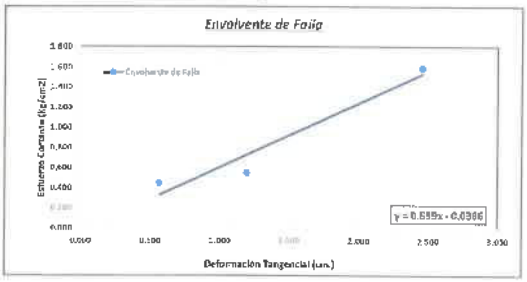
CARACTERISTICAS
Diámetro
5.08 cm.
Altura
2.11 cm.
Area
20.63 cm2
Volumen
43.43 cm3

APLICACIÓN DE CARGAS				
Descripción	Unidad	P-01	P-02	P-03
Velocidad de Carga	mm/min	0.750	0.750	0.750
Peso de la Semi Caja Superior	kg	1.410	1.410	1.410
Peso del Pistón de Carga	kg	0.220	0.220	0.220
Peso del Pistón de Soporte	kg	3.420	3.420	3.420
Peso de Placa Base de Pesas	kg	0.000	0.000	0.000
Valor de la Pesa	kg	5.000	5.000	7.000
Carga Normal		11.22	23.87	48.26

ESFUERZOS

TIPO DE ESFUERZO	P-01	P-02	P-03
Esfuerzo Normal	0.573	1.201	2.459
Esfuerzo Tangencial	0.446	0.950	1.982





Ángulo de Fricción 32.68°

Cohesión (Kg/cm2) 0.038

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Pedro Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 466[illegible]

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C. GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD FORMATO: DENSIDAD NATURAL DEL SUELO METODO CONO DE ARENA	Código de Documento: AP-OP-01-02 Fecha de Aprobación: 21/08/2021 Versión de Documento: 01 Estado de Documento: Vigente Cantidad de Páginas: 01 de 01

DENSIDAD NATURAL DEL SUELO METODO CONO DE ARENA

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

Normas: ASTM D 1556, MTC E 117

HOJA 14 DE 16

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA — R.U.C.: — COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-166-2025 — ORDEN DE SERVICIO N°: —

CONTACTO: — TELÉFONO: — DEPARTAMENTO: MOQUEGUA — PROVINCIA: M. NIETO — DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE — CALICATA N°: C-01 — ESTRATO N°: E-03 — PROFUNDIDAD: 4.00 m. — TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO — NÚMERO DE MUESTRA: M-02 — COORDENADA N: 8498294.793 — COORDENADA E: 295713.728 — ALTITUD: —

FECHA DE MUESTREO: 5/05/2025 — FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 — FECHA DE ENSAYO: 8/05/2025 — FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR — TRAMO EVALUADO: — — REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: —

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Tiempo		F. Corte			Ref. Cut.			Esf. Norm		
Seg	Min.	CD-01	CD-02	CD-03	CD-01	CD-02	CD-03	CD-01	CD-02	CD-03
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.572	1.201	2.459
60.00	1.00	0.20	0.65	1.40	0.010	0.023	0.075	0.572	1.201	2.459
120.00	2.00	0.40	0.65	2.00	0.020	0.043	0.102	0.572	1.201	2.459
180.00	3.00	0.55	1.30	3.40	0.028	0.065	0.173	0.572	1.201	2.459
240.00	4.00	0.60	1.80	5.30	0.031	0.092	0.270	0.572	1.201	2.459
300.00	5.00	0.85	2.40	6.60	0.043	0.122	0.336	0.572	1.201	2.459
360.00	6.00	1.30	3.20	7.70	0.066	0.162	0.392	0.572	1.201	2.459
420.00	7.00	1.30	4.10	8.50	0.092	0.209	0.436	0.572	1.201	2.459
480.00	8.00	2.40	4.00	10.30	0.122	0.224	0.529	0.572	1.201	2.459
540.00	9.00	2.70	4.90	12.60	0.136	0.559	0.637	0.572	1.201	2.459
600.00	10.00	3.00	5.30	13.40	0.152	0.270	0.693	0.572	1.201	2.459
660.00	11.00	3.60	6.80	15.00	0.183	0.352	0.795	0.572	1.201	2.459
720.00	12.00	4.51	7.50	16.80	0.230	0.382	0.881	0.572	1.201	2.459
780.00	13.00	4.85	7.60	17.60	0.247	0.387	0.857	0.572	1.201	2.459
840.00	14.00	5.30	8.20	20.50	0.270	0.418	1.049	0.572	1.201	2.459
900.00	15.00	5.90	9.20	22.90	0.301	0.469	1.167	0.572	1.201	2.459
960.00	16.00	6.10	9.60	25.40	0.311	0.489	1.298	0.572	1.201	2.459
1020.00	17.00	6.80	10.10	26.80	0.365	0.515	1.367	0.572	1.201	2.459
1080.00	18.00	7.10	10.35	28.50	0.362	0.525	1.452	0.572	1.201	2.459
1140.00	19.00	7.50	10.50	29.70	0.382	0.535	1.462	0.572	1.201	2.459
1200.00	20.00	7.80	10.90	29.80	0.397	0.555	1.518	0.572	1.201	2.459
1260.00	21.00	8.20	10.90	31.25	0.418	0.555	1.592	0.572	1.201	2.459
1320.00	22.00	8.35	10.80	31.25	0.428	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1380.00	23.00	8.65	10.80	31.25	0.436	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1440.00	24.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1500.00	25.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1560.00	26.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1620.00	27.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1680.00	28.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1740.00	29.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1800.00	30.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1860.00	31.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1920.00	32.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
1980.00	33.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459
2040.00	34.00	8.75	10.80	31.25	0.446	0.550	1.592	0.572	1.201	2.459

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Ing. Cesar Peche Hernández
ESP. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 466293

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015 EURO CERT

CÓDIGO QR

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

APCOOR S.A.C.	AyP COORPORACIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA	Código de Documento:	AP-OP-01-02
GENERANDO SOLUCIONES PARA USTED	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Fecha de Aprobación:	21/05/2021
	FORMATO:	Versión de Documento:	01
	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE UN SUELO	Estado de Documento:	Vigente
		Cantidad de Páginas:	01 de 01

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD NTP ISO/IEC 17025 - 2017

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE UN SUELO

REGISTRO DE LABORATORIO Nro. AP-REG-LS-165-2025

MÉTODO TERZAGHI

HOJA 15 DE 15

INFORMACIÓN GENERAL

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS

SOLICITANTE: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA R.U.C.: --- COTIZACIÓN Nro.: AP-COT-165-2025 ORDEN DE SERVICIO N°: ---

CONTACTO: --- TELÉFONO: --- DEPARTAMENTO: MOQUEGUA PROVINCIA: M. NIETO DISTRITO: MOQUEGUA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTREADO POR: POR EL SOLICITANTE CALICATA N°: C-01 ESTRATO N°: E-03 PROFUNDIDAD: 4.00 m. TIPO DE MATERIAL: GRANULAR

IDENTIFICACIÓN: SACO POLIPROPILENO NÚMERO DE MUESTRA: M-02 COORDENADA N: 8098284.783 COORDENADA E: 299713.728 ALTITUD: ---

FECHA DE MUESTREO: 6/05/2025 FECHA DE RECEPCIÓN: 6/05/2025 FECHA DE ENSAYO: 9/05/2025 FECHA DE VALIDACIÓN: 12/05/2025

LUGAR DE MUESTREO: CANTERA SOLANGE AR TRAMO EVALUADO: --- REQUISITO Y/O ESPECIFICACIÓN DEL SOLICITANTE: ---

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE UN SUELO

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DATOS
Profundidad de desplante para cimiento cuadrado y circular Df	m.	3.00
Profundidad de desplante para cimiento continuo Df	m.	2.00
Peso Volumetrico del Suelo, Gm. (Densidad Natural)	Ton/m3	1.957
Cohesión del suelo c	Ton/m2	0.059
Angulo de Fricción interna del Suelo Fi	Grados.	32.66
Ancho o Radio del cimiento cuadrado y circular, B ó R	m.	1.80
Ancho o Radio del cimiento continuo, B ó R	m.	1.60
Tipo de Suelo 1 - Arcillosa Firme, 2 - Arcillosa Blanda 3 - Arenoso		3.0
Factor de Seguridad, F.S.: 3.5 - 3.0 - 2.5		3.5

CALCULOS Y RESULTADOS

FACTORES DEPENDIENTES DEL ANGULO DE FRICCIÓN	
Método Aplicado 1	MÉTODO TERZAGHI
Factor de Cohesión, Nc =	21.67
Factor de Sobrecarga, Nq =	13.32
Factor de Peso, Ny =	6.08

CALCULO DE ASENTAMIENTOS - MÉTODO ELÁSTICO	
Relación de Poisson U =	0.25
Factor de Forma If =	1.20
Módulo de Elasticidad Es =	1500.00

LIMITE MAXIMO DE ASENTAMIENTO: 2.54 cm	
PROFUNDIDAD (m.)	ASENTAMIENTO (cm)
0.30 m.	0.51 cm.
0.60 m.	0.71 cm.
0.90 m.	0.90 cm.
1.20 m.	1.10 cm.
1.50 m.	1.30 cm.
1.80 m.	1.50 cm.
2.10 m.	1.70 cm.
2.40 m.	1.90 cm.
2.70 m.	2.10 cm.
3.00 m.	2.30 cm.

