


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN EDUCACIÓN**

**MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**


**TESIS**

# IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERÍA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**


**AUTOR**

Br. ROY EARL HUGO ALARCON GUILLEN

**ASESOR**

Dra. ELIZABETH DUEÑAS PAREJA

ORCID: 0000-0002-5092-1946



**CUSCO - PERÚ**

**2026**

# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Dra: Elizabeth Dueñas Pareja.
quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: Implementacion y Validacion de una Guia Metodologica en el Area de Mecanica de Rocas en el aprendizaje de los estudiantes del setimo Semestre de Ingenieria de Minas de la UNSAAC - 2025

Presentado por: Br. Roy Earl Hugo Alarcon Guille DNI N° 45650905

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de Maestro en Educacion Mencion Educacion Superior

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis**

| Porcentaje | Evaluación y Acciones | Marque con una (X) |
|---|---|---|
| Del 1 al 10% | No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud. | X |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones. | |
| Mayor a 31% | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. | |

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 07 de Octubre de 2026

Elizabeth Dueñas P.

Firma

Post firma ELIZABETH DUEÑAS PAREJA

Nro. de DNI 23826322

ORCID del Asesor 0000-0003-0169-0464

**Se adjunta:**

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:63587049 9

# ROY EARL HUGO ALARCÓN GUILLÉN

## IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega
**trn:oid:::27259:635870499**

Fecha de entrega
**7 oct 2026, 9:11 p.m. GMT-5**

Fecha de descarga
**7 oct 2026, 9:52 p.m. GMT-5**

Nombre del archivo
**FINAL PARA EL TURNITING (2).pdf**

Tamaño del archivo
**5.5 MB**

**295 páginas**

**52.788 palabras**

**308.259 caracteres**

# 10% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

## Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

## Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

**N.º de alertas de integridad para revisión**

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.

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
## ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dr. LEONCIO SOLIS QUISPE, Director de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025** del **Br. ROY EARL HUGO ALARCON GUILLEN.** Hacemos de su conocimiento que el sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **DIECISIETE DE SETIEMBRE DE 2026**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de MAESTRO EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR.

Cusco, 05 de octubre 2026

Dr. ANGEL ZENON CHOCCECHANCA CUADRO
Primer Replicante

Dra. GLORIA VIGORIA VALLE
Segundo Replicante

Dr. JUAN DE LA CRUZ BEDOYA MENDOZA
Primer Dictaminante

Dra. LUZ MARIA CAHUANA FERNANDEZ
Segundo Dictaminante

# DEDICATORIA

A mi hijo, Gottfried Earlkei Alarcón Cabrera, y a mi amada esposa, Keisha Maggie Cabrera Trujillo: a ustedes, a quienes amo con toda mi alma, dedico estas palabras con el más profundo amor y gratitud. Son la razón de mis alegrías, mi fuerza en los momentos difíciles y el regalo más hermoso que la vida me ha concedido.

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi formación académica. Su apoyo incondicional, paciencia y constante motivación me han permitido superar los desafíos presentados a lo largo de este camino. Asimismo, agradezco de manera especial al Ingeniero Juan Francisco Soto Elguera, por su orientación, conocimientos compartidos y disposición para brindarme su apoyo, lo cual ha sido clave en el desarrollo de la presente investigación.

De igual manera, extiendo mi sincero reconocimiento a mis asesores Dra. Elizabet Dueñas Pareja y Mg. Alfonso Gonzales Mamani, cuya guía, compromiso y dedicación han sido esenciales para la culminación de este trabajo. Su experiencia y valiosas recomendaciones han enriquecido significativamente esta tesis, permitiéndome fortalecer mis capacidades académicas y profesionales. Gracias por brindarme la oportunidad y la confianza para llevar a cabo este proyecto.

Finalmente agradecer a mi Escuela de Posgrado de la UNSAAC, institución que me brindó la oportunidad de ampliar mis conocimientos, fortalecer mis competencias profesionales y asumir nuevos retos en mi formación académica. Agradezco profundamente a quienes forman parte de esta comunidad académica por sus enseñanzas, orientación y acompañamiento durante este importante proceso.

# ÍNDICE

DEDICATORIA ..... ii

AGRADECIMIENTO ..... iii

ÍNDICE ..... iv

ÍNDICE DE TABLAS ..... viii

ÍNDICE DE FIGURAS ..... x

RESUMEN ..... xii

ABSTRACT ..... xiii

INTRODUCIÓN ..... xiv

CAPÍTULO I:PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1

1.1. Situación problemática ..... 1

1.2. Formulación del problema ..... 8

1.2.1. Problema general ..... 8

1.2.2. Problemas específicos ..... 8

1.3. Justificación de la investigación ..... 8

1.3.1. Justificación Teórica ..... 8

1.3.2. Justificación Metodológica ..... 9

1.3.3. Justificación Práctica ..... 9

1.3.4. Justificación Social y Académica.....10

1.4. Objetivos de la investigación.....10

1.4.1. Objetivo general.....10

1.4.2. Objetivos específicos.....10

CAPÍTULO II:MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....12

2.1. Bases teóricas .....12

2.1.1. La Guía Metodológica en Ingeniería.....12

2.1.2. Aprendizaje en la Mecánica de Rocas.....26

2.2. Marco conceptual.....38

2.3. Antecedentes empíricos de la investigación.....40

2.3.1. Internacionales .....40

2.3.2. Nacionales.....42

2.3.3. Locales.....43

2.4. Hipótesis de investigación.....46

2.4.1. Hipótesis general.....46

2.4.2. Hipótesis específica.....46

2.5. Identificación de variables.....47

2.5. Operacionalización de variables.....49

CAPÍTULO III:METODOLOGÍA.....51

3.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica.....51

3.2. Enfoque de investigación .....53

3.3. Tipo de investigación .....53

3.4. Nivel de investigación.....53

3.5. Diseño de investigación .....53

3.6. Unidad de análisis.....54

3.7. Población y muestra.....54

3.7.1. Población .....54

3.7.2. Muestra .....55

3.8. Técnica de selección de muestra.....55

3.9. Técnica e instrumento de recolección de información.....55

3.9.1. Determinación de la validez del instrumento .....57

3.9.2. Prueba de fiabilidad de los instrumentos de investigación.....62

3.10. Técnica de análisis e interpretación de la información .....63

3.11. Técnica para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas .....64

CAPÍTULO IV:RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....65

4.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados .....65

4.1.3. Estadísticos descriptivos.....65

4.2. Prueba de hipótesis .....105

4.2.1. Prueba de hipótesis general .....105

4.2.2. Prueba de hipótesis especifica .....107

DISCUSIÓN DEL ESTUDIO.....130

CONCLUSIONES.....134

RECOMENDACIONES.....136

REFERENCIAS.....138

ANEXOS.....141

Anexo 1: Matriz de consistencia.....141

Anexo 2: Juicio de expertos.....141

Anexo 3: Registro fotográfico.....141

Anexo 4: Instrumento de investigación 1: Aprendizaje de la mecánica de rocas.....141

Anexo 5: Instrumento de investigación 2: Percepción guía metodológica de mecánica de rocas.....141

Anexo 6: Guía de mecánica de rocas.....141

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición operacionalización general .....49

Tabla 2 Operacionalización propiamente dicha.....50

Tabla 3 Distribución de la población de estudio.....54

Tabla 4 Prueba de validación de instrumento.....61

Tabla 5 Resumen del procesamiento de datos para la prueba de fiabilidad.....62

Tabla 6 Estadísticos de fiabilidad del instrumento cuestionario de prueba del aprendizaje de mecánica de rocas.....62

Tabla 7 Estadísticos de fiabilidad del cuestionario de percepción de la guía metodológica.....62

Tabla 8 Resumen del procesamiento de casos para el cruce de Pretest y Postest.....66

Tabla 9 Distribución de frecuencias y porcentajes del nivel de aprendizaje en el Pretest .....66

Tabla 10 Distribución de frecuencias y porcentajes del nivel de aprendizaje en el Postest.....68

Tabla 11 Tabla de contingencia del cruce de niveles de aprendizaje entre el Pretest y el Postest.70

Tabla 12 Distribución de frecuencias y porcentajes de aprendizaje conceptual en el Pretest.....72

Tabla 13 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje conceptual en el Postest .....74

Tabla 14 Tabla de contingencia del aprendizaje conceptual entre el Pretest y el Postest .....76

Tabla 15 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje procedimental en el pretest.79

Tabla 16 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje procedimental en el Postest 81

Tabla 17 Tabla de contingencia del aprendizaje procedimental entre el Pretest y el Postest .....83

Tabla 18 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje estratégico en el Pretest.....85

Tabla 19 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje procedimental en el Postest 88

Tabla 20 Tabla de contingencia del aprendizaje estratégico entre el Pretest y el Postest .....90

Tabla 21 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje crítico en el Pretest.....92

Tabla 22 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje crítico en el Postest .....94

Tabla 23 Tabla de contingencia del aprendizaje crítico entre el Pretest y el Postest .....96

Tabla 24 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje estratégico crítico en el Pretest .....99

Tabla 25 Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje estratégico crítico en el Postest .....100

Tabla 26 Tabla de contingencia del aprendizaje estratégico crítico entre el Pretest y el Postest.103

Tabla 27 Prueba de normalidad del postest- pretest.....106

Tabla 28 Estadístico t-Student del postest-pretest .....106

Tabla 29 Resumen de estadísticos descriptivos de pretest .....108

Tabla 30 Baremo consolidado del pretest.....109

Tabla 31 Tabla de frecuencias y porcentajes del instrumento guía metodológica de mecánica de rocas..... 111

Tabla 32 Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión contenido.....112

Tabla 33 Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión estructura.....114

Tabla 34 Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión metodología.....116

Tabla 35 Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión recursos .....118

Tabla 36 Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión flexibilidad .....120

Tabla 37 Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión evaluación .....122

Tabla 38 Prueba de normalidad para la hipótesis especifica 3 .....124

Tabla 39 Estadístico t-Student para la hipótesis especifica 3 .....125

Tabla 40 Prueba de normalidad para la hipótesis especifica 4 .....127

Tabla 41 Estadístico t-Student para la hipótesis especifica 4 .....128

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1 Plano de ubicación de la escuela de Ingeniería de Minas- UNSAAC .....52

Figura 2 Baremo del nivel de aprendizaje en el Pretest .....67

Figura 3 Baremo del nivel de aprendizaje en el Postest.....69

Figura 4 Baremo de contingencia del cruce de niveles de aprendizaje entre el Pretest y el Postest .....71

Figura 5 Baremo de la dimensión aprendizaje conceptual en el Pretest .....72

Figura 6 Baremo del aprendizaje conceptual en el Postest .....75

Figura 7 Baremo del aprendizaje conceptual entre el Pretest y el Postest .....77

Figura 8 Baremo del aprendizaje procedimental en el pretest.....79

Figura 9 Baremo del aprendizaje procedimental en el Postest .....81

Figura 10 Baremo del aprendizaje procedimental entre el Pretest y el Postest .....83

Figura 11 Baremo del aprendizaje estratégico en el Pretest .....86

Figura 12 Baremo del aprendizaje procedimental en el Postest .....88

Figura 13 Baremo del aprendizaje estratégico entre el Pretest y el Postest .....90

Figura 14 Baremo del aprendizaje crítico en el Pretest.....93

Figura 15 Baremo del aprendizaje crítico del postest .....95

Figura 16 Baremo del aprendizaje crítico entre el Pretest y el Postest .....97

Figura 17 Baremo del aprendizaje estratégico crítico en el Pretest .....99

Figura 18 Baremo del aprendizaje estratégico crítico en el Postest.....101

Figura 19 Baremo del aprendizaje estratégico crítico entre el Pretest y el Postest .....104

Figura 20 Interpretación de la significancia de t-Student de la variable aprendizaje de mecánica de rocas .....107

Figura 21 Baremo consolidado del pretest ..... 109

Figura 22 Baremo del instrumento de guía metodológica de mecánica de rocas ..... 111

Figura 23 Baremo de la dimensión contenido ..... 113

Figura 24 Baremo de la dimensión estructura ..... 115

Figura 25 Baremo de la dimensión metodología ..... 117

Figura 26 Baremo de la dimensión recursos ..... 119

Figura 27 Baremo de la dimensión flexibilidad ..... 121

Figura 28 Baremo de la dimensión evaluación ..... 123

Figura 29 Interpretación de la significancia de t-Student de la hipótesis específica 3 ..... 126

Figura 30 Interpretación de la significancia de t-Student de la hipótesis específica 4 ..... 128

## RESUMEN

La presente investigación surge ante la detección de una asimetría formativa en los estudiantes de Ingeniería de Minas, caracterizada por la brecha entre el dominio teórico y la capacidad de implementación práctica en geomecánica. El objetivo principal fue implementar y validar una guía metodológica diseñada como un instrumento mediador para optimizar el aprendizaje de la Mecánica de Rocas en el sétimo semestre de la UNSAAC.

La metodología empleada es de enfoque (cuantitativo), de tipo aplicada y diseño (pre-experimental). La guía aborda de forma sistémica las clasificaciones geomecánicas (RMR, Q, GSI), el análisis tensorial de esfuerzos y la aplicación rigurosa de los criterios de falla de Mohr-Coulomb, Hoek-Brown y Barton-Bandis.

A diferencia de un manual tradicional, este recurso se estructura bajo el enfoque de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), integrando problemas contextualizados a la realidad geológica regional y protocolos de validación de campo. La validez del instrumento se estableció mediante juicio de expertos y el coeficiente de V de Aiken, mientras que su impacto en el aprendizaje fue evaluado a través de (Estadístico t-Student para muestras relacionadas mediante el pre-test y post-test). Los resultados demuestran que la guía no solo facilita la comprensión conceptual, sino que reduce significativamente la incertidumbre en la toma de decisiones técnicas, garantizando una formación alineada a los estándares internacionales de la industria minera.

**Palabras clave:** Guía metodológica, Mecánica de rocas, Aprendizaje, Enseñanza, Educación en ingeniería.

## ABSTRACT

This research arises from the identification of a formative asymmetry in Mining Engineering students, evidenced by the gap between theoretical knowledge and practical application skills in geomechanics. In this context, the main objective was to implement and validate a methodological guide designed as a mediating instrument to optimize the learning of Rock Mechanics in seventh-semester students at UNSAAC.

The study was conducted under a quantitative (or mixed, as appropriate) approach, of an applied type, and with a pre-experimental (or quasi-experimental) design. The methodological guide systematically addresses the main geomechanical classifications (RMR, Q, and GSI), stress tensor analysis, and the rigorous application of failure criteria such as Mohr-Coulomb, Hoek-Brown, and Barton-Bandis.

Unlike a traditional manual, this resource is structured under a problem-based learning (PBL) approach, integrating exercises contextualized to the regional geological reality, as well as field validation protocols. The validity of the instrument was established through expert judgment and Aiken's V coefficient. Furthermore, its impact on learning was evaluated using Student's t-test for related samples, based on the comparison of pre-test and post-test results.

The findings show that the implementation of the guide not only improves conceptual understanding but also significantly reduces uncertainty in technical decision-making, contributing to a more robust education aligned with international standards in the mining industry.

**Keywords:** Methodological guide, Rock mechanics, Learning, Teaching, Engineering education.

# INTRODUCIÓN

La ingeniería de minas moderna se enfrenta a desafíos geomecánicos cada vez más complejos debido a la profundización de las operaciones y la variabilidad intrínseca del macizo rocoso. En este escenario, la Mecánica de Rocas constituye la base fundamental para el diseño seguro de excavaciones. No obstante, en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, se ha identificado una marcada asimetría formativa en la enseñanza aprendizaje de la asignatura de mecánica de rocas que constituye una disciplina fundamental dentro de la ingeniería de minas y geotecnia, ya que proporciona el marco científico para comprender el comportamiento de los macizos rocosos frente a diversas condiciones de carga y su interacción con las obras de ingeniería. En un escenario global marcado por la Minería 4.0 y la profundización de las operaciones mineras, el estudio de las propiedades físico-mecánicas de las rocas resulta imperativo para garantizar la estabilidad y seguridad de excavaciones subterráneas y superficiales. Sin embargo, a pesar de su relevancia, se ha identificado una marcada asimetría formativa en los estudiantes del sétimo semestre de la UNSAAC. Esta brecha se manifiesta en la dificultad de los alumnos para transitar desde la teoría analítica hacia la toma de decisiones técnicas en campo. El problema se agrava ante la falta de recursos bibliográficos adaptados a la realidad geológica regional, lo que genera un aprendizaje fragmentado que no logra cubrir las exigencias de competencia actuales.

Bajo esta premisa, la presente investigación tiene como propósito fundamental implementar y validar una guía metodológica que sirva como herramienta didáctica para mejorar el aprendizaje significativo en la asignatura de Mecánica de Rocas. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con un diseño preexperimental, considerando como población a los estudiantes

del VII semestre de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), durante el periodo académico 2025-II.

La guía metodológica de mecánica de rocas está estructurada en seis capítulos: Capítulo I: Aspectos generales de la Mecánica de Rocas; Capítulo II: Clasificación de los macizos rocosos; Capítulo III: Estados tensionales; Capítulo IV: Propiedades mecánicas de las rocas; Capítulo V: Resistencia mecánica de las rocas; y Capítulo VI: Resistencia mecánica de discontinuidades. Estos capítulos no solo sistematizan contenidos fundamentales, como las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y GSI, el análisis tensorial de esfuerzos y los criterios de falla de Mohr-Coulomb, Hoek-Brown y Barton-Bandis, sino que los articulan bajo un enfoque de aprendizaje activo y orientado a la aplicación práctica.

Como parte de la propuesta metodológica, la guía incorpora el uso de herramientas computacionales especializadas de la plataforma Rocscience, seleccionadas de acuerdo con los contenidos desarrollados en cada capítulo. Estos programas permiten complementar los fundamentos teóricos mediante la modelación, análisis y resolución de problemas relacionados con la caracterización y evaluación del comportamiento de los macizos rocosos. De esta manera, la guía integra contenidos teóricos, procedimientos metodológicos, protocolos de aplicación, ejercicios contextualizados y el uso de software especializado, favoreciendo que los estudiantes no solo comprendan los conceptos fundamentales de la Mecánica de Rocas, sino que también desarrollen competencias para su aplicación en situaciones propias de la práctica de la ingeniería de minas. En este sentido, el empleo de Rocscience constituye un recurso tecnológico que contribuye a vincular el conocimiento teórico con experiencias prácticas de análisis y toma de decisiones en el ámbito de la geomecánica.

Por otro lado, la presente investigación se encuentra estructurada en cuatro capítulos, desarrollados de manera articulada con la finalidad de abordar el problema de investigación y alcanzar los objetivos planteados.

En el **Capítulo I: Planteamiento del problema**, se describe la situación problemática que da origen a la investigación, se formula el problema general y los problemas específicos, y se presenta la justificación del estudio desde su relevancia teórica, práctica y metodológica. Asimismo, se establecen el objetivo general y los objetivos específicos que orientan el desarrollo de la investigación.

El **Capítulo II: Marco teórico y conceptual**, comprende las bases teóricas que sustentan científicamente el estudio, el marco conceptual que permite precisar los principales términos relacionados con las variables de investigación y los antecedentes internacionales, nacionales y locales que evidencian el estado del conocimiento respecto al problema estudiado.

En este capítulo también se plantean la hipótesis general y las hipótesis específicas, así como la identificación y definición de las variables de estudio. Del mismo modo, se presenta la operacionalización de las variables, estableciendo sus dimensiones, indicadores y criterios de medición, de acuerdo con los objetivos de la investigación.

El **Capítulo III: Metodología**, desarrolla el procedimiento metodológico empleado para llevar a cabo el estudio. La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, es de tipo aplicada y presenta un diseño preexperimental. La población está conformada por la totalidad de estudiantes del aula de Mecánica de Rocas, por lo que se emplea una muestra censal. Para la recolección de información se utiliza como técnica la prueba, aplicada mediante un pretest y un postest, y como

instrumento un cuestionario de prueba, permitiendo obtener información objetiva sobre las variables estudiadas antes y después de la intervención.

En el **Capítulo IV: Resultados y discusión**, se presentan y analizan los resultados obtenidos mediante procedimientos de estadística descriptiva, permitiendo caracterizar y comparar el comportamiento de los datos obtenidos en el pretest y el postest. Posteriormente, se desarrolla el análisis de estadística inferencial, realizando previamente la prueba de normalidad correspondiente para determinar el tratamiento estadístico adecuado y proceder con la contrastación de las hipótesis planteadas. Finalmente, los resultados son discutidos considerando los antecedentes y fundamentos teóricos de la investigación, lo que permite establecer las conclusiones y formular las recomendaciones pertinentes.

En conjunto, la estructura de la investigación permite desarrollar de manera ordenada y coherente cada una de las etapas del proceso científico, desde la identificación y formulación del problema hasta el análisis de los resultados, la contrastación de las hipótesis y la formulación de conclusiones y recomendaciones, contribuyendo así al conocimiento y fortalecimiento del área de estudio.

Finalmente, este estudio se justifica por su capacidad de cerrar la brecha entre la academia y la industria, proporcionando un recurso validado científicamente que garantiza que el futuro ingeniero de minas posea las competencias necesarias para gestionar la incertidumbre del macizo rocoso con rigor y seguridad.

# CAPÍTULO I

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Situación problemática

A diferencia de la Mecánica de Suelos o del diseño en acero, la Mecánica de Rocas estudia un material caracterizado por su heterogeneidad, anisotropía y discontinuidad, condiciones que hacen que su comportamiento dependa no solo de las propiedades de la roca intacta, sino también de la presencia, orientación, espaciamiento, persistencia y condición de las discontinuidades que conforman el macizo rocoso. Esta particularidad representa un desafío para la formación del ingeniero de minas, debido a que el comportamiento observado en una muestra de laboratorio no necesariamente representa el comportamiento del macizo rocoso a escala de una excavación minera.

En el escenario global. Las universidades lideres (como la Colorado School of Mines o la Universidad de Queensland) han identificado que el principal problema es “brecha de escala”, entendida como la diferencia existente entre el comportamiento de una probeta de dimensiones reducidas, estudiada bajo condiciones controladas de laboratorio, y el comportamiento del macizo rocoso a escala de una excavación minera. Por ejemplo, las características obtenidas en una probeta de pocos centímetros no pueden ser trasladadas directamente a un tajeo de grandes dimensiones, debido a la influencia de las discontinuidades, estructuras geológicas, condiciones de agua y estado de esfuerzos. Esta condición exige que la formación en Mecánica de Rocas trascienda el aprendizaje aislado de propiedades y fórmulas y promueva la capacidad de interpretar el comportamiento del macizo a diferentes escalas.

En este contexto, la formación contemporánea en Mecánica de Rocas viene incorporando sistemas de clasificación, análisis geomecánico y herramientas de modelamiento numérico que permiten complementar los procedimientos analíticos tradicionales. A ello se suma la transformación digital de la industria minera bajo el paradigma de la Minería 4.0, caracterizada por la incorporación progresiva de tecnologías digitales, automatización, procesamiento de datos e inteligencia artificial.

Dentro de esta transformación, la caracterización del macizo rocoso ya no se limita exclusivamente al logueo manual. La fotogrametría, el escaneo láser y el procesamiento de nubes de puntos permiten obtener información geométrica y estructural con mayor nivel de detalle. Estas tecnologías pueden integrarse para generar representaciones digitales del macizo rocoso y de las excavaciones, dando lugar al concepto de gemelos digitales, mediante los cuales se busca representar digitalmente condiciones del entorno físico a partir de información obtenida y procesada mediante diferentes tecnologías.

Asimismo, la Inteligencia Artificial (IA) viene adquiriendo importancia en diferentes ámbitos de la actividad minera y constituye un campo de investigación para el procesamiento de información y la identificación de patrones asociados con fenómenos geomecánicos, incluyendo el análisis de eventos sísmicos y condiciones relacionadas con la estabilidad de excavaciones. Estas transformaciones plantean nuevas exigencias para la formación del futuro ingeniero de minas, quien debe desarrollar capacidades que le permitan comprender, interpretar y utilizar progresivamente herramientas digitales relacionadas con su campo profesional.

Paralelamente, el escenario mundial de la educación en ingeniería ha avanzado hacia modelos centrados en el desarrollo de competencias. La metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar) plantea que la formación debe permitir al estudiante aplicar conocimientos

en situaciones propias de la práctica de ingeniería. Asimismo, los criterios de acreditación de ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) enfatizan la importancia de los resultados de aprendizaje y las competencias que los estudiantes son capaces de demostrar al culminar su proceso formativo.

Desde esta perspectiva, el proceso educativo deja de centrarse exclusivamente en la pregunta "¿qué sabe el estudiante?" y adquiere relevancia la pregunta "¿qué es capaz de hacer el estudiante con lo que sabe?". En consecuencia, las guías metodológicas pueden asumir una función diferente a la de un simple manual de lectura. Pueden constituirse en "hojas de ruta de experimentación", orientando al estudiante en la observación, caracterización, análisis, interpretación y resolución de problemas geomecánicos.

Para efectos de la presente investigación, la Guía Metodológica de Mecánica de Rocas se entiende como un instrumento didáctico estructurado que organiza contenidos, procedimientos, actividades prácticas y orientaciones para el aprendizaje, con la finalidad de facilitar la articulación entre los conocimientos teóricos y su aplicación en situaciones relacionadas con la Mecánica de Rocas.

Mientras que en el escenario internacional se observa una tendencia hacia la digitalización, el aprendizaje activo y la formación basada en competencias, en el contexto peruano la Mecánica de Rocas continúa siendo un componente esencial de la formación del ingeniero de minas. Sin embargo, en contextos locales como la **Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)** se identifica una brecha entre la teoría impartida y la capacidad de implementación práctica de los estudiantes.

Esta situación se relaciona, entre otros aspectos, con la utilización de bibliografía técnica que frecuentemente se encuentra en inglés o que ha sido desarrollada considerando condiciones geológicas diferentes a las existentes en los Andes peruanos. A ello se suma la permanencia de hábitos de estudio heredados de etapas educativas anteriores, basados en la utilización de separatas, resúmenes y materiales condensados, los cuales pueden facilitar la revisión de información, pero no necesariamente garantizan profundidad conceptual, contextualización ni capacidad de aplicación práctica.

En consecuencia, el problema no se limita a la falta de información disponible, sino a la ausencia de un instrumento mediador que organice y articule los conocimientos, procedimientos y actividades necesarias para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas.

En los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC, la problemática puede identificarse a partir de tres manifestaciones principales.

La primera corresponde a la dispersión de la información. Los contenidos necesarios para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas se encuentran distribuidos en diferentes fuentes bibliográficas, separatas, documentos técnicos y materiales académicos. Esta dispersión puede generar dificultades para construir una secuencia organizada de aprendizaje y favorecer la adquisición de conceptos de manera fragmentada o predominantemente memorística.

La segunda corresponde a la falta de rutas de experimentación. El aprendizaje de la Mecánica de Rocas requiere que el estudiante no solo conozca los fundamentos de las clasificaciones del macizo rocoso, sino que también pueda desarrollar procedimientos de campo y laboratorio, registrar información, procesar datos e interpretar resultados. Sin una guía

metodológica estructurada, estas actividades pueden desarrollarse de manera aislada, dificultando la articulación entre teoría y práctica.

La tercera corresponde a la inadaptabilidad frente a las nuevas exigencias profesionales. La transformación de la actividad minera hacia la Minería 4.0 demanda progresivamente competencias relacionadas con herramientas digitales, modelamiento, procesamiento de información y metodologías activas. Sin embargo, cuando el aprendizaje de la mecánica de rocas permanece principalmente centrado en textos, separatas, logueo manual, teoría analítica clásica y aplicación de fórmulas de laboratorio, puede existir una distancia entre las experiencias formativas del estudiante y las nuevas demandas de la profesión.

Estas condiciones configuran lo que en la presente investigación se denomina asimetría formativa, entendida como el desequilibrio existente entre el conocimiento conceptual acumulado por el estudiante y su capacidad de respuesta técnica ante situaciones prácticas de Mecánica de Rocas.

Esta asimetría formativa puede analizarse en tres dimensiones.

La asimetría cognitiva se presenta cuando el estudiante conoce los fundamentos teóricos de las clasificaciones del macizo rocoso, como RMR, Q y GSI, pero tiene dificultades para trasladar estos conocimientos a actividades de logueo, caracterización e interpretación del macizo rocoso debido a la ausencia de criterios y procedimientos estandarizados.

La asimetría tecnológica se relaciona con la distancia entre las herramientas que progresivamente incorpora la actividad minera y las experiencias de aprendizaje disponibles para el estudiante. Mientras el contexto de la Minería 4.0 incorpora fotogrametría, modelamiento numérico, procesamiento de información e inteligencia artificial, el aprendizaje puede mantenerse

principalmente en procedimientos analíticos convencionales cuando no existe una ruta didáctica que permita integrar progresivamente herramientas tecnológicas al proceso formativo.

La asimetría de contexto se relaciona con la dificultad para vincular los contenidos estudiados con las condiciones geológicas y mineras propias del contexto regional. El empleo de bibliografía extranjera resulta importante para acceder al conocimiento especializado; sin embargo, cuando sus contenidos no son contextualizados, puede dificultarse el desarrollo de un criterio ingenieril relacionado con las condiciones particulares de regiones como Cusco y Apurímac.

Como sostiene Díaz-Barriga (2026):

> La enseñanza de las ciencias y la ingeniería a menudo padece de una descontextualización que impide al estudiante trasferir lo aprendido en el aula a situaciones de la práctica profesional, creando una brecha entre el "saber decir" y el "saber hacer" (p.27).

En relación con esta problemática, el aprendizaje de la Mecánica de Rocas se entiende para la presente investigación como el nivel de conocimientos y capacidades que desarrolla el estudiante respecto de los contenidos relacionados con la caracterización, clasificación e interpretación del macizo rocoso. La existencia de la asimetría formativa hace necesario fortalecer este aprendizaje mediante estrategias que permitan articular los conocimientos conceptuales con actividades prácticas y contextualizadas.

Asimismo, debido a que la Guía Metodológica constituye el instrumento mediante el cual se pretende organizar y orientar el proceso de aprendizaje, resulta pertinente conocer la percepción de los estudiantes respecto de la Guía Metodológica, entendida como la valoración que realizan

después de utilizarla en función de aspectos como su claridad, organización, pertinencia, utilidad y facilidad de uso.

Si la situación descrita se mantiene, podría persistir la brecha entre el conocimiento teórico y la capacidad de aplicación práctica de los estudiantes de Mecánica de Rocas. La dependencia de materiales fragmentados, el aprendizaje predominantemente pasivo, la limitada existencia de rutas de experimentación y la insuficiente articulación entre teoría, práctica y herramientas tecnológicas podrían dificultar el desarrollo de competencias necesarias para responder a situaciones geomecánicas reales.

Asimismo, podría mantenerse la asimetría cognitiva, tecnológica y contextual identificada, generando dificultades para que el estudiante transfiera los conocimientos adquiridos hacia actividades de caracterización, clasificación, análisis e interpretación del macizo rocoso. Esta situación podría limitar la correspondencia entre la formación universitaria y las nuevas exigencias asociadas con la transformación digital de la actividad minera.

En consecuencia, de no implementarse estrategias metodológicas que permitan organizar y contextualizar el aprendizaje, existe el riesgo de mantener un proceso formativo centrado principalmente en la adquisición de información, sin fortalecer suficientemente la capacidad del estudiante para aplicar sus conocimientos en situaciones prácticas de Mecánica de Rocas.

Frente a la problemática identificada, surge la necesidad de disponer de un instrumento metodológico que permita organizar, contextualizar y orientar el aprendizaje de la Mecánica de Rocas. En este sentido, se plantea la elaboración y aplicación de una Guía Metodológica de Mecánica de Rocas dirigida a los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC.

## 1.2. Formulación del problema

### *1.2.1. Problema general*

¿En qué medida la implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas influye en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC – 2025-II?

### *1.2.2. Problemas específicos*

1: ¿Cuáles son las dificultades que enfrentan los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas?

2: ¿Como perciben la utilidad y efectividad de la guía metodológica en el aprendizaje de la mecánica de rocas los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II?

3: ¿En qué medida el uso de la guía metodológica favorece el aprendizaje conceptual en mecánica de rocas en los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II?

4: ¿En qué medida el uso de la guía metodológica favores el aprendizaje estratégico crítico en mecánica de rocas en los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II?

## 1.3. Justificación de la investigación

### *1.3.1. Justificación Teórica*

Esta investigación se justifica teóricamente porque busca profundizar en la relación entre la psicopedagogía aplicada a la ingeniería y la geomecánica. A través de:

Cierre de brechas: Permitirá sistematizar conceptos dispersos sobre el comportamiento del macizo rocoso (heterogeneidad, anisotropía y discontinuidad) bajo un enfoque de aprendizaje por competencias y también el aprendizaje basado en problemas.

Aporte cognitivo: Proporcionará un marco teórico actualizado que integra los estándares de la ISRM (International Society for Rock Mechanics) con la realidad geológica local, sirviendo como base para futuras investigaciones que busquen reducir la ambigüedad en la interpretación de datos de campo.

### *1.3.2. Justificación Metodológica*

El presente estudio propone un cambio en el "cómo" se enseña y se aprende la Mecánica de Rocas en la UNSAAC. Se justifica mediante la creación y validación de un instrumento pedagógico (la Guía) que podrá ser replicado en otras asignaturas de la carrera. Así mismo, el uso de métodos de validación (como el coeficiente de V de Aiken o Juicio de Expertos) asegura que el proceso de aprendizaje deje de ser subjetivo y pase a ser un proceso estandarizado y auditable, alineado con las exigencias de acreditadoras internacionales como ABET.

### *1.3.3. Justificación Práctica*

La guía permitirá que el alumno del sétimo semestre pase de la resolución de ejercicios teóricos en papel a la toma de decisiones en escenarios de minería real (logueo, estabilidad de taludes, sostenimiento).

Al reducir la asimetría formativa, los egresados contarán con habilidades técnicas inmediatas (manejo de software y criterios de campo), facilitando su inserción en un mercado laboral altamente competitivo que demanda "ingenieros operativos" desde el primer día.

### *1.3.4. Justificación Social y Académica*

El presente estudio se justifica desde el punto de vista social, por que contribuye al fortalecimiento institucional, ya que eleva el estándar académico de la UNSAAC, posicionando a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas a la vanguardia regional, al nivel de universidades prestigiosas del país.

En cuanto al aspecto académico contribuirá a una mejor formación en mecánica de rocas se traduce directamente en diseños mineros más seguros, lo que a largo plazo favorece a la reducción de accidentes por caída de rocas en las operaciones mineras del sur del país.

## 1.4. Objetivos de la investigación

### *1.4.1. Objetivo general*

Evaluar la influencia de la implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas y su influencia en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC – 2025-II.

### *1.4.2. Objetivos específicos*

1: Identificar cuáles son las dificultades que enfrentan los estudiantes del sétimo semestre de ingeniería de minas de la UNSAAC-2025-II en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas.

2: Evaluar como perciben la utilidad y efectividad de la guía metodológica en el aprendizaje de la mecánica de rocas los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II.

3: Determinar en qué medida el uso de la guía metodológica favorece el aprendizaje conceptual del área de mecánica de rocas en alumnos del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II.

4: Determinar en qué medida el uso de la guía metodológica favorece el aprendizaje estratégico crítico del área de mecánica de rocas en alumnos del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II.

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## 2.1. Bases teóricas

### *2.1.1. La Guía Metodológica en Ingeniería*

La guía metodológica en ingeniería constituye un instrumento orientador del proceso de enseñanza-aprendizaje, cuyo propósito es estructurar y facilitar la interacción del estudiante con los contenidos, las actividades y las estrategias formativas. Sin embargo, más allá de su diseño teórico, resulta fundamental considerar la percepción de los estudiantes respecto a dicha guía, ya que su valoración influye directamente en el nivel de aceptación, comprensión y uso efectivo del recurso. En este sentido, la apreciación estudiantil se convierte en un indicador relevante para determinar la pertinencia y funcionalidad de la guía metodológica en contextos educativos. Tal como plantea Ángel Díaz Barriga (2006), la enseñanza descontextualizada genera una brecha entre el "saber decir" y el "saber hacer", lo cual refuerza la necesidad de diseñar y evaluar instrumentos que no solo sean técnicamente adecuados, sino también significativos para los estudiantes.

Desde esta perspectiva, la evaluación de la guía metodológica no se centra en medir directamente el rendimiento académico, sino en recoger la apreciación de los estudiantes mediante instrumentos que incluyen preguntas orientadas a conocer su opinión sobre distintos aspectos del recurso. Este tipo de evaluación, de carácter perceptivo, permite identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora en el diseño y aplicación de la guía, considerando al estudiante como un actor clave dentro del proceso educativo.

En relación con la dimensión contenido, la apreciación de los estudiantes se orienta a valorar la claridad, pertinencia y relevancia de los temas presentados en la guía metodológica. Los

estudiantes evalúan si los contenidos son comprensibles, si están adecuadamente relacionados con su formación profesional y si contribuyen a la aplicación práctica del conocimiento. Una percepción positiva en esta dimensión indica que el contenido responde a sus expectativas y necesidades formativas, mientras que una valoración negativa puede evidenciar problemas de complejidad, descontextualización o falta de actualización.

Respecto a la dimensión estructura, la apreciación se centra en la organización y presentación de la guía. Los estudiantes valoran si la información está ordenada de manera lógica, si existe coherencia entre los diferentes elementos y si la secuencia de actividades facilita el aprendizaje. Una estructura clara y bien organizada favorece la comprensión y el uso autónomo de la guía, mientras que una estructura confusa puede generar dificultades en la interpretación de las instrucciones y en el desarrollo de las actividades propuestas.

En cuanto a la dimensión metodología, la percepción estudiantil se orienta a evaluar las estrategias didácticas propuestas en la guía. En este sentido, los estudiantes valoran si las actividades planteadas son dinámicas, participativas y orientadas a la resolución de problemas reales o simulados. Asimismo, consideran si la metodología promueve su participación activa y facilita la comprensión de los contenidos. Una apreciación favorable en esta dimensión sugiere que la guía logra involucrar al estudiante en su propio proceso de aprendizaje.

En la dimensión recursos, la apreciación de los estudiantes se enfoca en la utilidad, accesibilidad y pertinencia de los materiales y herramientas utilizadas en la guía metodológica. Esto incluye la valoración de elementos como materiales didácticos, herramientas tecnológicas, simuladores o cualquier otro recurso de apoyo. Los estudiantes evalúan si estos recursos facilitan el aprendizaje, si son adecuados para el desarrollo de las actividades y si contribuyen a una mejor comprensión de los contenidos.