CALCULO DE CAPACIDADES DE CARGA ULTIMA (kg/cm²) Y CARGA ADMISIBLE (kg/cm²)

Tipo de Carga	Profundidad	Cimiento Continuo	Cimiento Cuadrado	Cimiento Circular
	m.	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
qu	0.30	1.41	1.36	1.17
qa		0.48	0.39	0.34
qu	0.60	1.93	1.87	1.69
qa		0.55	0.53	0.48
qu	0.90	2.44	2.39	2.20
qa		0.70	0.68	0.63
qu	1.20	2.96	2.90	2.72
qa		0.85	0.83	0.78
qu	1.50	3.47	3.42	3.24
qa		0.99	0.96	0.92
qu	1.80	3.99	3.93	3.75
qa		1.14	1.12	1.07
qu	2.10	4.51	4.45	4.27
qa		1.28	1.27	1.22
qu	2.40	5.02	4.97	4.78
qa		1.43	1.42	1.37
qu	2.70	5.54	5.48	5.30
qa		1.58	1.57	1.51
qu	3.00	6.05	6.00	5.82
qa		1.73	1.71	1.66

OBSERVACIONES

FIRMAS DE VALIDACIÓN DE DOCUMENTO

Jaiver Pedro Hernández
Ing. SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CIP. N° 466328

CERTIFICACIONES

ISO 9001 - 2015

EURO CERT

CÓDIGO QR

IMPORTANTE: Este documento no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización de APCOOR S.A.C., asimismo carece de veracidad sin las firmas de validación

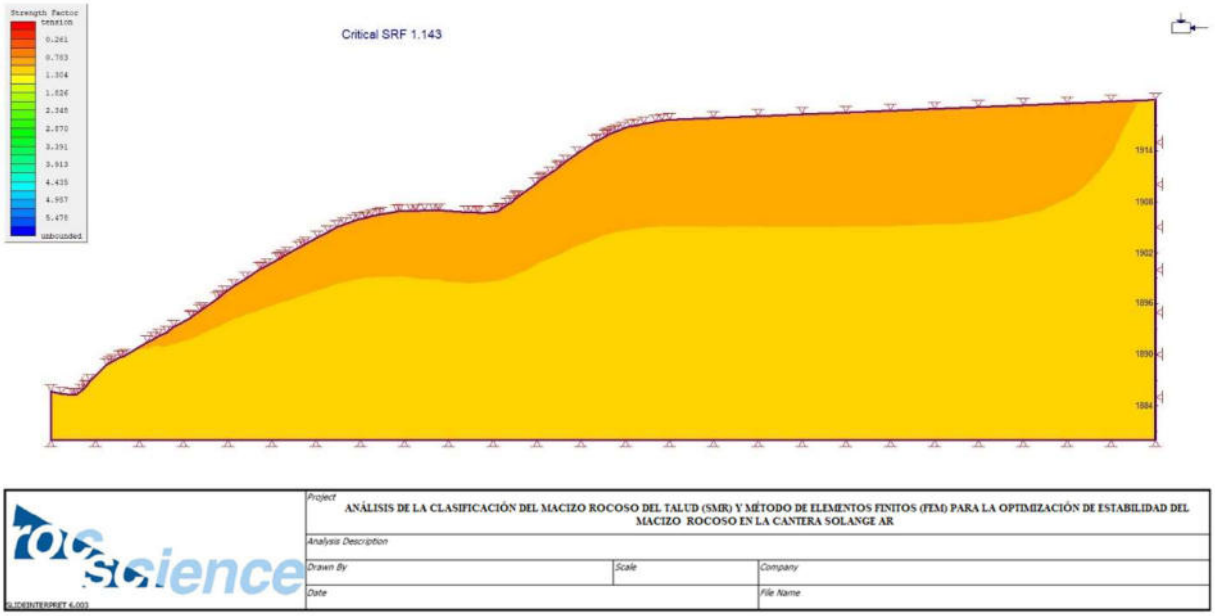
ANEXO 04

ANALISIS DEL CÁLCULO DEL

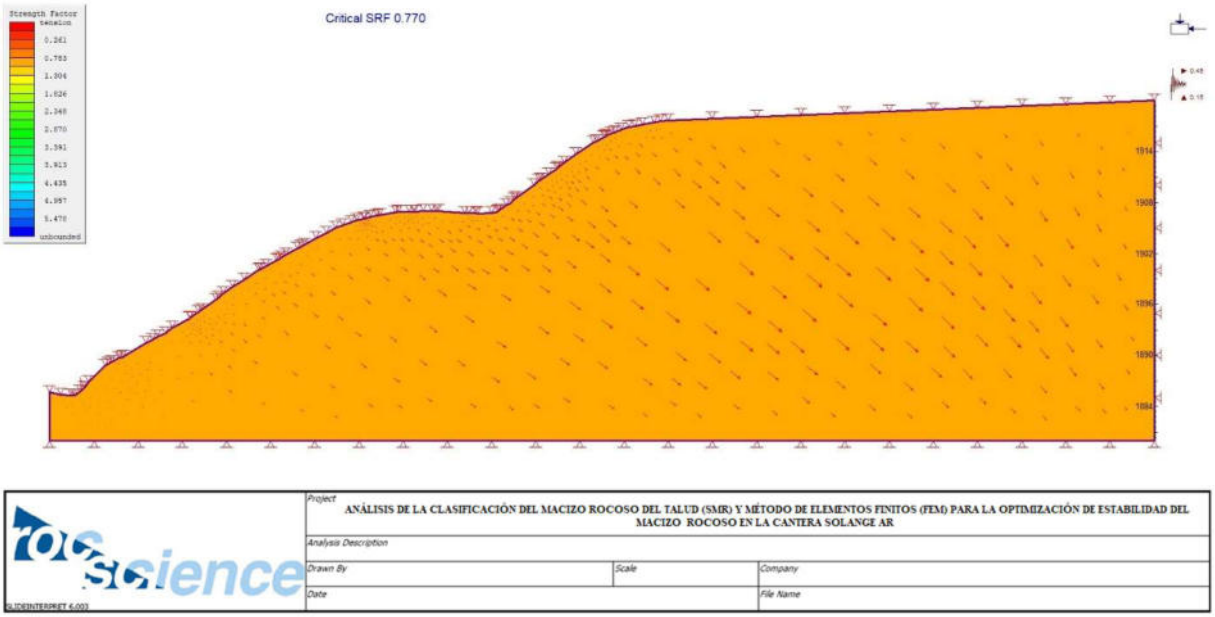
FACTOR DE SEGURIDAD

NATURAL

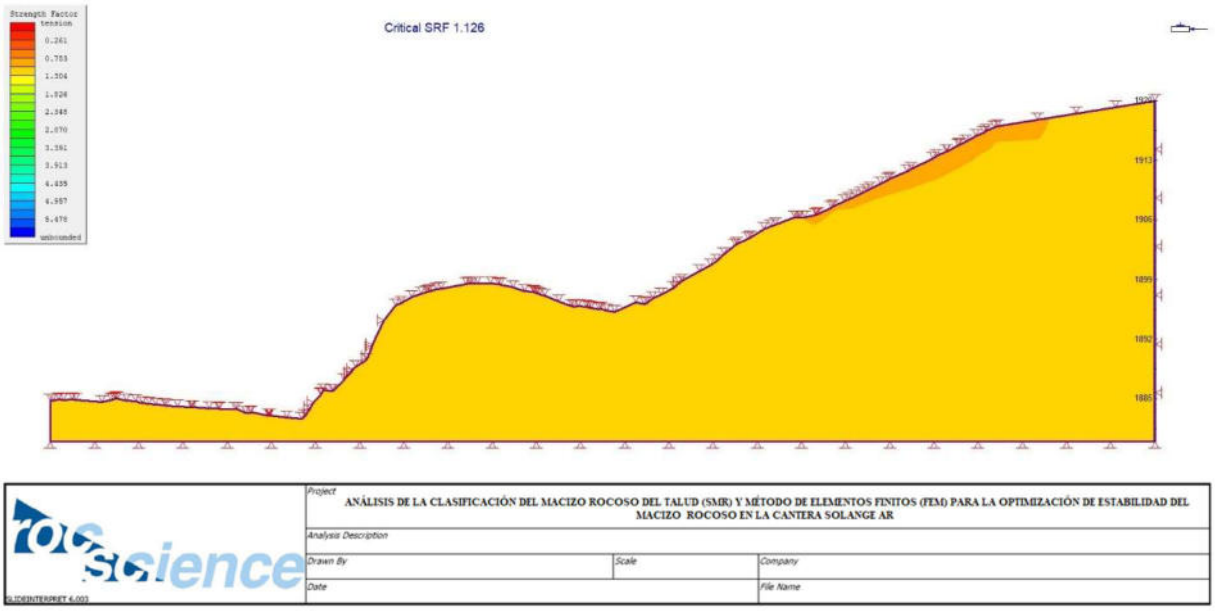
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+00



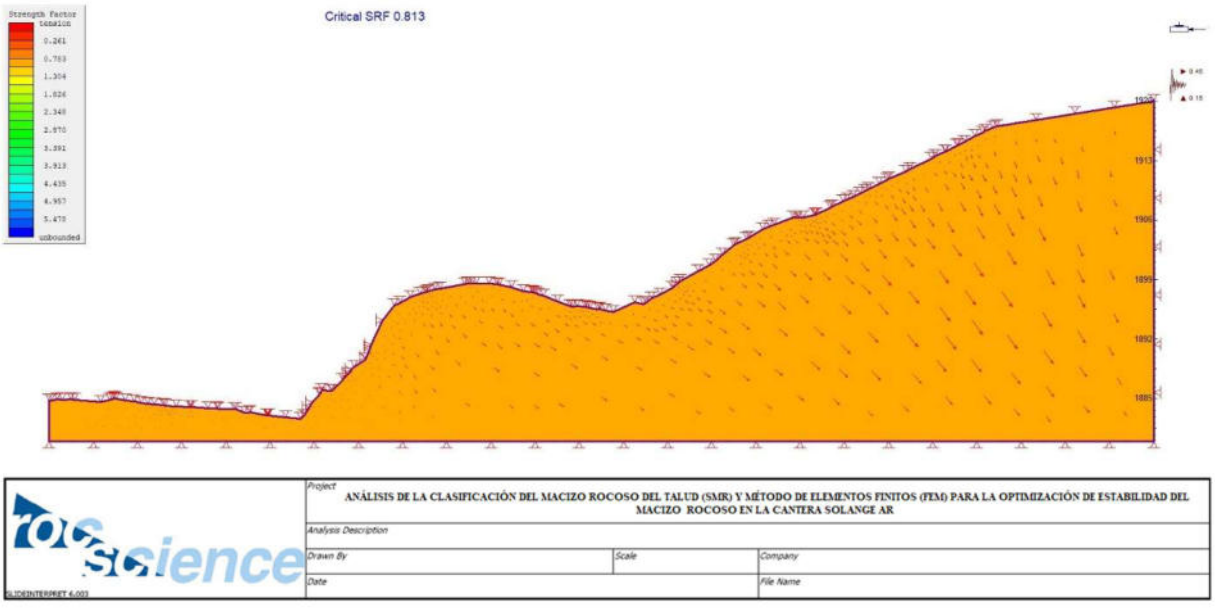
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+00