Por su parte, la dimensión flexibilidad se relaciona con la percepción de los estudiantes respecto a la capacidad de la guía para adaptarse a sus ritmos de aprendizaje y necesidades individuales. En este sentido, los estudiantes valoran si la guía permite cierto grado de autonomía, si ofrece alternativas en el desarrollo de las actividades y si se ajusta a diferentes niveles de comprensión. Una guía percibida como flexible favorece un aprendizaje más personalizado y reduce posibles barreras en el proceso formativo.

Finalmente, en la dimensión evaluación, la apreciación estudiantil se orienta a valorar la claridad, coherencia y pertinencia de los criterios e instrumentos de evaluación propuestos en la guía metodológica. Los estudiantes consideran si las formas de evaluación son justas, si están alineadas con las actividades desarrolladas y si permiten evidenciar adecuadamente su aprendizaje. Asimismo, valoran si reciben retroalimentación que contribuya a mejorar su desempeño.

En síntesis, la guía metodológica en ingeniería, evaluada desde la apreciación de los estudiantes, permite obtener información relevante sobre su diseño, aplicación y funcionalidad. La incorporación de instrumentos basados en preguntas de percepción facilita la recolección de datos sobre la experiencia del estudiante, lo que contribuye a la mejora continua del proceso educativo. De este modo, la valoración estudiantil se convierte en un elemento clave para asegurar que la guía metodológica no solo cumpla con criterios pedagógicos, sino que también responda a las necesidades y expectativas de quienes la utilizan.

#### 2.1.1.1. Fundamentos de las estrategias de enseñanza en ingeniería

**Modelos Pedagógicos: Del modelo tradicional al Enfoque por Competencias.**

Los modelos pedagógicos constituyen marcos teóricos que orientan la práctica educativa y definen la relación entre docente, estudiante, contenidos y evaluación. En su evolución, la educación ha transitado desde modelos tradicionales centrados en la transmisión de información hacia enfoques más dinámicos como el aprendizaje por competencias.

El modelo tradicional se caracteriza por una enseñanza centrada en el docente, donde el estudiante adopta un rol pasivo. Este enfoque prioriza la memorización y reproducción de contenidos. En este modelo, el aprendizaje se entiende como acumulación de información, lo que limita el desarrollo de habilidades complejas y la aplicación del conocimiento en contextos reales.

En contraste, los enfoques constructivistas plantean una visión distinta del aprendizaje.

Como sostiene Lev - Vygotsky (1978): sostiene que “el aprendizaje humano presupone una naturaleza social específica y un proceso mediante el cual los estudiantes acceden a la vida intelectual de aquellos que les rodean” (p. 79).

Lo cual implica que el conocimiento se construye a través de la interacción con otros y con el entorno.

En este proceso evolutivo surge el enfoque por competencias, el cual representa un cambio importante en la educación superior. Este enfoque no se limita a la adquisición de conocimientos, sino que enfatiza su aplicación en contextos reales. Como sostiene Philippe Perrenoud (2004), “una competencia es la capacidad de movilizar diversos recursos cognitivos para hacer frente a un tipo de situación” (p. 11).

Asimismo, este enfoque implica una transformación del rol docente y del estudiante. El docente pasa a ser un mediador del aprendizaje, mientras que el estudiante se convierte en el protagonista de su formación, capaz de integrar conocimientos, habilidades y actitudes para resolver problemas complejos. La evaluación, en este contexto, deja de centrarse únicamente en el resultado final y se orienta al desempeño y la demostración de competencias en situaciones reales o simuladas.

En conclusión, la evolución de los modelos pedagógicos evidencia un tránsito desde una educación centrada en la transmisión de contenidos hacia una formación orientada al desarrollo de competencias, lo cual responde a las exigencias de una sociedad dinámica, tecnológica y en constante cambio.

El modelo CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar) en la enseñanza minera.

Constituye un enfoque educativo desarrollado para la formación en ingeniería que busca alinear el aprendizaje universitario con las exigencias reales de la práctica profesional. Este modelo surge como respuesta a la necesidad de superar la enseñanza tradicional centrada en la transmisión de contenidos, promoviendo en su lugar un aprendizaje activo, integrado y orientado al desarrollo de competencias. En este sentido, CDIO plantea que el proceso formativo debe reproducir el ciclo de vida completo de un sistema de ingeniería, desde la concepción de una idea hasta su operación en contextos reales.

En términos generales, CDIO se estructura en cuatro etapas fundamentales: concebir, diseñar, implementar y operar. La fase de “concebir” implica la identificación de necesidades, el análisis de problemas y la generación de ideas de solución. La etapa de “diseñar” se orienta a la planificación técnica, modelación y desarrollo de alternativas viables. Posteriormente, la fase de

“implementar” se relaciona con la construcción, ejecución o materialización de la solución diseñada. Finalmente, la etapa de “operar” corresponde al uso, mantenimiento y evaluación del sistema o solución implementada en un contexto real o simulado.

Este enfoque ha sido ampliamente adoptado en la formación en ingeniería debido a su capacidad para integrar conocimientos teóricos con habilidades prácticas. Como sostiene CDIO Initiative (2004), “los estudiantes deben aprender ingeniería en el contexto de la concepción, diseño, implementación y operación de sistemas y productos del mundo real” (p. 8).

Esta perspectiva permite que el aprendizaje sea más significativo, ya que los estudiantes no solo adquieren conocimientos, sino que también desarrollan competencias para aplicarlos en situaciones profesionales complejas.

En el contexto de la enseñanza minera, el modelo CDIO adquiere especial relevancia debido a la naturaleza práctica, multidisciplinaria y altamente técnica de esta área. La minería requiere profesionales capaces de analizar problemas geológicos, diseñar soluciones de extracción, implementar procesos seguros y operar sistemas productivos eficientes. En este sentido, el modelo CDIO permite simular y abordar el ciclo completo de la actividad minera, facilitando la integración entre teoría y práctica.

Asimismo, la aplicación del modelo CDIO en ingeniería minera contribuye al desarrollo de competencias clave como el trabajo en equipo, la toma de decisiones, el pensamiento crítico y la resolución de problemas complejos. Estas competencias son esenciales en un sector donde las condiciones de trabajo pueden variar significativamente y donde las decisiones técnicas tienen un impacto directo en la seguridad, la productividad y el medio ambiente.

En consecuencia, el modelo CDIO representa una estrategia pedagógica innovadora que fortalece la formación en ingeniería minera, al promover un aprendizaje basado en proyectos reales y en la integración de conocimientos interdisciplinarios. Su implementación permite cerrar la brecha entre la formación académica y las demandas del entorno profesional, contribuyendo a la formación de ingenieros más competentes y preparados para los desafíos del sector.

**Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) aplicado a la mecánica de rocas**

Es una metodología activa que se centra en el estudiante como protagonista de su proceso de aprendizaje, promoviendo el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas reales o simulados. Este enfoque resulta especialmente pertinente en la formación en ingeniería, donde los profesionales deben enfrentar situaciones complejas que requieren análisis, toma de decisiones y aplicación integrada de conocimientos.

El ABP se caracteriza por presentar al estudiante un problema abierto, generalmente relacionado con su campo profesional, a partir del cual debe identificar lo que necesita aprender para poder resolverlo. En este proceso, el docente actúa como facilitador, guiando el aprendizaje sin proporcionar soluciones directas. De esta manera, se fomenta el pensamiento crítico, el trabajo colaborativo y la autonomía del estudiante.

En el ámbito de la ingeniería geológica y minera, el ABP tiene una aplicación particularmente relevante en la mecánica de rocas, ya que esta disciplina se ocupa del comportamiento de los materiales rocosos bajo diferentes condiciones de esfuerzo. La naturaleza compleja y variable de los macizos rocosos exige que el estudiante no solo memorice conceptos teóricos, sino que sea capaz de aplicarlos en situaciones reales como excavaciones, estabilidad de taludes o diseño de túneles.

En este sentido, el ABP permite contextualizar el aprendizaje de la mecánica de rocas mediante la resolución de problemas geotécnicos reales, favoreciendo la integración entre teoría y práctica. Como sostiene Howard Barrows (1986), “el aprendizaje basado en problemas es un método de aprendizaje que utiliza problemas reales como punto de partida para la adquisición y la integración de nuevos conocimientos” (p. 481).

Esta perspectiva implica que el conocimiento no se transmite de forma aislada, sino que se construye activamente a partir de la necesidad de resolver una situación concreta. En el caso de la mecánica de rocas, esto se traduce en la capacidad del estudiante para analizar condiciones geológicas, interpretar parámetros geotécnicos y proponer soluciones de estabilidad o diseño.

Asimismo, el ABP favorece el desarrollo de competencias profesionales esenciales en ingeniería, como el razonamiento analítico, la capacidad de trabajo en equipo y la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre. En la práctica minera, estas competencias son fundamentales, ya que los proyectos geotécnicos requieren evaluaciones constantes del terreno y respuestas rápidas ante posibles fallas estructurales.

En consecuencia, el Aprendizaje Basado en Problemas aplicado a la mecánica de rocas representa una estrategia pedagógica efectiva para reducir la brecha entre la formación académica y la práctica profesional. Su implementación permite que el estudiante desarrolle un aprendizaje significativo, contextualizado y orientado a la resolución de problemas reales del entorno minero y geotécnico.

**El** Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una metodología activa de enseñanza-aprendizaje que promueve la construcción del conocimiento mediante el análisis y la resolución de situaciones problemáticas. Su desarrollo se inició en la década de 1960 en la Universidad

McMaster, Canadá, especialmente en el ámbito de la educación médica, destacándose como uno de sus principales impulsores Howard Barrows. Esta metodología busca que los estudiantes asuman un papel activo en su aprendizaje, desarrollando habilidades para analizar problemas, buscar información, plantear alternativas y fundamentar sus soluciones.

Pasos para la implementación del Aprendizaje Basado en Problemas:

**Presentación de problema. -** Se plantea una situación problemática realista y relacionada con el contexto de aprendizaje, que permita despertar el interés de los estudiantes y generar la necesidad de buscar una solución.

**Aclaración de términos y conceptos. -** Los estudiantes identifican y precisan los términos, conceptos e ideas que requieren ser comprendidos para abordar adecuadamente el problema.

**Identificación de factores relevantes. -**Se analizan los principales elementos, variables y factores que intervienen en la situación problemática.

**Generación de hipótesis. -**Los estudiantes plantean posibles explicaciones o alternativas de solución a partir de sus conocimientos previos y del análisis inicial del problema.

**Identificación de lagunas de conocimiento. -**Se determinan los conocimientos que aún necesitan adquirir o profundizar para comprender el problema y plantear una solución fundamentada.

**Búsqueda de información. -**Los estudiantes realizan una investigación y seleccionan información pertinente de diversas fuentes, con el propósito de ampliar sus conocimientos y sustentar sus propuestas.

**Resolución de problemas. -** Finalmente, los estudiantes integran la información obtenida, elaboran una propuesta de solución y presentan los resultados, sustentando las decisiones adoptadas durante el proceso.

#### 2.1.1.2. La Guía Metodológica como Recurso Didáctico

##### Definición y estructura de una guía metodológica

La guía metodológica es un instrumento pedagógico que orienta y organiza el proceso de enseñanza-aprendizaje, proporcionando una secuencia estructurada de actividades, estrategias, recursos y criterios de evaluación. Su propósito principal es facilitar el desarrollo de los contenidos de una asignatura o área formativa, asegurando coherencia entre los objetivos educativos y las actividades propuestas. En el ámbito de la educación en ingeniería, la guía metodológica adquiere especial importancia debido a la necesidad de articular conocimientos teóricos con su aplicación práctica en contextos profesionales.

Desde una perspectiva educativa, la guía metodológica puede entenderse como un documento de planificación didáctica que orienta tanto al docente como al estudiante en el desarrollo del proceso formativo. Su función no se limita a la organización de contenidos, sino que también promueve la autonomía del estudiante, la secuenciación del aprendizaje y la integración de estrategias activas que faciliten la comprensión y aplicación del conocimiento.

En este sentido, la planificación didáctica y la estructuración de los procesos educativos son fundamentales para lograr aprendizajes significativos. Como sostiene Philippe Perrenoud (2004), “una competencia es la capacidad de movilizar diversos recursos cognitivos para hacer frente a un tipo de situación” (p.7).

Esta idea se vincula directamente con la guía metodológica, ya que su estructura debe permitir al estudiante movilizar conocimientos, habilidades y actitudes en situaciones de aprendizaje planificadas y contextualizadas.

En cuanto a su estructura, una guía metodológica generalmente se organiza en varios componentes esenciales. En primer lugar, se encuentran los objetivos de aprendizaje, que definen las competencias o capacidades que el estudiante debe alcanzar al finalizar el proceso. En segundo lugar, se incluyen los contenidos, que representan los saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales que serán abordados. En tercer lugar, se establecen las actividades de aprendizaje, las cuales describen las acciones que el estudiante debe realizar para alcanzar los objetivos propuestos.

Asimismo, la estructura contempla las estrategias metodológicas, que determinan el enfoque didáctico utilizado, como el aprendizaje basado en problemas, proyectos o estudios de caso. También incluye los recursos didácticos, que son los medios materiales o tecnológicos que facilitan el aprendizaje, como simuladores, laboratorios o plataformas virtuales. Finalmente, incorpora el sistema de evaluación, el cual permite verificar el logro de los aprendizajes mediante criterios e instrumentos específicos.

En conjunto, la guía metodológica constituye una herramienta clave para asegurar la coherencia del proceso educativo, favoreciendo un aprendizaje significativo, organizado y orientado al desarrollo de competencias profesionales, especialmente en el campo de la ingeniería.

**Importancia de la guía en el trabajo de campo y laboratorio.**

La guía metodológica adquiere una relevancia particular en el trabajo de campo y laboratorio dentro de la formación en ingeniería, ya que en estos espacios se concreta la articulación entre la teoría y la práctica. A diferencia del aula teórica, el laboratorio y el campo

presentan condiciones reales o simuladas donde el estudiante debe aplicar conocimientos, procedimientos técnicos y criterios de análisis para resolver situaciones concretas. En este contexto, la guía cumple la función de orientar, estructurar y dar sentido a las actividades prácticas, asegurando que el aprendizaje sea sistemático y alineado con los objetivos formativos.

En el trabajo de laboratorio, la guía metodológica permite organizar las prácticas experimentales, estableciendo procedimientos claros, materiales necesarios, normas de seguridad y criterios de análisis de resultados. Esto facilita que el estudiante no solo ejecute actividades de manera mecánica, sino que comprenda el propósito de cada procedimiento y pueda interpretar los resultados obtenidos. De igual forma, en el trabajo de campo, la guía orienta la observación, recolección de datos y análisis de fenómenos reales, lo que resulta fundamental en disciplinas como la ingeniería minera, geológica o civil.

En este sentido, la importancia de la guía metodológica radica en su capacidad para estructurar experiencias de aprendizaje significativas en entornos prácticos. Como sostiene Ángel Díaz Barriga (2006), “la enseñanza descontextualizada genera una brecha entre el ‘saber decir’ y el ‘saber hacer’” (p. 27).

Esta afirmación evidencia la necesidad de que los procesos formativos incluyan experiencias contextualizadas como el laboratorio y el trabajo de campo, donde el estudiante pueda aplicar de manera directa los conocimientos adquiridos en el aula.

Asimismo, la guía metodológica contribuye al desarrollo de competencias profesionales, ya que promueve el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la toma de decisiones en situaciones reales. En el laboratorio, por ejemplo, el estudiante aprende a interpretar datos, validar

hipótesis y trabajar con precisión técnica; mientras que en el campo desarrolla habilidades de observación, análisis del entorno y adaptación a condiciones variables.

En conjunto, la guía metodológica en el trabajo de campo y laboratorio no solo organiza las actividades prácticas, sino que también garantiza que estas respondan a un propósito formativo claro, fortaleciendo la integración entre teoría y práctica y favoreciendo un aprendizaje significativo en la formación en ingeniería.

**Estándares internacionales para la elaboración de manuales técnicos (normas ISRM).**

La elaboración de manuales técnicos en ingeniería requiere el cumplimiento de estándares internacionales que garanticen la calidad, la uniformidad y la confiabilidad de los procedimientos descritos. En este contexto, las normas de la International Society for Rock Mechanics (ISRM) constituyen un referente fundamental para la estandarización de ensayos, procedimientos y criterios técnicos en el ámbito de la mecánica de rocas. Estas normas permiten que los resultados obtenidos en diferentes contextos sean comparables, reproducibles y científicamente válidos, lo cual es esencial en disciplinas como la ingeniería minera y geotécnica.

La ISRM establece directrices para la ejecución de ensayos de laboratorio y campo relacionados con las propiedades de las rocas, tales como resistencia, deformabilidad y comportamiento ante esfuerzos. Estas directrices buscan asegurar que los procedimientos técnicos se realicen bajo condiciones controladas y homogéneas, reduciendo la variabilidad en los resultados y aumentando la confiabilidad de la información obtenida. En este sentido, los manuales técnicos elaborados bajo estos estándares no solo describen procedimientos, sino que también garantizan su validez científica y su aplicabilidad en distintos contextos geológicos.

La importancia de estas normas radica en su capacidad para unificar criterios técnicos a nivel internacional, permitiendo que ingenieros y especialistas de diferentes países trabajen bajo un mismo marco metodológico. Como sostiene la International Society for Rock Mechanics (ISRM) (2007), “el propósito de los métodos sugeridos es proporcionar procedimientos estandarizados para los ensayos de mecánica de rocas, con el fin de garantizar la comparabilidad y la fiabilidad de los resultados en diferentes laboratorios y condiciones de campo” (p. 15).

Esta estandarización es fundamental para la formación en ingeniería, ya que permite que los estudiantes desarrollen competencias técnicas basadas en procedimientos reconocidos internacionalmente, fortaleciendo así su preparación profesional.

Asimismo, la aplicación de los estándares ISRM en la elaboración de manuales técnicos contribuye a la mejora de la calidad en el trabajo de campo y laboratorio, ya que proporciona lineamientos claros sobre la ejecución de ensayos, el manejo de equipos y la interpretación de resultados. Esto resulta especialmente relevante en la ingeniería minera, donde las decisiones técnicas dependen en gran medida de la precisión de los datos geomecánicos obtenidos.

En consecuencia, los estándares internacionales de la ISRM no solo cumplen una función normativa, sino que también desempeñan un papel formativo al orientar la enseñanza de la mecánica de rocas hacia prácticas profesionales rigurosas, seguras y comparables a nivel global. Su incorporación en manuales técnicos permite fortalecer la relación entre la academia y la industria, garantizando que los futuros ingenieros estén preparados para enfrentar los desafíos del entorno profesional con criterios estandarizados y científicamente validados.

### *2.1.2. Aprendizaje en la Mecánica de Rocas*

El aprendizaje en la Mecánica de Rocas en la formación en ingeniería minera y geológica debe entenderse como un proceso integral que articula el qué se aprende con el cómo se aprende, permitiendo al estudiante desarrollar conocimientos, habilidades y capacidades de análisis aplicables a situaciones reales del entorno geotécnico. En este sentido, no basta con la transmisión de contenidos teóricos, sino que es necesario promover experiencias de aprendizaje que integren la comprensión conceptual con la aplicación práctica, el razonamiento estratégico y el pensamiento crítico.

En cuanto al qué se aprende, el aprendizaje en Mecánica de Rocas incluye conocimientos fundamentales sobre el comportamiento mecánico de los macizos rocosos, tales como esfuerzos, deformaciones, resistencia de materiales rocosos, clasificación geomecánica y criterios de estabilidad. Este conocimiento conceptual constituye la base científica que permite interpretar fenómenos geotécnicos y sustentar decisiones técnicas en ingeniería.

Por otro lado, el cómo se aprende está relacionado con los procesos pedagógicos y metodológicos que permiten la construcción del conocimiento. En este caso, el aprendizaje se desarrolla mediante la experimentación en laboratorio, el análisis de casos reales, el trabajo de campo y la resolución de problemas geotécnicos. Estas estrategias favorecen un aprendizaje activo, donde el estudiante no solo recibe información, sino que la aplica, la analiza y la transforma en soluciones.

En este marco, el aprendizaje conceptual se centra en la comprensión de teorías y principios de la Mecánica de Rocas, lo que permite al estudiante interpretar el comportamiento de los materiales rocosos. El aprendizaje procedimental, en cambio, se orienta al desarrollo de

habilidades prácticas como la ejecución de ensayos de laboratorio, la recolección de datos en campo y la aplicación de métodos de clasificación geomecánica.

Asimismo, el aprendizaje estratégico implica la capacidad del estudiante para seleccionar métodos adecuados de análisis y resolución de problemas, lo que le permite enfrentar situaciones complejas como la evaluación de estabilidad de taludes o excavaciones subterráneas. Este tipo de aprendizaje está directamente vinculado con la toma de decisiones en contextos reales de ingeniería.

El aprendizaje crítico se refiere a la capacidad de analizar e interpretar los resultados obtenidos, cuestionando los procedimientos utilizados y evaluando la validez de las conclusiones. Este enfoque fomenta una actitud reflexiva frente al conocimiento, permitiendo al estudiante identificar limitaciones y mejorar sus procesos de análisis.

Finalmente, el aprendizaje estratégico-crítico integra la planificación de soluciones con la evaluación reflexiva de las mismas, lo que permite al estudiante no solo resolver problemas geotécnicos, sino también justificar y mejorar sus decisiones técnicas en función de criterios de seguridad, eficiencia y sostenibilidad.

En conjunto, el aprendizaje en la Mecánica de Rocas, entendido desde el qué y el cómo se aprende, permite una formación integral del futuro ingeniero, al articular el conocimiento teórico con la práctica profesional. Este enfoque favorece el desarrollo de competencias técnicas y cognitivas necesarias para enfrentar los desafíos del sector minero y geotécnico, donde la toma de decisiones fundamentadas es esencial.

#### 2.1.2.1. Teoría del Aprendizaje Significativo

**El aprendizaje constructivista en disciplinas técnicas**

El aprendizaje constructivista en disciplinas técnicas se fundamenta en la idea de que el conocimiento no se transmite de manera directa del docente al estudiante, sino que se construye activamente a partir de la interacción entre los saberes previos, la experiencia y el entorno. En este enfoque, el estudiante es el protagonista del proceso de aprendizaje, mientras que el docente actúa como mediador que orienta y facilita la construcción del conocimiento. En disciplinas como la ingeniería, este enfoque resulta especialmente relevante debido a la naturaleza aplicada y práctica de los contenidos.

Desde la perspectiva constructivista, el aprendizaje en áreas técnicas como la Mecánica de Rocas, la ingeniería civil o la ingeniería minera requiere que el estudiante relacione los conceptos teóricos con situaciones reales de resolución de problemas. Esto implica que el conocimiento no se memoriza de forma aislada, sino que se construye mediante la experimentación, el análisis de casos y la resolución de problemas contextualizados. De esta manera, el aprendizaje se vuelve significativo y funcional para el desempeño profesional.

En este sentido, el constructivismo destaca la importancia de la actividad del estudiante en la construcción de su propio conocimiento. Como sostiene Jean Piaget (1970), “el conocimiento no es una copia de la realidad, sino una construcción continua del sujeto” (p. 12).

Esta afirmación evidencia que el aprendizaje no consiste en reproducir información, sino en reorganizar y reconstruir esquemas mentales a partir de nuevas experiencias.

Asimismo, en el contexto de disciplinas técnicas, el aprendizaje constructivista se fortalece mediante metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje por

proyectos y el trabajo colaborativo. Estas estrategias permiten que el estudiante enfrente situaciones similares a las del entorno profesional, favoreciendo la integración entre teoría y práctica.

En consecuencia, el aprendizaje constructivista en disciplinas técnicas contribuye al desarrollo de competencias profesionales, ya que promueve el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la capacidad de adaptación a contextos cambiantes. Este enfoque resulta fundamental en la formación de ingenieros, quienes deben aplicar conocimientos científicos en situaciones reales complejas y dinámicas.

**Dimensiones del aprendizaje: Cognitivo (saber), Procedimental (saber hacer) y Actitudinal (saber ser).**

El aprendizaje en la educación, especialmente en la formación en ingeniería, se comprende como un proceso integral que abarca no solo la adquisición de conocimientos teóricos, sino también el desarrollo de habilidades prácticas y actitudes profesionales. En este sentido, se reconocen tres dimensiones fundamentales del aprendizaje: la dimensión cognitiva, la procedimental y la actitudinal, las cuales interactúan entre sí para formar competencias completas en el estudiante.

- La **dimensión cognitiva (saber)** se refiere al conjunto de conocimientos teóricos, conceptos, principios y teorías que el estudiante debe comprender y asimilar. En el ámbito de la ingeniería, esta dimensión incluye el dominio de fundamentos científicos como la física, la matemática y los principios de la Mecánica de Rocas. El aprendizaje cognitivo permite al estudiante interpretar información, comprender fenómenos y construir bases teóricas sólidas

para la resolución de problemas. Sin este conocimiento, no es posible fundamentar adecuadamente las decisiones técnicas en contextos profesionales.

- La **dimensión procedimental (saber hacer)** está relacionada con la aplicación práctica del conocimiento. Implica el desarrollo de habilidades y destrezas que permiten al estudiante ejecutar procedimientos, resolver problemas y utilizar herramientas técnicas. En ingeniería, esta dimensión se evidencia en actividades como ensayos de laboratorio, análisis geotécnicos, uso de software especializado y trabajo de campo. El "saber hacer" permite transformar el conocimiento teórico en acciones concretas, fundamentales para el desempeño profesional.
- Por su parte, la **dimensión actitudinal (saber ser)** se refiere a los valores, actitudes y comportamientos que el estudiante desarrolla durante su formación. Incluye aspectos como la responsabilidad, el trabajo en equipo, la ética profesional, la puntualidad y la seguridad en el trabajo. En disciplinas técnicas como la ingeniería, esta dimensión es esencial, ya que las decisiones del profesional pueden tener implicaciones importantes en la seguridad, el medio ambiente y la sociedad.

En conjunto, estas tres dimensiones del aprendizaje permiten una formación integral del estudiante, ya que articulan el conocimiento, la acción y la actitud en un solo proceso educativo. Como sostiene Benjamin Bloom (1956), "el aprendizaje humano implica el desarrollo integrado de los dominios cognitivo, afectivo y psicomotor" (p. 12).

Esta afirmación respalda la idea de que el aprendizaje no debe centrarse únicamente en el conocimiento teórico, sino también en el desarrollo de habilidades prácticas y actitudes que permitan un desempeño competente.

En consecuencia, la integración de las dimensiones cognitiva, procedimental y actitudinal es fundamental en la formación en ingeniería, ya que permite al estudiante enfrentar problemas complejos de manera integral, combinando saber, saber hacer y saber ser en contextos reales.

#### 2.1.2.2. Contenidos Nucleares de la Mecánica de Rocas (7mo Semestre)

**Propiedades físico-mecánicas de las rocas y el macizo rocoso**

Constituyen un conjunto de características fundamentales que permiten describir, analizar y predecir el comportamiento de los materiales rocosos frente a diferentes condiciones de carga y deformación. Estas propiedades son esenciales en la ingeniería geotécnica y minera, ya que de ellas depende la estabilidad de excavaciones, taludes, túneles y demás estructuras en roca.

En primer lugar, las propiedades físicas hacen referencia a características como la densidad, porosidad, permeabilidad y contenido de humedad de la roca. Estas propiedades influyen directamente en el comportamiento mecánico del material, ya que determinan su capacidad de resistencia y deformación ante esfuerzos externos. Por ejemplo, una roca con alta porosidad tiende a ser menos resistente que una roca compacta, debido a la presencia de vacíos internos que debilitan su estructura.

En segundo lugar, las propiedades mecánicas se refieren a la respuesta de la roca ante la aplicación de fuerzas o cargas. Entre estas propiedades se incluyen la resistencia a la compresión, tracción y corte, así como el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. Estas propiedades permiten evaluar la capacidad de la roca para soportar esfuerzos sin fallar o deformarse de manera excesiva.

Por otro lado, el macizo rocoso no se comporta únicamente como una masa homogénea de roca intacta, sino como un sistema complejo compuesto por discontinuidades como fracturas,

fallas y diaclasas. Estas discontinuidades afectan significativamente su comportamiento global, por lo que el análisis del macizo rocoso requiere considerar tanto las propiedades de la roca intacta como las características estructurales del conjunto.

En este sentido, la caracterización del macizo rocoso es fundamental para la ingeniería, ya que permite evaluar su estabilidad y comportamiento frente a excavaciones y cargas externas. Como sostiene Nick Barton (1974), "el comportamiento del macizo rocoso está controlado no solo por la resistencia de la roca intacta, sino principalmente por la naturaleza, orientación y condición de sus discontinuidades" (p. 287).

Esta afirmación resalta la importancia de considerar el macizo rocoso como un sistema estructural complejo, donde las discontinuidades juegan un papel determinante en su comportamiento mecánico.

En consecuencia, el estudio de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y del macizo rocoso es esencial en la ingeniería minera y geotécnica, ya que permite diseñar obras seguras, eficientes y estables, adaptadas a las condiciones reales del terreno.

**Sistemas de Clasificación Geomecánica (RMR, Q de Barton, GSI).**

Los sistemas de clasificación geomecánica constituyen herramientas fundamentales en la ingeniería geotécnica y minera, ya que permiten evaluar la calidad y comportamiento de los macizos rocosos a partir de parámetros cuantificables. Entre los sistemas más utilizados se encuentran el RMR (Rock Mass Rating), el Q de Barton y el GSI (Geological Strength Index), los cuales facilitan la toma de decisiones en el diseño de excavaciones subterráneas, taludes y estructuras en roca.

El sistema RMR, desarrollado por Z. T. Bieniawski, permite clasificar el macizo rocoso mediante la evaluación de parámetros como la resistencia de la roca intacta, el grado de fracturamiento, la separación de discontinuidades y la presencia de agua. Este sistema asigna una puntuación que permite categorizar el macizo en diferentes clases de calidad. Como sostiene Z. T. Bieniawski (1989), “el sistema RMR proporciona una base cuantitativa para la clasificación del macizo rocoso y su uso en el diseño de excavaciones subterráneas” (p. 3).

Por otro lado, el sistema Q de Barton, desarrollado por Nick Barton, se basa en la evaluación de seis parámetros relacionados con la calidad del macizo rocoso, incluyendo el número de familias de discontinuidades, la rugosidad, la alteración de las juntas y las condiciones de agua subterránea. Este sistema es ampliamente utilizado en el diseño de túneles y obras subterráneas. Como sostiene Nick Barton (1974), “el sistema Q permite estimar la calidad del macizo rocoso y las necesidades de sostenimiento en excavaciones subterráneas” (p. 287).

Finalmente, el GSI (Geological Strength Index), propuesto por Emilio Hoek junto con Paul Marinos, es un sistema que permite estimar la resistencia del macizo rocoso a partir de su estructura geológica y condición superficial. Este índice es ampliamente utilizado en combinación con el criterio de Hoek-Brown para el análisis de estabilidad. Como sostienen Emilio Hoek y Paul Marinos (2000), “el GSI proporciona una estimación práctica de la calidad del macizo rocoso basada en su estructura y estado de las discontinuidades” (p. 17).

En conjunto, estos sistemas de clasificación geomecánica permiten caracterizar el macizo rocoso de manera sistemática, facilitando el diseño seguro y eficiente de obras en ingeniería minera y geotécnica.

**Resistencia y Criterios de Falla (Mohr-Coulomb y Hoek-Brown).**

La resistencia de los materiales rocosos y los criterios de falla constituyen elementos centrales en la Mecánica de Rocas, ya que permiten predecir el comportamiento y la estabilidad de los macizos rocosos bajo diferentes condiciones de esfuerzo. Estos modelos son fundamentales en el diseño de excavaciones mineras, túneles y taludes, debido a que permiten estimar el punto en el que el material pierde su capacidad resistente.

En primer lugar, el criterio de Mohr-Coulomb es uno de los modelos clásicos para describir la resistencia al corte de materiales geológicos. Este criterio establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo cortante supera una combinación lineal de la cohesión y la fricción interna del material, siendo ampliamente aplicado en suelos y rocas relativamente homogéneas. Como sostiene Charles-Augustin de Coulomb (1776), “la resistencia al corte de un material depende de su cohesión interna y de la fricción entre sus partículas” (p. 25).

Por otro lado, el criterio de Hoek-Brown es un modelo empírico desarrollado para representar el comportamiento de macizos rocosos fracturados, considerando la resistencia de la roca intacta y la influencia de las discontinuidades. Este criterio permite una aproximación más realista del comportamiento de rocas en condiciones naturales complejas. Como sostienen Emilio Hoek y Evert Hoek (2002), “el criterio de Hoek-Brown proporciona una estimación empírica de la resistencia del macizo rocoso basada en su estructura y grado de fracturamiento” (p. 45).

Asimismo, el comportamiento de las discontinuidades en macizos rocosos ha sido ampliamente estudiado por John J. Bandis y Nick Barton, quienes analizaron la influencia de las juntas en la resistencia global del macizo rocoso. Sus investigaciones permitieron comprender la deformabilidad y resistencia de las juntas bajo condiciones de esfuerzo normal y cortante. Como

sostienen John J. Bandis y Nick Barton (1983), “el comportamiento mecánico de las discontinuidades controla en gran medida la deformación y resistencia del macizo rocoso” (p. 249).

En conjunto, los criterios de Mohr-Coulomb, Hoek-Brown y los aportes de Bandis y Barton permiten comprender la resistencia y falla de los macizos rocosos desde distintos niveles de análisis, integrando tanto el comportamiento del material intacto como el efecto de las discontinuidades estructurales.

**Introducción al modelamiento numérico y uso de software geomecánico**.

El modelamiento numérico en geomecánica constituye una herramienta fundamental en la ingeniería minera y geotécnica moderna, ya que permite simular el comportamiento de los macizos rocosos bajo diferentes condiciones de esfuerzo, geometría y propiedades del terreno. A través de estos modelos computacionales, es posible analizar fenómenos complejos como deformaciones, fallas, estabilidad de excavaciones y redistribución de esfuerzos, contribuyendo a una mejor toma de decisiones en el diseño de obras subterráneas y a cielo abierto.

En este contexto, el uso de software especializado ha permitido el desarrollo de análisis más precisos y realistas. Una de las principales empresas en este campo es Rocscience, cuyos programas como *RS2*, *RS3* y *RocSlope* son ampliamente utilizados en análisis de estabilidad de taludes, excavaciones y diseño geotécnico. Estas herramientas permiten realizar simulaciones avanzadas mediante métodos numéricos como elementos finitos y equilibrio límite. Como sostiene Rocscience (2024), “Harness cutting-edge analysis tools to deliver accurate, reliable results—so you can build, design, and solve with unmatched confidence and efficiency”.

Esta afirmación resalta el enfoque de la empresa en el desarrollo de herramientas que permitan obtener resultados confiables para la solución de problemas geotécnicos complejos.

Por otro lado, la empresa Itasca Consulting Group es reconocida mundialmente por el desarrollo de software como FLAC3D, 3DEC y PFC, basados en métodos de diferencias finitas y elementos discretos. Estos programas permiten simular el comportamiento de medios continuos y discontinuos, representando con mayor realismo la interacción entre bloques rocosos, discontinuidades y esfuerzos in situ. Como sostiene Itasca Consulting Group (2024), "3DEC is a cutting-edge numerical modeling software specifically designed for geotechnical analysis of discontinuous materials such as rock, masonry, and soil".

Esta definición evidencia la capacidad del software para representar materiales discontinuos, lo cual es esencial en el análisis de macizos rocosos fracturados.

En conjunto, el modelamiento numérico mediante software como el desarrollado por Rocscience e Itasca representa un avance significativo en la ingeniería geomecánica, permitiendo pasar de análisis simplificados a simulaciones tridimensionales más precisas, que mejoran la seguridad, eficiencia y confiabilidad de los proyectos mineros y geotécnicos.

#### 2.1.2.3. El Aprendizaje en el Contexto de la Minería

Las competencias digitales y el manejo de datos en tiempo real constituyen hoy en día un componente esencial en la formación de ingenieros, especialmente en áreas como la minería, la geotecnia y la ingeniería civil. Estas competencias implican la capacidad de utilizar herramientas tecnológicas, software especializado y sistemas de adquisición de datos para analizar, interpretar y tomar decisiones basadas en información actualizada y dinámica.

En el contexto actual de la ingeniería, el acceso a datos en tiempo real permite monitorear variables críticas como deformaciones del terreno, esfuerzos en estructuras, vibraciones, caudales o condiciones de estabilidad en excavaciones. Esto es posible gracias a sistemas de sensores,

plataformas digitales y software de análisis que integran la información de campo con modelos computacionales, facilitando una respuesta rápida ante posibles riesgos o cambios en las condiciones del entorno.

El desarrollo de competencias digitales no se limita al uso básico de herramientas tecnológicas, sino que implica la capacidad de gestionar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos (big data), así como interpretar resultados para la toma de decisiones técnicas fundamentadas. En este sentido, el ingeniero moderno debe ser capaz de integrar conocimientos disciplinarios con habilidades digitales avanzadas.

Asimismo, el manejo de datos en tiempo real contribuye significativamente a la mejora de la seguridad y eficiencia en los procesos de ingeniería, ya que permite anticipar fallas, optimizar operaciones y reducir riesgos en entornos altamente variables como la minería subterránea o las obras civiles de gran escala.

En este marco, la transformación digital ha modificado profundamente la forma en que se enseña y se aprende la ingeniería, incorporando simuladores, plataformas en línea, sensores inteligentes y sistemas de monitoreo continuo. Esto exige que los estudiantes desarrollen no solo conocimientos técnicos, sino también habilidades digitales que les permitan adaptarse a entornos tecnológicos complejos. Como sostiene Marc Prensky (2001), “los estudiantes de hoy no son los mismos para los que nuestro sistema educativo fue diseñado” (p. 1).

Esta afirmación resalta la necesidad de adaptar la educación a una generación que interactúa constantemente con tecnologías digitales y entornos de información en tiempo real.

En consecuencia, el desarrollo de competencias digitales y el manejo de datos en tiempo real se ha convertido en un elemento clave en la formación de ingenieros, permitiendo una toma

de decisiones más precisa, rápida y basada en evidencia, lo que incrementa la eficiencia y seguridad en los proyectos de ingeniería.

## 2.2. Marco conceptual

**Análisis tensorial de esfuerzos:** forma de interpretar cómo actúan las fuerzas dentro del macizo rocoso, utilizando diagramas, simulaciones y visualización digital, más que el desarrollo matemático puro. El énfasis pedagógico está en comprender cómo cambian los esfuerzos durante una excavación.

**Anisotropía:** Comparación práctica del comportamiento de la roca en distintas direcciones, mediante ensayos de laboratorio y observación de estructuras geológicas, reforzando la relación entre estructura interna y respuesta mecánica.

**Aprendizaje:** Se entiende como un proceso práctico donde el estudiante construye conocimiento a partir de experiencias de campo, laboratorio y simulación, no solo desde la teoría.