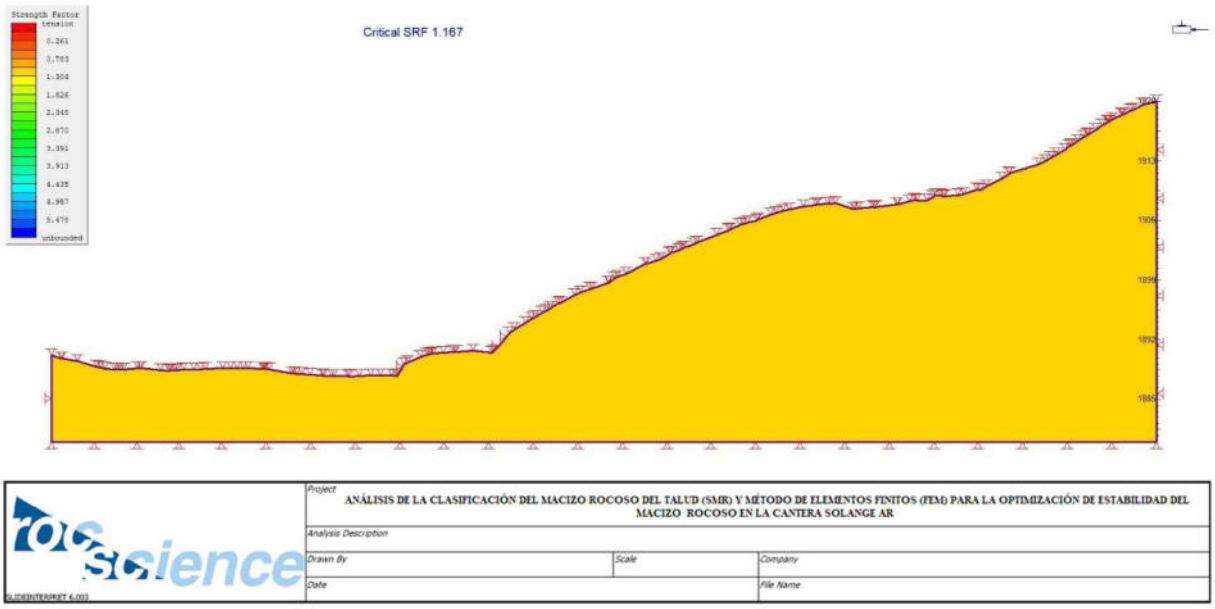
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+40



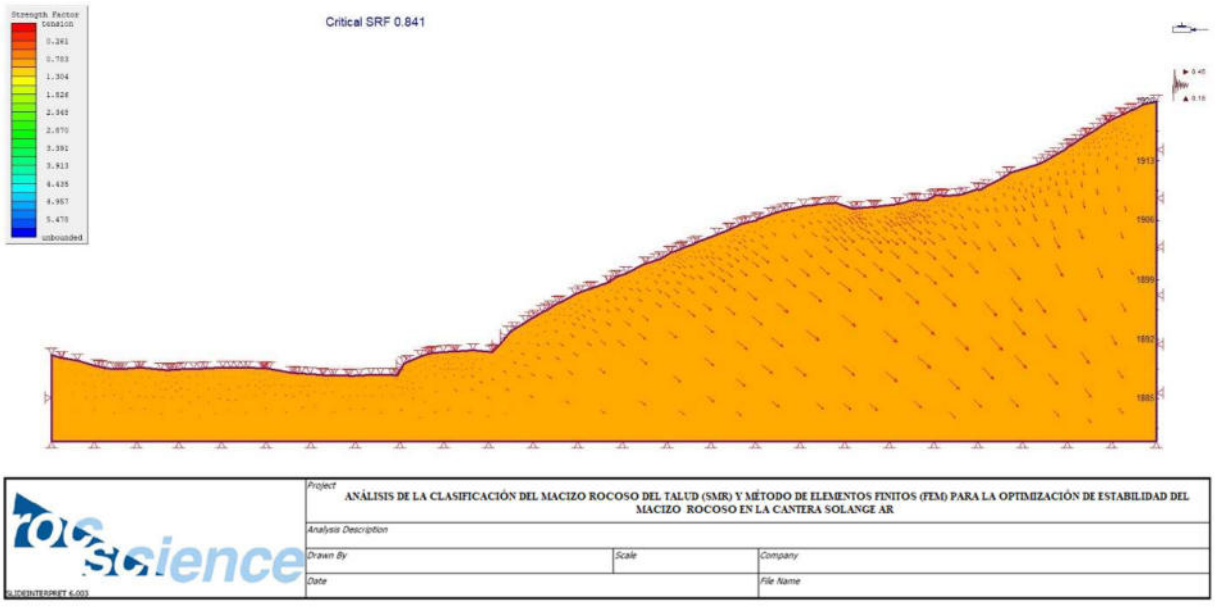
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+40



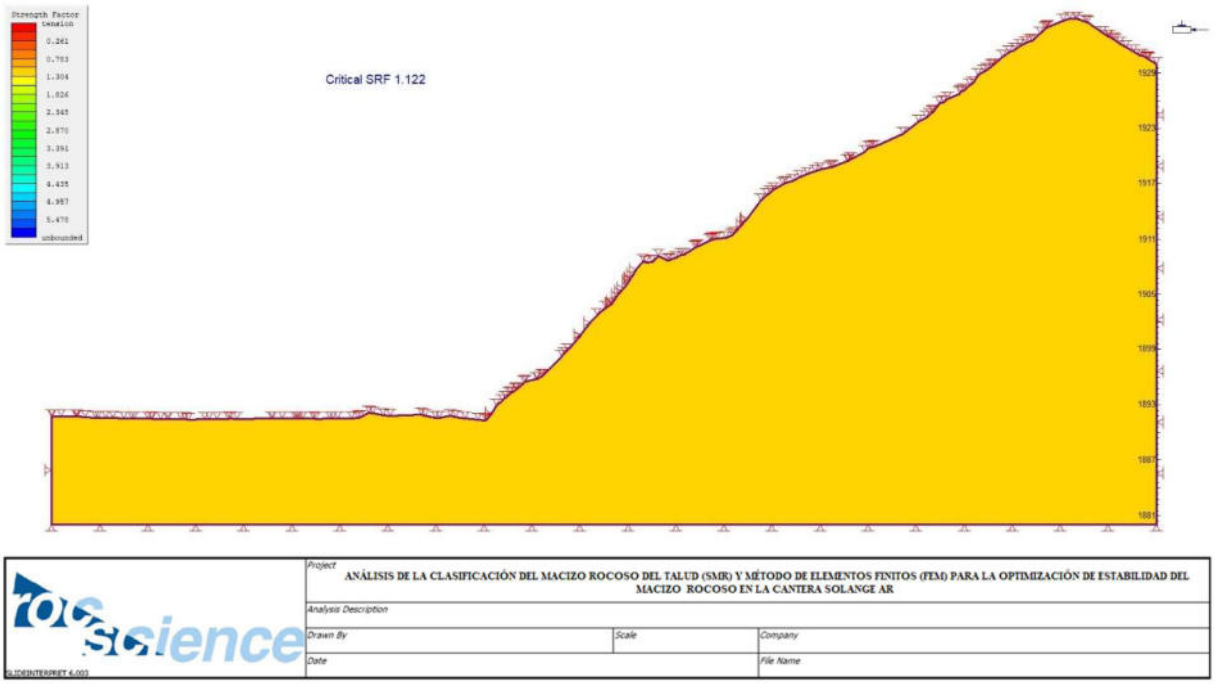
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+80



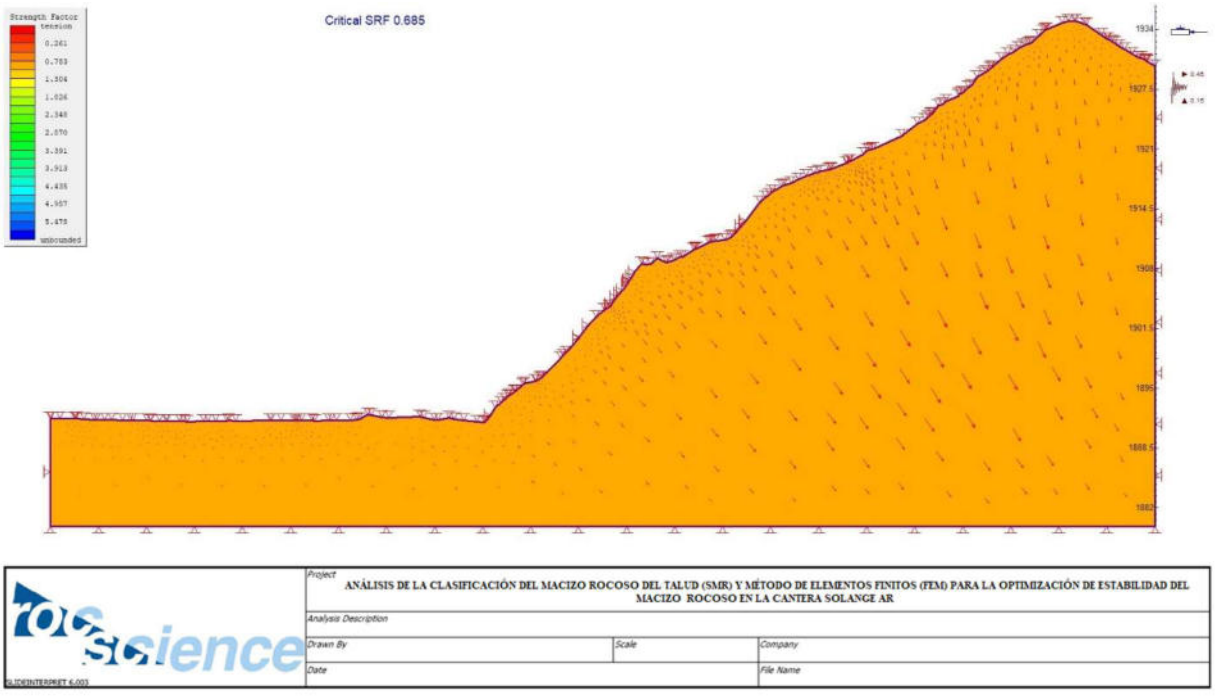
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+80