**Aprendizaje conceptual:** Se enfoca en la comprensión de modelos que explican el comportamiento del macizo rocoso, utilizando visualización, simulación y casos reales para fortalecer la interpretación.

**Aprendizaje estratégico-crítico:** Permite la toma de decisiones en escenarios de incertidumbre, promoviendo que el estudiante evalúe datos geomecánicos y elija soluciones técnicas justificadas.

**Clasificación geomecánica:** Herramienta de decisión basada en la observación sistemática del macizo rocoso en campo. La importancia pedagógica radica en que el estudiante aprende a transformar observaciones (fracturas, RQD, condiciones de agua) en sistemas como RMR, Q o GSI para el diseño de sostenimiento.

**Competencias:** Capacidad de integrar observación, análisis y modelamiento para resolver problemas reales en minería, fortaleciendo el criterio profesional.

**Criterio de falla de Hoek-Brown:** Modelo interpretativo aplicado en software, donde el estudiante aprende a relacionar la resistencia de la roca intacta con el comportamiento del macizo fracturado, entendiendo su uso en predicción más que en cálculo manual.

**Discontinuidad:** Permite el reconocimiento directo en campo, desarrollando la capacidad del estudiante para identificar fracturas, fallas y juntas, y comprender cómo estas condicionan la estabilidad del macizo rocoso.

**Guía metodológica:** Se utiliza como estructura de aprendizaje que ordena el trabajo en campo, laboratorio y análisis digital, permitiendo que el estudiante siga pasos claros en la recolección e interpretación de datos geomecánicos.

**Heterogeneidad:** Muestra que el macizo rocoso no es uniforme, utilizando muestras reales y variación de datos para que el estudiante comprenda la incertidumbre natural del material geológico.

**ISRM (International Society for Rock Mechanics):** Referencia internacional que guía estándares y buenas prácticas, enseñando al estudiante la importancia de la normalización en la caracterización del macizo rocoso.

**Logueo geomecánico:** Procedimiento práctico, centrado en el registro sistemático de testigos de perforación. La importancia pedagógica está en desarrollar observación, disciplina de registro y criterio técnico.

**Macizo rocoso:** Sistema integral compuesto por roca intacta y discontinuidades. El enfoque pedagógico está en que el estudiante lo entienda como un medio complejo que requiere análisis combinado de campo, laboratorio y simulación.

**Mecánica de rocas:** Disciplina aplicada donde el aprendizaje ocurre integrando teoría, práctica y modelamiento digital, enfocándose en el comportamiento real del terreno y no solo en ecuaciones.

**Minería 4.0:** Permite conocer la transformación digital donde el estudiante comprende cómo sensores, datos en tiempo real y simulaciones permiten reducir la incertidumbre en la toma de decisiones mineras.

**Proceso de enseñanza-aprendizaje:** Proceso activo donde el estudiante aprende haciendo: observando, midiendo, interpretando datos y usando herramientas digitales para resolver problemas reales.

**Roca intacta:** Base de comparación. Su comprensión permite que el estudiante entienda la diferencia entre el comportamiento ideal del material y el comportamiento real del macizo rocoso.

## 2.3. Antecedentes empíricos de la investigación

### *2.3.1. Internacionales*

Barton, N., Lien, R., y Lunde, J. (1974), en su artículo de investigación titulado "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support", publicado en la revista Rock Mechanics de la Universidad de Oslo (Noruega), desarrollaron el sistema de clasificación geomecánica conocido como el Índice de Calidad Q. Este estudio constituye un antecedente fundamental para la presente investigación, ya que marcó un hito en la sistematización del aprendizaje aplicado, transformando observaciones cualitativas de campo en parámetros cuantitativos para el diseño de sostenimiento. Su implementación a nivel mundial en currículos universitarios y manuales operativos de empresas mineras valida la necesidad de contar con guías metodológicas que estandaricen la evaluación del macizo rocoso. (revista)

Barton, Lien y Lunde (1974) desarrollaron un sistema de clasificación geomecánica (Q-System) que sirvió como base para múltiples manuales y guías instruccionales en mecánica de rocas en universidades y empresas mineras del mundo. Su obra marcó un hito en la sistematización del aprendizaje aplicado al comportamiento de macizos rocosos.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación radica en que proporciona la base procedimental para la toma de datos geomecánicos in situ que se integrará en la Guía Metodológica propuesta. Al ser el Sistema Q un estándar internacional de clasificación, su inclusión en el material didáctico garantiza que el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de la UNSAAC esté alineado con criterios de ingeniería validados globalmente, permitiendo reducir la brecha entre la teoría académica y las exigencias técnicas de la industria minera actual.

Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002), en su artículo de investigación titulado “Hoek–Brown failure criterion – 2002 edition”, publicado en la revista Proceedings of the North American Rock Mechanics Symposium (NARMS), desarrollaron la versión actualizada del criterio de falla Hoek–Brown para macizos rocosos. Este estudio constituye un antecedente fundamental para la presente investigación, ya que permitió modelar el comportamiento no lineal de las rocas intactas y de los macizos rocosos fracturados bajo diferentes condiciones de esfuerzo, incorporando parámetros geológicos y geomecánicos más realistas para el diseño de excavaciones subterráneas, taludes y túneles en ingeniería de minas.

Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002) actualizaron el criterio de falla Hoek–Brown, el cual se utiliza ampliamente para estimar la resistencia y el comportamiento mecánico de macizos rocosos en proyectos de ingeniería geotécnica y minera.

La utilidad de este antecedente para la presente investigación radica en que proporciona una base teórica moderna para la interpretación del comportamiento mecánico del macizo rocoso, el cual será integrado en la Guía Metodológica propuesta. La incorporación del criterio Hoek–Brown permite que los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC comprendan modelos avanzados de comportamiento de rocas, alineados con prácticas actuales en diseño geotécnico y análisis de estabilidad en la industria minera internacional.

### *2.3.2. Nacionales*

Rojas Huamán, L. (2019). Elaboración de módulos de aprendizaje para mejorar el rendimiento académico en estudiantes de educación superior de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Repositorio institucional UNMSM.

La investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental. Se utilizó un esquema de pretest y postest con un solo grupo de estudiantes. Los instrumentos empleados fueron una prueba de conocimiento para medir el nivel de aprendizaje antes y después de la aplicación de los módulos de aprendizaje, además de una guía de observación y lista de cotejo para evaluar el desempeño académico y la participación de los estudiantes durante el proceso formativo. El objetivo general de la tesis fue diseñar módulos de aprendizaje orientados a mejorar el rendimiento académico de los estudiantes de educación superior mediante estrategias didácticas estructuradas. Se concluye que la implementación de módulos de aprendizaje estructurados contribuye significativamente al fortalecimiento del aprendizaje de los estudiantes universitarios, mejorando la comprensión de los contenidos y el rendimiento académico. El uso de materiales didácticos estructurados como módulos o guías de estudio demuestra ser una estrategia eficaz en la educación superior. Rojas Huamán (2019) evidenció que estos recursos fortalecen el desempeño

académico, lo cual respalda la elaboración de una guía académica de Mecánica de Rocas en estudiantes de séptimo semestre de Ingeniería de Minas.

Torres Salazar, J. (2021). Diseño de guías de laboratorio para el aprendizaje en cursos de ingeniería en la Universidad Nacional de Ingeniería (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería). Repositorio institucional UNI.

La investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental. Se utilizó un esquema de pretest y postest con un solo grupo de estudiantes. Los instrumentos empleados fueron pruebas de conocimiento para medir el nivel de aprendizaje antes y después de la aplicación de las guías de laboratorio, además de listas de cotejo y guías de observación para evaluar el desempeño práctico de los estudiantes en actividades experimentales. El objetivo general de la tesis fue diseñar guías de laboratorio orientadas a mejorar el aprendizaje en cursos de ingeniería mediante actividades prácticas estructuradas. Se concluye que la aplicación de guías de laboratorio estructuradas mejora significativamente el aprendizaje en estudiantes de ingeniería, fortaleciendo la comprensión teórica y el desarrollo de habilidades prácticas. El uso de guías de laboratorio como estrategia didáctica ha demostrado ser efectivo en la formación de ingenieros a nivel nacional. Torres Salazar (2021) evidenció que estas herramientas fortalecen el aprendizaje práctico y teórico, lo cual respalda la implementación de una guía académica de Mecánica de Rocas en estudiantes de séptimo semestre de Ingeniería de Minas.

### *2.3.3. Locales*

Espirilla, R., & Vilca, W. (2024). Formulación de guías de laboratorio para la enseñanza de las energías renovables en la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – 2023 (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco).

Repositorio Institucional UNSAAC. La investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental. Se utilizó un esquema de pretest y postest con un solo grupo de estudiantes. Los instrumentos empleados fueron una prueba de conocimiento para medir el nivel de aprendizaje antes y después de la aplicación de las guías de laboratorio, además de una guía de observación y lista de cotejo para evaluar el desempeño práctico de los estudiantes. El objetivo general de la tesis fue Diseñar y formular guías de laboratorio para la enseñanza de energías renovables en estudiantes de la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante actividades prácticas. Conclusión general Se concluye que la implementación de guías de laboratorio estructuradas contribuye significativamente al fortalecimiento del aprendizaje de los estudiantes, favoreciendo la comprensión de los contenidos teóricos y el desarrollo de habilidades prácticas en el área de energías renovables, evidenciando una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del contexto universitario. El uso de guías de laboratorio como estrategia didáctica ha demostrado ser efectivo en la mejora del aprendizaje en carreras de ciencias e ingeniería. Espirilla Soncco y Vilca Quispe (2024) evidenciaron que la aplicación de guías estructuradas fortalece la comprensión de contenidos y el desempeño práctico de los estudiantes, lo cual respalda la implementación de una guía metodológica en la asignatura de Mecánica de Rocas en estudiantes de séptimo semestre de Ingeniería de Minas.

Mamani Quispe, R. (2022). Elaboración de materiales didácticos para el fortalecimiento del aprendizaje en estudiantes de educación superior en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Repositorio institucional UNSAAC. La investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Se utilizó un enfoque descriptivo–explicativo orientado a evaluar el uso de materiales didácticos en el proceso de enseñanza-aprendizaje en

educación superior. Los instrumentos empleados fueron cuestionarios estructurados para medir la percepción del aprendizaje, fichas de observación y escalas de evaluación del desempeño académico de los estudiantes. El objetivo general de la tesis fue diseñar y evaluar materiales didácticos orientados al fortalecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje en estudiantes de educación superior, con el fin de mejorar la comprensión y el rendimiento académico. Se concluye que la implementación de materiales didácticos estructurados contribuye significativamente al fortalecimiento del aprendizaje en estudiantes universitarios, mejorando la comprensión de contenidos y la participación en el proceso formativo. El uso de materiales académicos estructurados en educación superior demuestra ser una estrategia eficaz para mejorar el aprendizaje. Mamani Quispe (2022) evidenció que la aplicación de recursos didácticos organizados fortalece el desempeño académico de los estudiantes universitarios, lo cual respalda la elaboración de una guía académica de Mecánica de Rocas en estudiantes de séptimo semestre de Ingeniería de Minas.

## 2.4. Hipótesis de investigación

### *2.4.1. Hipótesis general*

La implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas influye significativamente en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC – 2025-II.

### *2.4.2. Hipótesis específica*

1: La mayoría de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II enfrenta dificultades en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas.

2: Los estudiantes de Ingeniería de Minas del sétimo semestre de la UNSAAC-2025-II perciben que la guía metodológica es útil y efectiva para el aprendizaje de la mecánica de rocas.

3: El uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje conceptual del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de Ingeniería de Minas UNSAAC-2025-II.

4: El uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de Ingeniería de Minas UNSAAC-2025-II.

## 2.5. Identificación de variables

En la presente investigación se consideran tres variables: una variable independiente y dos variables dependientes. La variable independiente es la Guía metodológica de Mecánica de Rocas, mientras que las variables dependientes son la percepción de la guía metodológica de Mecánica de Rocas y el aprendizaje de Mecánica de Rocas.

La variable independiente, Guía metodológica de Mecánica de Rocas, corresponde al recurso metodológico diseñado para orientar y facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los contenidos relacionados con la Mecánica de Rocas. Su aplicación comprende un conjunto organizado de contenidos, actividades, procedimientos y orientaciones metodológicas destinadas a favorecer el aprendizaje de los estudiantes.

La primera variable dependiente, percepción de la guía metodológica de Mecánica de Rocas, se refiere a la valoración que realizan los estudiantes respecto a la utilidad, claridad, organización, pertinencia y aplicabilidad de la guía metodológica después de su utilización. Esta variable se mide mediante un instrumento con escala tipo Likert, cuyos resultados se expresan en una escala ordinal, debido a que sus categorías presentan un orden jerárquico. Para su interpretación, los resultados son sometidos a un proceso de baremación y clasificados en cinco niveles: insuficiente, limitado, aceptable, satisfactorio y óptimo, que representan niveles progresivos de valoración de la guía metodológica.

La segunda variable dependiente, aprendizaje de Mecánica de Rocas, comprende los conocimientos y capacidades alcanzados por los estudiantes en relación con los contenidos de la asignatura. En su medición original, esta variable se expresa mediante puntuaciones cuantitativas de nivel de razón, las cuales permiten establecer diferencias numéricas entre los resultados

obtenidos. Posteriormente, las puntuaciones son sometidas a un proceso de baremación, mediante el cual se transforman en categorías ordinales para facilitar su interpretación. Estas categorías corresponden a los niveles de inicio, proceso, logrado y destacado, establecidos de manera jerárquica según el nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes.

En este sentido, la investigación busca determinar la influencia de la guía metodológica de Mecánica de Rocas sobre la percepción de los estudiantes respecto a la guía y sobre su aprendizaje de Mecánica de Rocas. Para efectos del análisis e interpretación de los resultados, la variable percepción se expresa en cinco niveles ordinales y la variable aprendizaje se categoriza en cuatro niveles de logro.

## 2.5. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Definición operacionalización general*

| Variable | Tipo | Definición conceptual | Definición operacional |
|---|---|---|---|
| Guía metodológica de Mecánica de Rocas | Independiente | Recurso didáctico estructurado para orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los contenidos de Mecánica de Rocas. | Se implementará mediante una guía estructurada en seis componentes: aspectos generales, clasificación del macizo rocoso, estados tensionales, propiedades mecánicas de las rocas, resistencia mecánica de las rocas y resistencia de las discontinuidades. |
| Percepción de la guía metodológica | Dependiente | Valoración que realizan los estudiantes respecto a las características, utilidad, claridad, organización y pertinencia de la guía. | Se medirá mediante un cuestionario tipo Likert. Los resultados serán categorizados en insuficiente, limitado, aceptable, satisfactorio y óptimo. |
| Aprendizaje de Mecánica de Rocas | Dependiente | Adquisición y desarrollo de conocimientos y capacidades relacionados con los fundamentos y contenidos de la Mecánica de Rocas. | Se medirá mediante una prueba de conocimientos. La puntuación obtenida será inicialmente cuantitativa y posteriormente se categorizará mediante baremación en inicio, proceso, logrado y destacado. |

**Tabla 2**

*Operacionalización propiamente dicha.*

| Variables | Dimensiones | Indicadores | Items | Niveles y escalas |
|---|---|---|---|---|
| Percepción de la Guía metodológica del área de Mecánica de Rocas. | CONTENIDO | Relevancia y actualidad<br>Cobertura y profundización de temas | 1-2 | Insuficiente (6-10)<br>Limitado (11-15)<br>Aceptable (16-20)<br>Satisfactorio (21-25)<br>Óptimo (26-30) |
| | ESTRUCTURA | Organización lógica y estructura<br>Uso de gráficos diagramas y figuras | 3-4 | |
| | METOLOGIA | Secuencia lógica de actividades<br>Uso de estrategias de enseñanza | 5-6 | |
| | RECURSOS | Disponibilidad y accesibilidad<br>Calidad y actualidad de los recursos | 7-8 | |
| | FLEXIBILIDAD | Adaptabilidad<br>Posibilidad de personalización y ajuste | 9-10 | |
| | EVALUACION | Claridad y precisión de los criterios de evaluación<br>Variedad y frecuencia de las evaluaciones | 11-12 | |
| Aprendizaje de mecánica de rocas de los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas UNSAAC 2025-II. | APRENDISAJE CONCEPTUAL | Capacidad para explicar y describir conceptos claves<br>Capacidad para aplicar conceptos teóricos a problemas prácticos | 1-4 | Inicio (0-25)<br>Proceso (26-50)<br>Logrado (51-75)<br>Destacado (76-100) |
| | APRENDISAJE PROCIDEMENTAL | Capacidad para diseñar y proponer soluciones practicas<br>Capacidad para implementar y ejecutar proyectos o planes de trabajo | 5-8 | |
| | APRENDISAJE ESTRATEGICO | Capacidad para identificar y analizar problemas complejos<br>Capacidad para generar y evaluar soluciones innovadoras y efectivas | 9-12 | |
| | APRENDISAJE CRÍTICO | Capacidad para evaluar y cuestionar información y suposiciones<br>Capacidad para reflexionar sobre sus procesos de pensamiento y aprendizaje | 13-16 | |
| | APRENDISAJE ESTRATEGICO CRÍTICO | Nivel de comprensión y aplicación de conceptos fundamentales<br>Capacidad para aplicar conocimientos a contextos nuevos | 17-20 | |

# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA

## 3.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica

La presente investigación se desarrolló en la Ciudad Universitaria de Perayoc, ubicada en la Av. de la Cultura N° 733, en la ciudad de Cusco. El área de estudio se encuentra a una altitud aproximada de 3,399 m s. n. m., correspondiente a un entorno geográfico de características altoandinas.

La localización geoespacial del área de estudio se define en el sistema de coordenadas UTM (WGS84), zona 19L, con valores aproximados de 179913 m E y 8503193 m N, tomando como referencia el pabellón de Ingeniería de Minas.

El ámbito de estudio comprende las aulas de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y los laboratorios de Mecánica de Rocas, donde los estudiantes del séptimo semestre desarrollan actividades académicas y prácticas experimentales. Estos espacios constituyen el escenario de aplicación de la investigación, permitiendo la recolección de información en condiciones reales de formación profesional.

En consecuencia, el contexto seleccionado resulto adecuado para el desarrollo del estudio, en la medida que facilito la observación directa del proceso de enseñanza-aprendizaje y el análisis del fenómeno investigado en un entorno académico especializado.

**FIGURA 1**

*Plano de ubicación de la escuela de Ingeniería de Minas- UNSAAC*




*Nota:* Extraído de Google Maps

### 3.2. Enfoque de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), este enfoque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer pautas de comportamiento y probar teorías. En este estudio, se cuantificará el nivel de aprendizaje mediante instrumentos de evaluación validados.

### 3.3. Tipo de investigación

Así mismo por su finalidad corresponde a una investigación aplicada, pues busca la aplicación de los conocimientos adquiridos para resolver un problema práctico y específico: la asimetría formativa en el área de geomecánica. Según Murillo (2008), la investigación aplicada tiene como objeto el estudio de un problema destinado a la acción.

### 3.4. Nivel de investigación

Investigación Explicativa: es de este nivel ya que no solo describe el fenómeno, sino que busca establecer una relación de causalidad. De acuerdo con Arias (2012), la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En ese sentido, el estudio pretende demostrar como la implementación de la guía metodológica (causa) produce un incremento significativo en aprendizaje (efecto).

### 3.5. Diseño de investigación

Investigación Experimental, específicamente bajo la modalidad de un diseño preexperimental con prueba y posprueba con un solo grupo. De acuerdo con Hernandes-Sampieri y Mendoza (2018), este diseño consiste en aplicar una evaluación previa al estimulo o tratamiento (pretest), administrar posteriormente la variable independiente y, finalmente, aplicar una evaluación posterior (postest) para observar el efecto. En este estudio, se evaluó el nivel de

conocimiento inicial de los estudiantes en la asignatura de Mecánica de Rocas (preprueba), se implementó la guía metodológica como intervención pedagógica, y finalmente se midió el nivel de aprendizaje alcanzado (posprueba).

## 3.6. Unidad de análisis

La unidad de análisis está conformada por los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC que cursan la asignatura de Mecánica de Rocas 2025-II.

## 3.7. Población y muestra

### *3.7.1. Población*

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Para efectos de este estudio, la población está constituida por el total de estudiantes legalmente matriculados en la asignatura de Mecánica de Rocas del sétimo semestre, correspondiente al ciclo académico 2025-II, en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la UNSAAC.

**Tabla 3**

*Distribución de la población de estudio*

| Categoría | Descripción | Cantidad |
|---|---|---|
| Institución | Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco | - |
| Escuela Profesional | Ingeniería de Minas | - |
| Asignatura | Mecánica de Rocas II | - |
| Semestre Académico | 2025-II (Sétimo Semestre) | - |
| Estudiantes Matriculados | Sujetos de estudio | 51 |
| TOTAL | | 51 |

*Nota.* Datos obtenidos del registro de matrícula de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

### *3.7.2. Muestra*

Dada la naturaleza y el tamaño reducido de la población (N=51), se ha determinado aplicar un muestreo no probabilístico por conveniencia, bajo la modalidad de muestra censal. Se justifica el uso de una muestra censal debido a que el tamaño de la población es pequeño y manejable, lo que garantiza una mayor representatividad y validez de los resultados estadísticos

Según Arias (2012), la muestra censal es aquella donde todas las unidades de investigación son consideradas como muestra. Por lo tanto, no se aplicaron fórmulas de cálculo de tamaño muestral, integrando a los 51 estudiantes en el proceso de implementación y validación de la guía metodológica.

## 3.8. Técnica de selección de muestra

Se utilizó un muestreo no probabilístico de tipo censal. Este enfoque se justifica porque se trabajó con la totalidad de la población disponible que cumple con los criterios de inclusión, eliminando el error de muestreo. Al respecto, Tamayo y Tamayo (2003) define el censo o muestra censal como "la muestra en la cual entran todos los miembros de la población" (p. 238). Asimismo, cuando los sujetos no se eligen mediante fórmulas probabilísticas sino por decisiones orientadas del investigador debido al tamaño accesible de la población, se consolida como un diseño no probabilístico (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

## 3.9. Técnica e instrumento de recolección de información

La técnica para la recolección de datos será la encuesta para analizar la percepción de los estudiantes de la guía metodológica cuyo instrumento es el cuestionario con escala de medición tipo Likert, también se usó como técnica la prueba escrita de pretest y postest del aprendizaje de la mecánica de rocas cuyo instrumento es el cuestionario de prueba, estructurado bajo un diseño

de evaluación pretest y postest orientado a medir el nivel de aprendizaje en el contenido y resolución de ejercicios de mecánica de rocas. De acuerdo con Arias (2012), la encuesta "se define como una técnica que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos acerca de sí mismos, o en relación con un tema en particular" (p. 72).

Para operacionalizar esta técnica, se empleó un cuestionario con una escala de tipo Likert. Este instrumento consiste en "un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios, ante los cuales se pide la reacción de los participantes" (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 276). La aplicación se realizó al finalizar la capacitación usando la guía esto permitió evaluar de manera cuantitativa la apreciación y el impacto de la guía metodológica en los estudiantes.

De acuerdo con Arias (2012), la prueba constituye una técnica de recolección de datos que permite obtener información relacionada con los conocimientos, capacidades o competencias de los sujetos de estudio, mediante la aplicación de un conjunto de preguntas o actividades previamente estructuradas.

Para operacionalizar esta técnica, se empleó como instrumento un cuestionario de prueba escrita, diseñado en función de las dimensiones e indicadores establecidos para la variable aprendizaje significativo en Mecánica de Rocas. El instrumento estará conformado por un conjunto de preguntas orientadas a evaluar el nivel de conocimientos y comprensión de los contenidos desarrollados en la asignatura, considerando aspectos relacionados con las clasificaciones geomecánicas, estados tensionales, propiedades y resistencia mecánica de las rocas y discontinuidades.

La aplicación del cuestionario se realizó en dos momentos: antes de la intervención pedagógica (pretest) y después de la aplicación de la guía metodológica (postest). Esta aplicación

permitirá obtener datos cuantitativos en escala de medicación tipo razón para identificar y comparar el nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes antes y después de la intervención. Asimismo, también se realizó la escala derivada tipo ordinal para el tratamiento estadístico de los datos, los resultados obtenidos permitieron determinar los cambios producidos en el aprendizaje y contribuirán a la contrastación de las hipótesis planteadas en la investigación.

### *3.9.1. Determinación de la validez del instrumento*

**Conceptos de Validez (contenido, constructo y criterio).**

La validez es un concepto fundamental en la investigación educativa y en la elaboración de instrumentos de medición, ya que permite determinar en qué medida un instrumento mide realmente lo que pretende medir. En el ámbito de la evaluación educativa, la validez no se considera como una propiedad del instrumento en sí, sino como un juicio sobre la calidad de las interpretaciones que se hacen a partir de los resultados obtenidos.

En este sentido, la validez de contenido se refiere al grado en que los ítems o preguntas de un instrumento representan adecuadamente el dominio del constructo que se desea medir. Es decir, implica que el contenido del instrumento sea pertinente, suficiente y representativo del fenómeno estudiado. Este tipo de validez es ampliamente utilizado en la validación de cuestionarios educativos, guías metodológicas y pruebas de conocimiento, ya que asegura la coherencia entre los indicadores y la variable de estudio.

Por otro lado, la validez de constructo hace referencia al grado en que un instrumento realmente mide el concepto teórico que se pretende evaluar. Este tipo de validez implica una fundamentación teórica sólida, así como la verificación de que las relaciones entre los ítems reflejan adecuadamente el constructo subyacente. En investigación educativa, este tipo de validez

es esencial para garantizar que variables abstractas como competencias, actitudes o percepciones sean correctamente operacionalizadas.

Finalmente, la validez de criterio se refiere al grado en que los resultados de un instrumento se relacionan con un criterio externo que se considera una medida válida del fenómeno. Este criterio puede ser concurrente, cuando se mide al mismo tiempo, o predictivo, cuando permite anticipar comportamientos o resultados futuros. Este tipo de validez es especialmente importante cuando se busca establecer la utilidad práctica de un instrumento en contextos reales.

En este marco, la validez constituye un elemento esencial para asegurar la calidad de los instrumentos de investigación. Como sostiene Samuel Messick (1995), "la validez es un juicio evaluativo integrado del grado en que la evidencia y la teoría apoyan las interpretaciones de las puntuaciones de las pruebas en función de los usos propuestos" (p. 741).

Esta definición resalta que la validez no se limita a un solo aspecto, sino que integra múltiples evidencias (contenido, constructo y criterio) para sustentar la interpretación de los resultados.

En consecuencia, la consideración de los distintos tipos de validez es fundamental en la elaboración de instrumentos como cuestionarios o guías metodológicas, ya que garantiza que los datos obtenidos sean pertinentes, consistentes y útiles para la toma de decisiones en investigación educativa.

**Metodologías de validación: Juicio de expertos y Coeficiente V de Aiken.**

Las metodologías de validación constituyen procedimientos fundamentales en la investigación educativa y en la elaboración de instrumentos de recolección de datos, ya que permiten garantizar la calidad, pertinencia y coherencia de los ítems con respecto a la variable que

se pretende medir. Dentro de estas metodologías, el juicio de expertos y el coeficiente V de Aiken son ampliamente utilizados para evaluar la validez de contenido de instrumentos como cuestionarios, encuestas o guías metodológicas.

El juicio de expertos consiste en la evaluación sistemática de un instrumento por parte de profesionales con experiencia y conocimiento en el área temática de estudio. Estos expertos analizan la claridad, relevancia, coherencia y suficiencia de cada ítem, con el objetivo de determinar si estos representan adecuadamente el constructo que se desea medir. Este proceso cualitativo permite identificar posibles errores de redacción, ambigüedades o inconsistencias en el instrumento antes de su aplicación definitiva, lo que contribuye a mejorar su calidad y precisión.

Por otro lado, el coeficiente V de Aiken es un método cuantitativo que permite medir el grado de acuerdo entre los jueces respecto a la validez de cada ítem. Este coeficiente se calcula a partir de las valoraciones asignadas por los expertos en función de criterios previamente establecidos, como relevancia o claridad. El resultado oscila entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican un alto nivel de validez de contenido. Este procedimiento aporta objetividad al proceso de validación, complementando el análisis cualitativo del juicio de expertos.

En conjunto, ambos métodos permiten fortalecer la calidad de los instrumentos de investigación, asegurando que estos midan de manera adecuada la variable de estudio. Como sostiene Robert L. Lynn (1986), “el índice V proporciona una estimación del grado en que los jueces consideran que un ítem es representativo del constructo que se pretende medir” (p. 382).

Esta afirmación resalta la importancia de la valoración experta cuantificada como un criterio objetivo para la validación de contenido.

En consecuencia, la combinación del juicio de expertos y el coeficiente V de Aiken permite obtener un proceso de validación más riguroso, integrando tanto la evaluación cualitativa como cuantitativa, lo que garantiza la calidad metodológica de los instrumentos utilizados en investigación educativa.

Confiabilidad de instrumentos: Alfa de Cronbach o KR-20.

La confiabilidad de los instrumentos de medición es un criterio fundamental en la investigación educativa, ya que hace referencia al grado en que un instrumento produce resultados consistentes y estables en diferentes aplicaciones. Un instrumento confiable permite asegurar que las mediciones obtenidas no se deben al azar, sino a la coherencia interna de sus ítems. En este sentido, la confiabilidad es un requisito indispensable para garantizar la calidad de cuestionarios, encuestas o pruebas utilizadas en estudios cuantitativos.

Dentro de los métodos más utilizados para evaluar la confiabilidad se encuentran el Alfa de Cronbach y el KR-20 (Kuder-Richardson 20). El Alfa de Cronbach es un coeficiente estadístico que mide la consistencia interna de un instrumento compuesto por ítems con escalas tipo Likert. Su valor oscila entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una alta consistencia interna entre los ítems. Este coeficiente es ampliamente utilizado en investigaciones sociales y educativas debido a su capacidad para evaluar la homogeneidad de los ítems que conforman una escala.

Por su parte, el KR-20 es un método similar al Alfa de Cronbach, pero se utiliza específicamente cuando los ítems son dicotómicos, es decir, cuando las respuestas se presentan en forma de “correcto/incorrecto” o “sí/no”. Este coeficiente permite determinar la consistencia interna de pruebas objetivas, como exámenes de conocimientos, asegurando que los ítems midan de manera uniforme el constructo evaluado.

En conjunto, ambos métodos permiten determinar la estabilidad y consistencia de los instrumentos de medición, lo cual es esencial para garantizar la validez de los resultados obtenidos en una investigación. Como sostiene Lee J. Cronbach (1951), “el coeficiente alfa es una estimación de la consistencia interna de una prueba o escala, basada en la intercorrelación de sus ítems” (p. 297).

Esta definición resalta que la confiabilidad no depende de un solo ítem, sino de la relación entre todos los componentes del instrumento.

En consecuencia, la aplicación del Alfa de Cronbach y del KR-20 permite asegurar que los instrumentos de investigación sean consistentes, estables y adecuados para la recolección de datos confiables, lo cual es esencial en estudios educativos y de ingeniería.

**Tabla 4**

*Prueba de validación de instrumento*

| EXPERTO | INSTITUCÍON |
|---|---|
| Mg. Ingeniero Juan francisco Soto Elguera | Docente principal de ingeniería de minas UNSAAC |
| Mg. Ingeniero Leonardo Peralta Zanabria | Docente contratado de ingeniería de minas UNSAAC |
| Dr. Ingeniero Miguel Vera Miranda | Docente principal de ingeniería de minas UNSAAC |
| Dr. Ingeniero Manuel Seyberling Peña Chávez | Docente asociado de ingeniería de minas UNSAAC |
| Mg. Ingeniero Tomas Achancaray Puma | Docente asociado de ingeniería de minas UNSAAC |

*Nota.* Relación de expertos del departamento académico de ingeniería de minas

Tras la evaluación, los expertos emitieron una opinión de aplicable, dictaminando que el instrumento cuenta con la rigurosidad conceptual y técnica necesaria para su ejecución en la muestra de estudio.

### *3.9.2. Prueba de fiabilidad de los instrumentos de investigación*

La confiabilidad del instrumento se determinó mediante un estudio piloto analizado a través del paquete estadístico SPSS. Según Arias (2012), la fiabilidad representa la capacidad de un instrumento para obtener resultados estables y consistentes en sucesivas aplicaciones.

En la Tabla 4 se detalla el resumen del procesamiento de los datos recolectados, donde se observa la participación total de la muestra sin registrarse pérdidas de información.

**Tabla 5**

*Resumen del procesamiento de datos para la prueba de fiabilidad*

| Casos | N | % |
|---|---|---|
| Válidos | 51 | 100,0 |
| Excluidos [^1] | 0 | 0,0 |
| **Total** | **51** | **100,0** |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

[^1]: Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

Siguiendo la secuencia, se presentan los coeficientes de consistencia interna obtenidos para cada uno de los instrumentos analizados a través del estadístico Alfa de Cronbach, el cual es adecuado para escalas de respuesta politómicas o tipo Likert.

**Tabla 6**

*Estadísticos de fiabilidad del instrumento cuestionario de prueba del aprendizaje de mecánica de rocas*

| Alfa de Cronbach | N de elementos |
|---|---|
| ,860 | 20 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**Tabla 7**

*Estadísticos de fiabilidad del cuestionario de percepción de la guía metodológica*

| Alfa de Cronbach | N de elementos |
|---|---|
| ,818 | 6 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados expuestos revelan que el cuestionario de prueba (constituida por 20 ítems) alcanzó un coeficiente Alfa de Cronbach de ,860; por su parte, el instrumento diseñado para evaluar la percepción de la guía metodológica (constituido por 6 elementos) obtuvo un valor de ,818.

De acuerdo con los criterios de consistencia interna establecidos por George y Mallery (2003), valores superiores a ,80 se catalogan como "buenos" y demuestran una elevada estabilidad métrica. Por lo tanto, se determina que ambos instrumentos poseen una consistencia interna óptima y estadísticamente significativa, garantizando que los reactivos miden de manera estable, precisa y libre de error aleatorio los constructos evaluados para los fines de la presente investigación.

### 3.10. Técnica de análisis e interpretación de la información

Una vez recolectados los datos, se aplicó análisis estadístico descriptivo e inferencial. Conforme lo señalan Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la estadística descriptiva permitió organizar, resumir y presentar los datos de las variables a través de frecuencias y medidas de tendencia central, mientras que la estadística inferencial permitió probar las hipótesis planteadas y evaluar los efectos del estímulo experimental.

Específicamente, para la comparación de las medias aritméticas entre el pretest y postest, se evaluó primero la distribución de los datos. Si los datos siguen una distribución normal, se debe utilizar la prueba t-Student para muestras relacionadas, la cual es una prueba paramétrica diseñada para contrastar cambios en un mismo grupo antes y después de un tratamiento (Pardo y San Martín, 2010). En caso de que los datos no presenten una distribución normal, se debe optar por la prueba no paramétrica de Wilcoxon, que evalúa las diferencias basándose en el rango de los signos de los datos emparejados (Siegel y Castellan, 1995).

Para la comparación de las medias aritméticas obtenidas en el pretest y postest, se realizó inicialmente la prueba de normalidad de los datos, con la finalidad de determinar la prueba estadística adecuada para la contratación de las hipótesis. Cuando los datos presentan una distribución normal, corresponde aplicar una prueba paramétrica; en este caso, se empleó la prueba t de Student para muestras relacionadas, debido a que las mediciones fueron realizadas sobre el mismo grupo de estudiantes en dos momentos: antes y después de la aplicación de la guía metodológica. Esta prueba permite determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del pretest y postest (Pardo y San Martín, 2010).

En caso de que los datos no hubieran presentado una distribución normal, se habría considerado como alternativa la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas, debido a que esta permite analizar las diferencias entre dos mediciones dependientes sin requerir el supuesto de normalidad (Siegel y Castellan, 1995). Sin embargo, en la presente investigación, luego de realizar la prueba de normalidad, se verificó el cumplimiento de dicho supuesto, por lo que se procedió a utilizar la prueba t de Student para muestras relacionadas para la contratación de las hipótesis.

### 3.11. Técnica para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas

La contrastación de las hipótesis se realizó mediante estadística inferencial, previa verificación de la distribución de los datos mediante una prueba de normalidad. Si los datos presentan una distribución normal, se aplicará la prueba t de Student para muestras relacionadas; en caso contrario, se empleará la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas. Para la toma de decisiones se considerará un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, estableciendo que, si el p-valor es menor a 0,05, se rechazará la hipótesis nula y se aceptará la hipótesis alternativa; mientras que, si el p-valor es mayor o igual a 0,05, no se rechazará la hipótesis nula.

# CAPÍTULO IV

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

Para garantizar que el instrumento diseñado midiera efectivamente el nivel de aprendizaje en el contenido y la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, se procedió a evaluar su validez de contenido mediante la técnica de Juicio de Expertos. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la validez de contenido refiere al grado en que un instrumento refleja un dominio específico de lo que se mide.

En este sentido, la guía metodológica y el cuestionario de la prueba escrita fue sometido a la revisión de profesionales de amplia trayectoria académica y metodológica en el área de la ingeniería de minas, quienes evaluaron los criterios de claridad, objetividad, consistencia, coherencia, pertinencia y suficiencia de los ítems.

### *4.1.3. Estadísticos descriptivos*

En el marco de la estadística descriptiva, se estructuraron baremos específicos con la finalidad de clasificar los puntajes directos en niveles cualitativos de logro. Sobre esta base analítica, se desarrolló el procesamiento mediante tablas de contingencia (o tablas cruzadas), las cuales constituyen el elemento central para examinar la interacción y el desplazamiento de los sujetos de estudio entre las dimensiones de las variables antes y después de la intervención pedagógica.

A continuación, la Tabla 8 detalla el resumen del procesamiento de los casos para el análisis cruzado de ambas pruebas, ratificando la integridad de la muestra.

**Tabla 8**

*Resumen del procesamiento de casos para el cruce de Pretest y Postest*

| | Válidos | | Perdidos | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | N | Porcentaje | N | Porcentaje | N | Porcentaje |
| PRETEST * POSTEST | 51 | 100,0% | 0 | 0,0% | 51 | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El reporte estadístico previo evidencia que el 100% de los datos recolectados (N = 51) fueron procesados de manera óptima, sin registrarse pérdida de información ni omisiones en los registros. Esta condición metodológica asegura la consistencia de las tablas de contingencia y las frecuencias comparativas que se exponen en las siguientes secciones, permitiendo evaluar el impacto real del programa formativo en el aprendizaje.

#### 4.1.3.1. Análisis descriptivo de la variable Aprendizaje en el Pretest

Antes de la ejecución de la propuesta pedagógica, se realizó una evaluación diagnóstica (pretest) para determinar el nivel de partida de los estudiantes en la asignatura de Mecánica de Rocas. Los puntajes directos obtenidos por los 51 participantes fueron agrupados bajo los niveles sociocognitivos de: Inicio, Proceso y Logrado.

**Tabla 9**

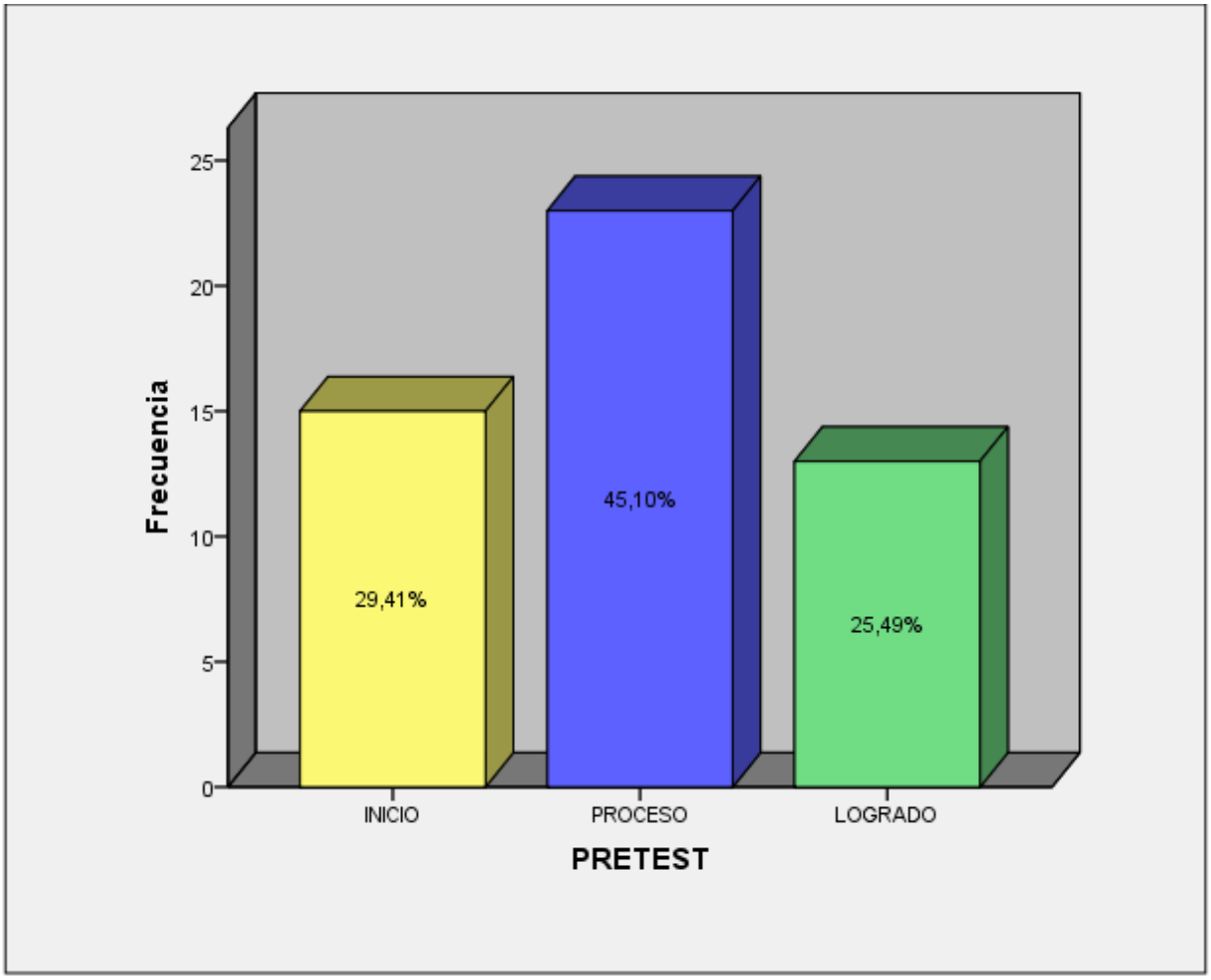
*Distribución de frecuencias y porcentajes del nivel de aprendizaje en el Pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 15 | 29,4 | 29,4 | 29,4 |
| Proceso | 23 | 45,1 | 45,1 | 74,5 |
| Logrado | 13 | 25,5 | 25,5 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 2**

*Baremo del nivel de aprendizaje en el Pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la Tabla 9 (y su representación gráfica en la Figura 2) evidencian el estado crítico en el que se encontraban los estudiantes antes de la intervención. Se observa que el 45,1% (f = 23) de los alumnos se ubicaba en el nivel de Proceso, mientras que un preocupante 29,4% (f = 15) iniciaban la capacitación en el nivel de Inicio.

Sumando ambos sectores, se determina que el 74,5% de la muestra presenta dificultades o vacíos del tipo conceptual, procedimental, estratégico y crítico-estratégico en la resolución de ejercicios de mecánica de rocas. Por el contrario, solo una cuarta parte de la población estudiantil

(25,5%, f = 13) demostró un nivel Logrado de manera autónoma previo al desarrollo metodológico de la guía académica. Estos datos justifican plenamente la necesidad de aplicar una estrategia de fortalecimiento pedagógico.

#### 4.1.3.2. Análisis descriptivo de la variable Aprendizaje en el Postest

Posterior a la aplicación de la propuesta pedagógica y al desarrollo de las sesiones basadas en la guía académica, se procedió a realizar la evaluación de salida (postest) para medir la evolución en el rendimiento cognitivo y operativo de los estudiantes en mecánica de rocas. Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla 10.

**Tabla 10**

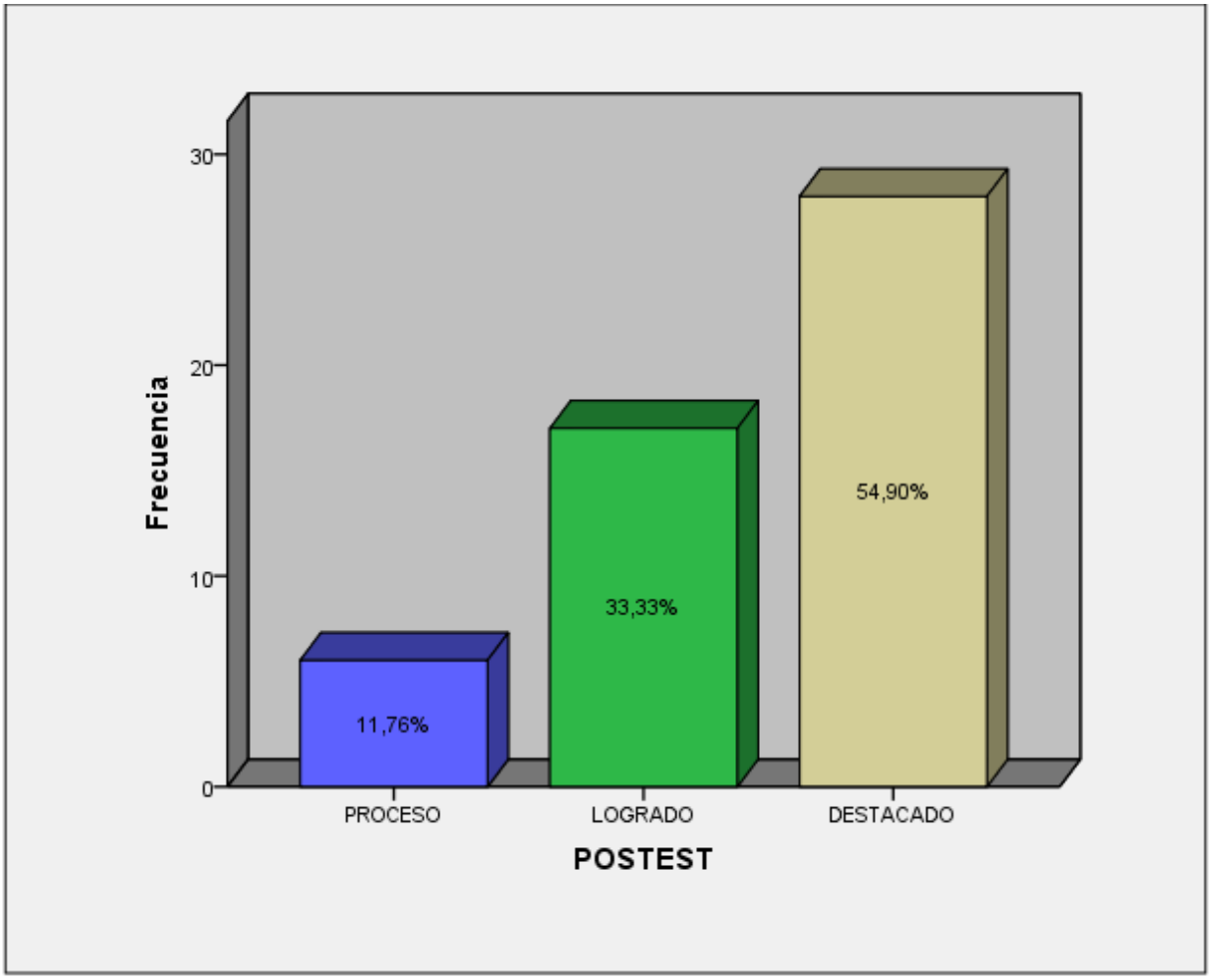
*Distribución de frecuencias y porcentajes del nivel de aprendizaje en el Postest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Proceso | 6 | 11,8 | 11,8 | 11,8 |
| Logrado | 17 | 33,3 | 33,3 | 45,1 |
| Destacado | 28 | 54,9 | 54,9 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 3**

*Baremo del nivel de aprendizaje en el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la Tabla 10 (y su representación gráfica en la Figura 3) reflejan un desplazamiento significativo y positivo en los niveles de aprendizaje de los estudiantes tras la intervención metodológica. En primer lugar, destaca la erradicación total del nivel Inicio (0,0%), lo que significa que el 100% de los alumnos superó la condición de vulnerabilidad académica inicial.

Por otro lado, el nivel Proceso se redujo drásticamente al 11,8% (f = 6). La mayor concentración de la muestra se trasladó hacia los rangos superiores: el 33,3% (f = 17) de los

estudiantes alcanzó el nivel Logrado y, de manera sobresaliente, un 54,9% (f = 28) de la población se posicionó en la categoría de Destacado. En conjunto, el 88,2% de los participantes logró consolidar las competencias requeridas para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, aportando evidencia empírica preliminar sobre la efectividad de la guía académica implementada.

#### 4.1.3.3. Análisis de la Tabla de Contingencia Pretest X Postest

Para evaluar de manera dinámica el impacto de la guía académica, se realizó un análisis de tablas cruzadas (contingencia) entre los niveles de logro obtenidos en el pretest y el postest. Este procedimiento permite observar de forma individualizada la trayectoria de aprendizaje y el desplazamiento sociocognitivo de los 51 estudiantes de Mecánica de Rocas.

**Tabla 11**

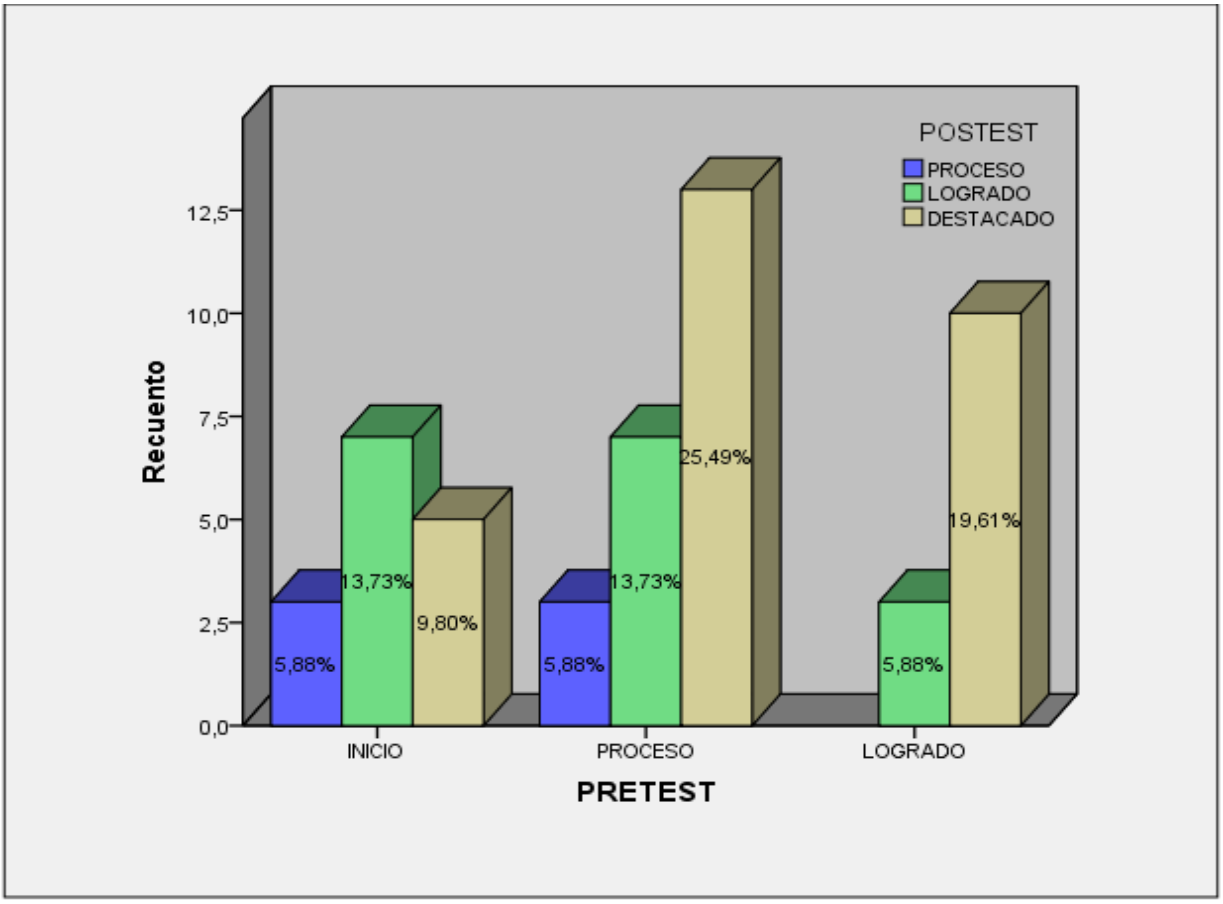
*Tabla de contingencia del cruce de niveles de aprendizaje entre el Pretest y el Postest*

| | | | POSTEST | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PROCESO | LOGRADO | DESTACADO | Total |
| PRETEST | INICIO | Recuento | 3 | 7 | 5 | 15 |
| | | % dentro de PRETEST | 20,0% | 46,7% | 33,3% | 100,0% |
| | PROCESO | Recuento | 3 | 7 | 13 | 23 |
| | | % dentro de PRETEST | 13,0% | 30,4% | 56,5% | 100,0% |
| | LOGRADO | Recuento | 0 | 3 | 10 | 13 |
| | | % dentro de PRETEST | 0,0% | 23,1% | 76,9% | 100,0% |
| | Total | Recuento | 6 | 17 | 28 | 51 |
| | | % dentro de PRETEST | 11,8% | 33,3% | 54,9% | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 4**

*Baremo de contingencia del cruce de niveles de aprendizaje entre el Pretest y el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El análisis cruzado de la Tabla 11 (y su representación gráfica en la Figura 4) permite observar detalladamente cómo evolucionó el nivel de aprendizaje de cada uno de los 51 estudiantes desde el inicio de la investigación (pretest) hasta la evaluación final (postest), demostrando un desplazamiento positivo muy marcado: Los estudiantes que empezaron peor (Nivel INICIO): Al comenzar, había 15 estudiantes en el nivel más bajo (Inicio). Después de aplicar la guía académica, ninguno se quedó estancado ahí (0%). El 20,0% (f = 3) avanzó al nivel Proceso, un importante 46,7% (f = 7) escaló directamente al nivel Logrado, y un extraordinario 33,3% (f = 5) subió hasta el nivel Destacado. Esto demuestra que la guía fue altamente efectiva para rescatar a los alumnos con mayores dificultades. Los estudiantes que empezaron a mitad de camino (Nivel PROCESO):

De los 23 estudiantes que inicialmente tenían un conocimiento a medias (Proceso), la gran mayoría logró dar el salto hacia la excelencia. El 30,4% (f = 7) subió al nivel Logrado y más de la mitad, el 56,5% (f = 13), alcanzó el nivel Destacado. Solo un pequeño 13,0% (f = 3) se mantuvo en su nivel original. Los estudiantes que empezaron bien (Nivel LOGRADO): Para los 13 alumnos que ya tenían una base adecuada al principio (Logrado), la guía no fue repetitiva, sino que les sirvió para potenciarse: el 76,9% (f = 10) de ellos subió al nivel máximo (Destacado) y el 23,1% (f = 3) mantuvo su buen rendimiento.

En términos generales, la tabla demuestra que el grupo no se quedó igual, sino que "escaló hacia arriba" de forma contundente. La guía metodológica logró que los estudiantes con bajo rendimiento superaran sus vacíos y que los estudiantes promedio o avanzados maximizaran sus capacidades en la resolución de problemas de mecánica de rocas.

#### 4.1.3.4. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Conceptual en el Pretest

En la dimensión conceptual, antes de la ejecución de la propuesta pedagógica, se realizó una evaluación diagnóstica (*pretest*) para determinar el nivel de partida de los estudiantes en la asignatura de Mecánica de Rocas

Los puntajes directos obtenidos por los 51 participantes fueron agrupados bajo los niveles sociocognitivos de: *Inicio*, *Proceso* y *Logrado*.

**Tabla 12**

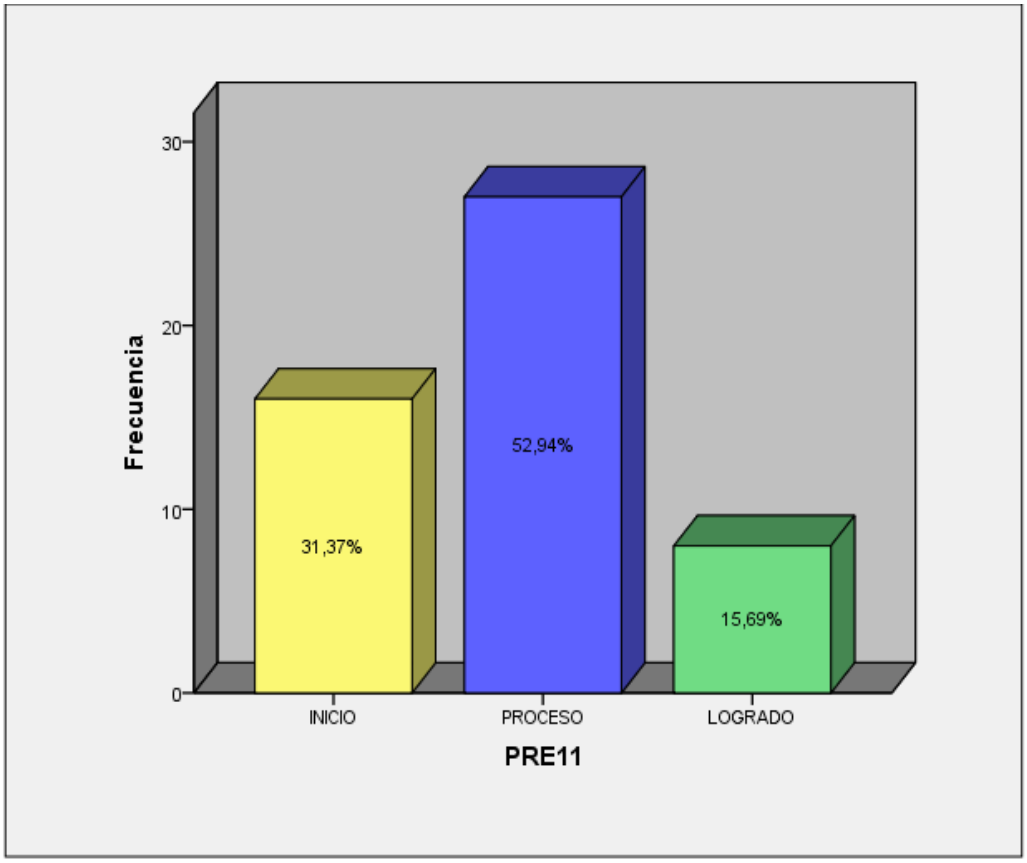
*Distribución de frecuencias y porcentajes de aprendizaje conceptual en el Pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 16 | 31,4 | 31,4 | 31,4 |
| Proceso | 27 | 52,9 | 52,9 | 84,3 |
| Logrado | 8 | 15,7 | 15,7 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 5**

*Baremo de la dimensión aprendizaje conceptual en el Pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la Tabla 12 (y su representación gráfica en la Figura 5) evidencian el estado crítico en el que se encontraban los estudiantes antes de la intervención. Se observa que el 52.3% (f = 27) de los alumnos se ubicaba en el nivel de Proceso, mientras que un preocupante 31,4% (f = 16) iniciaba la capacitación en el nivel de Inicio en la dimensión de aprendizaje conceptual.

Sumando ambos sectores, se determina que el 83,7% de la muestra presentaba dificultades o vacíos conceptuales para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas. Por el contrario, solo un porcentaje pequeño de la población estudiantil (15,7%, f = 8) demostró un nivel Logrado de manera autónoma previo al desarrollo metodológico de la guía académica. Estos datos justifican

plenamente la necesidad de aplicar una estrategia de fortalecimiento pedagógico del aprendizaje conceptual.

#### 4.1.3.5. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Conceptual en el Postest

Posterior a la aplicación de la propuesta pedagógica y al desarrollo de las sesiones basadas en la guía académica, se procedió a realizar la evaluación de salida (postest) para medir la evolución en el rendimiento conceptual de los estudiantes en mecánica de rocas. Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla 13.

**Tabla 13**

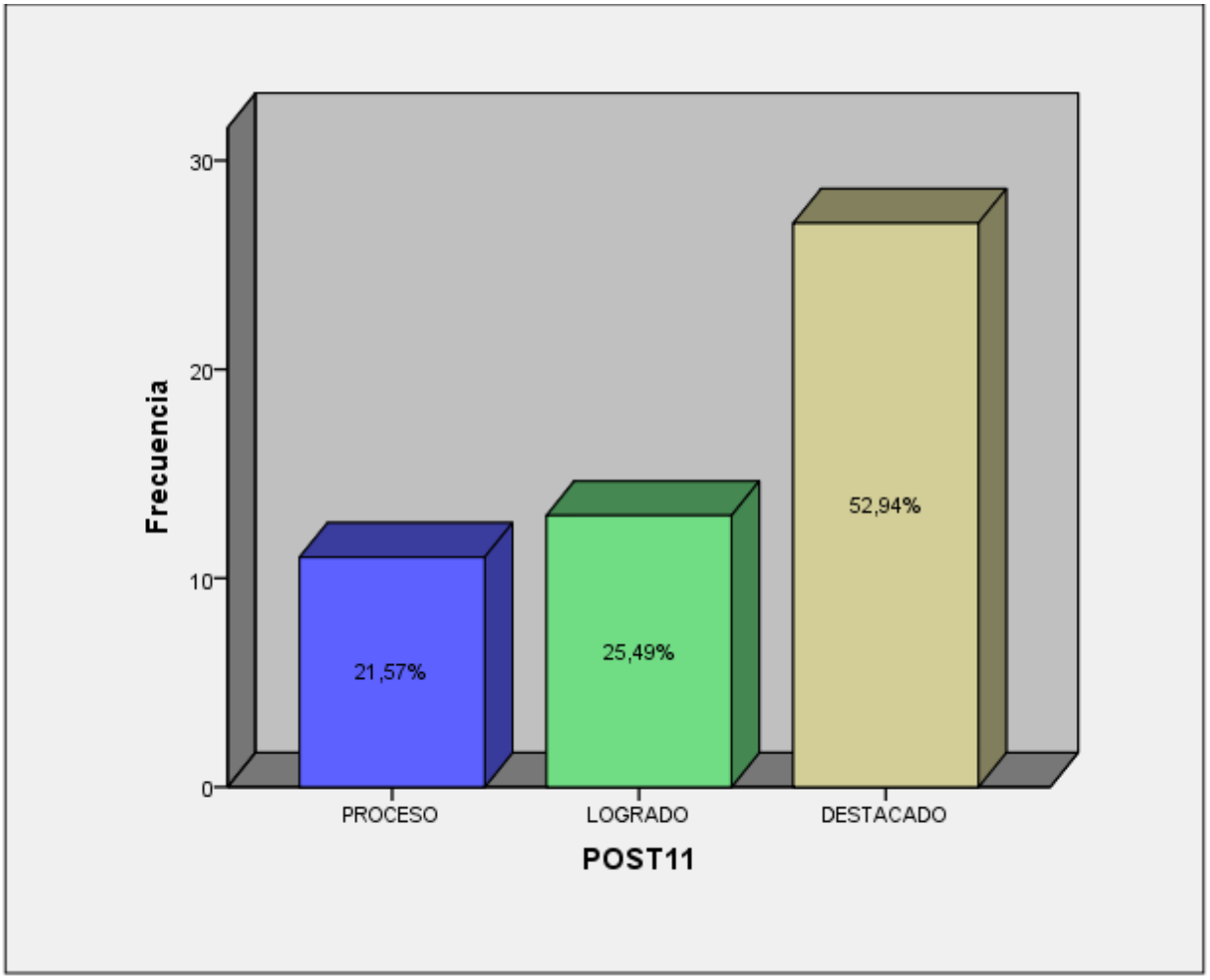
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje conceptual en el Postest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Proceso | 6 | 11,8 | 11,8 | 11,8 |
| Logrado | 17 | 33,3 | 33,3 | 45,1 |
| Destacado | 28 | 54,9 | 54,9 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 6**

*Baremo del aprendizaje conceptual en el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la Tabla 13 (y su representación gráfica en la Figura 6) reflejan un desplazamiento significativo y positivo en los niveles de aprendizaje de los estudiantes tras la intervención metodológica. En primer lugar, destaca la erradicación total del nivel Inicio (0,0%), lo que significa que el 100% de los alumnos superó la condición de vulnerabilidad académica inicial.

Por otro lado, el nivel Proceso se redujo drásticamente al 21,6% (f = 11). La mayor concentración de la muestra se trasladó hacia los rangos superiores: el 25,25% (f = 13) de los

estudiantes alcanzó el nivel Logrado y, de manera sobresaliente, un 52,9% (f = 27) de la población se posicionó en la categoría de Destacado. En conjunto, el 78,15% de los participantes logró consolidar las competencias conceptuales para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, aportando evidencia empírica preliminar sobre la efectividad de la guía académica implementada.

#### 4.1.3.6. Análisis de la Tabla de Contingencia del Aprendizaje conceptual (Pretest X Postest)

Para examinar de manera dinámica la evolución del aprendizaje conceptual de los estudiantes en cuanto a la resolución de problemas prácticos y aplicación de algoritmos de ingeniería, se elaboró la tabla de contingencia que cruza los niveles del pretest (PRE11) y del postest (POST11) correspondientes a la dimensión conceptual.

**Tabla 14**

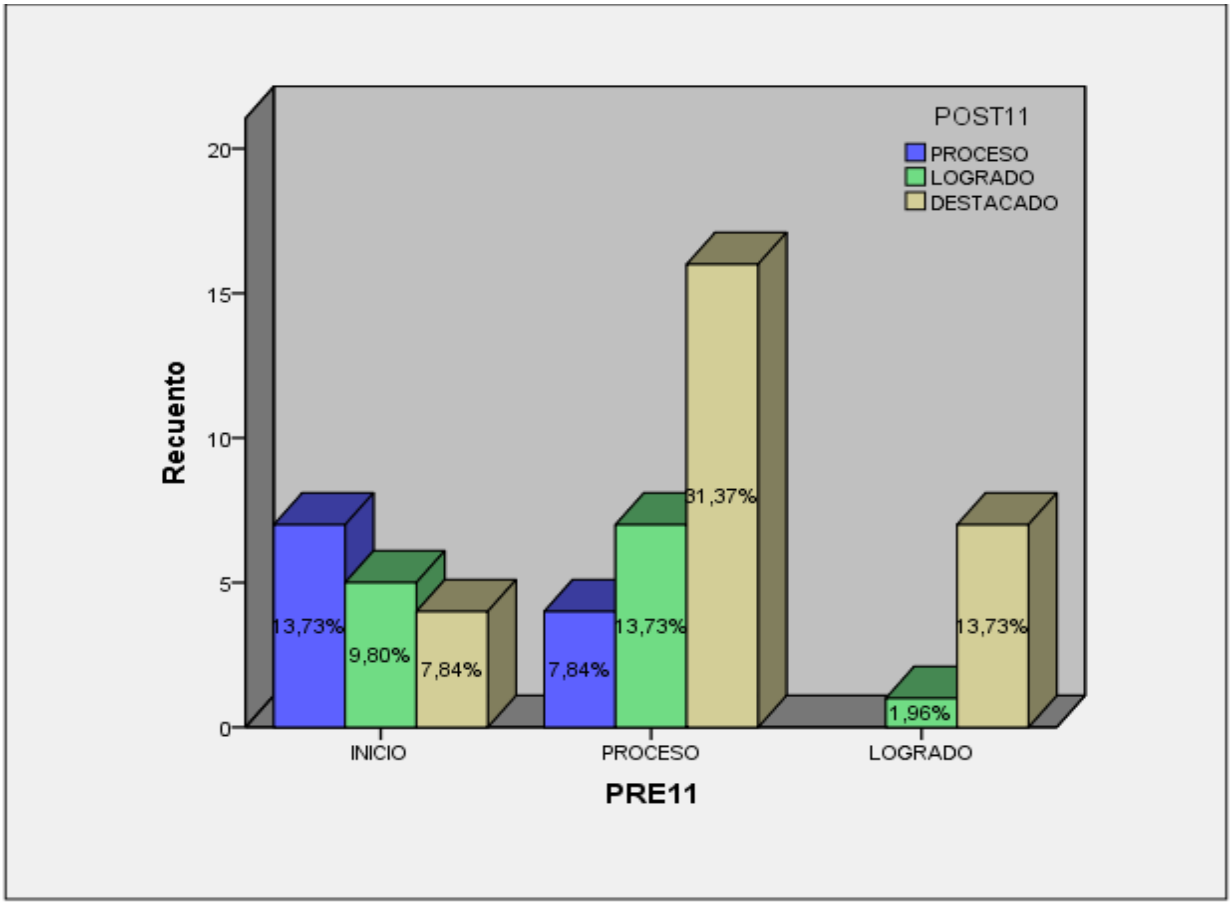
*Tabla de contingencia del aprendizaje conceptual entre el Pretest y el Postest*

| | | | POST11 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PROCESO | LOGRADO | DESTACADO | Total |
| PRE11 | INICIO | Recuento | 7 | 5 | 4 | 16 |
| | | % dentro de PRE11 | 43,8% | 31,3% | 25,0% | 100,0% |
| | PROCESO | Recuento | 4 | 7 | 16 | 27 |
| | | % dentro de PRE11 | 14,8% | 25,9% | 59,3% | 100,0% |
| | LOGRADO | Recuento | 0 | 1 | 7 | 8 |
| | | % dentro de PRE11 | 0,0% | 12,5% | 87,5% | 100,0% |
| | Total | Recuento | 11 | 13 | 27 | 51 |
| | | % dentro de PRE11 | 21,6% | 25,5% | 52,9% | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 7**

*Baremo del aprendizaje conceptual entre el Pretest y el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El cruce de datos de la Tabla 14 (y su representación gráfica en la Figura 7) proporciona evidencia empírica contundente sobre la efectividad de la guía académica en el aprendizaje de destrezas conceptuales en mecánica de rocas:

Evolución desde el nivel "Inicio": De los 16 estudiantes que originalmente presentaban una incapacidad conceptual para plantear o resolver ejercicios (Inicio), el 100% abandonó el nivel más bajo. El 43,8% (f = 7) avanzó hacia el nivel Proceso, un 31,3% (f = 5) escaló directamente a Logrado y un notable 25,0% (f = 4) logró la máxima categorización de Destacado.

Evolución desde el nivel "Proceso": En el grupo mayoritario, compuesto por 27 estudiantes que inicialmente tenían un dominio a medias o con errores conceptuales (Proceso), el progreso fue sobresaliente: el 59,3% (f = 16) migró con éxito hacia el nivel Destacado y el 25,9% (f = 7) consolidó el nivel Logrado. Solo una mínima fracción (14,8%, f = 4) no registró cambios en su estatus.

Evolución desde el nivel "Logrado": Respecto a los 8 alumnos que contaban con una base conceptual adecuada en el diagnóstico, la guía sirvió como un instrumento de perfeccionamiento técnico, logrando que el 87,5% (f = 7) de ellos ascendiera al rango de Destacado, mientras que el otro 12,5% retuvo su nivel óptimo inicial.

En conclusión, el análisis de contingencia confirma que la propuesta pedagógica resolvió de manera contundente el aprendizaje conceptual: La guía metodológica no solo estandarizó las capacidades conceptuales de la mecánica de rocas, sino que impulsó a más de la mitad de toda la muestra (52,9%) hacia la excelencia conceptual de la materia.

#### 4.1.3.7. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Procedimental en el Pretest

Respecto a la dimensión procedimental, los resultados del pretest permitieron determinar el nivel de desempeño de los estudiantes en la aplicación de procedimientos para la resolución de ejercicios de Mecánica de Rocas. A continuación, se presentan los resultados correspondientes.

Los puntajes directos obtenidos por los 51 participantes fueron agrupados bajo los niveles sociocognitivos de: Inicio, Proceso y Logrado.

**Tabla 15**

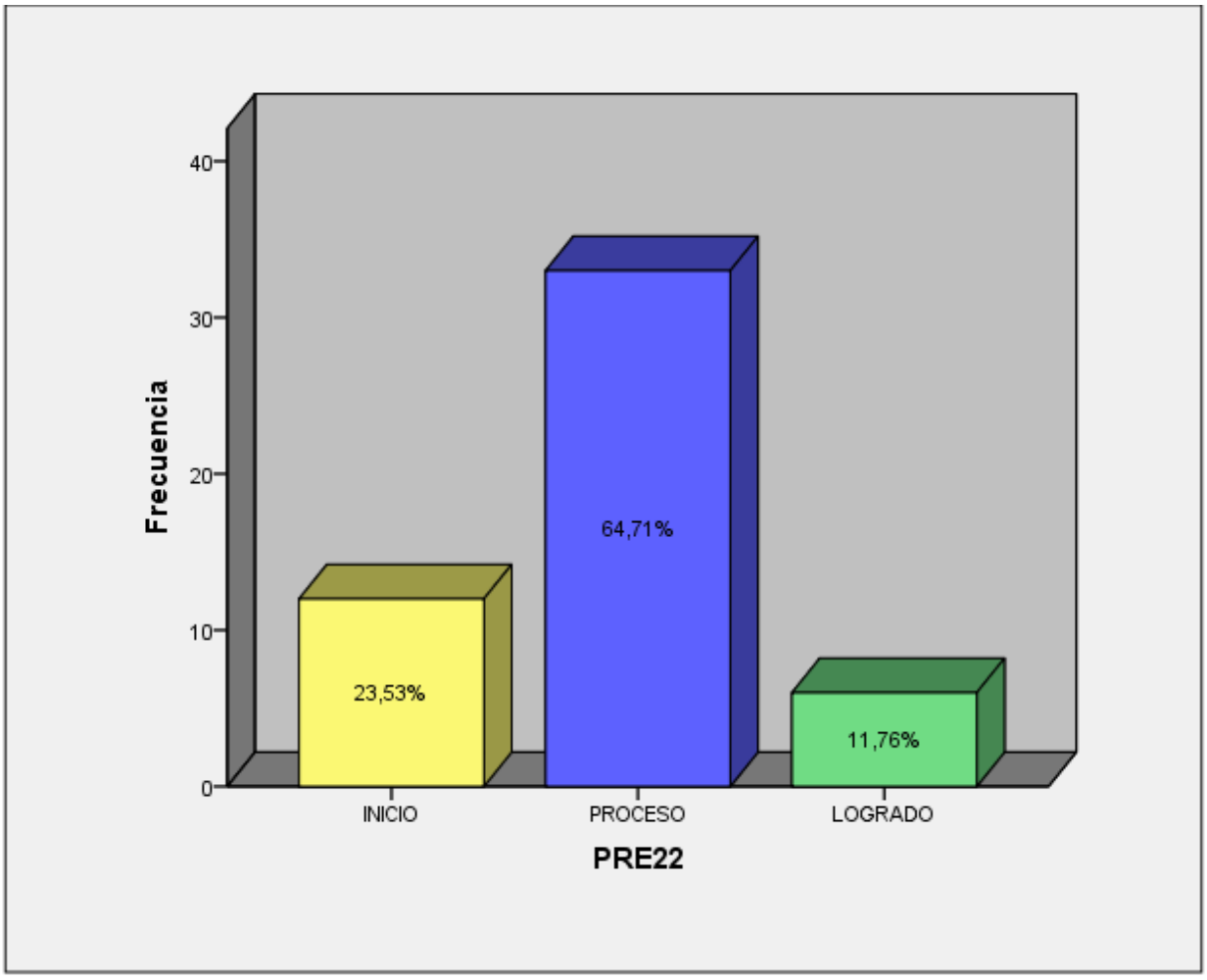
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje procedimental en el pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 12 | 23,5 | 23,5 | 23,5 |
| Proceso | 33 | 64,7 | 64,7 | 88,2 |
| Logrado | 6 | 11,8 | 11,8 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 8**

*Baremo del aprendizaje procedimental en el pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El reporte descriptivo expuesto en la Tabla 15 (y su representación gráfica en la Figura 8) evidencia las dificultades procedimentales de la muestra en el desarrollo práctico y la resolución de ejercicios. Se observa que casi dos tercios de la población estudiantil, equivalentes al 64,7% (f = 33), se posicionaban en el nivel Proceso, lo que denota que, si bien poseían ciertas nociones procedimentales, cometían errores en la secuencia de resolución o en la interpretación procedimental de los problemas prácticos.

A este panorama se suma un 23,5% (f = 12) de estudiantes ubicados en el nivel Inicio, manifestando una incapacidad severa para comprender los procedimientos al momento de plantear o resolver problemas de la especialidad. Al agrupar ambos indicadores, se revela que un contundente 88,2% de los participantes manifestaba deficiencias en las habilidades procedimentales indispensables para la asignatura. En contraposición, únicamente el 11,8% (f = 6) de los alumnos demostró un nivel Logrado de forma autónoma. Estos hallazgos validan el supuesto de que el diseño de una guía metodológica con enfoque práctico era mandatorio para transformar los procedimientos de cálculo y análisis técnico en los estudiantes.