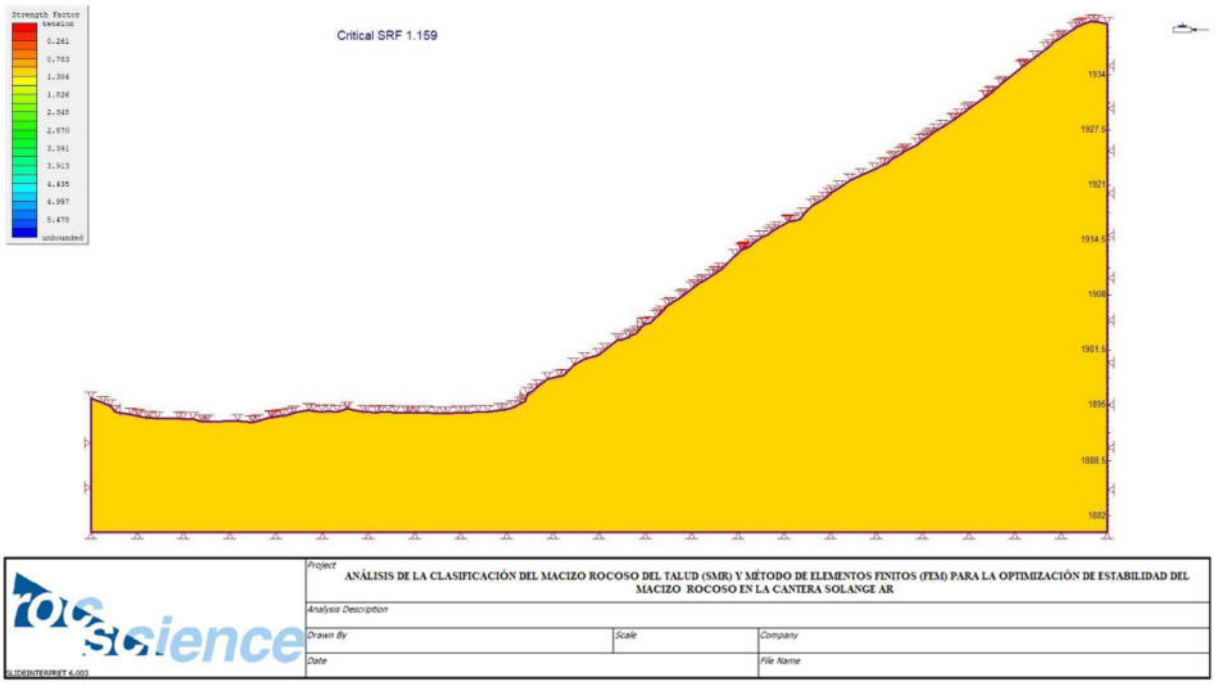
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+240



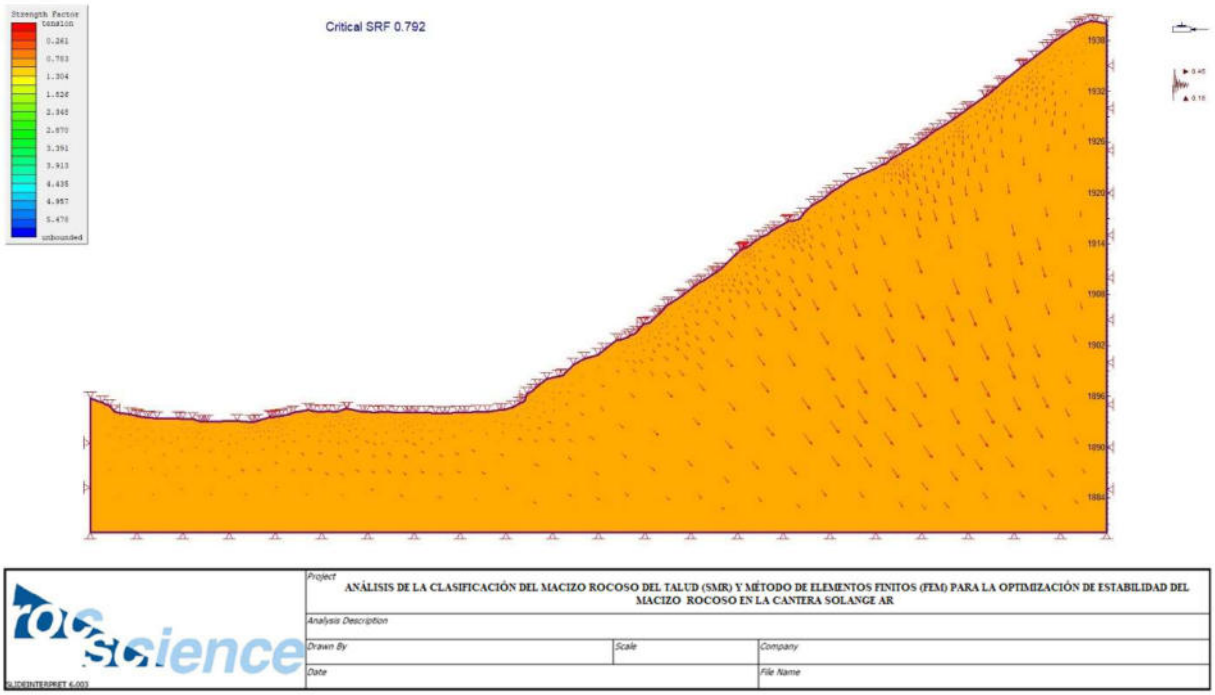
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+240



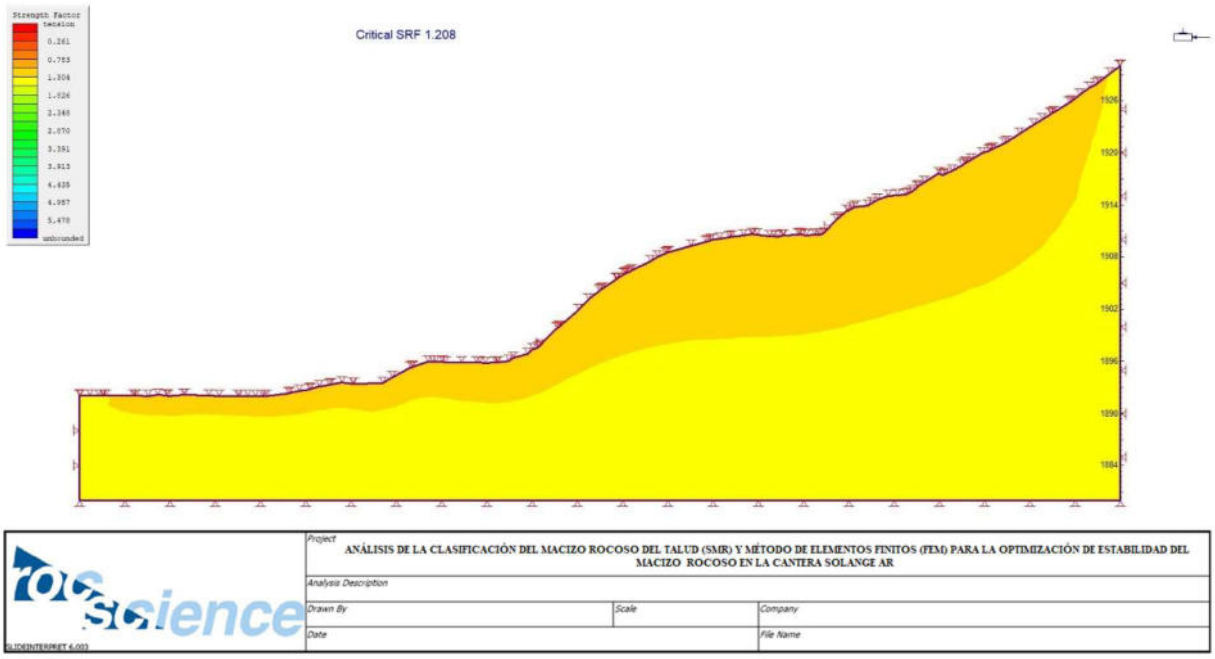
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+280



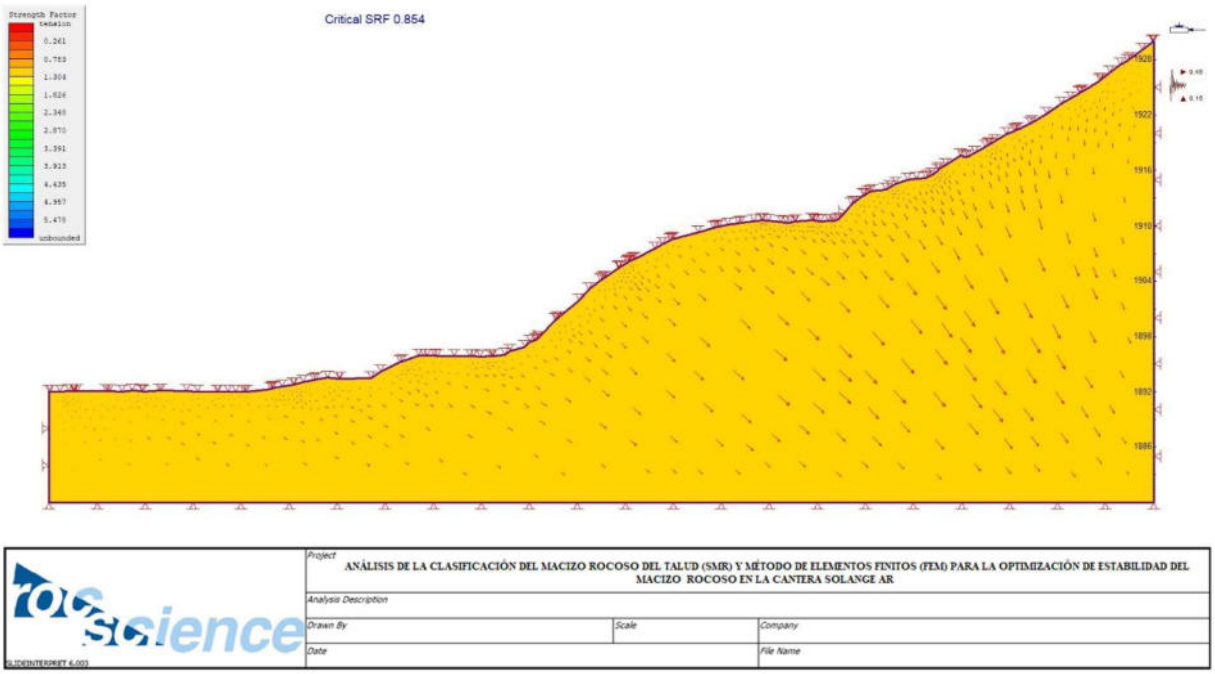
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+280



Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+320



Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+320



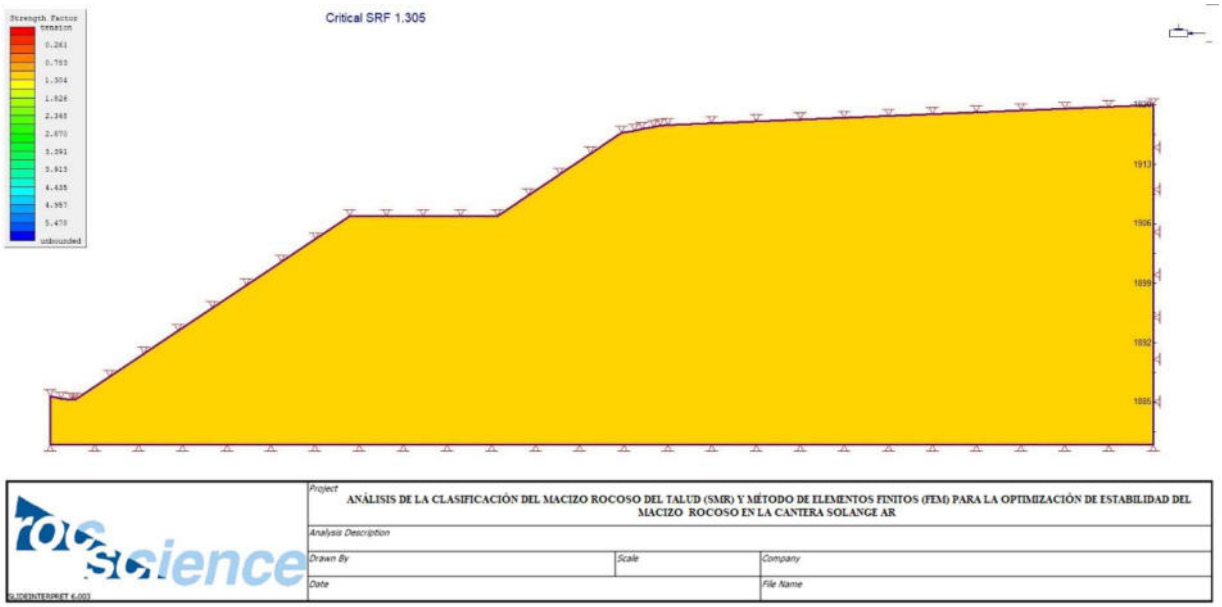
ANEXO 05

ANALISIS DEL CÁLCULO DEL

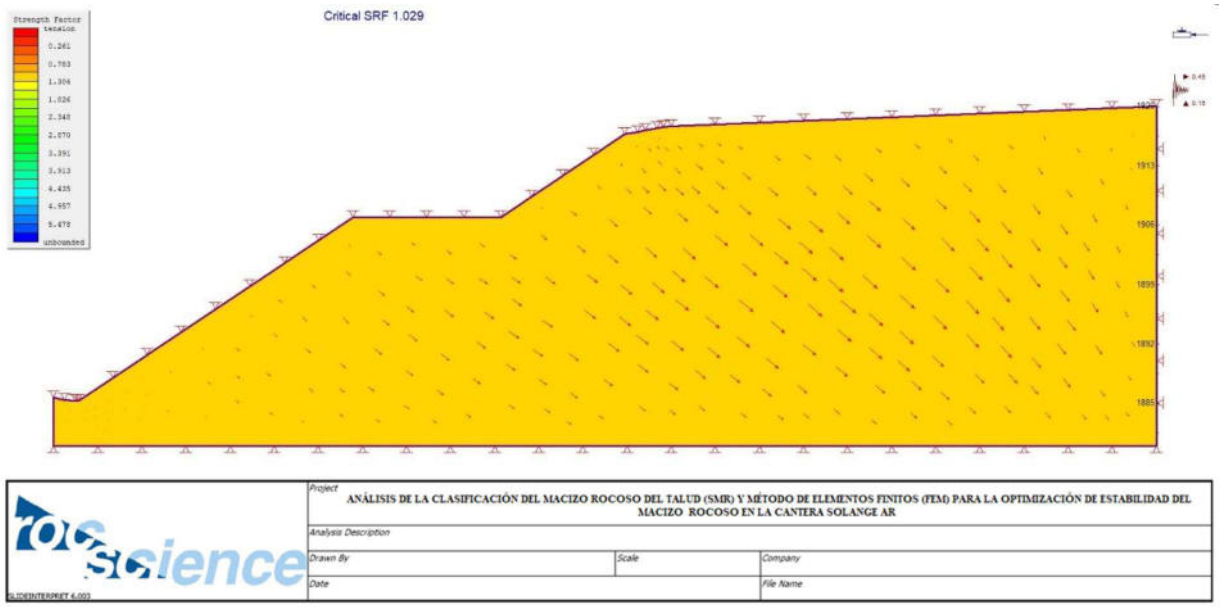
FACTOR DE SEGURIDAD

OPTIMIZADOS

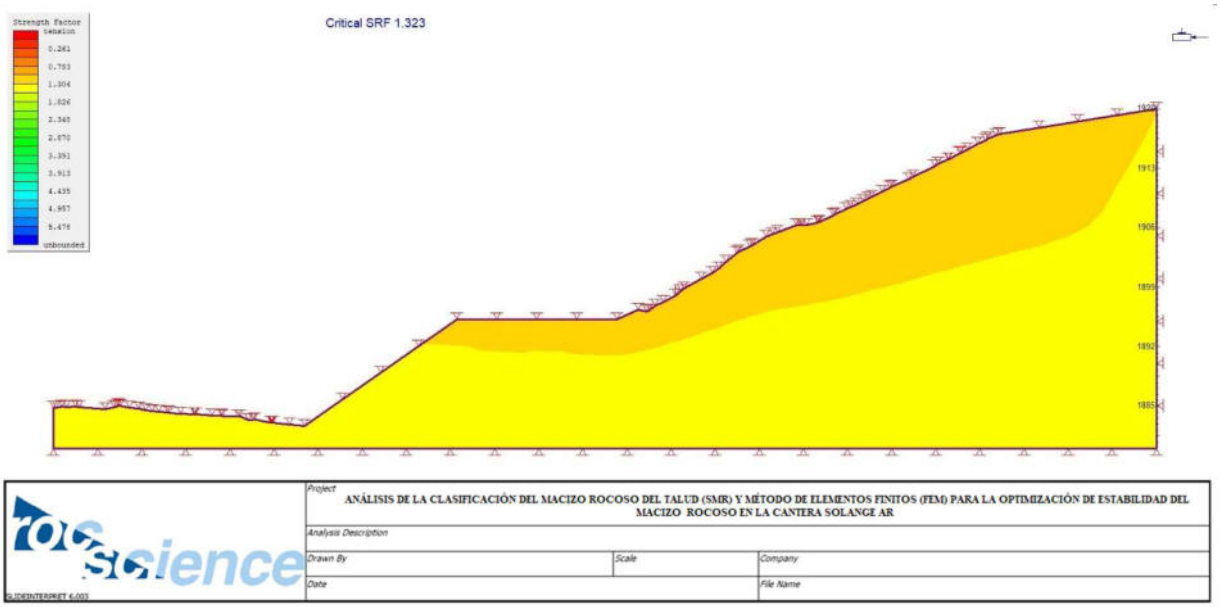
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+00



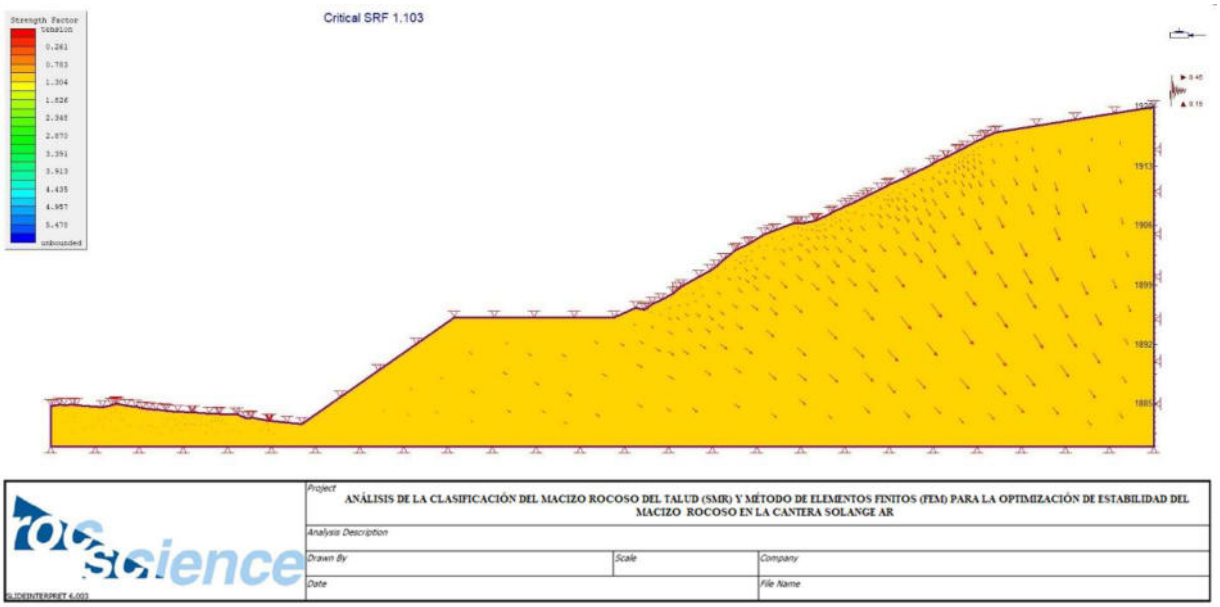
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+00