#### 4.1.3.8. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Procedimental en el Postest

Posterior a la ejecución de los talleres prácticos y las actividades guiadas de resolución de problemas contempladas en la propuesta pedagógica, se aplicó la evaluación de salida (postest) para medir el progreso en las habilidades procedimentales de los estudiantes. Los resultados se exponen en la Tabla 15.

**Tabla 16**

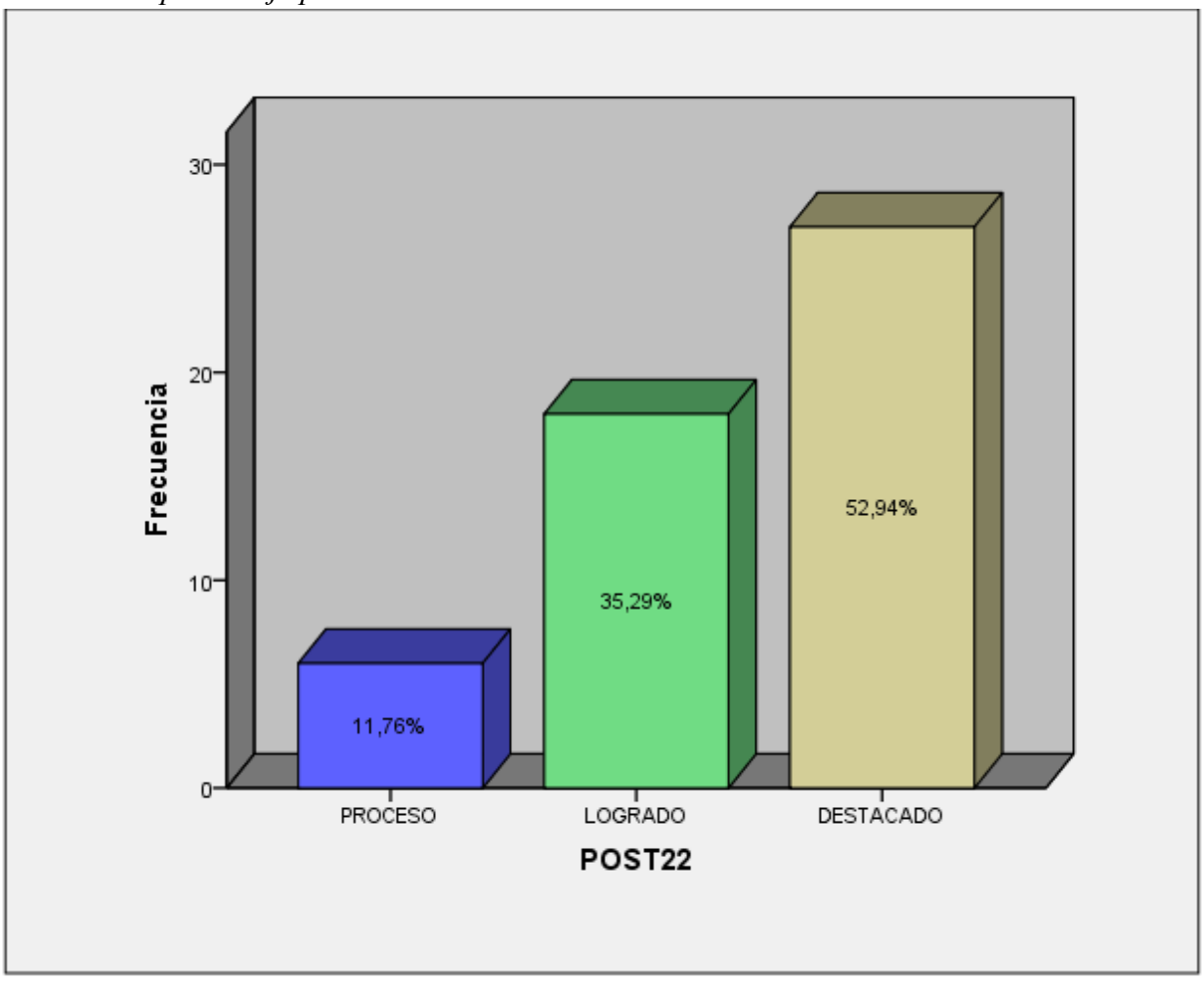
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje procedimental en el Postest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 6 | 11,8 | 11,8 | 11,8 |
| Proceso | 18 | 35,3 | 35,3 | 47,1 |
| Logrado | 27 | 52,9 | 52,9 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 9**

*Baremo del aprendizaje procedimental en el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El reporte descriptivo expuesto en la Tabla 16 (y su representación gráfica en la Figura 9) evidencian una reconfiguración favorable y significativa en la capacidad procedimental de los estudiantes para resolver problemas de ingeniería de rocas. En primer lugar, resalta el hecho de que el nivel Inicio se redujo a 0,0%, consiguiendo que la totalidad de la muestra desarrollara las competencias procedimentales mínimas requeridas.

Por otra parte, el nivel Proceso experimentó una contracción masiva, pasando del 64,7% inicial a solo un 11,8% (f = 6). La mayor parte de los evaluados se trasladó de forma satisfactoria a los niveles de excelencia: el 35,3% (f = 18) de los alumnos alcanzó el nivel Logrado y un contundente 52,9% (f = 27) se posicionó en la categoría superior de Destacado.

Al consolidar estas dos últimas métricas, se constata que el 88,2% de la muestra logró un dominio procedimental óptimo, autónomo y preciso. Estos hallazgos demuestran empíricamente que la metodología de la guía académica, centrada en la estructuración lógica y paso a paso para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, resolvió las deficiencias procedimentales con la que contaban los estudiantes.

#### 4.1.3.9. Análisis de la Tabla de Contingencia del Aprendizaje Procedimental (Pretest X Postest)

Para examinar de manera dinámica la evolución de los estudiantes en cuanto a la resolución de problemas prácticos y aplicación de algoritmos de ingeniería, se elaboró la tabla de contingencia que cruza los niveles del pretest (PRE22) y del postest (POST22) correspondientes a la dimensión procedimental.

**Tabla 17**

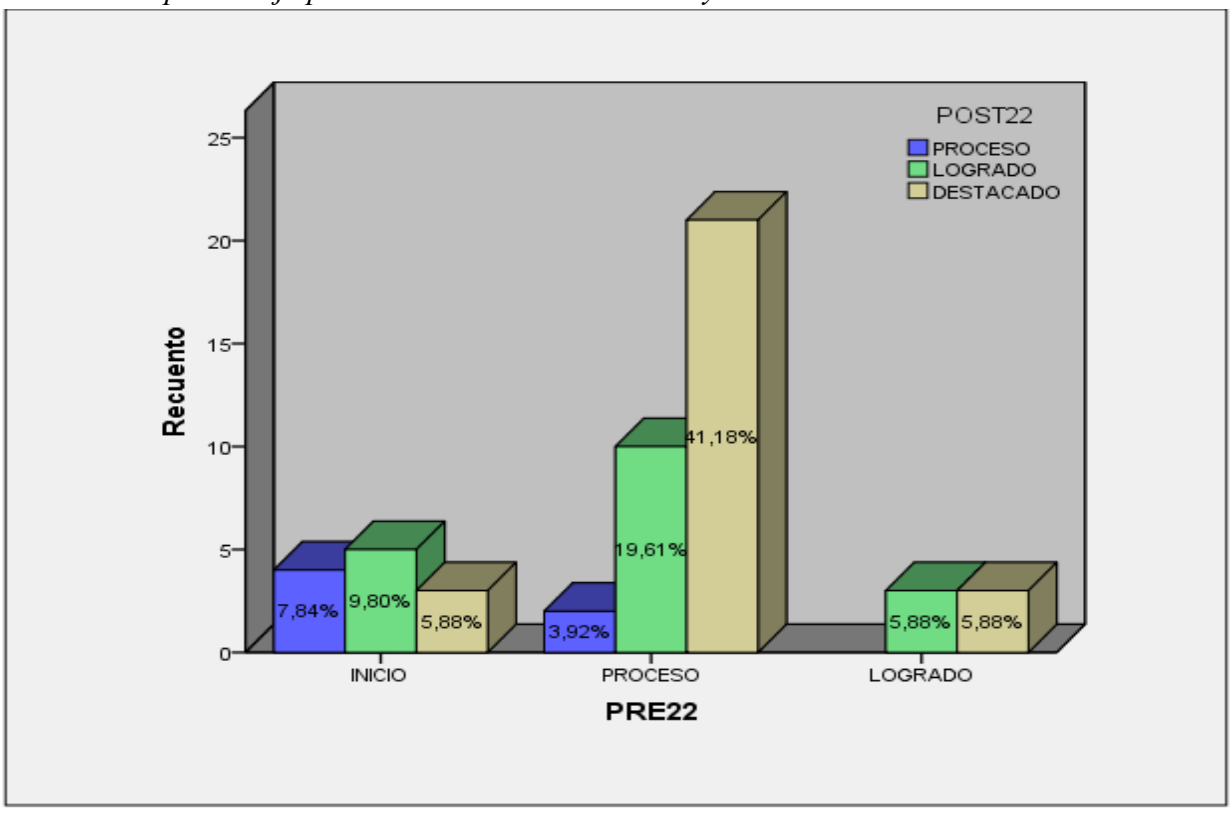
*Tabla de contingencia del aprendizaje procedimental entre el Pretest y el Postest*

| | | | POST22 | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PROCESO | LOGRADO | DESTACADO | |
| PRE22 | INICIO | Recuento | 4 | 5 | 3 | 12 |
| | | % dentro de PRE22 | 33,3% | 41,7% | 25,0% | 100,0% |
| | PROCESO | Recuento | 2 | 10 | 21 | 33 |
| | | % dentro de PRE22 | 6,1% | 30,3% | 63,6% | 100,0% |
| | LOGRADO | Recuento | 0 | 3 | 3 | 6 |
| | | % dentro de PRE22 | 0,0% | 50,0% | 50,0% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 6 | 18 | 27 | 51 |
| | | % dentro de PRE22 | 11,8% | 35,3% | 52,9% | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 10**

*Baremo del aprendizaje procedimental entre el Pretest y el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El cruce de datos de la Tabla 17 (y su representación gráfica en la Figura 10) proporciona evidencia empírica contundente sobre la efectividad de la guía académica en el desarrollo de destrezas procedimentales en mecánica de rocas:

Evolución desde el nivel "Inicio": De los 12 estudiantes que originalmente presentaban una incapacidad procedimental para plantear o resolver ejercicios (Inicio), el 100% abandonó el nivel más bajo. El 33,3% (f = 4) avanzó hacia el nivel Proceso, un 41,7% (f = 5) escaló directamente a Logrado y un notable 25,0% (f = 3) logró la máxima categorización de Destacado.

Evolución desde el nivel "Proceso": En el grupo mayoritario, compuesto por 33 estudiantes que inicialmente tenían un dominio a medias o con errores metodológicos (Proceso), el progreso fue sobresaliente: el 63,6% (f = 21) migró con éxito hacia el nivel Destacado y el 30,3% (f = 10) consolidó el nivel Logrado. Solo una mínima fracción (6,1%, f = 2) no registró cambios en su estatus.

Evolución desde el nivel "Logrado": Respecto a los 6 alumnos que contaban con una base práctica adecuada en el diagnóstico, la guía sirvió como un instrumento de perfeccionamiento técnico, logrando que el 50,0% (f = 3) de ellos ascendiera al rango de Destacado, mientras que el otro 50,0% retuvo su nivel óptimo inicial.

En conclusión, el análisis de contingencia confirma que la propuesta pedagógica resolvió de manera eficiente el aprendizaje procedimental de los estudiantes. La guía metodológica no solo estandarizó las capacidades procedimentales de resolución de problemas hacia rangos de eficiencia autónoma, sino que impulsó a más de la mitad de toda la muestra (52,9%) hacia la excelencia procedimental en la materia.

#### 4.1.3.10. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Estratégico en el Pretest

En cuanto a la dimensión estratégica, el pretest permitió identificar el nivel de desarrollo de las estrategias empleadas por los estudiantes para analizar y resolver ejercicios de Mecánica de Rocas. Los datos se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 18**

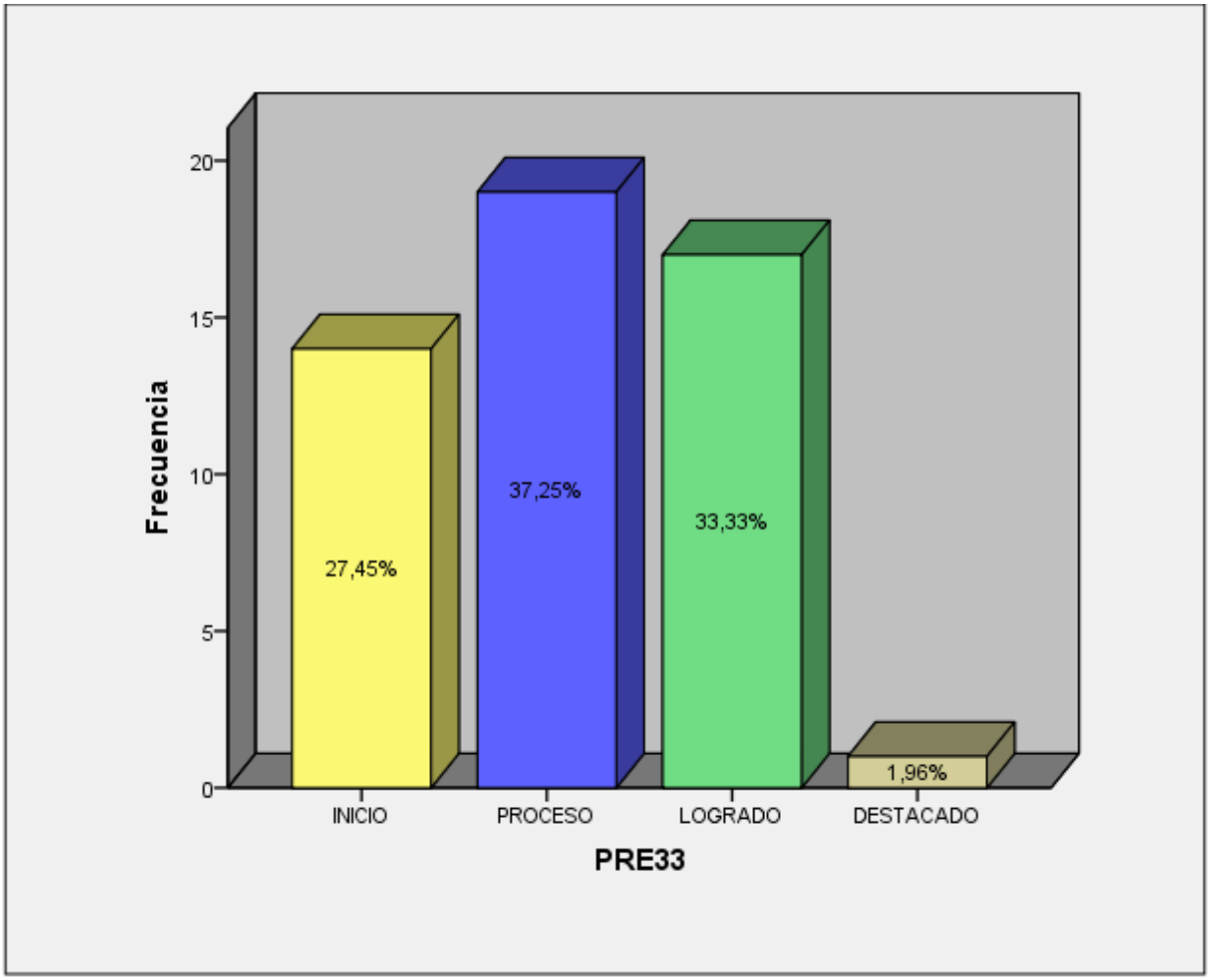
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje estratégico en el Pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 14 | 27,5 | 27,5 | 27,5 |
| Proceso | 19 | 37,3 | 37,3 | 64,7 |
| Logrado | 17 | 33,3 | 33,3 | 98,0 |
| Destacado | 1 | 2,0 | 2,0 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 11**

*Baremo del aprendizaje estratégico en el Pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El reporte descriptivo expuesto en la Tabla 18 (y su representación gráfica en la Figura 11) evidencia que las mayores dificultades del aprendizaje estratégico de la muestra según se observa se da de la siguiente manera en la población estudiantil, equivalentes al 27,5% (f = 14), se posicionaban en el nivel Inicio, lo que denota que, si bien poseían ciertas nociones estratégicas, cometían errores en la secuencia de resolución o en la interpretación estratégica de los problemas prácticos.

A este panorama se suma un 37,3% (f = 19) de estudiantes ubicados en el nivel Proceso, manifestando una incapacidad estratégica limitada para plantear o resolver problemas de la especialidad.

Luego tenemos un 33,3% (f = 17) de estudiantes ubicados en el nivel Logrado, manifestando una capacidad estratégica buena para plantear o resolver problemas de la especialidad.

También tenemos un 2,0% (f = 1) de estudiantes ubicados en el nivel Destacado, manifestando una capacidad estratégica excelente para plantear o resolver problemas de la especialidad.

Al agrupar estos indicadores, se revela que un contundente 64,8% de los participantes manifestaba deficiencias en las habilidades estratégicas indispensables para la asignatura. En contraposición, únicamente el 35,3% (f = 18) de los alumnos demostró un nivel satisfactorio. Estos hallazgos validan el supuesto de que el diseño de una guía metodológica con enfoque práctico era mandatorio para transformar los procesos estratégicos y análisis técnico en los estudiantes.

#### 4.1.3.11. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Estratégico en el Postest

Posterior a la ejecución de los talleres prácticos y las actividades guiadas de resolución de problemas contempladas en la propuesta pedagógica, se aplicó la evaluación de salida (postest) para medir el progreso en las habilidades estratégicas de los estudiantes. Los resultados se exponen en la Tabla 19.

**Tabla 19**

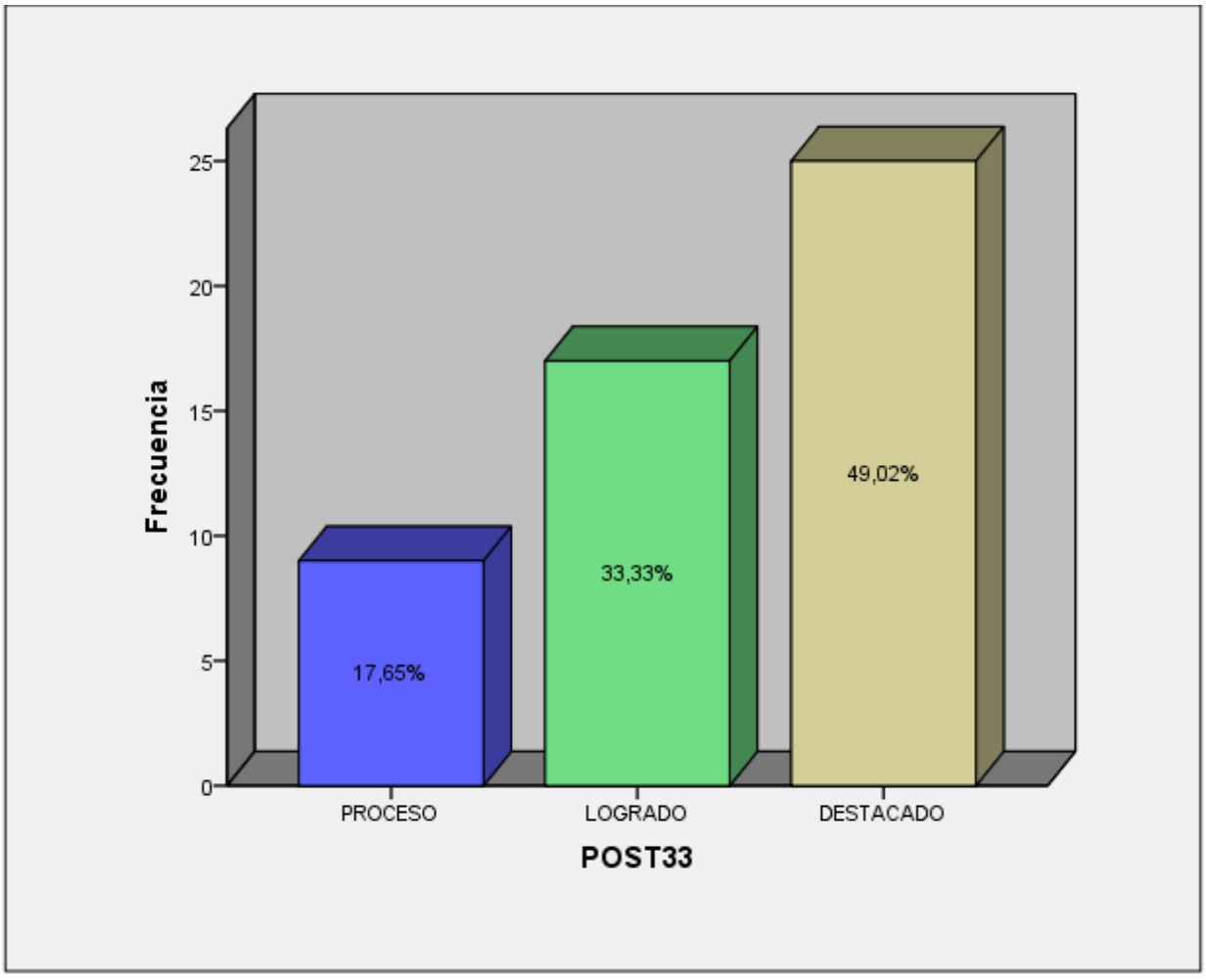
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje procedimental en el Postest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Proceso | 9 | 17,6 | 17,6 | 17,6 |
| Logrado | 17 | 33,3 | 33,3 | 51,0 |
| Destacado | 25 | 49,0 | 49,0 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 12**

*Baremo del aprendizaje procedimental en el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados del postest evidenciados en la tabla 19 (y su representación gráfica en la Figura 12) presentan una reconfiguración favorable y significativa en la capacidad estratégica de los estudiantes para resolver problemas de ingeniería de rocas. En primer lugar, resalta el hecho de que el nivel Inicio se redujo a 0,0%, consiguiendo que la totalidad de la muestra desarrollara las competencias prácticas mínimas requeridas.

Por otra parte, el nivel Proceso experimentó una contracción masiva, pasando del 37,3% inicial a solo un 17,6% (f = 9). La mayor parte de los evaluados se trasladó de forma satisfactoria a los niveles de excelencia: el 33,3% (f = 17) de los alumnos alcanzó el nivel Logrado y un contundente 49,0% (f = 25) se posicionó en la categoría superior de Destacado.

Al consolidar estas dos últimas métricas, se constata que el 82,3% de la muestra logró un dominio estratégico óptimo, autónomo y preciso. Estos hallazgos demuestran empíricamente que la metodología de la guía académica, centrada en la estructuración lógica y paso a paso para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, resolvió las deficiencias estratégicas que afectaban al grupo inicialmente.

#### 4.1.3.12. Análisis de la Tabla de Contingencia del Aprendizaje estratégico (Pretest X Postest)

Para examinar de manera dinámica la evolución de los estudiantes en cuanto a la resolución de problemas prácticos y aplicación de estrategias de ingeniería, se elaboró la tabla de contingencia que cruza los niveles del pretest (PRE33) y del postest (POST33) correspondientes a la dimensión aprendizaje estratégico.

**Tabla 20**

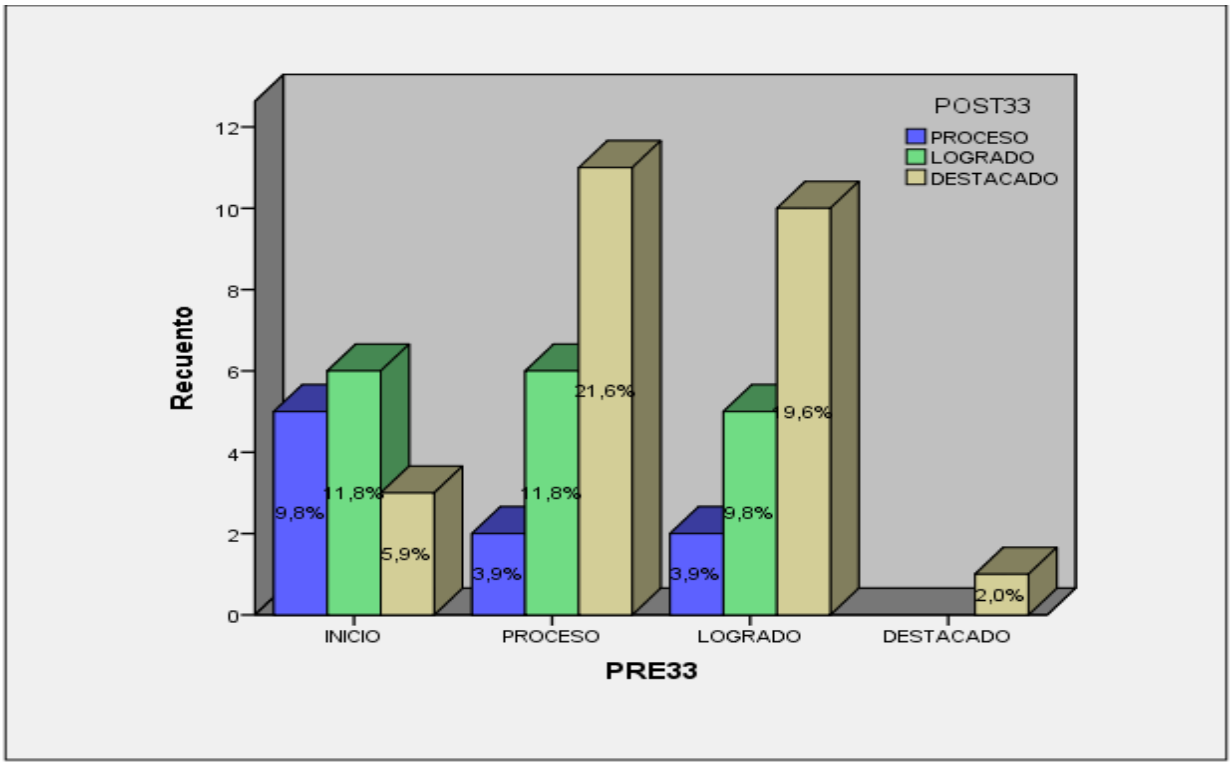
*Tabla de contingencia del aprendizaje estratégico entre el Pretest y el Postest*

| | | | POST33 | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PROCESO | LOGRADO | DESTACADO | |
| PRE33 | INICIO | Recuento | 5 | 6 | 3 | 14 |
| | | % dentro de PRE33 | 35,7% | 42,9% | 21,4% | 100,0% |
| | PROCESO | Recuento | 2 | 6 | 11 | 19 |
| | | % dentro de PRE33 | 10,5% | 31,6% | 57,9% | 100,0% |
| | LOGRADO | Recuento | 2 | 5 | 10 | 17 |
| | | % dentro de PRE33 | 11,8% | 29,4% | 58,8% | 100,0% |
| | DESTACADO | Recuento | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | | % dentro de PRE33 | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 100,0% |
| | Total | Recuento | 9 | 17 | 25 | 51 |
| | | % dentro de PRE33 | 17,6% | 33,3% | 49,0% | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 13**

*Baremo del aprendizaje estratégico entre el Pretest y el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El cruce de datos de la Tabla 20 (y su representación gráfica en la Figura 13) proporciona evidencia empírica contundente sobre la efectividad de la guía académica en el Desarrollo de destrezas estratégicas y de cálculo en mecánica de rocas:

Evolución desde el nivel "Inicio": De los 14 estudiantes que originalmente presentaban una incapacidad estratégica para plantear o resolver ejercicios (Inicio), el 100% abandonó el nivel más bajo. El 35,7% (f = 5) avanzó hacia el nivel Proceso, un 42,9% (f = 6) escaló directamente a Logrado y un notable 21,4% (f = 3) logró la máxima categorización de Destacado.

Evolución desde el nivel "Proceso": En el grupo mayoritario, compuesto por 19 estudiantes que inicialmente tenían un dominio estratégico a medias (Proceso), el progreso fue sobresaliente: el 57,9% (f = 11) migró con éxito hacia el nivel Destacado y el 31,6% (f = 6) consolidó el nivel Logrado. Solo una mínima fracción (10,5%, f = 2) no registró cambios en su estatus.

Evolución desde el nivel "Logrado": Respecto a los 17 alumnos que contaban con una base estratégica adecuada en el diagnóstico, la guía sirvió como un instrumento de perfeccionamiento estratégico, logrando que el 58,8% (f = 10) de ellos ascendiera al rango de Destacado, mientras que el otro 29,4%(f=5) retuvo su nivel Logrado inicial, mientras que un 11,8%(f=2) retrocede a nivel de Proceso.

Evolución desde el nivel "Destacado": Respecto a 1 alumnos que contaban con una base estratégica destacada en el diagnóstico, la guía sirvió como un instrumento de perfeccionamiento técnico, logrando que el 100,0% (f = 1) se mantuviera en el nivel Destacado.

En conclusión, el análisis de contingencia confirma que la propuesta pedagógica resolvió de manera eficiente la capacidad estratégica de los estudiantes. La guía metodológica no solo

estandarizó las capacidades estratégicas, sino que impulsó a casi la mitad de toda la muestra (49,0%) hacia la excelencia estratégica en la materia.

#### 4.1.3.13. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Crítico en el Pretest

También se evaluó de manera específica la dimensión de aprendizaje crítico en el *pretest*. Esta subvariable permite diagnosticar la capacidad inicial de los 51 estudiantes para la ejecución de criterios, y de esta manera comprender el porqué del comportamiento del macizo rocoso. Los datos se detallan en la Tabla 20.

**Tabla 21**

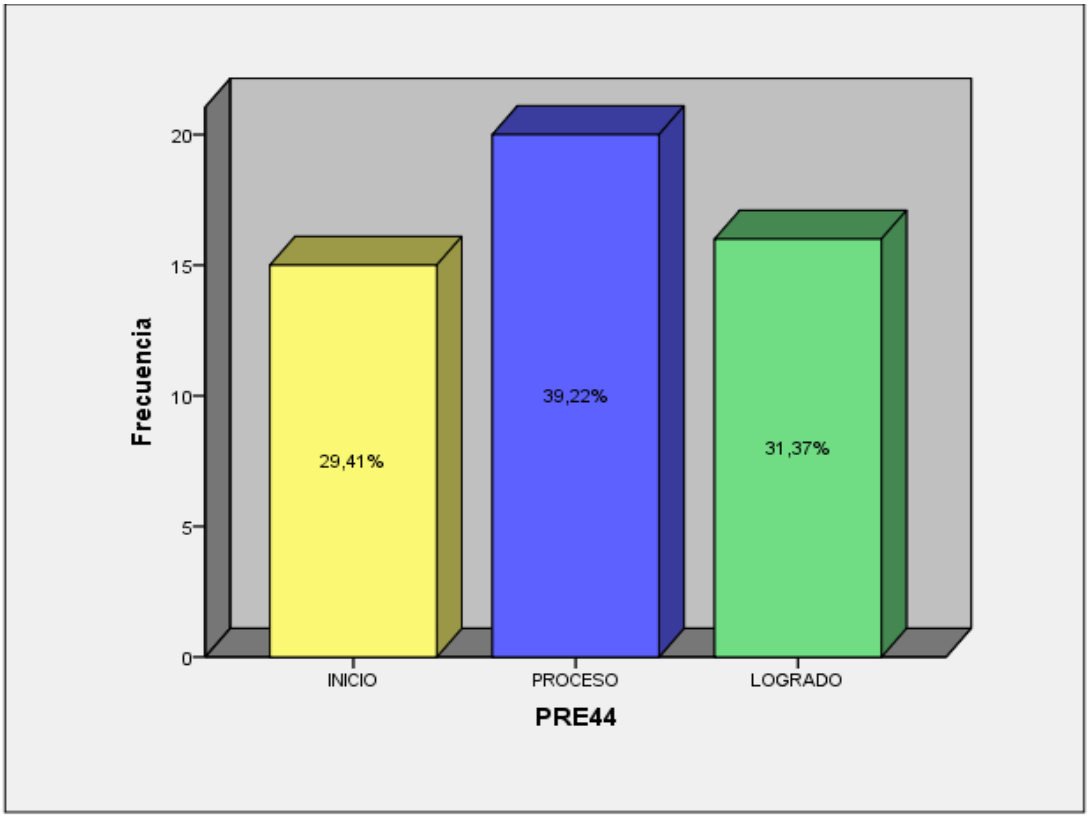
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje crítico en el Pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 15 | 29,4 | 29,4 | 29,4 |
| Proceso | 20 | 39,2 | 39,2 | 68,6 |
| Logrado | 16 | 31,4 | 31,4 | 100 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 14**

*Baremo del aprendizaje crítico en el Pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El reporte descriptivo expuesto en la Tabla 21 (y su representación gráfica en la Figura 14) evidencia que las mayores dificultades de la muestra según se observa se da de la siguiente manera en la población estudiantil, equivalentes al 29,4% (f = 15), se posicionaban en el nivel Inicio, lo que denota que, si bien poseían ciertas nociones críticas, cometían errores en la secuencia de resolución o en la interpretación crítica de los problemas prácticos.

A este panorama se suma un 39,2% (f = 20) de estudiantes ubicados en el nivel Proceso, manifestando una incapacidad crítica para plantear o resolver problemas de la especialidad.

Finalmente tenemos un 31,4% (f = 16) de estudiantes ubicados en el nivel Logrado, manifestando una capacidad crítica buena para plantear o resolver problemas de la especialidad.

Al agrupar estos indicadores, se revela que un contundente 68,6% de los participantes manifestaba deficiencias en las habilidades críticas indispensables para la asignatura. En contraposición, únicamente el 31,4% (f = 16) de los alumnos demostró un nivel satisfactorio de forma autónoma. Estos hallazgos validan el supuesto de que el diseño de una guía metodológica con enfoque práctico era mandatorio para transformar los procesos de aprendizaje crítico en los estudiantes.

#### 4.1.3.14. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Critico en el Postest

Posterior a la ejecución de los talleres prácticos y las actividades guiadas de resolución de problemas contempladas en la propuesta pedagógica, se aplicó la evaluación de salida (postest) para medir el progreso en las habilidades críticas de los estudiantes. Los resultados se exponen en la Tabla 22.

**Tabla 22**

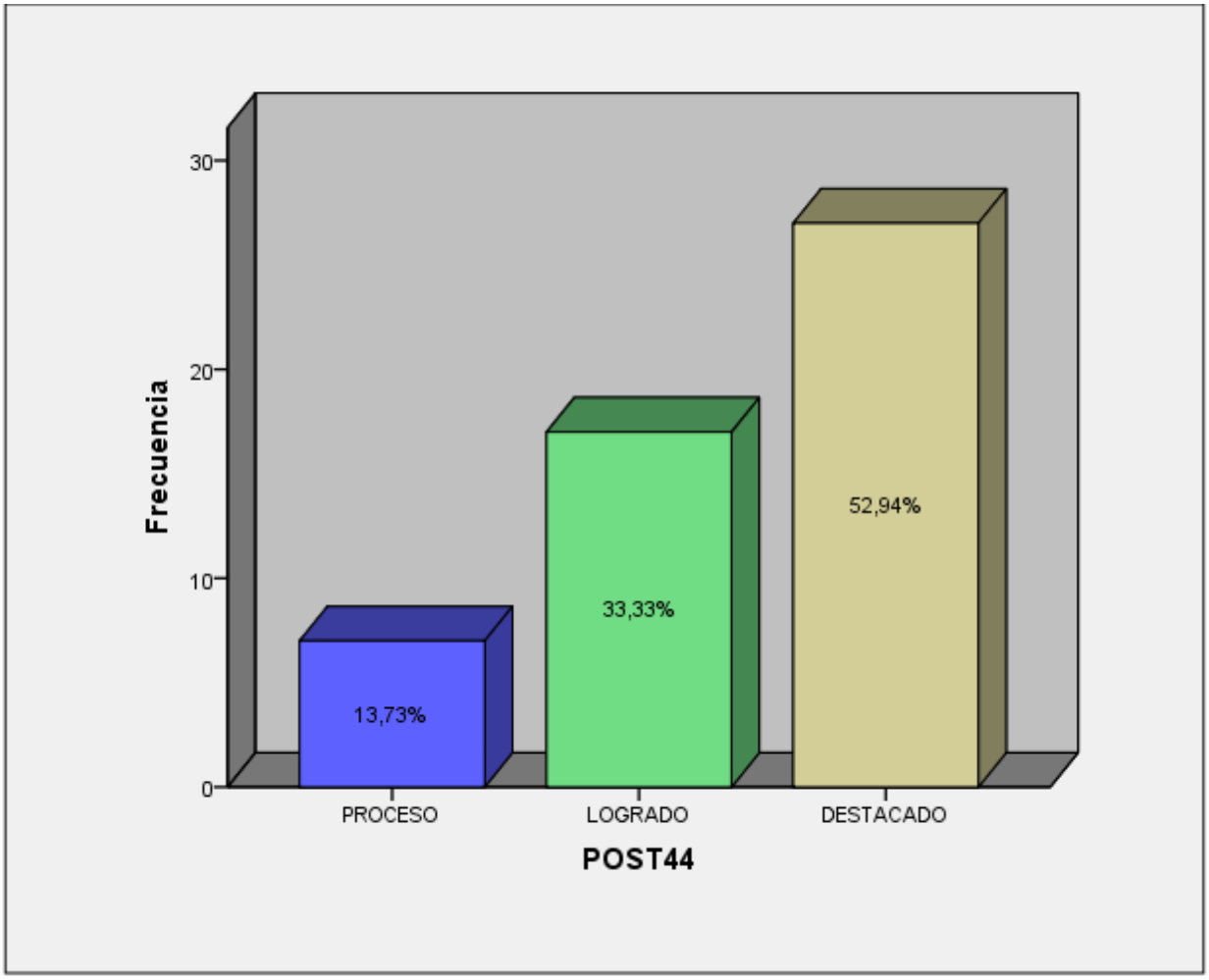
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje crítico en el Postest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Proceso | 7 | 13,7 | 13,7 | 13,7 |
| Logrado | 17 | 33,3 | 33,3 | 47,1 |
| Destacado | 27 | 52,9 | 52,9 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 15**

*Baremo del aprendizaje crítico del postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados del postest evidenciados en la tabla 22 (y su representación gráfica en la Figura 15) muestran una reconfiguración favorable y significativa en la capacidad operativa de los estudiantes para resolver problemas de ingeniería de rocas. En primer lugar, resalta el hecho de que el nivel Inicio se redujo a 0,0%, consiguiendo que la totalidad de la muestra desarrollara las competencias prácticas mínimas requeridas.

Por otra parte, el nivel Proceso experimentó una contracción masiva, pasando del 39,2% inicial a solo un 13,73% (f = 7). La mayor parte de los evaluados se trasladó de forma satisfactoria

a los niveles de excelencia: el 33,3% (f = 17) de los alumnos alcanzó el nivel Logrado y un contundente 52,9% (f = 27) se posicionó en la categoría superior de Destacado.

Al consolidar estas dos últimas métricas, se constata que el 86,2% de la muestra logró un dominio crítico óptimo, autónomo y preciso. Estos hallazgos demuestran empíricamente que la metodología de la guía académica, centrada en la estructuración lógica y paso a paso para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, resolvió las deficiencias de análisis crítico que afectaban al grupo inicialmente.

#### 4.1.3.15. Análisis de la Tabla de Contingencia del Aprendizaje Critico (Pretest X Postest)

Para examinar de manera dinámica la evolución de los estudiantes en cuanto a la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre, se elaboró la tabla de contingencia que cruza los niveles del pretest (PRE44) y del postest (POST44) correspondientes a la dimensión del aprendizaje crítico.

**Tabla 23**

*Tabla de contingencia del aprendizaje crítico entre el Pretest y el Postest*

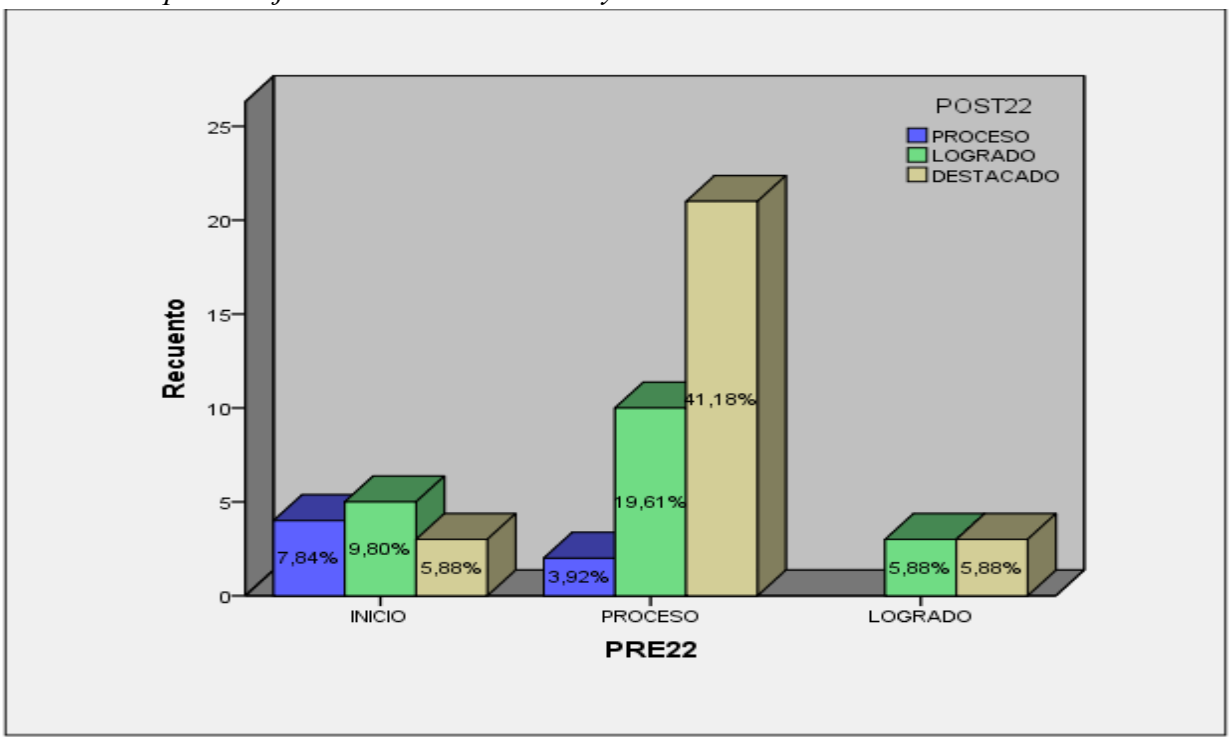
| | | | POST44 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PROCESO | LOGRADO | DESTACADO | Total |
| PRE44 | INICIO | Recuento | 3 | 8 | 4 | 15 |
| | | % dentro de PRE44 | 20,0% | 53,3% | 26,7% | 100,0% |
| | PROCESO | Recuento | 3 | 6 | 11 | 20 |
| | | % dentro de PRE44 | 15,0% | 30,0% | 55,0% | 100,0% |
| | LOGRADO | Recuento | 1 | 3 | 12 | 16 |
| | | % dentro de PRE44 | 6,3% | 18,8% | 75,0% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 7 | 17 | 27 | 51 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | % dentro de PRE44 | 13,7% | 33,3% | 52,9% | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 16**

*Baremo del aprendizaje crítico entre el Pretest y el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El cruce de datos de la Tabla 23 (y su representación gráfica en la Figura 16) proporciona evidencia empírica contundente sobre la efectividad de la guía académica en el desarrollo de destrezas críticas en mecánica de rocas:

**Evolución desde el nivel "Inicio":** De los 15 estudiantes que originalmente presentaban una incapacidad crítica para plantear o resolver ejercicios (Inicio), el 100% abandonó el nivel más bajo. El 20,0% (f = 3) avanzó hacia el nivel Proceso, un 53,3% (f = 8) escaló directamente a Logrado y un notable 26,7% (f = 4) logró la máxima categorización de Destacado.

**Evolución desde el nivel "Proceso":** En el grupo mayoritario, compuesto por 20 estudiantes que inicialmente tenían un dominio de competencias críticas a medias (Proceso), el progreso fue sobresaliente: el 55,0% (f = 11) migró con éxito hacia el nivel Destacado y el 30,0% (f = 6) consolidó el nivel Logrado. Solo una mínima fracción (15,0%, f = 3) no registró cambios en su estatus.

**Evolución desde el nivel "Logrado":** Respecto a los 16 alumnos que contaban con una base crítica adecuada en el diagnóstico, la guía sirvió como un instrumento de perfeccionamiento técnico, logrando que el 75,0% (f = 12) de ellos ascendiera al rango de Destacado, mientras que el otro 18,8% retuvo su nivel óptimo inicial y finalmente un 3,3%(f=1) bajo a nivel de proceso.

En conclusión, el análisis de contingencia confirma que la propuesta pedagógica resolvió de manera eficiente el aprendizaje crítico de los estudiantes. La guía metodológica no solo estandarizó las capacidades críticas de los estudiantes, sino que impulsó a más de la mitad de toda la muestra (52,9%) hacia la excelencia del aprendizaje crítico en la materia.

#### 4.1.3.16. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Estratégico Critico en el Pretest

Finalmente se evaluó de manera específica la capacidad para resolver problemas complejos correspondiente al aprendizaje estratégico crítico en el pretest. Esta subvariable permite diagnosticar la capacidad inicial de los 51 estudiantes para la ejecución de algoritmos, uso de fórmulas geomecánicas y la resolución analítica de problemas de mecánica de rocas. Los datos se detallan en la Tabla 24.

**Tabla 24**

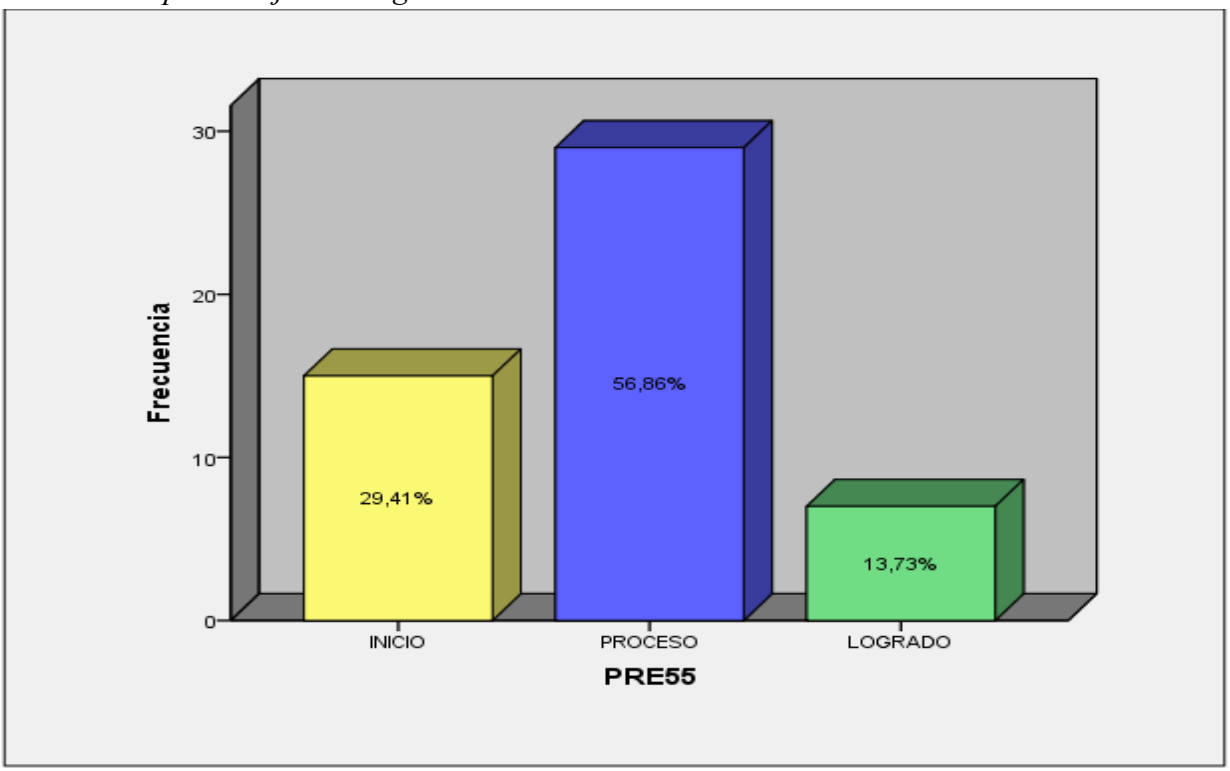
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje estratégico crítico en el Pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 15 | 29,4 | 29,4 | 29,4 |
| Proceso | 29 | 56,9 | 56,9 | 86,3 |
| Logrado | 7 | 13,7 | 13,7 | 100 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaboración propia a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 17**

*Baremo del aprendizaje estratégico crítico en el Pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El reporte descriptivo expuesto en la Tabla 24 (y su representación gráfica en la Figura 17) evidencia que las dificultades en el aprendizaje estratégico critico en los estudiantes. Se observa lo siguiente en la población estudiantil, equivalentes al 56,9% (f = 29), se posicionaban en el nivel

Proceso, lo que denota que, si bien poseían ciertas nociones estratégicas críticas, cometían errores en la secuencia de resolución o en la interpretación operativa de los problemas prácticos complejos.

A este panorama se suma un 29,4% (f = 15) de estudiantes ubicados en el nivel Inicio, manifestando una incapacidad severa para plantear o resolver problemas complejos de la especialidad. Al agrupar ambos indicadores, se revela que un contundente 86,27% de los participantes manifestaba deficiencias en las habilidades estratégicas para la asignatura. En contraposición, únicamente el 13,7% (f = 7) de los alumnos demostró un nivel Logrado de forma autónoma. Estos hallazgos validan el supuesto de que el diseño de una guía metodológica con enfoque práctico era mandatorio para transformar los procesos de adquisición de habilidades estratégicas críticas en los estudiantes.

#### 4.1.3.17. Análisis descriptivo de la dimensión: Aprendizaje Estratégico Critico en el Postest

Posterior a la ejecución de los talleres prácticos y las actividades guiadas de resolución de problemas complejo contempladas en la propuesta pedagógica, se aplicó la evaluación de salida (postest) para medir el progreso en las habilidades de resolución de problemas complejos en los estudiantes. Los resultados se exponen en la Tabla 25.

**Tabla 25**

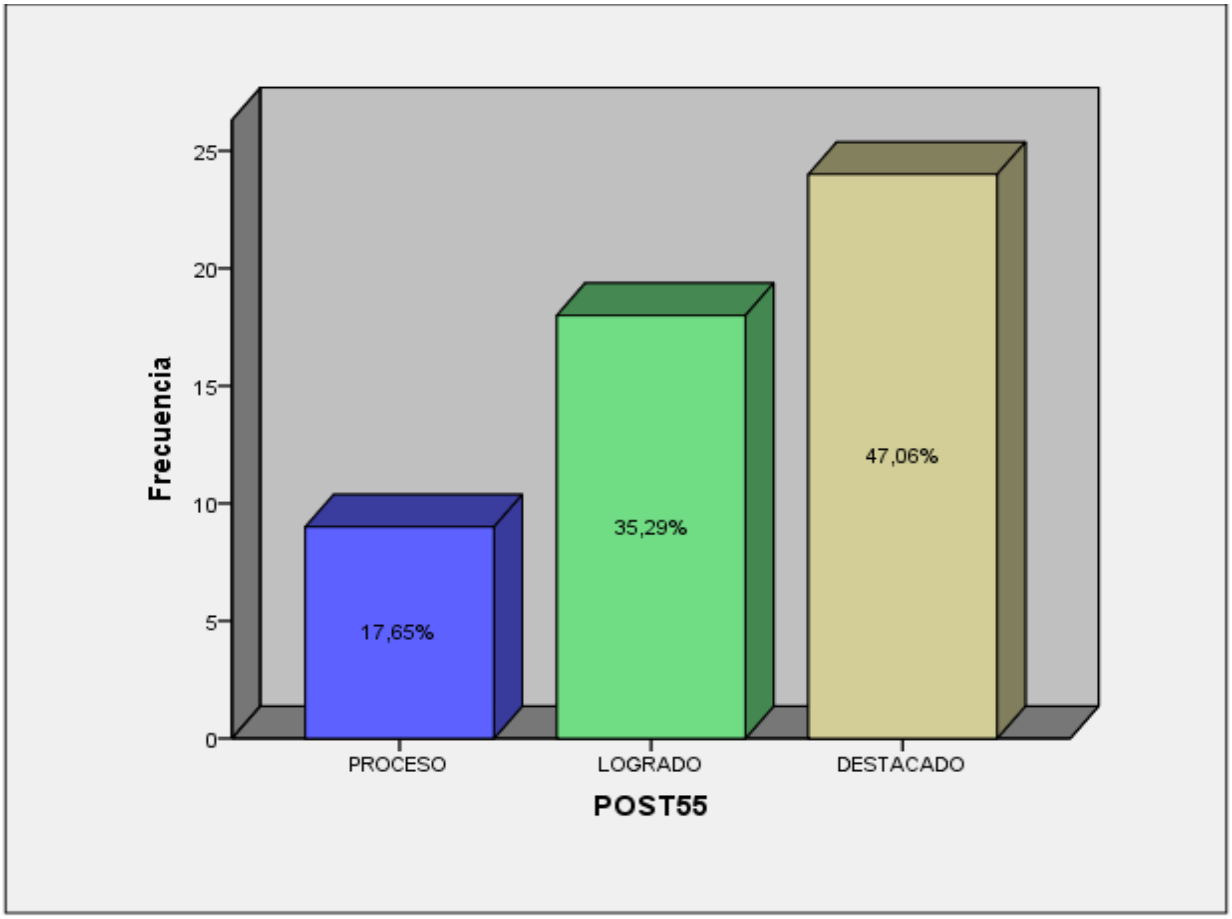
*Distribución de frecuencias y porcentajes del aprendizaje estratégico crítico en el Postest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Proceso | 9 | 17,6 | 17,6 | 17,6 |
| Logrado | 18 | 35,3 | 35,3 | 52,9 |
| Destacado | 24 | 47,1 | 47,1 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 18**

*Baremo del aprendizaje estratégico crítico en el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados del postest evidenciados en la tabla 25 (y su representación gráfica en la Figura 18) muestra una reconfiguración favorable y significativa en la capacidad operativa de los estudiantes para resolver problemas complejos de ingeniería de rocas. En primer lugar, resalta el hecho de que el nivel Inicio se redujo a 0,0%, consiguiendo que la totalidad de la muestra desarrollara las competencias prácticas mínimas requeridas.

Por otra parte, el nivel Proceso experimentó una contracción masiva, pasando del 56,8% inicial a solo un 17,6% (f = 9). La mayor parte de los evaluados se trasladó de forma satisfactoria

a los niveles de excelencia: el 35,3% (f = 18) de los alumnos alcanzó el nivel Logrado y un contundente 47,1% (f = 24) se posicionó en la categoría superior de Destacado.

Al consolidar estas dos últimas métricas, se constata que el 82,4% de la muestra logró un dominio de resolución de problemas complejos, autónomo y preciso. Estos hallazgos demuestran empíricamente que la metodología de la guía académica, centrada en la estructuración lógica y paso a paso para la resolución de ejercicios de mecánica de rocas, resolvió las deficiencias de cálculo, fórmulas y criterios de ingeniería que afectaban al grupo inicialmente.

#### 4.1.3.18. Análisis de la Tabla de Contingencia del Aprendizaje Estratégico Critico (Pretest X Postest)

Para examinar de manera dinámica la evolución de los estudiantes en cuanto a la resolución de problemas complejos prácticos y aplicación de algoritmos de ingeniería, se elaboró la tabla de contingencia que cruza los niveles del pretest (PRE55) y del postest (POST55) correspondientes a la dimensión procedimental.

**Tabla 26**

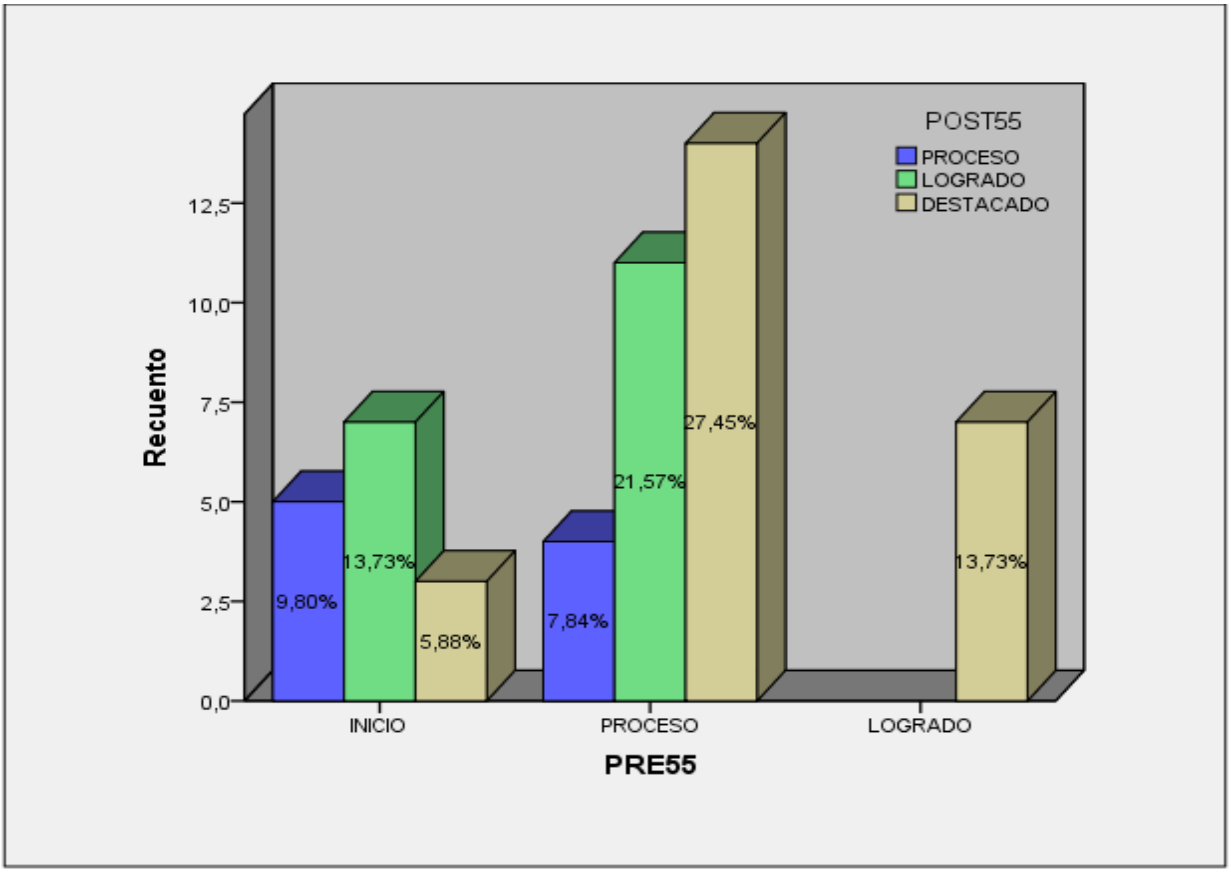
*Tabla de contingencia del aprendizaje estratégico crítico entre el Pretest y el Postest*

| | | | POST55 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PROCESO | LOGRADO | DESTACADO | Total |
| PRE55 | INICIO | Recuento | 5 | 7 | 3 | 15 |
| | | % dentro de PRE55 | 33,3% | 46,7% | 20,0% | 100,0% |
| | PROCESO | Recuento | 4 | 11 | 14 | 29 |
| | | % dentro de PRE55 | 13,8% | 37,9% | 48,3% | 100,0% |
| | LOGRADO | Recuento | 0 | 0 | 7 | 7 |
| | | % dentro de PRE55 | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 9 | 18 | 24 | 51 |
| | | % dentro de PRE55 | 17,6% | 35,3% | 47,1% | 100,0% |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 19**

*Baremo del aprendizaje estratégico crítico entre el Pretest y el Postest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El cruce de datos de la Tabla 26 (y su representación gráfica en la Figura 19) proporciona evidencia empírica contundente sobre la efectividad de la guía académica en el desarrollo de destrezas operativas y de cálculo complejos en mecánica de rocas:

**Evolución desde el nivel "Inicio":** De los 15 estudiantes que originalmente presentaban una incapacidad para resolver ejercicios complejos (Inicio), el 100% abandonó el nivel más bajo. El 33,3% (f = 5) avanzó hacia el nivel Proceso, un 46,7% (f = 7) escaló directamente a Logrado y un notable 20,0% (f = 3) logró la máxima categorización de Destacado.

**Evolución desde el nivel "Proceso":** En el grupo mayoritario, compuesto por 29 estudiantes que inicialmente tenían un dominio a medias o con errores metodológicos (Proceso), el progreso fue sobresaliente: el 48,3% (f = 14) migró con éxito hacia el nivel Destacado y el 37.9% (f = 11) consolidó el nivel Logrado. Solo una mínima fracción (13,8%, f = 4) no registró cambios en su estatus.

**Evolución desde el nivel "Logrado":** Respecto a los 7 alumnos que contaban con una base práctica adecuada en el diagnóstico, la guía sirvió como un instrumento de perfeccionamiento técnico, logrando que el 100,0% (f = 7) de ellos ascendiera al rango de Destacado.

En conclusión, el análisis de contingencia confirma que la propuesta pedagógica resolvió de manera eficiente el principal problema del aula: el desarrollo procedimental. La guía metodológica no solo estandarizó las capacidades de resolución de problemas hacia rangos de eficiencia autónoma, sino que impulsó a casi la mitad de toda la muestra (47,1%) hacia la excelencia práctica en la materia.

## 4.2. Prueba de hipótesis

Para realizar nuestra prueba de hipótesis primero analizaremos la normalidad de nuestros datos de y posteriormente elegir el estadístico adecuado dependiendo de que valor obtengamos en la prueba de normalidad.

### *4.2.1. Prueba de hipótesis general*

En primer lugar, realizaremos nuestra prueba de normalidad porque la naturaleza de hipótesis así lo amerita para un cierto nivel de significancia y la siguiente regla de decisión:

**Ho:** La diferencia entre el postest y el pretest de las notas del aprendizaje de mecánica de rocas de los estudiantes del séptimo semestre 2025-II sigue una distribución normal

**H1:** La diferencia entre el postest y el pretest de las notas del aprendizaje de mecánica de rocas de los estudiantes del séptimo semestre 2025-II no sigue una distribución normal

**NS:95%**

**p>=0.05** (Existe significancia suficiente para aceptar la Ho)

**p<=0.05** (No existe significancia suficiente para aceptar Ho)

**Tabla 27**

*Prueba de normalidad del postest- pretest*

| | Kolmogorov-Smirnova | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| POST-PRE | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| | ,083 | 51 | ,200* | ,984 | 51 | ,725 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Considerando la significancia obtenida 0.2, aceptamos la hipótesis nula y decimos que nuestro trabajo sigue una distribución normal en tal sentido elegimos la prueba t-Student.

**H1:** la implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas influye significativamente en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de ingeniería de minas de la UNSAAC – 2025-II.

**Ho:** la implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas no influye significativamente en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de ingeniería de minas de la UNSAAC – 2025-II.

**Tabla 28**

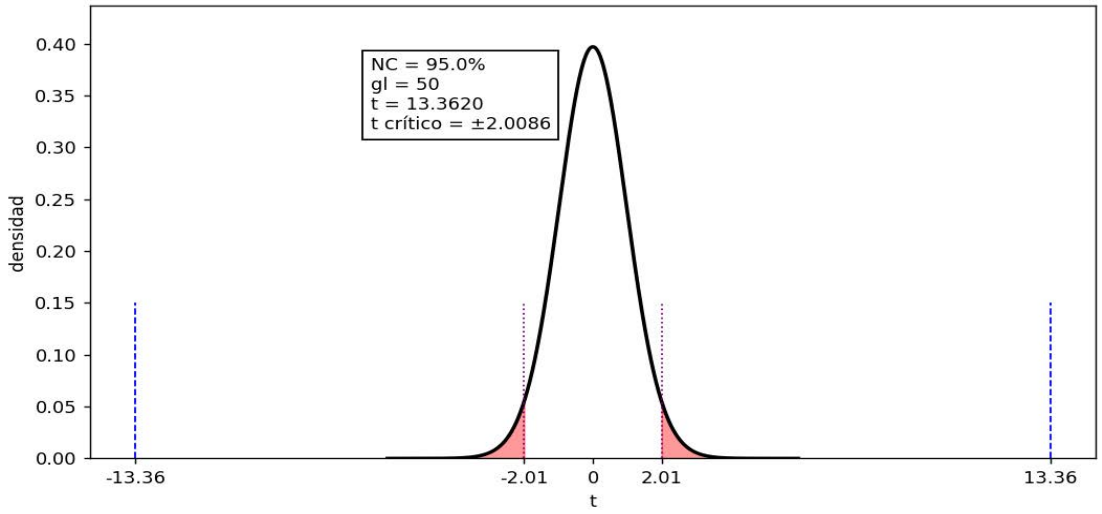
*Estadístico t-Student del postest-pretest*

| | Diferencias relacionadas | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POST - PRE | Media | Desviación típ. | Error típ.de la media | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | | t | gl | Sig.(bilateral) |
| | 36,23529 | 19,36656 | 2,71186 | 30,78836 | 41,68223 | 13,362 | 50 | ,000 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 20**

*Interpretación de la significancia de t-Student de la variable aprendizaje de mecánica de rocas*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Como apreciamos en la tabla 28 y figura 20 la aplicación del material pedagógico incrementa de manera altamente significativa el rendimiento académico de los estudiantes. La evidencia estadística muestra t=13.362 lo que nos proporciona una significancia muy pequeña que permite aceptar nuestra hipótesis general de investigación.

### *4.2.2. Prueba de hipótesis especifica*

#### 4.2.2.1. Prueba de hipótesis especifica 1

**Hi1:** La mayoría de los estudiantes del sétimo semestre de ingeniería de minas de la UNSAAC-2025-II enfrenta dificultades en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas.

**Ho1:** La mayoría de los estudiantes del sétimo semestre de ingeniería de minas de la UNSAAC-2025-II no enfrenta dificultades en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas.

**Tabla 29**

*Resumen de estadísticos descriptivos de pretest*

| | | |
|---|---|---|
| N | Válidos | 51 |
| | Perdidos | 0 |
| Media | | 1,9608 |
| Mediana | | 2,0000 |
| Moda | | 2,00 |
| Desv. típ. | | ,74728 |
| Varianza | | ,558 |
| Asimetría | | ,064 |
| Error típ. de asimetría | | ,333 |
| Curtosis | | -1,168 |
| Error típ. de curtosis | | ,656 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

El análisis de los estadísticos descriptivos del pretest permite validar empíricamente la hipótesis planteada sobre el estado inicial de los alumnos. Al observar la Media aritmética (1.9608), la Mediana (2.0000) y la Moda (2.00), se evidencia matemáticamente que el centro de la distribución de las respuestas se ubica exactamente sobre el código asignado al nivel cualitativo de Proceso.

Considerando que previamente se demostró de forma longitudinal que el 74.5% de los estudiantes iniciaron la asignatura entre los niveles de *Inicio* y *Proceso*, la concentración de estas medidas de tendencia central corrobora que las puntuaciones se encontraban marcadamente sesgadas hacia los rangos inferiores de rendimiento. La desviación típica de ,747 indica una dispersión moderada, confirmando que la tendencia de acumulación en niveles de dificultad era una característica homogénea en el grupo.

Por consiguiente, al existir una concentración predominante de estudiantes que no alcanzaron de manera autónoma el nivel *Logrado* en el diagnóstico, se rechaza la hipótesis nula

(HO) y se acepta la hipótesis alterna del investigador (H1), concluyendo que la mayoría de los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II enfrentaba serias dificultades cognitivas y procedimentales en el área de Mecánica de Rocas antes de la aplicación del material pedagógico.

**Tabla 30**

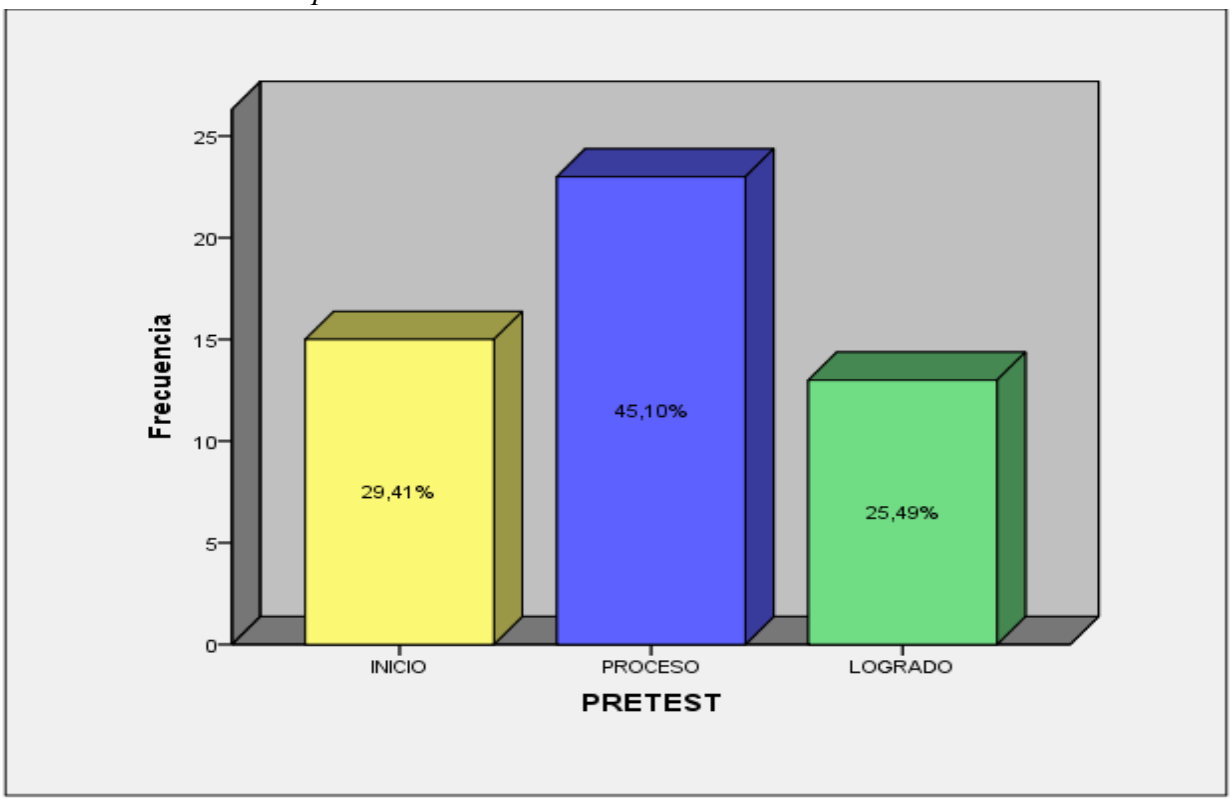
*Baremo consolidado del pretest*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Inicio | 15 | 29,4 | 29,4 | 29,4 |
| Proceso | 23 | 45,1 | 45,1 | 74,5 |
| Logrado | 13 | 25,5 | 25,5 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 21**

*Baremo consolidado del pretest*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados obtenidos en la Tabla 30 evidencian que el 74,51 % de los estudiantes se encuentra por debajo del nivel requerido para alcanzar un desempeño satisfactorio en la asignatura de Mecánica de Rocas. Asimismo, el 25,49 % logra ubicarse en el nivel de logrado, mientras que ningún estudiante (0 %) alcanza el nivel destacado, lo que refleja la ausencia de un rendimiento académico sobresaliente. Esta distribución de los niveles de logro demuestra que la mayoría de los estudiantes presenta dificultades para desarrollar las competencias necesarias en la asignatura, evidenciando limitaciones en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En el contraste de hipótesis, estos resultados permiten rechazar la hipótesis nula (H0) y aceptar la hipótesis de investigación, al confirmarse la existencia del problema planteado. En este contexto, la implementación de una guía académica se justifica como una estrategia pedagógica orientada a fortalecer el aprendizaje, mejorar la comprensión de los contenidos, desarrollar las competencias específicas de Mecánica de Rocas e incrementar progresivamente el número de estudiantes que alcancen los niveles de logrado y destacado. En consecuencia, la propuesta constituye una alternativa viable para contribuir al mejoramiento del rendimiento académico y elevar la calidad del proceso formativo de los estudiantes.

#### 4.2.2.2. Prueba de hipótesis especifica 2

Hi2: Los estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II perciben que la guía metodológica es útil y efectiva para el aprendizaje de la mecánica de rocas.

Ho2: Los estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II perciben que la guía metodológica no es útil y efectiva para el aprendizaje de la mecánica de rocas.

**Tabla 31**

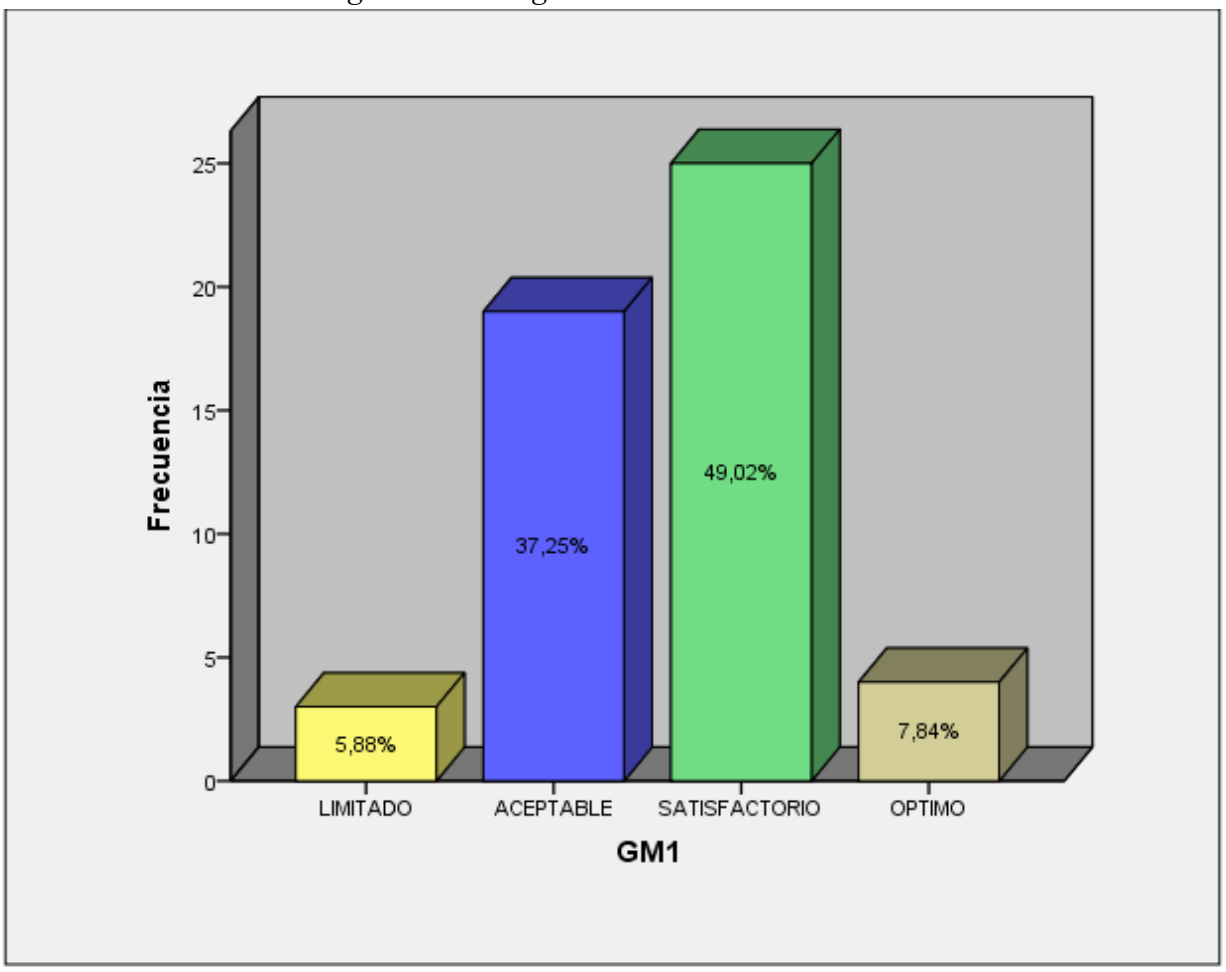
*Tabla de frecuencias y porcentajes del instrumento guía metodológica de mecánica de rocas*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Limitado | 3 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| Aceptable | 19 | 37,3 | 37,3 | 43,1 |
| Satisfactorio | 25 | 49,0 | 49,0 | 92,2 |
| Óptimo | 4 | 7,8 | 7,8 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 22**

*Baremo del instrumento de guía metodológica de mecánica de rocas*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados obtenidos evidenciados en la tabla 31 muestran que la percepción de los estudiantes sobre la utilidad y efectividad de la guía metodológica para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas es predominantemente favorable. Del total de participantes, el 49,0 % la califica en un nivel satisfactorio y el 7,8 % en un nivel óptimo, sumando un 56,8 % de valoraciones positivas. Asimismo, el 37,3 % considera que la guía presenta un nivel aceptable, mientras que únicamente el 5,9 % la ubica en un nivel limitado, lo que representa una proporción reducida de la muestra. Estos resultados demuestran que la mayoría de los docentes y estudiantes reconoce la utilidad y efectividad de la guía metodológica como un recurso que fortalece el proceso de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Mecánica de Rocas. En consecuencia, con base en la evidencia obtenida en la tabla 30 y el grafico 22, se rechaza la hipótesis nula (Ho2), que plantea que los estudiantes no perciben que la guía metodológica sea útil y efectiva para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas, y se acepta la hipótesis de investigación (Hi2), que sostiene que los docentes y estudiantes perciben que la guía metodológica es útil y efectiva para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas en los estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC durante el año 2025 - II.