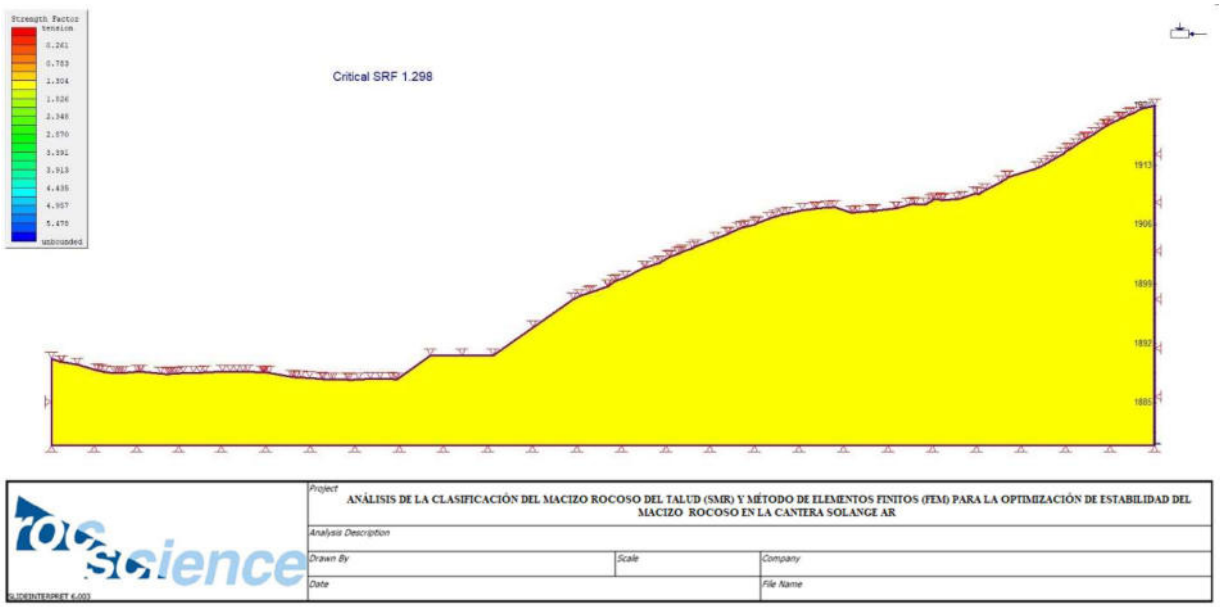
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+40



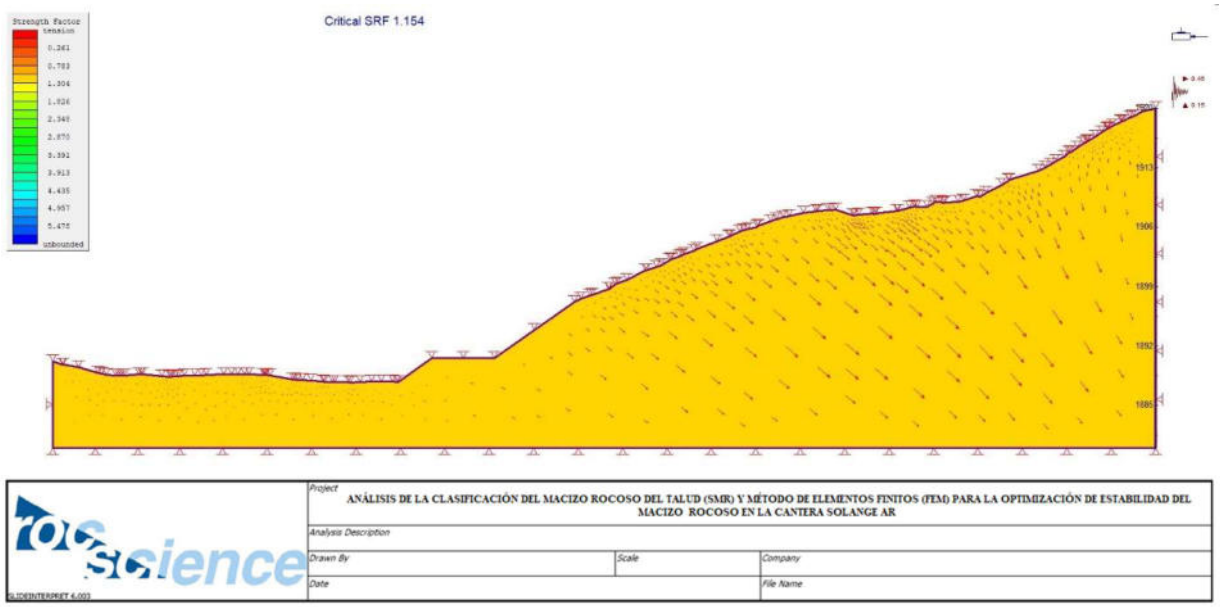
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+40



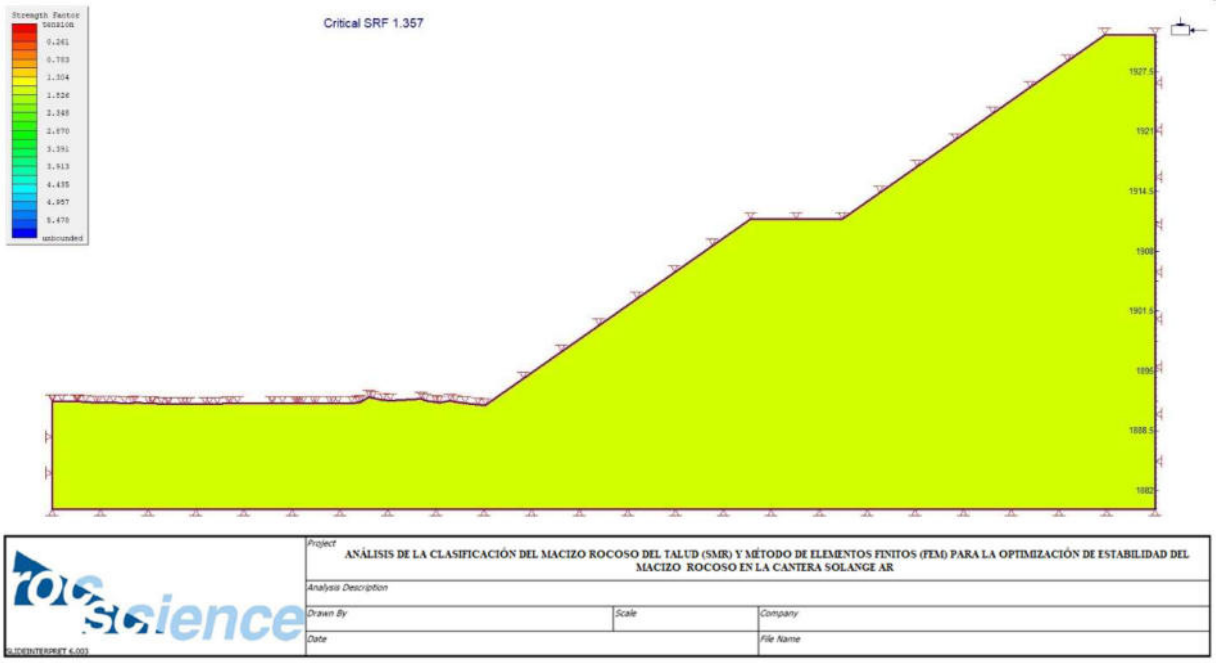
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+80



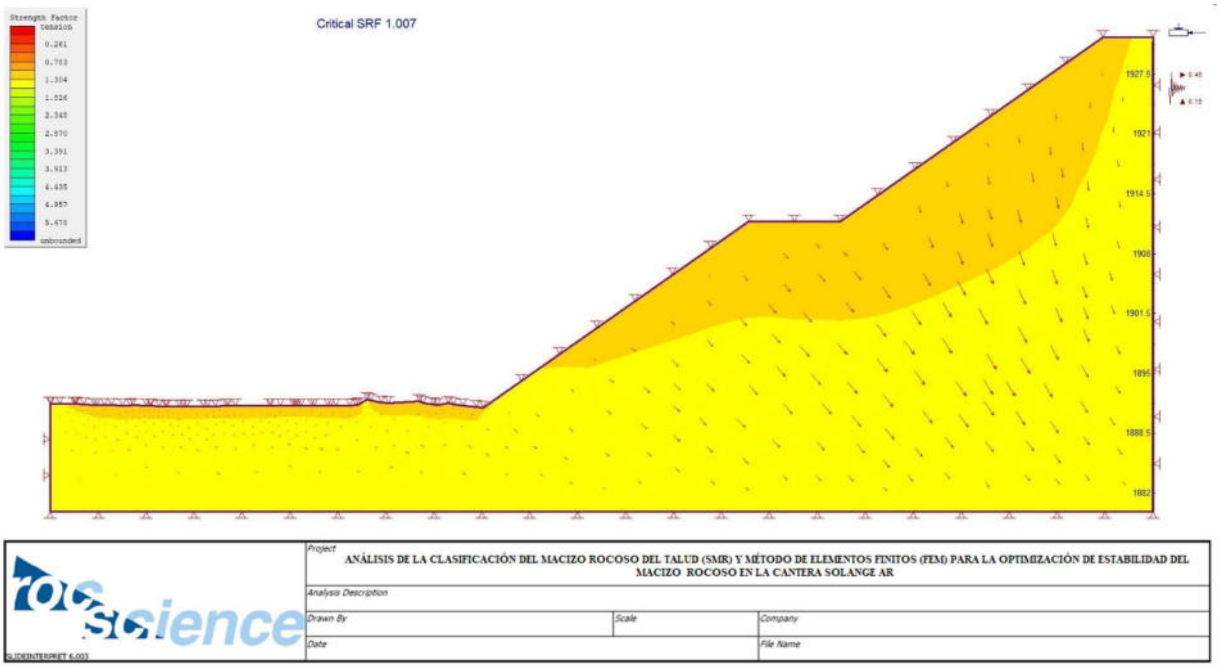
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+80



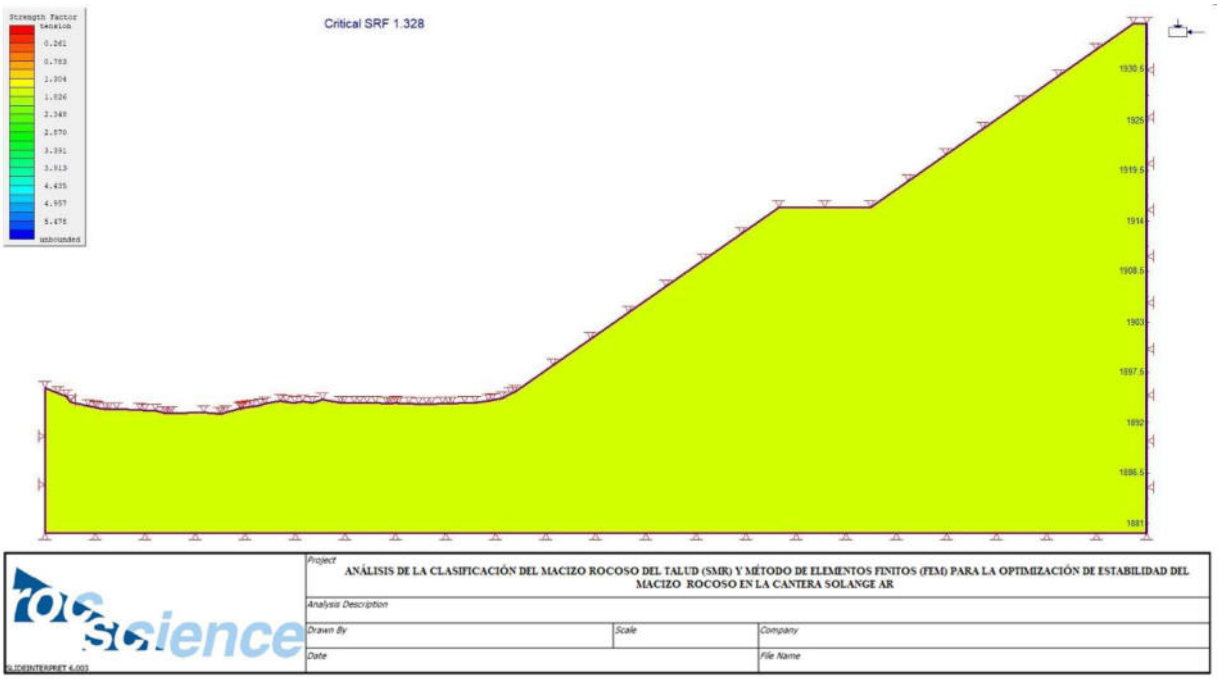
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+240



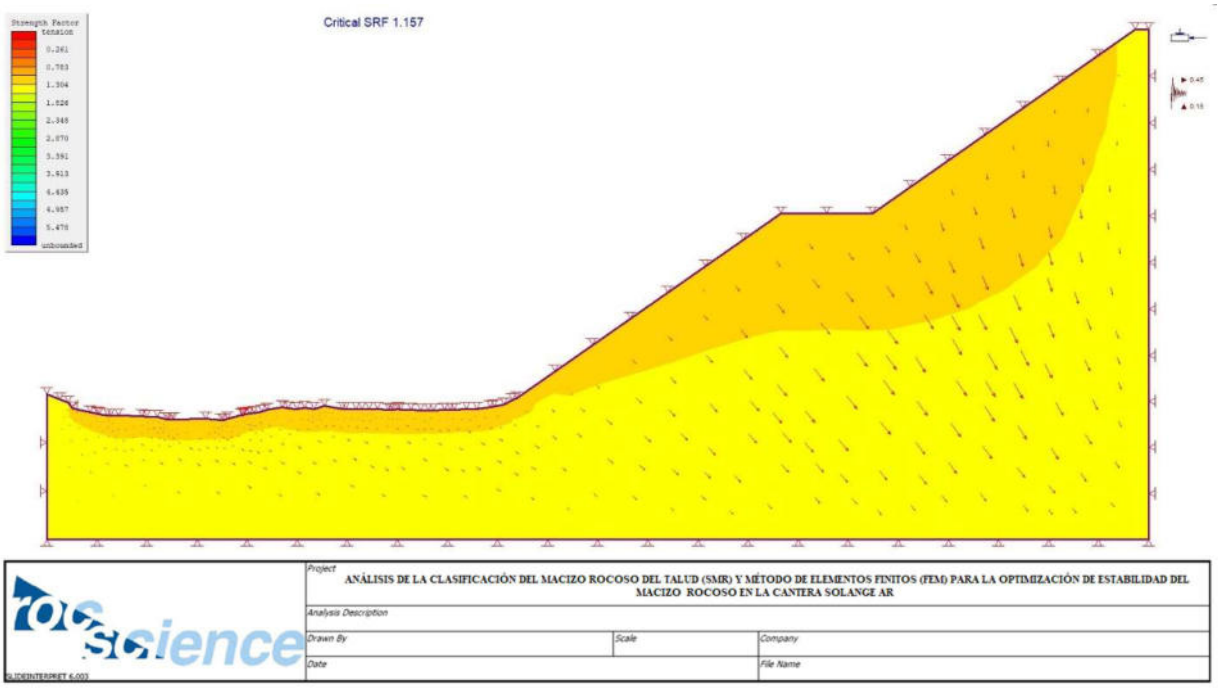
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+240



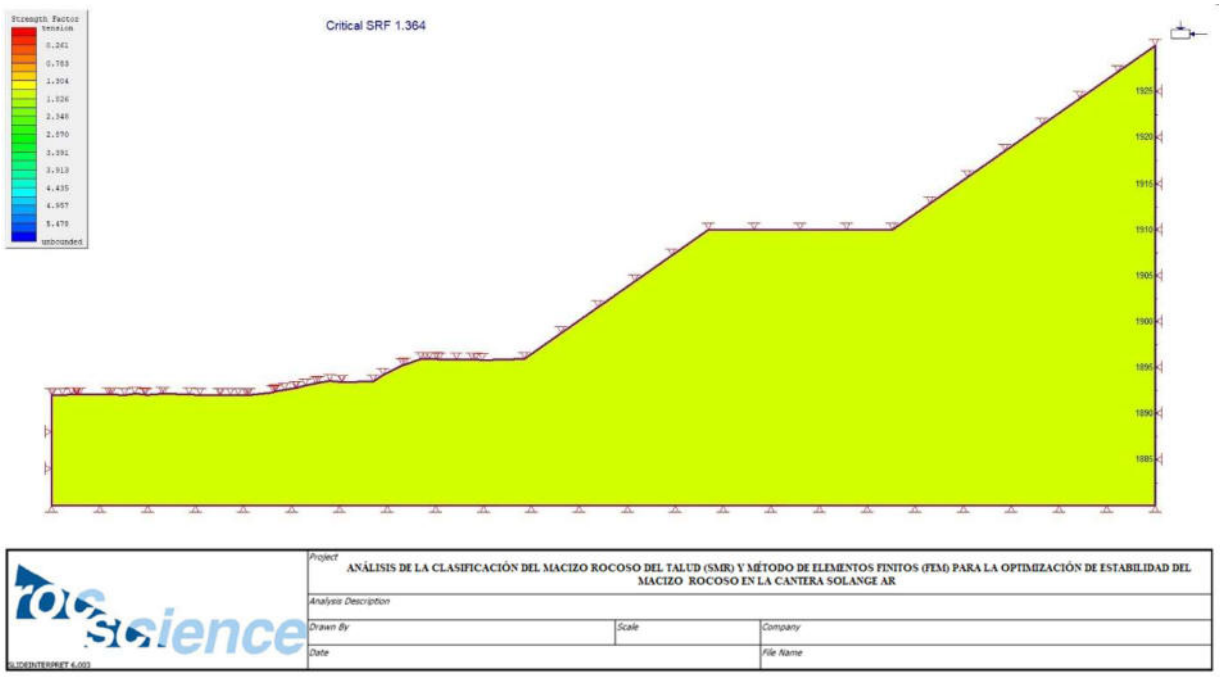
Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+280



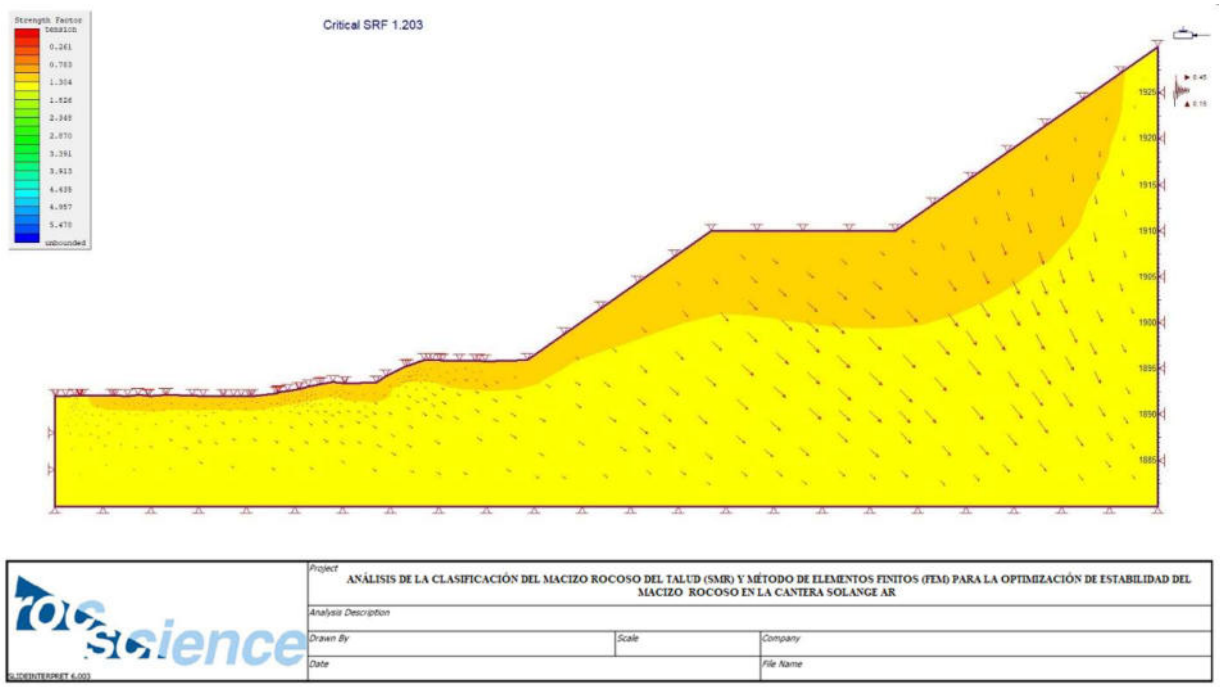
Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+280



Análisis Estático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+320



Análisis Pseudoestático por Método de Elementos Finitos (FEM) para PROGRESIVA 000+320



"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	: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 70093537
Correo electrónico	: enrique.valderrama.charaja11@gmail.com
Teléfono/Celular	: 932197836

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: "ANALISIS DE LA CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD (SMR) Y METODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) PARA LA OPTIMIZACION DE ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA CANTERA SONALGE AR".
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html): 2.07.02 Geotecnia
c) Fecha de publicación: .....