**Tabla 32**

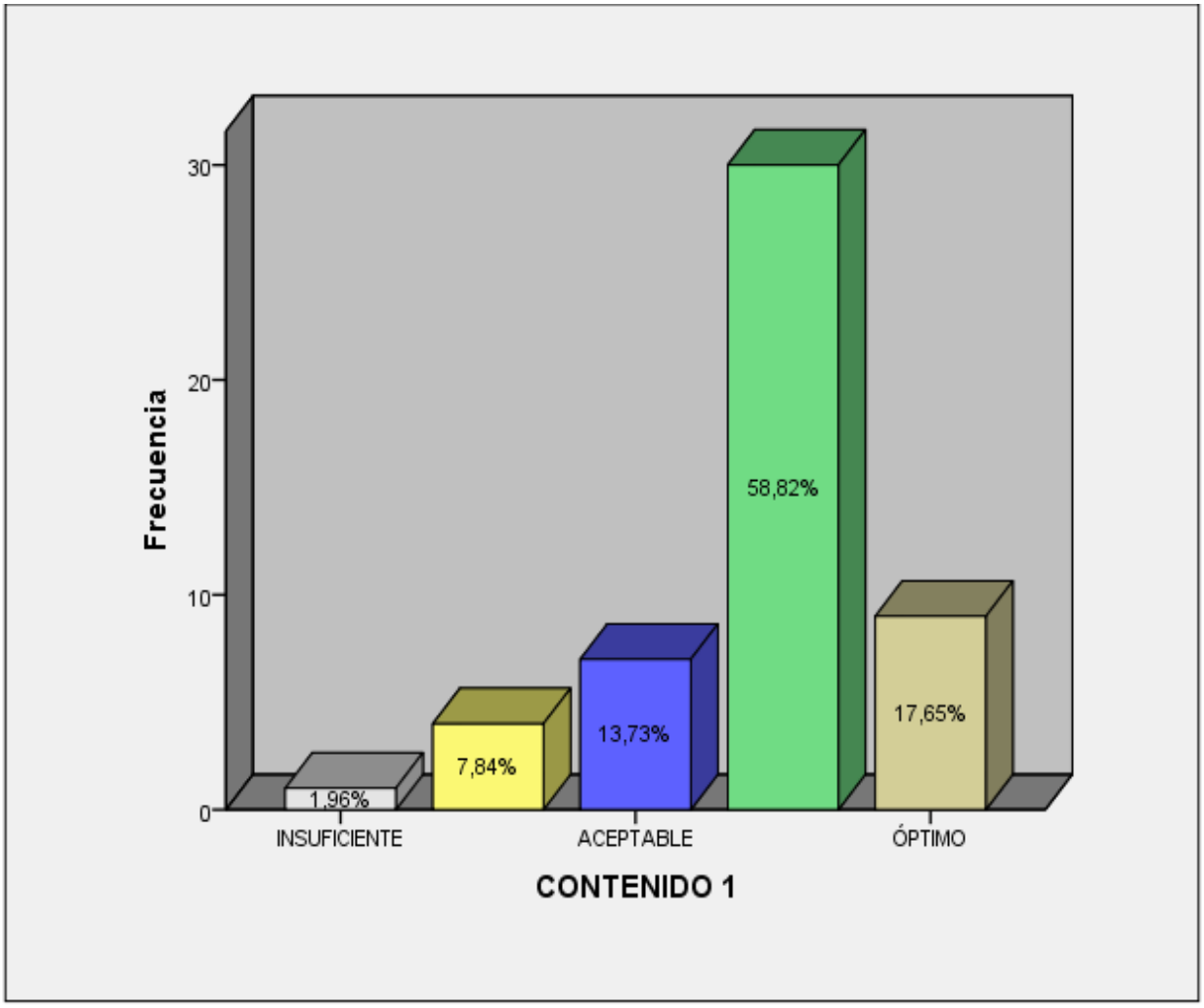
*Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión contenido*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Insuficiente | 1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Limitado | 4 | 7,8 | 7,8 | 9,8 |
| Aceptable | 7 | 13,7 | 13,7 | 23,5 |
| Satisfactorio | 30 | 58,8 | 58,8 | 82,4 |
| Óptimo | 9 | 17,6 | 17,6 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 23**

*Baremo de la dimensión contenido*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la dimensión Contenido correspondientes a la tabla 32, evidencian una valoración favorable de la guía metodológica por parte de los estudiantes. El 58,8 % de los participantes califica esta dimensión en un nivel satisfactorio y el 17,6 % en un nivel óptimo, sumando un 76,4 % de opiniones positivas. Además, el 13,7 % la considera aceptable, mientras que solo el 7,8 % y el 2,0 % la ubican en los niveles limitado e insuficiente, respectivamente. Estos resultados reflejan que los contenidos de la guía metodológica son percibidos como pertinentes,

claros, organizados y acordes con las necesidades de aprendizaje de la asignatura de Mecánica de Rocas. En este sentido, la dimensión Contenido constituye un elemento que refuerza y respalda la conclusión general de la investigación, al aportar evidencia de que la guía metodológica es considerada útil y efectiva para el proceso de enseñanza y aprendizaje. Por ello, estos hallazgos fortalecen la decisión de rechazar la hipótesis nula ($H_o2$) y aceptar la hipótesis de investigación (Hi2) respecto a la percepción favorable de la guía metodológica en los estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC.

**Tabla 33**

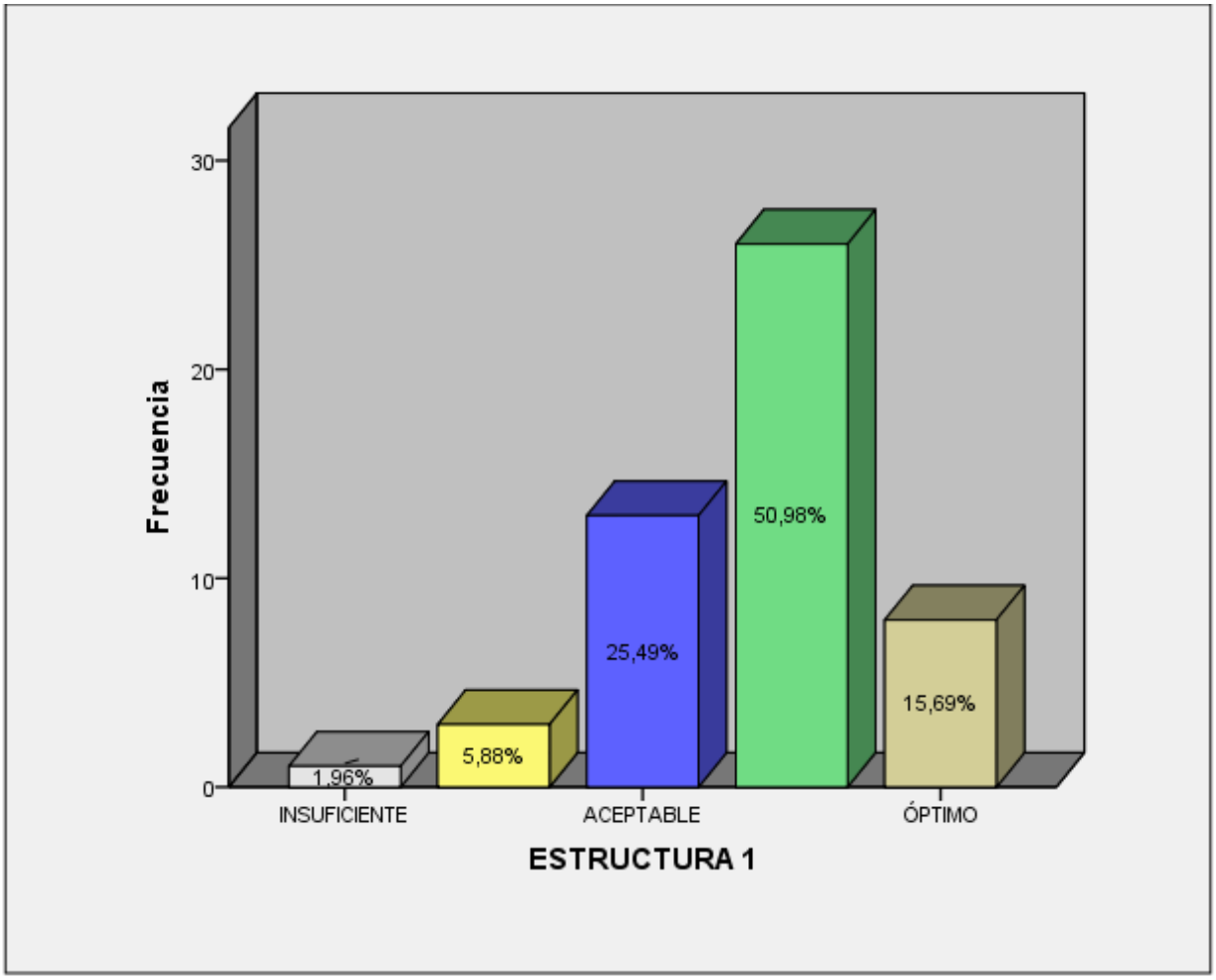
*Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión estructura*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Insuficiente | 1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Limitado | 3 | 5,9 | 5,9 | 7,8 |
| Aceptable | 13 | 25,5 | 25,5 | 33,3 |
| Satisfactorio | 26 | 51,0 | 51,0 | 84,3 |
| Óptimo | 8 | 15,7 | 15,7 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 24**

*Baremo de la dimensión estructura*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados correspondientes a la dimensión Estructura correspondientes a la tabla 33, evidencian una percepción favorable de la guía metodológica por parte de los docentes y estudiantes. Se observa que el 51,0 % de los participantes la ubica en un nivel satisfactorio y el 15,7 % en un nivel óptimo, alcanzando en conjunto un 66,7 % de valoraciones positivas. Asimismo, el 25,5 % considera que la estructura de la guía se encuentra en un nivel aceptable, mientras que únicamente el 5,9 % y el 2,0 % la califican en los niveles limitado e insuficiente, respectivamente. Estos resultados reflejan que la organización, secuencia, coherencia y distribución de los contenidos de la guía metodológica son consideradas adecuadas para facilitar

el aprendizaje de la Mecánica de Rocas. En este sentido, la dimensión Estructura constituye un componente que refuerza y respalda la conclusión general de la investigación, evidenciando que la guía metodológica presenta una organización pertinente y funcional para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Por lo tanto, estos hallazgos fortalecen la decisión de rechazar la hipótesis nula ($H_0 2$) y aceptar la hipótesis de investigación (Hi2) respecto a la percepción favorable de la utilidad y efectividad de la guía metodológica en los estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC.

**Tabla 34**

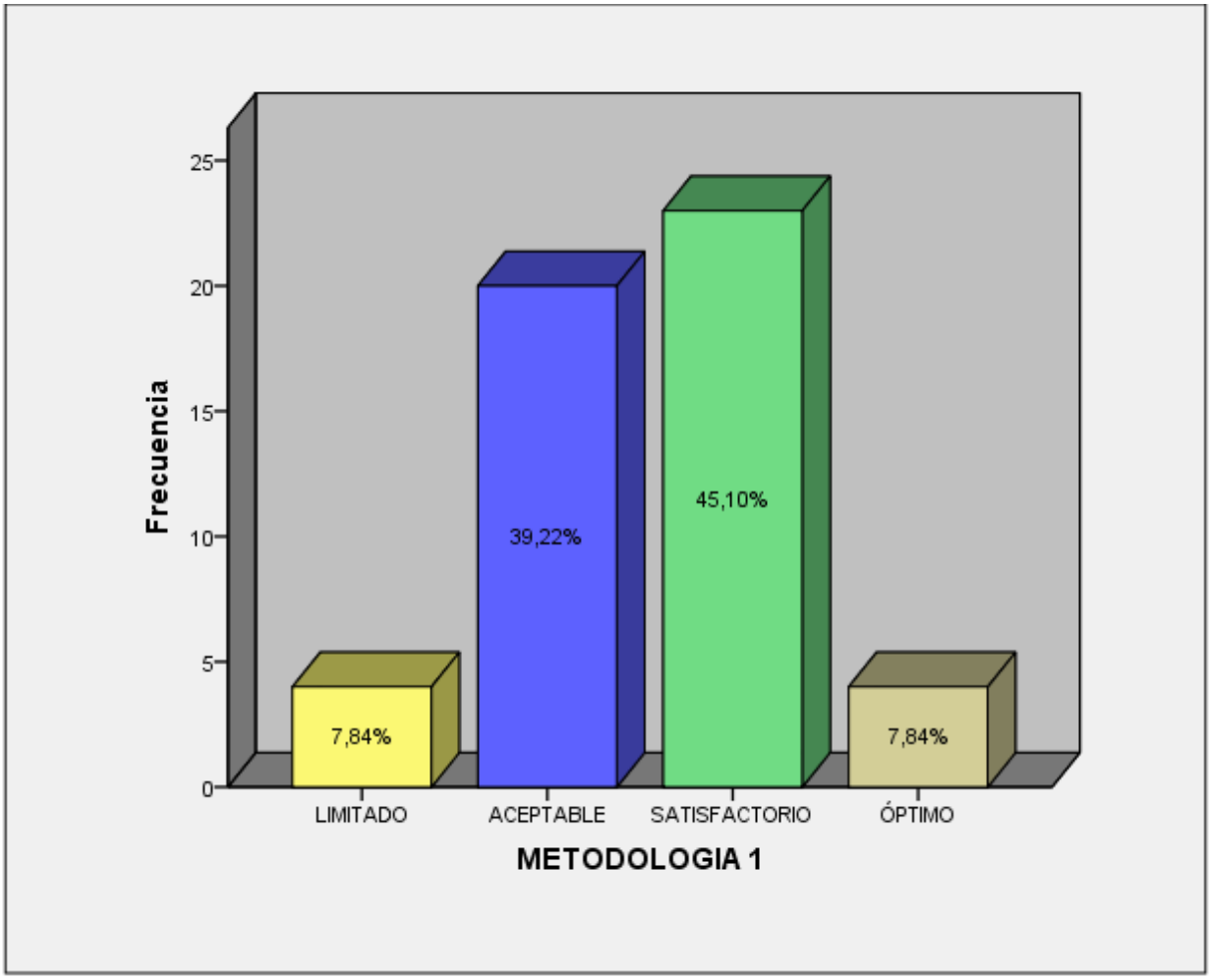
*Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión metodología*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Limitado | 4 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| Aceptable | 20 | 39,2 | 39,2 | 47,1 |
| Satisfactorio | 23 | 45,1 | 45,1 | 92,2 |
| Óptimo | 4 | 7,8 | 7,8 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 25**

*Baremo de la dimensión metodología*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados correspondientes a la dimensión Metodología correspondientes a la tabla 34, evidencian una percepción favorable por parte de los docentes y estudiantes respecto al enfoque metodológico propuesto en la guía metodológica. Se observa que el 45,1 % de los participantes la ubica en un nivel satisfactorio y el 7,8 % en un nivel óptimo, alcanzando conjuntamente un 52,9 % de valoraciones positivas. Asimismo, el 39,2 % considera que la metodología presenta un nivel aceptable, lo que indica que la propuesta metodológica responde de manera adecuada a las necesidades del proceso de enseñanza y aprendizaje de la Mecánica de Rocas. Solo el 7,8 % de los participantes la califica en un nivel limitado, sin registrarse valoraciones en el nivel insuficiente.

Estos resultados reflejan que las estrategias, procedimientos y actividades planteadas en la guía metodológica son consideradas pertinentes para orientar el aprendizaje y fortalecer el desarrollo de competencias en la asignatura. En este sentido, la dimensión Metodología constituye un elemento que refuerza y respalda la conclusión general de la investigación, al evidenciar que la guía metodológica cuenta con un enfoque de aplicación adecuado y funcional para el proceso formativo. Por consiguiente, estos hallazgos contribuyen a fortalecer la decisión de rechazar la hipótesis nula ($H_0 2$) y aceptar la hipótesis de investigación (Hi2), relacionada con la percepción favorable de la utilidad y efectividad de la guía metodológica para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas en los estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC.

**Tabla 35**

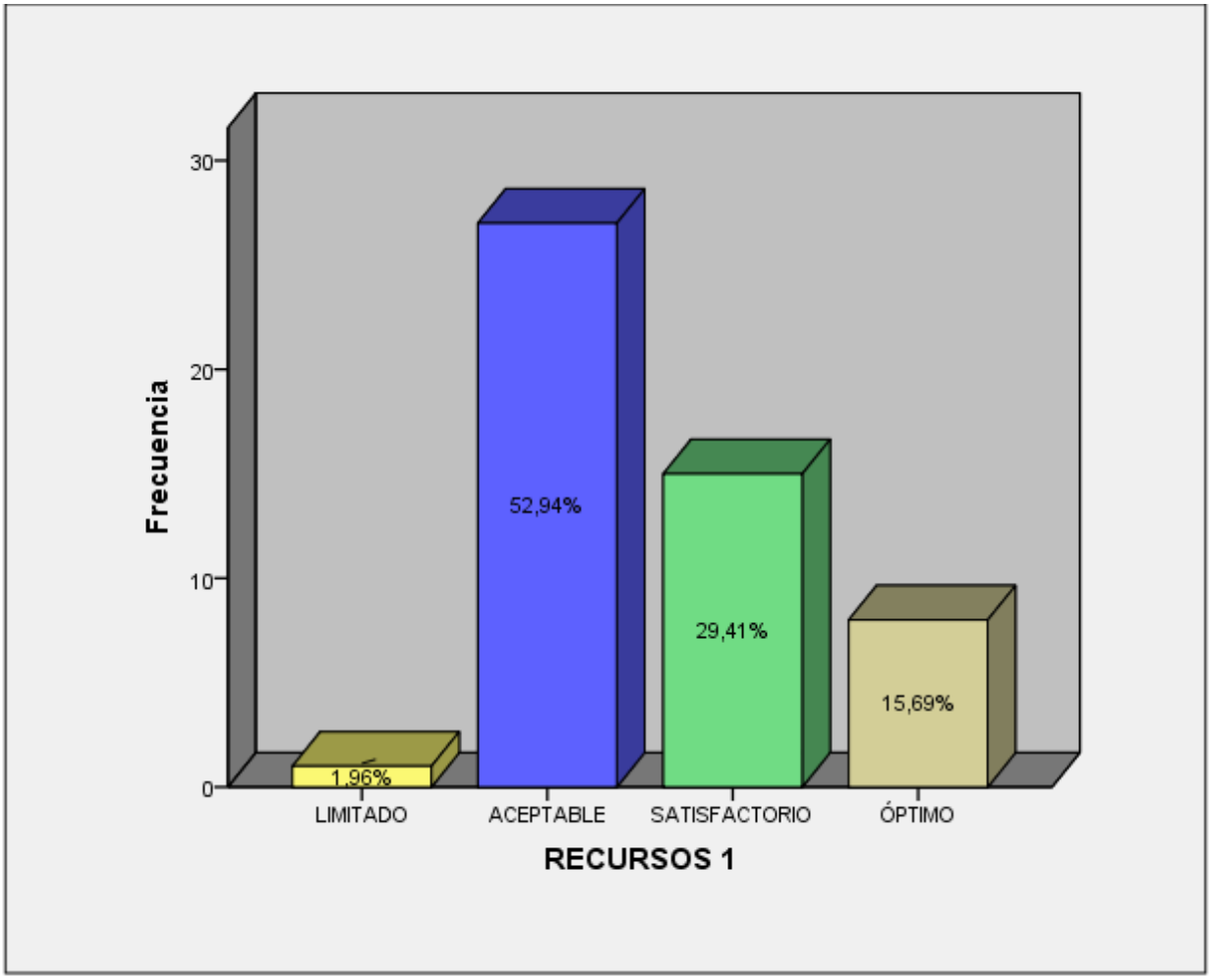
*Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión recursos*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Limitado | 1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Aceptable | 27 | 52,9 | 52,9 | 54,9 |
| Satisfactorio | 15 | 29,4 | 29,4 | 84,3 |
| Óptimo | 8 | 15,7 | 15,7 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 26**

*Baremo de la dimensión recursos*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados correspondientes a la dimensión Recursos correspondientes a la tabla 35, evidencian una percepción favorable de los docentes y estudiantes respecto a los recursos considerados dentro de la guía metodológica. Se observa que el 29,4 % de los participantes la ubica en un nivel satisfactorio y el 15,7 % en un nivel óptimo, representando conjuntamente un 45,1 % de valoraciones positivas. Asimismo, el 52,9 % considera que los recursos presentan un nivel aceptable, lo que indica que estos cumplen de manera adecuada con su finalidad de apoyar el desarrollo del aprendizaje en la asignatura de Mecánica de Rocas. Solo el 2,0 % de los participantes manifiesta una percepción limitada, sin registrarse valoraciones en el nivel insuficiente. Estos

resultados permiten evidenciar que los recursos incorporados en la guía metodológica son pertinentes y contribuyen al fortalecimiento del proceso de enseñanza y aprendizaje, aunque se reconoce la necesidad de continuar optimizando su variedad, disponibilidad y aplicación práctica. En este sentido, la dimensión Recursos constituye un elemento que refuerza y respalda la conclusión general de la investigación, al demostrar que la guía metodológica cuenta con materiales y herramientas que favorecen su utilidad y efectividad. Por tanto, estos hallazgos contribuyen a fortalecer la decisión de rechazar la hipótesis nula ($H_o2$) y aceptar la hipótesis de investigación (Hi2), respecto a la percepción favorable de la guía metodológica para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas en los estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC.

**Tabla 36**

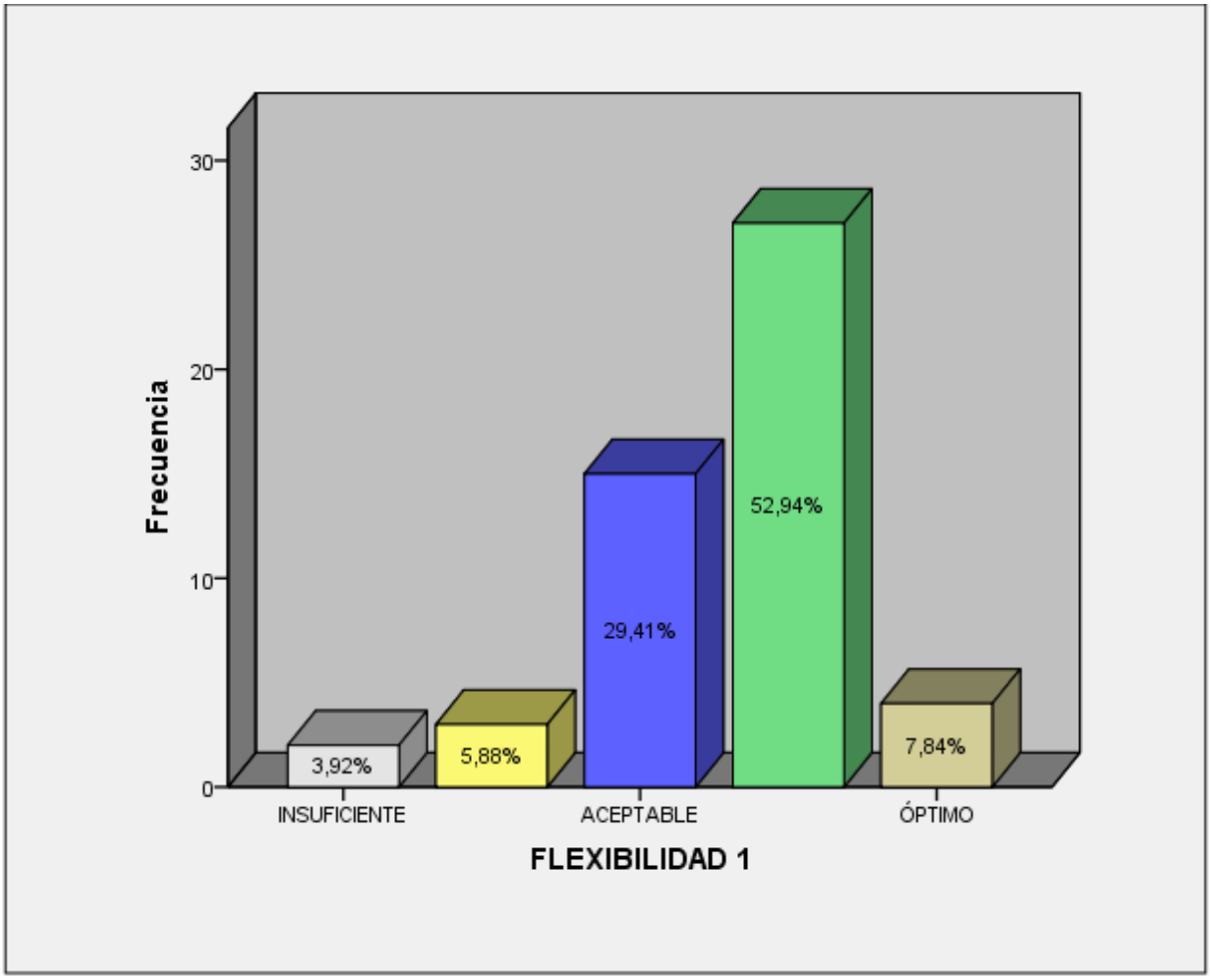
*Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión flexibilidad*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Insuficiente | 2 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |
| Limitado | 3 | 5,9 | 5,9 | 9,8 |
| Aceptable | 15 | 29,4 | 29,4 | 39,2 |
| Satisfactorio | 27 | 52,9 | 52,9 | 92,2 |
| Óptimo | 4 | 7,8 | 7,8 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 27**

*Baremo de la dimensión flexibilidad*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados obtenidos en la dimensión Flexibilidad sintetizados en la tabla 36, muestran que la guía metodológica presenta características adecuadas para adaptarse a las necesidades del proceso de enseñanza y aprendizaje de la Mecánica de Rocas. De acuerdo con los datos, el 52,9 % de los participantes considera que esta dimensión se encuentra en un nivel satisfactorio, mientras que el 7,8 % la valora como óptima, alcanzando un 60,7 % de apreciaciones favorables. Por otro lado, el 29,4 % la ubica en un nivel aceptable, evidenciando que la propuesta metodológica posee condiciones de adaptación, aunque con aspectos que pueden seguir fortaleciéndose. Solo el 5,9 % y el 3,9 % de los encuestados la califican en los niveles limitado e insuficiente, respectivamente.

Estos resultados permiten interpretar que la guía metodológica ofrece una estructura suficientemente adaptable para responder a diferentes ritmos de aprendizaje, contextos académicos y requerimientos formativos de los estudiantes. En consecuencia, la dimensión Flexibilidad aporta evidencia complementaria que refuerza y respalda la efectividad de la guía metodológica, demostrando que su diseño permite una aplicación pertinente dentro del proceso educativo. Por ello, estos hallazgos fortalecen la decisión de rechazar la hipótesis nula ($H_0 2$) y aceptar la hipótesis de investigación (Hi2), al confirmarse una percepción favorable sobre la utilidad y efectividad de la guía metodológica en el aprendizaje de la Mecánica de Rocas de los estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC.

**Tabla 37**

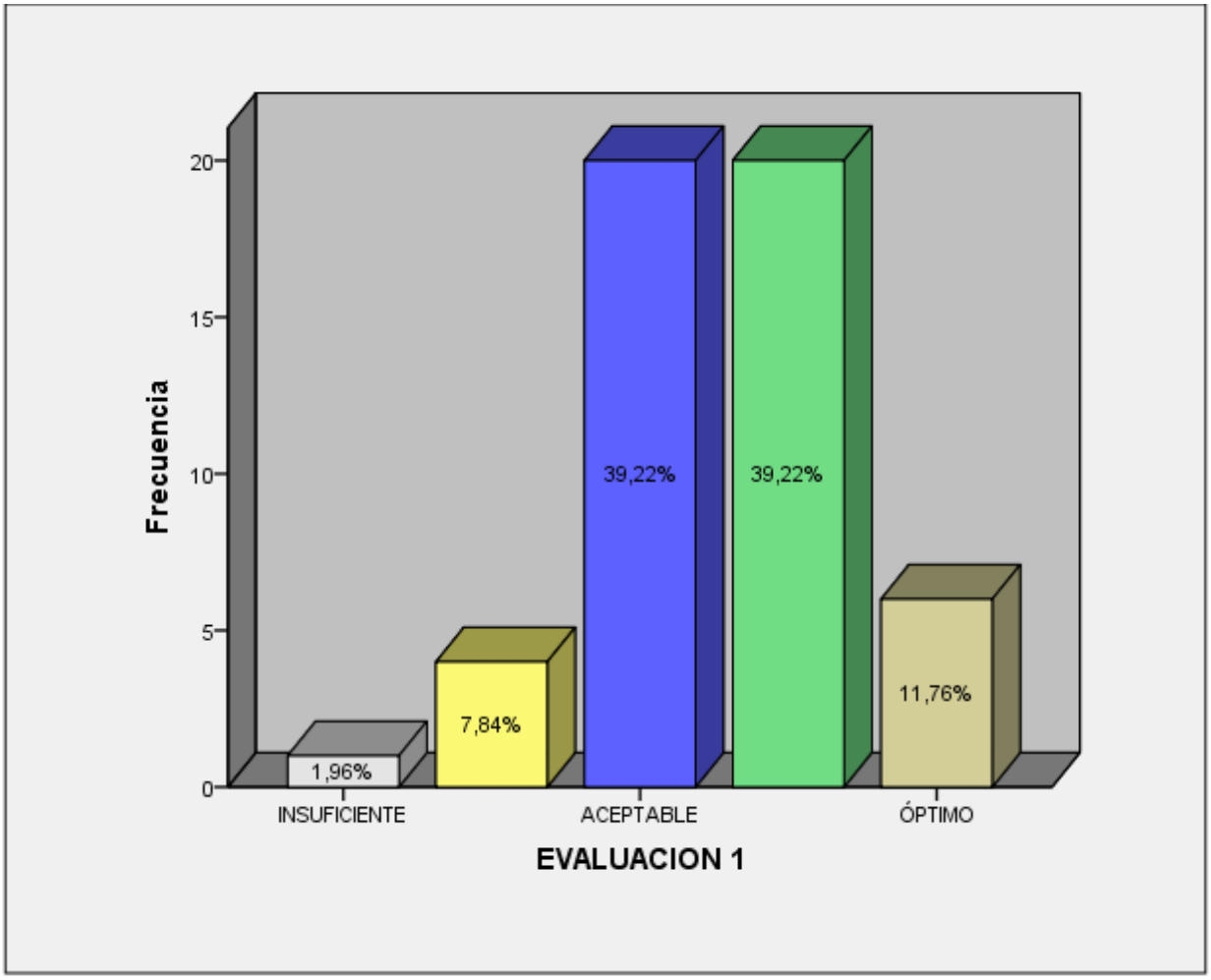
*Tabla de frecuencias y porcentajes de dimensión evaluación*

| Niveles de logro | Frecuencia (f) | Porcentaje (%) | Porcentaje válido (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|---|---|---|---|---|
| Insuficiente | 1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Limitado | 4 | 7,8 | 7,8 | 9,8 |
| Aceptable | 20 | 39,2 | 39,2 | 49,0 |
| Satisfactorio | 20 | 39,2 | 39,2 | 88,2 |
| Óptimo | 6 | 11,8 | 11,8 | 100,0 |
| Total | 51 | 100,0 | 100,0 | |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 28**

*Baremo de la dimensión evaluación*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados correspondientes a la dimensión Evaluación evidenciados en la tabla 37, muestran una percepción favorable respecto a los mecanismos de evaluación considerados en la guía metodológica. Se observa que el 39,2 % de los participantes la ubica en un nivel satisfactorio y el 11,8 % en un nivel óptimo, representando en conjunto un 51,0 % de valoraciones positivas. Asimismo, el 39,2 % considera que la evaluación alcanza un nivel aceptable, lo que indica que los criterios, instrumentos y procedimientos planteados cumplen adecuadamente su función dentro del proceso de aprendizaje de la Mecánica de Rocas. Por otro lado, solo el 7,8 % y el 2,0 % de los participantes la califican en los niveles limitado e insuficiente, respectivamente, evidenciándose

una menor proporción de percepciones desfavorables. Estos resultados permiten establecer que la dimensión Evaluación contribuye al fortalecimiento de la guía metodológica, al proporcionar mecanismos que permiten valorar el progreso, identificar dificultades y retroalimentar el aprendizaje de los estudiantes. En este sentido, esta dimensión constituye un componente que refuerza y respalda la conclusión general de la investigación, demostrando que la guía metodológica integra procesos evaluativos pertinentes para favorecer su utilidad y efectividad. Por consiguiente, los hallazgos obtenidos fortalecen la decisión de rechazar la hipótesis nula ($H_o2$) y aceptar la hipótesis de investigación (Hi2), relacionada con la percepción favorable de la guía metodológica como recurso efectivo para el aprendizaje de la Mecánica de Rocas en estudiantes del séptimo semestre de la UNSAAC.

#### 4.2.2.3. Prueba de hipótesis especifica 3

**Hi3:** El uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje conceptual del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de ingeniería de minas UNSAAC-2025-II.

**Ho3:** El uso de la guía metodológica no favorece significativamente el aprendizaje conceptual del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de ingeniería de minas UNSAAC-2025-II.

**Tabla 38**

*Prueba de normalidad para la hipótesis especifica 3*

| | Kolmogorov-Smirnova | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| POST1-PRE1 | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| | ,101 | 51 | ,200* | ,971 | 51 | ,238 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la prueba de normalidad aplicada a la diferencia entre las mediciones del pretest y postest del aprendizaje conceptual (POST1-PRE1) muestran que los datos presentan una distribución normal. Según la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se obtuvo un nivel de significancia de 0,200, mientras que la prueba de Shapiro-Wilk presentó un valor de significancia de 0,238. Al ser ambos valores superiores al nivel de significancia establecido ($p > 0,05$), se determina que no existen evidencias suficientes para rechazar el supuesto de normalidad de los datos. Por lo tanto, los resultados cumplen con el criterio de distribución normal, permitiendo la aplicación de pruebas estadísticas paramétricas para el contraste de la hipótesis específica 3 relacionada con el aprendizaje conceptual en los estudiantes.

**Tabla 39**

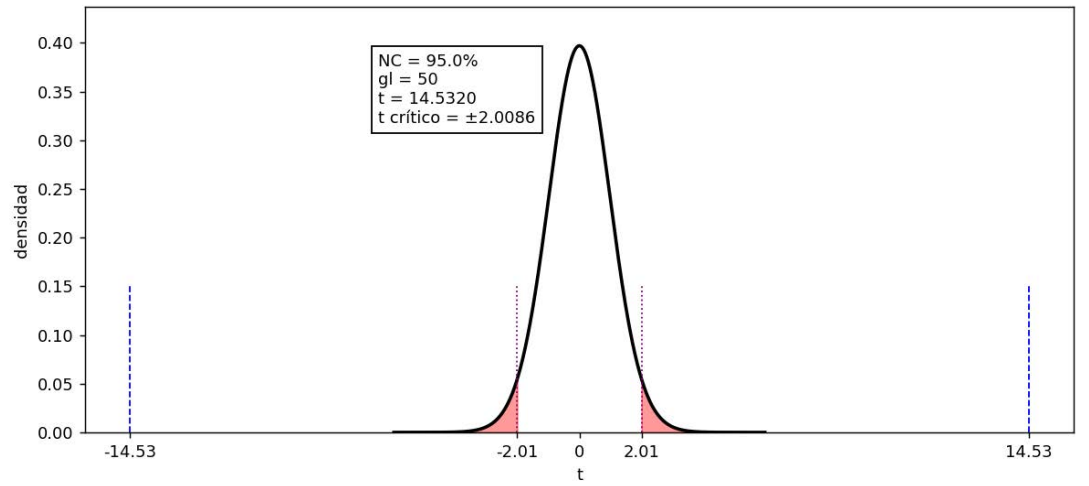
*Estadístico t-Student para la hipótesis especifica 3*

| | Diferencias relacionadas | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POST1 – PRE1 | Media | Desviación típ. | Error típ.de la media | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | | t | gl | Sig.(bilateral) |
| | 7,92157 | 3,89278 | ,54510 | 6,82671 | 9,01643 | 14,532 | 50 | ,000 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 29**

*Interpretación de la significancia de t-Student de la hipótesis específica 3*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la prueba t de Student evidenciado en la tabla 39 y figura 29 para muestras relacionadas aplicada a las puntuaciones del pretest y postest del aprendizaje conceptual (POST1-PRE1) evidencian una diferencia significativa después de la aplicación de la guía metodológica. Se obtuvo una diferencia media de 7,92157 puntos, con un valor de t = 14,532 y 50 grados de libertad, alcanzando un nivel de significancia de p = 0,000, valor inferior al nivel establecido de 0,05. Asimismo, el intervalo de confianza al 95 % para la diferencia se encuentra entre 6,82671 y 9,01643, lo que confirma que la mejora observada es positiva y consistente en los estudiantes evaluados. En consecuencia, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula ($H_0 3$), que sostiene que la guía metodológica no favorece significativamente el aprendizaje conceptual del área de Mecánica de Rocas, y aceptar la hipótesis de investigación (Hi3), concluyendo que la aplicación de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje conceptual en los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II.

#### 4.2.2.4. Prueba de hipótesis específica 4

**Hi4:** El uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de ingeniería de minas UNSAAC-2025-II.

**Ho4:** El uso de la guía metodológica no favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de ingeniería de minas UNSAAC-2025-II.

**Tabla 40**

*Prueba de normalidad para la hipótesis especifica 4*

| | Kolmogorov-Smirnova | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| POST4-PRE4 | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| | ,119 | 51 | ,067 | ,974 | 51 | ,329 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados de la prueba de normalidad aplicada a la diferencia entre las mediciones del pretest y postest de la dimensión Aprendizaje Estratégico Crítico (POST5-PRE5) evidencian que los datos presentan una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov obtuvo un nivel de significancia de 0,067, mientras que la prueba de Shapiro-Wilk alcanzó un valor de significancia de 0,329. Al ser ambos valores superiores al nivel de significancia establecido ($p > 0,05$), se determina que no existen evidencias suficientes para rechazar el supuesto de normalidad. En consecuencia, los datos cumplen con los criterios necesarios para aplicar una prueba estadística paramétrica, permitiendo realizar el contraste de la hipótesis relacionada con la mejora del aprendizaje estratégico crítico mediante la aplicación de la guía metodológica.