6. DATOS DEL ASESOR:

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

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 70093537
NOMBRES Y APELLIDOS : ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA

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 : 70093537
NOMBRES Y APELLIDOS :ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA
FECHA : **23/09/2025**

ANEXO VIII

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

Yo, ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA,
bachiller de la Escuela Profesional de:
INGENIERIA DE MINAS,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº... 70093537, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:
"ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD (SMR) Y METODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA CANTERA SOLANGE AR"

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, 11 de Septiembre



Huella digital

Nombres y Apellidos: ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA
DNI: 70093537

ENRIQUE RIVALDO VALDERRAMA CHARAJA

TESIS FINAL

TESIS

CONFORMIDAD DE TESIS FINAL

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3320688840

Fecha de entrega
25 ago 2025, 10:10 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
23 sep 2025, 11:24 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME_DE_TESIS_ENRIQUE.pdf

Tamaño del archivo
3.7 MB

111 páginas

23.591 palabras

149.933 caracteres

8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Trabajos entregados
- Fuentes de Internet

Fuentes principales

0%	Fuentes de Internet
8%	Publicaciones
0%	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

0% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
0% 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 Publicación
Pozo Garcia, Raul Rodolfo. "Modificación del Sistema GSI en función de la Escala d... 1%

2 Publicación
Calla Fernandez, Juan Fredy. "Efectos de la disolución del mineral calcita en el co... <1%

3 Publicación
Valeriano Nina, Fredy Alonso. "Caracterización del dominio geomecánico para la ... <1%

4 Publicación
Chávez Ramirez, Jorge Edgardo. "Análisis geomecánico para el diseño de sosteni... <1%

5 Publicación
Mamani Barraza, Lucio Raúl. "Clasificación geomecánica para el diseño de sosteni... <1%

6 Publicación
WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "EIA del Proyecto d... <1%

7 Publicación
SCHLUMBERGER DEL PERU S.A.. "Actualización del Plan de Cierre de Minas de la U... <1%

8 Publicación
Cárdenas Catalán, José Adolfo. "Determinación por métodos probabilísticos en di... <1%

9 Publicación
CUAYLA RODRIGUEZ LUPE OLIVIA. "Informe de Gestión Ambiental Mejoramiento ... <1%

10 Publicación
Fernanda Dayana Andrade Mantilla, Diego Mauricio Alquinga López. "Calidad geo... <1%

11 Publicación
Herrera Villa, Jhomayra de los angeles. "Modelamiento numerico del comportami... <1%

12 Publicación
Alvarez Cabana, Angela Marlene. "Influencia del programa Eden en el discurso na... <1%

13 Publicación
Monteiro, Rosalia Isaura Malta Ribeiro. "Estudo Geologico e Geotecnico de Talude... <1%

14 Publicación
Madariaga, Esther Ruth Calatayud. "Simulación computacional de un modelo mat... <1%

15 Publicación
Medina Medina, Giancarlo Jonathan. "Procesamiento lector en ninos bilingues av... <1%

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

17 Publicación
Luna Quecaño, Juan Carlos. "Formación ética y moral según los planes de estudio... <1%

18 Publicación
Milagro Iborra Lucas. "Aproximación metodológica al análisis integrado de la sos... <1%

19 Publicación
Torres, Jonathan Fernando Tobar. "Estudo da escavabilidade de maciços rochosos... <1%

20 Publicación
Nini Tatiana Suárez B, Julio César Escobar Restrepo, Federico Latorre Correa, June... <1%

21 Publicación
"Análisis de un programa de integración escolar : barreras y facilitadores", Pontifi... <1%

22 Publicación
Fisfalen Huerta, Mario Heinrich. "Analisis economico de la carga procesal del pod... <1%

23 Publicación
J. D. Fernández-Gutiérrez, H. Pérez-Acebo, D. Mulone-Andere. "Correlación entre e... <1%

24 Publicación
Tania Peralta, Melanie Menoscal, Gianella Bravo, Victoria Rosado et al. "Rock Slop... <1%

25 Publicación
Tarazona, Jose Moreno. "Estudio metrologico y determinacion De La Incertidumb... <1%

26 Publicación
Chura Cahuana, Heinz Miguel. "Determinación de las condiciones de altos esfuerz... <1%

27 Publicación
Arquinigo Chavez, Herlinda Ursula. "Estudio Comparativo de la Produccion Escrit... <1%

28 Publicación
Elizabeth Jordan, Amy Javernick-Will, Bernard Amadei. "Post-disaster reconstructi... <1%

29 Publicación
Cayhualla Acharte, Rosmery|Mendoza Martinez, Vanessa. "Adaptacion de la bate... <1%

30 Publicación
Elvio Tintaya Zegarra, Yony Farfan Robles, Antonio Coronel Molina, Rosa Evangeli... <1%

31 Publicación
Ferreira, Fernando Guilhermino Neiva. "Instrumentação e Monitorização na Avali... <1%

32 Publicación
Yupanqui Acevedo, Edic Marlene. "Gestión de la calidad y competitividad en las m... <1%

33 Publicación
"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derech... <1%

34 Publicación
Domenico Calcaterra, José A. Gili, Roberto Iovinelli. "Shallow landslides in deeply ... <1%

35 Publicación
Fall, M.. "A multi-method approach to study the stability of natural slopes and l... <1%

36 Publicación
Istaña Ponce, Roger Fernando. "Limitación de la aplicación de la ley de pérdida d... <1%

37 Publicación
Kocbay, A.. "Engineering geological assessment of the Obruk dam site (Corum, Tu... <1%

38 Publicación
Mkonde, Akhona Amanda. "An Assessment of the Classification of Limestone Roc... <1%

39 Publicación
Parizaca Chambilla, Sabas. "Metodología de indagación guiada y las habilidades i... <1%

40 Publicación
SHUREN WANG, JING TIAN, HUIHUI JIA, YAN ZHANG. "NUEVO MÉTODO DE ANÁLIS... <1%

41 Publicación
Agustín Pérez Quispe, Ruth Lucy Quispe Sandoval, Julian Apaza Chino, Roger Gon... <1%

42 Publicación
Arturo Barjola Ruiz. "Membranas poliméricas de intercambio iónico con aplicació... <1%

43 Publicación
Cecilia Arriola, Eddie Aronés, Violeta Vega, Doris Esenarro, Geofrey Salas, Anjhins... <1%

44 Publicación
Fred Mannering, David A. Hensher. "Discrete/continuous econometric models an... <1%

45 Publicación
García Vergara, Esperanza. "Análisis de los homicidios y asesinatos contra las muj... <1%

46 Publicación
J & E CONSULTORES GENERALES S.R.L.. "EIA-SD del Proyecto Instalación de la Líne... <1%

47 Publicación
Juan Manuel Carricondo Antón. "Utilización de residuos vegetales para la elimina... <1%

48 Publicación
M. S. Hernández-Crespo, J. M. Rincón. "Recycling of the Granite Quarries and Mun... <1%

49 Publicación
Ramón Morillo Verdugo, Beatriz Bernardez Ferrán, Aurora Fernández Polo, Luis M... <1%

50 Publicación
Y.-P. Charles, J.-P. Steib. "Tratamiento quirúrgico de las cifosis y de las camptocor... <1%

51 Publicación
"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derech... <1%

52 Publicación
Calsina Paricahua, Lesmes Gabriel. "Fiscalización y formalización minera integral ... <1%

53 Publicación
E. Hoek. "Overcoming Squeezing in the Yacambú-Quibor Tunnel, Venezuela", Roc... <1%

54 Publicación

Pozo Masana, Felix del. "Modelo Geo-Mecanico Distrital Ajustado a Yacimientos: C... <1%

55 Publicación

Zapata Guerra, Gabriel Jaime(Assis, André Pacheco de). "Caracterização geomecâ... <1%

56 Publicación

Zlotnik, Sergio. "Numerical Modeling of Transient Multiphase Thermo–Mechanica... <1%

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 728-2025-CU

Moquegua, 07 de octubre de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 3987-2025-R de fecha 03 de octubre de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° D0425-2025-UNAM-R-SG de fecha 02 de octubre de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° 135-2025-UNAM/SEGE/GYT emitido por la Especialista Administrativo I-Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 38-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 07 de octubre 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 8º de la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley Nº 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 Articulo 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 Nº 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° 135-2025-SEGE/GYT, de fecha 30 de septiembre de 2025, e Informe N° D0425-2025-UNAM-R-SG de fecha 02 de octubre de 2025, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas del Bachiller: VALDERRAMA CHARAJA ENRIQUE RIVALDO de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quien se encuentra apto 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 Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 07 de octubre 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 Extraordinaria N° 38-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 07 de octubre 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 al Bachiller: VALDERRAMA CHARAJA

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 728-2025-CU

Moquegua, 07 de octubre de 2025

ENRIQUE RIVALDO, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua;

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 al Bachiller

- **VALDERRAMA CHARAJA ENRIQUE RIVALDO**

TESIS : "ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DEL TALUD (SMR) Y MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ESTABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LA CANTERA SOLANGE AR", cuyo Asesor Principal fue el Dr. Christ Jesús Barriga Paria.

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 SECRETARIA GENERAL

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACCS
EPIM
GyT
OASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

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