**Tabla 41**

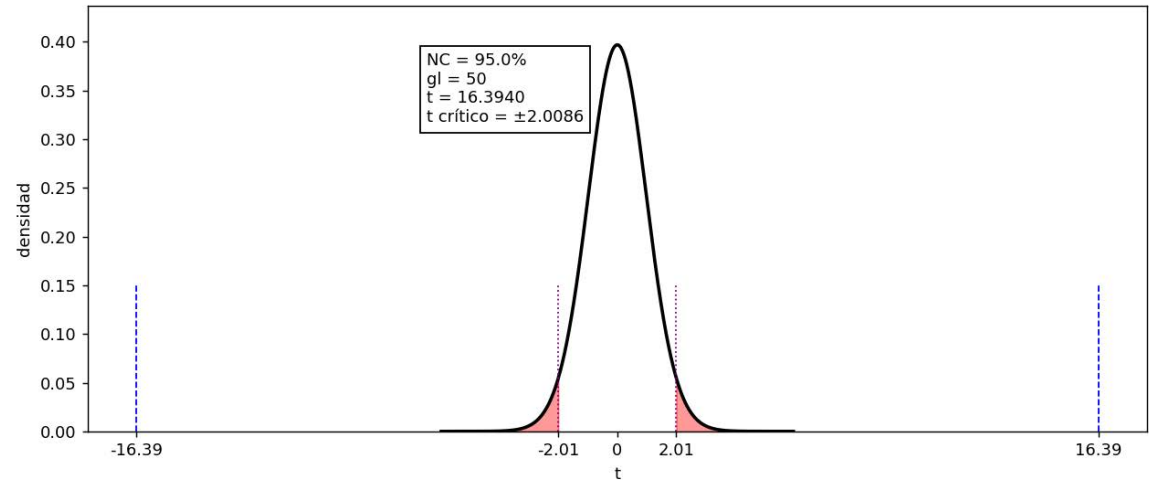
*Estadístico t-Student para la hipótesis especifica 4*

| | Diferencias relacionadas | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POST5 – PRE5 | Media | Desviación típ. | Error típ.de la media | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | | t | gl | Sig.(bilateral) |
| | 7,58824 | 3,30561 | ,46288 | 6,65852 | 8,51795 | 16,394 | 50 | ,000 |

*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

**FIGURA 30**

*Interpretación de la significancia de t-Student de la hipótesis específica 4*




*Nota.* Elaborado a partir de datos procesados en SPSS

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de Student evidenciados en la tabla 41 y figura 30 para muestras relacionadas, aplicada a la dimensión Aprendizaje Estratégico Crítico (POST5-PRE5), permiten determinar la existencia de una mejora significativa en los estudiantes después de la aplicación de la guía metodológica en el área de Mecánica de Rocas. Los resultados muestran una diferencia media de 7,58824 puntos entre las evaluaciones del pretest y postest, evidenciando un incremento favorable en los niveles de aprendizaje alcanzados por los estudiantes. Asimismo, se obtuvo un valor de t = 16,394 con 50 grados de libertad y un nivel de significancia de p = 0,000, valor que es menor al nivel de significancia establecido de 0,05. Además, el intervalo

de confianza del 95 % para la diferencia se encuentra entre 6,65852 y 8,51795, confirmando que la mejora obtenida es positiva y estadísticamente consistente.

Estos resultados demuestran que la aplicación de la guía metodológica tuvo un efecto favorable en el desarrollo del aprendizaje estratégico crítico, permitiendo que los estudiantes fortalezcan capacidades relacionadas con el análisis, interpretación, toma de decisiones, reflexión sobre los procesos de aprendizaje y aplicación de conocimientos en situaciones propias de la Mecánica de Rocas. La diferencia significativa entre los resultados iniciales y finales evidencia que la intervención pedagógica contribuyó al fortalecimiento de competencias superiores, superando las limitaciones identificadas antes de la aplicación de la propuesta.

En consecuencia, debido a que el valor de significancia obtenido es inferior a 0,05, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula (Ho4), que plantea que la guía metodológica no favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico del área de Mecánica de Rocas, y aceptar la hipótesis de investigación (Hi4), concluyendo que la aplicación de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico en los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II. Por tanto, se confirma que la guía metodológica constituye una estrategia educativa efectiva para fortalecer no solo la adquisición de conocimientos, sino también las habilidades cognitivas y estratégicas necesarias para un desempeño académico competente en la asignatura.

# DISCUSIÓN DEL ESTUDIO

La discusión de los resultados obtenidos en esta investigación permitió analizar de manera crítica el impacto de la implementación de la guía metodológica en el aprendizaje de la Mecánica de Rocas en los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC. Este análisis se sustenta en la comparación entre los niveles de logro del pretest y postest, así como en la valoración de la guía metodológica por parte de los estudiantes, integrando los fundamentos teóricos y antecedentes empíricos revisados.

En cuanto a la transformación del aprendizaje de la mecánica de rocas Los resultados muestran un cambio significativo en el rendimiento académico tras la aplicación de la guía metodológica. En el pretest, el 74.5% de los estudiantes se ubicaba entre los niveles Inicio y Proceso, evidenciando una marcada asimetría formativa. Como se señala en el trabajo: “la mayoría de los estudiantes presentaba dificultades o vacíos conceptuales, procedimentales, estratégicos y críticos”.

Después de la intervención, el postest revela que el 88.2% de los estudiantes alcanzó los niveles Logrado y Destacado, eliminándose completamente el nivel Inicio. Este desplazamiento ascendente demuestra que la guía metodológica actuó como un instrumento mediador eficaz, tal como plantea Díaz-Barriga (2006) cuando afirma que la enseñanza situada permite cerrar la brecha entre el “saber decir” y el “saber hacer”.

- La prueba t-Student confirma este impacto:
- $t = 13.362$,
- $p = 0.000$, lo que evidencia una mejora estadísticamente significativa en el aprendizaje general.

Este resultado se alinea con los antecedentes internacionales desarrollados en este trabajo como también coincide con los antecedentes nacionales (Torres, 2021; Rojas, 2019), quienes demostraron que las guías metodológicas incrementan el aprendizaje en ingeniería cuando integran teoría, práctica y software especializado.

La hipótesis general se confirma plenamente: la guía metodológica influyó significativamente en el aprendizaje conceptual, procedimental, estratégico, crítico y estratégico critico de los estudiantes.

Respecto a las dificultades de los estudiantes en el proceso de su aprendizaje los resultados mostrados con contundentes.

- En el aprendizaje conceptual, el 83.7% se ubicó en niveles bajos.
- En el aprendizaje procedimental, el 88.2% se ubicó en niveles bajos.
- En el aprendizaje crítico, el 86.27% se ubicó en niveles bajos.

Estas cifras confirman la existencia de la asimetría formativa que enfrentan los estudiantes con los recursos tradicionales que se encuentran disponibles. en nuestra carrera profesional.

Los antecedentes internacionales, nacionales y locales (Espirilla & Vilca, 2024) también reportan dificultades similares cuando no existe una guía metodológica estructurada.

La hipótesis se confirma: antes de la intervención, los estudiantes enfrentaban dificultades significativas en todas las dimensiones del aprendizaje.

Las tablas 29–35 muestran que:

- 56.8% calificó la guía como Satisfactoria u Óptima.

- Solo 5.9% la consideró limitada.

Las dimensiones Contenido, Metodología, Recursos y Evaluación superan el 70% en niveles altos.

Las metodologías activas como CDIO y la acreditación ABET indican que los estudiantes valoran positivamente los recursos que integran teoría, práctica y software especializado.

Los antecedentes nacionales (Rojas, 2019) confirman que las guías metodológicas incrementan la satisfacción estudiantil cuando están contextualizadas y validadas.

La hipótesis se confirma: la guía metodológica es percibida como útil, efectiva y pertinente en el proceso de aprendizaje de la mecánica de rocas en los estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC.

Por otra parte, los resultados muestran que la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje conceptual, pues los estudiantes pasaron de niveles bajos en el pretest a niveles altos en el postest. Esto confirma que la guía logró reducir la asimetría cognitiva descrita en el trabajo, donde se señala que "existe una brecha entre el dominio teórico y la capacidad de implementación práctica en geomecánica". La integración de clasificaciones geomecánicas, criterios de falla y análisis tensorial permitió que los estudiantes comprendieran mejor los fundamentos teóricos, en concordancia con las universidades lideres mundiales en mecánica de rocas (Colorado School of Mines, Queensland University), que demuestran que las guías activas fortalecen la comprensión conceptual. También coincide con estudios nacionales y locales que evidencian que las guías metodológicas mejoran la organización y comprensión de contenidos técnicos. Por ello, la hipótesis se confirma: el uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje conceptual.

Finalmente, Los resultados de la hipótesis específica 4 muestran que la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico, evidenciado en el incremento de los niveles de logro entre el pretest y el postest. Esta mejora se relaciona con la situación problemática descrita en mi trabajo, donde se señala que existe una brecha entre el dominio teórico y la capacidad de implementación práctica en geomecánica, lo cual afecta la habilidad del estudiante para analizar escenarios, evaluar estabilidad y tomar decisiones técnicas fundamentadas. Los antecedentes internacionales incluidos en el trabajo, como los aportes de Hoek y su criterio de falla Hoek-Brown, así como los desarrollos de Carranza-Torres en modelamiento numérico aplicado a excavaciones, demuestran que el pensamiento estratégico crítico se fortalece cuando el estudiante integra modelos constitutivos, parámetros geomecánicos y análisis de esfuerzos en situaciones reales. Asimismo, los trabajos de Barton y Lien, vinculados al criterio Barton-Bandis y a la caracterización de discontinuidades, muestran que la evaluación crítica del macizo rocoso requiere interpretar datos, estimar comportamientos y validar resultados mediante criterios avanzados, elementos que la guía metodológica incorpora mediante ejercicios contextualizados y el uso de software especializado. Los antecedentes nacionales y locales, como los estudios de Torres (2021), Rojas (2019) y Espirilla & Vilca (2024), refuerzan que las guías metodológicas incrementan la capacidad de análisis y evaluación cuando se adaptan a la realidad geológica peruana. La evidencia empírica confirma que los estudiantes lograron interpretar datos, evaluar escenarios y justificar decisiones técnicas con mayor rigor. Por ello, la hipótesis se confirma: el uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico.

# CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se determinó que la aplicación de la guía metodológica genera un impacto positivo y estadísticamente significativo en el proceso de aprendizaje general de la asignatura de Mecánica de Rocas. La contrastación de la hipótesis general mediante la prueba paramétrica t-Student para muestras relacionadas arrojó un valor de $t = 13.362$, con un nivel de confianza del 95% y un valor de significancia bilateral (p-valor) de 0.000 ($p < 0.05$). Al ser el nivel de significancia menor al umbral crítico establecido, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis del investigador (H1), demostrando de manera empírica que el incremento en las calificaciones del *postest* se debe a la eficacia de la propuesta pedagógica y no a factores aleatorios.

**SEGUNDA:** Respecto al diagnóstico inicial evaluado en la primera hipótesis específica, el análisis descriptivo longitudinal evidenció que los estudiantes presentaban un nivel técnico vulnerable antes de la intervención. Específicamente, el 29.41% de la muestra se ubicaba en el nivel de Inicio, el 45.10% en Proceso y únicamente el 25.49% en Logrado. Estos resultados descriptivos permitieron rechazar la hipótesis nula específica 1, confirmando formalmente que el perfil de partida de los alumnos requería de una estrategia de nivelación y soporte pedagógico estructurado.

**TERCERA:** En relación con la evaluación de la segunda hipótesis específica, los datos descriptivos confirman que la guía metodológica posee una percepción de utilidad altamente favorable por parte de los estudiantes. Los resultados indican que solo el 5.88% la consideró *Limitada*, el 37.25% Aceptable, el 49.02% Satisfactoria y el 7.84% Óptima. Al consolidar las categorías superiores (*Satisfactoria* y *Óptima*), se obtiene un índice de credibilidad y aceptación del 56.86%, lo que permite rechazar la hipótesis nula específica 2 y ratificar que el instrumento es una herramienta didáctica funcional y validada por la muestra de estudio.

**CUARTA:** Se demostró que el uso de la guía metodológica produce una diferencia estadísticamente significativa en el aprendizaje conceptual de la mecánica de rocas, correspondiente a la tercera hipótesis específica. La prueba t-Student arrojó un valor calculado de $t = 14.532$ y un nivel de significancia de 0.000 ($p < 0.05$). Este resultado proporciona suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula específica 3, concluyendo que las estrategias de la guía optimizaron con éxito la asimilación de las bases teóricas y clasificaciones geomecánicas por parte de los estudiantes.

**QUINTA:** Finalmente, se comprobó que la intervención pedagógica genera una mejora estadísticamente significativa en el aprendizaje estratégico crítico de la mecánica de rocas, respondiendo a la cuarta hipótesis específica. El contraste inferencial arrojó un estadístico $t = 16.394$ con un nivel de significancia de 0.000 ($p < 0.05$). Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula específica 4, demostrando sólidamente que la guía fortaleció las habilidades de alta exigencia cognitiva, permitiendo a los alumnos razonar, seleccionar criterios ingenieriles y resolver con precisión ejercicios complejos de la especialidad.

# RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y a los docentes responsables de la asignatura de Mecánica de Rocas implementar de manera progresiva la guía metodológica como recurso complementario dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, considerando la evidencia obtenida sobre su impacto positivo y significativo en el rendimiento académico de los estudiantes. Asimismo, se sugiere realizar procesos de seguimiento y evaluación periódica que permitan verificar su efectividad y realizar ajustes orientados a mejorar continuamente la propuesta pedagógica.

**SEGUNDA:** Considerando los resultados del diagnóstico inicial, donde se evidenció que una proporción importante de estudiantes presentaba niveles de desempeño en Inicio y Proceso, se recomienda fortalecer las estrategias de nivelación académica antes y durante el desarrollo de la asignatura de Mecánica de Rocas. Para ello, se propone utilizar la guía metodológica como un instrumento de apoyo que permita reforzar conocimientos previos, desarrollar competencias básicas y reducir las brechas de aprendizaje identificadas en los estudiantes.

**TERCERA:** Debido a la percepción favorable de estudiantes respecto a la utilidad de la guía metodológica, se recomienda promover su validación y aplicación en otros grupos académicos de la carrera de Ingeniería de Minas, adaptando sus contenidos, actividades y recursos a las características particulares de cada cohorte estudiantil. Además, se sugiere fomentar la participación de los docentes en la actualización permanente de la guía para garantizar su pertinencia académica y profesional.

**CUARTA:** Al haberse demostrado una mejora significativa en el aprendizaje conceptual de la Mecánica de Rocas, se recomienda fortalecer el uso de estrategias didácticas orientadas a la

comprensión de fundamentos teóricos, clasificación geomecánica, interpretación de propiedades de los macizos rocosos y aplicación de conceptos técnicos mediante casos prácticos. De esta manera, la guía metodológica podrá continuar contribuyendo al desarrollo progresivo de conocimientos especializados en los estudiantes.

**QUINTA:** Considerando la mejora significativa en el aprendizaje estratégico crítico, se recomienda incorporar dentro de la guía metodológica mayores actividades de análisis, resolución de problemas, toma de decisiones ingenieriles y aplicación de criterios técnicos en situaciones reales de la minería. Asimismo, se sugiere promover metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas, estudios de caso y simulaciones prácticas, con la finalidad de fortalecer las competencias superiores necesarias para el desempeño profesional de los futuros ingenieros de minas.

## REFERENCIAS


1. ABET. (2022). *Criteria for accrediting engineering programs*. Accreditation Board for Engineering and Technology. https://www.abet.org

2. Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6ª ed.). Episteme.

3. Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education, 20*(6), 481–486.

4. Carranza-Torres, C. (2004). *Analytical and numerical study of the ground reaction curve in rock mechanics*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41(3), 1–12.

5. CDIO Initiative. (2004). *CDIO standards 1.0: Enhancing engineering education*. Massachusetts Institute of Technology.

6. Colorado School of Mines. (2023). *Applied rock mechanics curriculum*. Department of Mining Engineering.

7. Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika, 16*(3), 297–334.

8. Díaz-Barriga, Á. (2006). *Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida*. McGraw-Hill.

9. Espirilla, L., & Vilca, J. (2024). *Contextualización geológica y aprendizaje en ingeniería de minas*. Revista Andina de Ingeniería, 5(1), 22–35.

10. Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

**11.** Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). *Practical estimates of rock mass strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), 1165–1186.

**12.** Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *Hoek–Brown failure criterion—2002 edition*. Proceedings of the North American Rock Mechanics Symposium, 1–6.

**13.** Lien, R., & Barton, N. (2007). *Estimating rock mass strength using Q-system parameters*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(4), 1–10.

**14.** Lynn, M. R. (1986). Determination and quantification of content validity. *Nursing Research, 35*(6), 382–385.

**15.** Mendoza Sifuentes, J., Vega Vilca, C. S., Silva Narvaste, B., & Boy Barreto, A. M. (2024). El aprendizaje basado en problemas: Una perspectiva desde el contexto educativo. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación, 8*(35), 2400–2416. https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i35.877

**16.** Perrenoud, P. (2004). *Diez nuevas competencias para enseñar*. Graó.

**17.** Rojas, M. (2019). *Aplicación de guías metodológicas en la enseñanza de ingeniería en el Perú*. Revista de Educación Superior, 12(3), 45–58.

**18.** Torres, J. (2021). *Impacto de las guías metodológicas en el aprendizaje técnico universitario*. Revista Peruana de Investigación Educativa, 9(2), 33–50.

**19.** Universidad de Queensland. (2023). *Rock mechanics teaching framework*. School of Mechanical & Mining Engineering.

**20.** Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

**21.** Perrenoud, P. (2004). *Diez nuevas competencias para enseñar*. Graó.

**22.** International Society for Rock Mechanics. (2007). *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006*. ISRM.

# ANEXOS

**Anexo 1: Matriz de consistencia**

**Anexo 2: Juicio de expertos**

**Anexo 3: Registro fotográfico**

**Anexo 4: Instrumento de investigación 1: Aprendizaje de la mecánica de rocas**

**Anexo 5: Instrumento de investigación 2: Percepción de la guía metodológica de mecánica de rocas**

**Anexo 6: Guía de mecánica de rocas**

# ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES | METODOLOGIA |
|---|---|---|---|---|---|
| PROBLEMA GENERAL:<br><br>¿En qué medida la implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas influye en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC – 2025-II?<br><br>PROBLEMAS ESPECIFICOS:<br><br>¿Cuáles son las dificultades que enfrentan los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas?<br><br>¿Como perciben la utilidad y efectividad de la guía metodológica en el aprendizaje de la mecánica de rocas los estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II?<br><br>¿En qué medida el uso de la guía metodológica favorece el aprendizaje conceptual en mecánica de rocas en los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II?<br><br>¿En qué medida el uso de la guía metodológica favores el aprendizaje estratégico crítico en mecánica de rocas en los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II? | OBJETIVO GENERAL:<br><br>Evaluar la influencia de la implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas y su influencia en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC – 2025-II.<br><br>OBJETIVOS ESPECIFICOS:<br><br>Identificar cuáles son las dificultades que enfrentan los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas.<br><br>Evaluar como perciben la utilidad y efectividad de la guía metodológica en el aprendizaje de la mecánica de rocas los estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II.<br><br>Determinar en qué medida el uso de la guía metodológica favorece el aprendizaje conceptual del área de mecánica de rocas en alumnos del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II.<br><br>Determinar en qué medida el uso de la guía metodológica favorece el aprendizaje estratégico crítico del área de mecánica de rocas en alumnos del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II. | HIPÓTESIS GENERAL:<br><br>La implementación y validación de una guía metodológica en el área de mecánica de rocas influye significativamente en el aprendizaje de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC – 2025-II.<br><br>HIPÓTESIS ESPECIFICAS:<br><br>La mayoría de los estudiantes del sétimo semestre de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II enfrenta dificultades en su proceso de aprendizaje en el área de mecánica de rocas.<br><br>Los estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC-2025-II perciben que la guía metodológica es útil y efectiva para el aprendizaje de la mecánica de rocas.<br><br>El uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje conceptual del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de Ingeniería de Minas UNSAAC-2025-II.<br><br>El uso de la guía metodológica favorece significativamente el aprendizaje estratégico crítico del área de mecánica de rocas en alumnos del séptimo semestre de Ingeniería de Minas UNSAAC-2025-II. | VARIABLE 1:<br><br>Percepción de la guía metodológica del área de mecánica de rocas.<br><br>VARIABLE 2:<br><br>Aprendizaje de mecánica de rocas de los estudiantes del séptimo semestre de Ingeniería de Minas UNSAAC 2025-II. | Contenido<br>Estructura<br>Metodología<br>Recursos<br>Flexibilidad<br>Evaluación<br><br>Aprendizaje conceptual<br>Aprendizaje procedimental<br>Aprendizaje estratégico<br>Aprendizaje crítico<br>Aprendizaje estratégico critico | ENFOQUE: Cuantitativo<br><br>TIPO: Aplicada<br><br>NIVEL: Explicativo<br><br>DISEÑO: Experimental<br><br>G: O1 X O2<br><br>POBLACIÓN:<br><br>Estudiantes matriculados en mecánica de rocas en el semestre 2025-II<br><br>MUESTRA: Censal<br><br>TÉCNICA:<br><br>V1: Encuesta de percepción estudiantil.<br><br>V2: Prueba escrita tipo pre-test y post-test.<br><br>INSTRUMENTO:<br><br>V1: Cuestionario estructurado de percepción con escala tipo Likert sobre el material de enseñanza.<br><br>V2: Cuestionario de prueba estructurado para medir el aprendizaje en Mecánica de Rocas. |

ANEXO 2: JUICIO DE EXPERTOS

COEFICIENTE V DE AIKEN

| INDICADORES DE EVALUCIÓN DEL INSTRUMENTO | CRITERIOS | JUEZ | JUEZ | JUEZ | JUEZ | JUEZ | V DE AIKEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sobre el ítem del instrumento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ESCALA 1–5 |
| 1.CLARIDAD | Están formulados con un lenguaje claro y apropiado que facilite su comprensión. | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 0.70 |
| 2.OBJETIVIDAD | Están expresados en términos observables y medibles | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.80 |
| 3.CONSISTENCIA | Presentan una organización lógica y guardan relación con la teoría que sustenta la variable. | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.80 |
| 4.COHERENCIA | Existe relación entre los contenidos de los ítems y los indicadores de la variable. | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 0.80 |
| 5.PERTINENCIA | Las categorías de respuesta y sus valores son adecuados para los ítems planteados. | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 0.70 |
| 6.SUFICIENCIA | La cantidad y calidad de los ítems son suficientes para medir la variable de estudio. | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 0.70 |
| | SUMA PARCIAL | | | | | | PROMEDIO V |
| | SUMA TOTAL | | | | | | 0.75 |

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**

IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025 II

# FICHA DE EVALUACIÓN DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

## 1. Datos del Experto

| | |
|---|---|
| Nombre del evaluador | JUAN FRANCISCO SOTO ELGUERA |
| Grado académico | Magister en proyectos de inversión (Economía) |
| Institución | Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco |
| Facultad | Facultad de ingeniería Geológica, Minas y metalúrgica |
| Carrera profesional | Ingeniero de Minas |
| Años de experiencia | 30 años |
| Correo electrónico | juan.soto@unsaac.edu.pe |
| Fecha de evaluación | 04/ 04 /2025 |

## 2. Instrucciones para el Evaluador

Se solicita evaluar el material educativo considerando si cumple en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería de minas en estas cinco dimensiones: Aprendizaje Conceptual, Aprendizaje Procedimental, Aprendizaje Estratégico, Aprendizaje Crítico y finalmente aprendizaje Estratégico Crítico Utilice la siguiente escala:

1 = Deficiente, 2 = Insuficiente, 3 = Aceptable, 4 = Satisfactorio, 5= Excelente

## 3. Criterios de Evaluación

- Claridad
- Objetividad
- Consistencia
- Coherencia
- Pertinencia
- Suficiencia

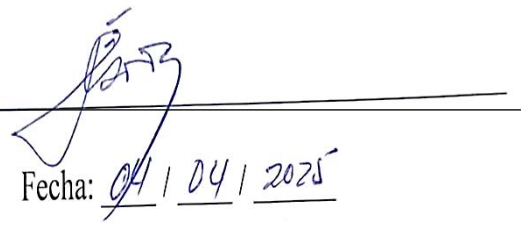
## 3. Validación

| INDICADORES DE EVALUCIÓN DEL INSTRUMENTO | CRITERIOS<br>Sobre el ítem del instrumento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.CLARIDAD | Están formulados con un lenguaje claro y apropiado que facilite su comprensión. | | | | X | |
| 2.OBJETIVIDAD | Están expresados en términos observables y medibles | | | | | X |
| 3.CONSISTENCIA | Presentan una organización lógica y guardan relación con la teoría que sustenta la variable. | | | | | X |
| 4.COHERENCIA | Existe relación entre los contenidos de los ítems y los indicadores de la variable. | | | | | X |
| 5.PERTINENCIA | Las categorías de respuesta y sus valores son adecuados para los ítems planteados. | | | | | X |
| 6.SUFICIENCIA | La cantidad y calidad de los ítems son suficientes para medir la variable de estudio. | | | | X | |

## 5. Observaciones del Experto

## 6. Recomendaciones

## 7. Firma del Evaluador

FIRMA: 

Fecha: 04 / 04 / 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**

IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025 II

## FICHA DE EVALUACIÓN DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. Datos del Experto

| | |
|---|---|
| Nombre del evaluador | LEONARDO PERALTA ZANABRIA |
| Grado académico | Magister Seguridad Industrial y Medio Ambiente |
| Institución | Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco |
| Facultad | Facultad de ingeniería Geológica, Minas y metalúrgica |
| Carrera profesional | Ingeniero de Minas |
| Años de experiencia | 18 años |
| Correo electrónico | leonardo.peralta@unsaac.edu.pe |
| Fecha de evaluación | 05/ 04 /2025 |

### 2. Instrucciones para el Evaluador

Se solicita evaluar el material educativo considerando si cumple en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería de minas en estas cinco dimensiones: Aprendizaje Conceptual, Aprendizaje Procedimental, Aprendizaje Estratégico, Aprendizaje Crítico y finalmente aprendizaje Estratégico Crítico Utilice la siguiente escala:

1 = Deficiente, 2 = Insuficiente, 3 = Aceptable, 4 = Satisfactorio, 5= Excelente

### 3. Criterios de Evaluación

- Claridad
- Objetividad
- Consistencia
- Coherencia
- Pertinencia
- Suficiencia

## 3. Validación

| INDICADORES DE EVALUCIÓN DEL INSTRUMENTO | CRITERIOS<br>Sobre el ítem del instrumento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.CLARIDAD | Están formulados con un lenguaje claro y apropiado que facilite su comprensión. | | | | X | |
| 2.OBJETIVIDAD | Están expresados en términos observables y medibles | | | | X | |
| 3.CONSISTENCIA | Presentan una organización lógica y guardan relación con la teoría que sustenta la variable. | | | | X | |
| 4.COHERENCIA | Existe relación entre los contenidos de los ítems y los indicadores de la variable. | | | | X | |
| 5.PERTINENCIA | Las categorías de respuesta y sus valores son adecuados para los ítems planteados. | | | | X | |
| 6.SUFICIENCIA | La cantidad y calidad de los ítems son suficientes para medir la variable de estudio. | | | | X | |

## 5. Observaciones del Experto

El material educativo presenta contenidos técnicos pertinentes y acordes con las competencias que se busca desarrollar en los estudiantes de Ingeniería de Minas de la asignatura Aprendizaje de Mecánica de Rocas. La información está organizada de manera clara y ordenada, lo que facilita su comprensión y permite al estudiante relacionar los conceptos fundamentales con los procedimientos propios del tema abordado. En general, se considera que el material constituye un recurso útil para fortalecer el aprendizaje y complementar la formación académica de los estudiantes.

## 6. Recomendaciones

Se recomienda complementar el material educativo con ejemplos prácticos y situaciones relacionadas con la realidad de las operaciones mineras, de modo que los estudiantes puedan comprender mejor los contenidos y relacionarlos con su futura práctica profesional.

Asimismo, sería importante incluir ejercicios, casos de estudio, esquemas y gráficos que apoyen a reforzar los temas desarrollados y consientan a los estudiantes aplicar lo aprendido, analizar diferentes situaciones y plantear soluciones técnicas.

## 7. Firma del Evaluador




FIRMA: _____

Fecha: 06 / 04 / 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**

IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025 II

## FICHA DE EVALUACIÓN DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. Datos del Experto

| | |
|---|---|
| Nombre del evaluador | MIGUEL VERA MIRANDA |
| Grado académico | Doctor en Medio Ambiente |
| Institución | Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco |
| Facultad | Facultad de ingeniería Geológica, Minas y metalúrgica |
| Carrera profesional | Ingeniero de Minas |
| Años de experiencia | 35 años |
| Correo electrónico | miguel.vera@unsaac.edu.pe |
| Fecha de evaluación | 04/ 04 /2025 |

### 2. Instrucciones para el Evaluador

Se solicita evaluar el material educativo considerando si cumple en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería de minas en estas cinco dimensiones: Aprendizaje Conceptual, Aprendizaje Procedimental, Aprendizaje Estratégico, Aprendizaje Crítico y finalmente aprendizaje Estratégico Crítico Utilice la siguiente escala:

1 = Deficiente, 2 = Insuficiente, 3 = Aceptable, 4 = Satisfactorio, 5= Excelente

### 3. Criterios de Evaluación

- Claridad
- Objetividad
- Consistencia
- Coherencia
- Pertinencia
- Suficiencia

## 3. Validación

| INDICADORES DE EVALUCIÓN DEL INSTRUMENTO | CRITERIOS<br>Sobre el ítem del instrumento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.CLARIDAD | Están formulados con un lenguaje claro y apropiado que facilite su comprensión. | | | X | | |
| 2.OBJETIVIDAD | Están expresados en términos observables y medibles | | | | X | |
| 3.CONSISTENCIA | Presentan una organización lógica y guardan relación con la teoría que sustenta la variable. | | | | X | |
| 4.COHERENCIA | Existe relación entre los contenidos de los ítems y los indicadores de la variable. | | | | X | |
| 5.PERTINENCIA | Las categorías de respuesta y sus valores son adecuados para los ítems planteados. | | | X | | |
| 6.SUFICIENCIA | La cantidad y calidad de los ítems son suficientes para medir la variable de estudio. | | | X | | |

## 5. Observaciones del Experto

## 6. Recomendaciones

## 7. Firma del Evaluador




FIRMA: _____

Fecha: 04 / 04 / 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**

IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025 II

## FICHA DE EVALUACIÓN DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. Datos del Experto

| | |
|---|---|
| Nombre del evaluador | MANUEL SEYBERLING PEÑA CHAVEZ |
| Grado académico | Doctor en Medio Ambiente |
| Institución | Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco |
| Facultad | Facultad de ingeniería Geológica, Minas y metalúrgica |
| Carrera profesional | Ingeniero de Minas |
| Años de experiencia | 11 años |
| Correo electrónico | Manuel.peña@unsaac.edu.pe |
| Fecha de evaluación | 10/ 04 /2025 |

### 2. Instrucciones para el Evaluador

Se solicita evaluar el material educativo considerando si cumple en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería de minas en estas cinco dimensiones: Aprendizaje Conceptual, Aprendizaje Procedimental, Aprendizaje Estratégico, Aprendizaje Crítico y finalmente aprendizaje Estratégico Crítico Utilice la siguiente escala:

1 = Deficiente, 2 = Insuficiente, 3 = Aceptable, 4 = Satisfactorio, 5= Excelente

### 3. Criterios de Evaluación

- Claridad
- Objetividad
- Consistencia
- Coherencia
- Pertinencia
- Suficiencia

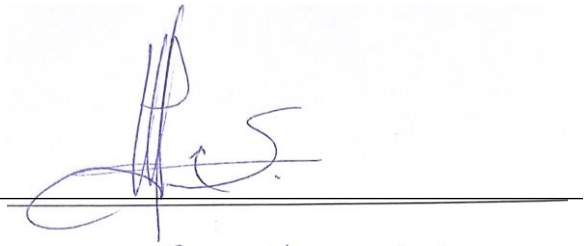
## 3. Validación

| INDICADORES DE EVALUCIÓN DEL INSTRUMENTO | CRITERIOS<br>Sobre el ítem del instrumento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.CLARIDAD | Están formulados con un lenguaje claro y apropiado que facilite su comprensión. | | | | X | |
| 2.OBJETIVIDAD | Están expresados en términos observables y medibles | | | | X | |
| 3.CONSISTENCIA | Presentan una organización lógica y guardan relación con la teoría que sustenta la variable. | | | | X | |
| 4.COHERENCIA | Existe relación entre los contenidos de los ítems y los indicadores de la variable. | | | | | X |
| 5.PERTINENCIA | Las categorías de respuesta y sus valores son adecuados para los ítems planteados. | | | | X | |
| 6.SUFICIENCIA | La cantidad y calidad de los ítems son suficientes para medir la variable de estudio. | | | | X | |

## 5. Observaciones del Experto

## 6. Recomendaciones

## 7. Firma del Evaluador

FIRMA: 

Fecha: 10 / 04 / 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MENCIÓN EDUCACIÓN SUPERIOR**

IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA EN EL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DEL SÉTIMO SEMESTRE DE INGENIERIA DE MINAS DE LA UNSAAC – 2025 II

## FICHA DE EVALUACIÓN DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. Datos del Experto

| | |
|---|---|
| Nombre del evaluador | TOMAS ACHANCCARAY |
| Grado académico | Magister en Gestión Pública (Administración) |
| Institución | Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco |
| Facultad | Facultad de ingeniería Geológica, Minas y metalúrgica |
| Carrera profesional | Ingeniero de Minas |
| Años de experiencia | 35 años |
| Correo electrónico | tomas.achanccaray@unsaac.edu.pe |
| Fecha de evaluación | 04/ 05 /2025 |

### 2. Instrucciones para el Evaluador

Se solicita evaluar el material educativo considerando si cumple en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería de minas en estas cinco dimensiones: Aprendizaje Conceptual, Aprendizaje Procedimental, Aprendizaje Estratégico, Aprendizaje Crítico y finalmente aprendizaje Estratégico Crítico Utilice la siguiente escala:

1 = Deficiente, 2 = Insuficiente, 3 = Aceptable, 4 = Satisfactorio, 5= Excelente

### 3. Criterios de Evaluación

- Claridad
- Objetividad
- Consistencia
- Coherencia
- Pertinencia
- Suficiencia

## 3. Validación

| INDICADORES DE EVALUCIÓN DEL INSTRUMENTO | CRITERIOS<br>Sobre el ítem del instrumento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.CLARIDAD | Están formulados con un lenguaje claro y apropiado que facilite su comprensión. | | | | X | |
| 2.OBJETIVIDAD | Están expresados en términos observables y medibles | | | | X | |
| 3.CONSISTENCIA | Presentan una organización lógica y guardan relación con la teoría que sustenta la variable. | | | | X | |
| 4.COHERENCIA | Existe relación entre los contenidos de los ítems y los indicadores de la variable. | | | X | | |
| 5.PERTINENCIA | Las categorías de respuesta y sus valores son adecuados para los ítems planteados. | | | X | | |
| 6.SUFICIENCIA | La cantidad y calidad de los ítems son suficientes para medir la variable de estudio. | | | | X | |

## 5. Observaciones del Experto

## 6. Recomendaciones

## 7. Firma del Evaluador



FIRMA: _____

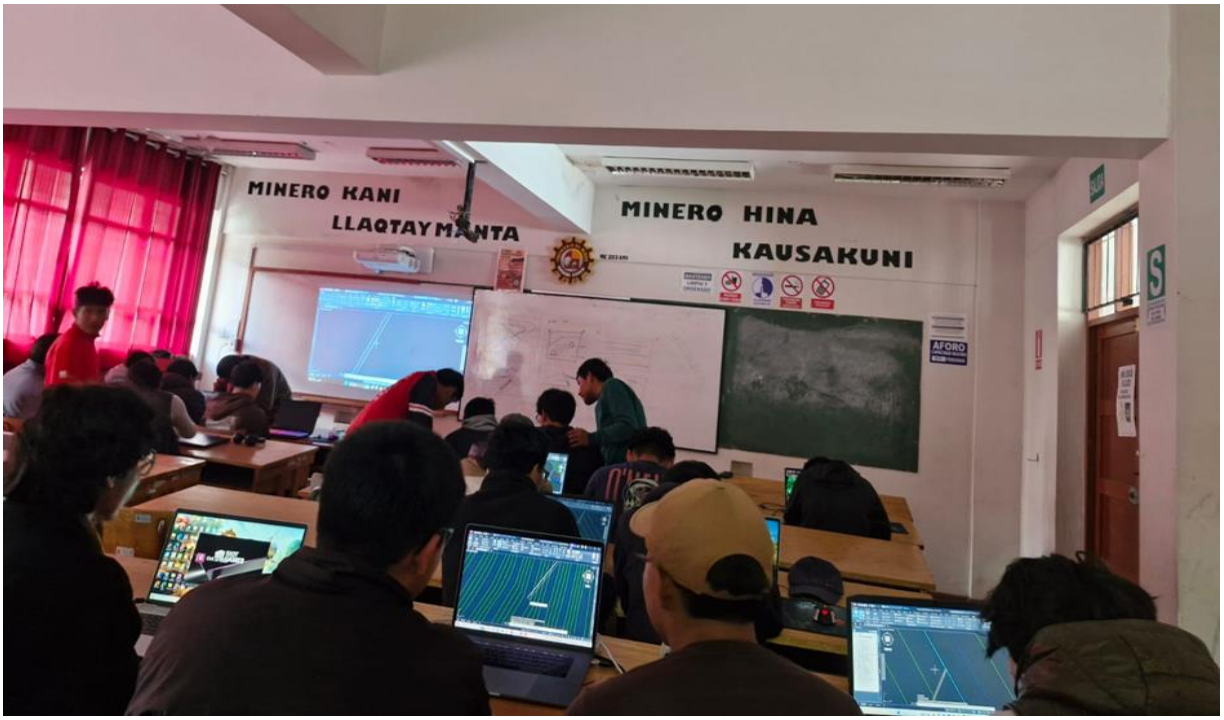
Fecha: 04 / 05 / 2025

# ANEXO 3: REGISTRO FOTOGRAFICO

**FOTOGRAFIA 1**
*Evaluación de estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC*

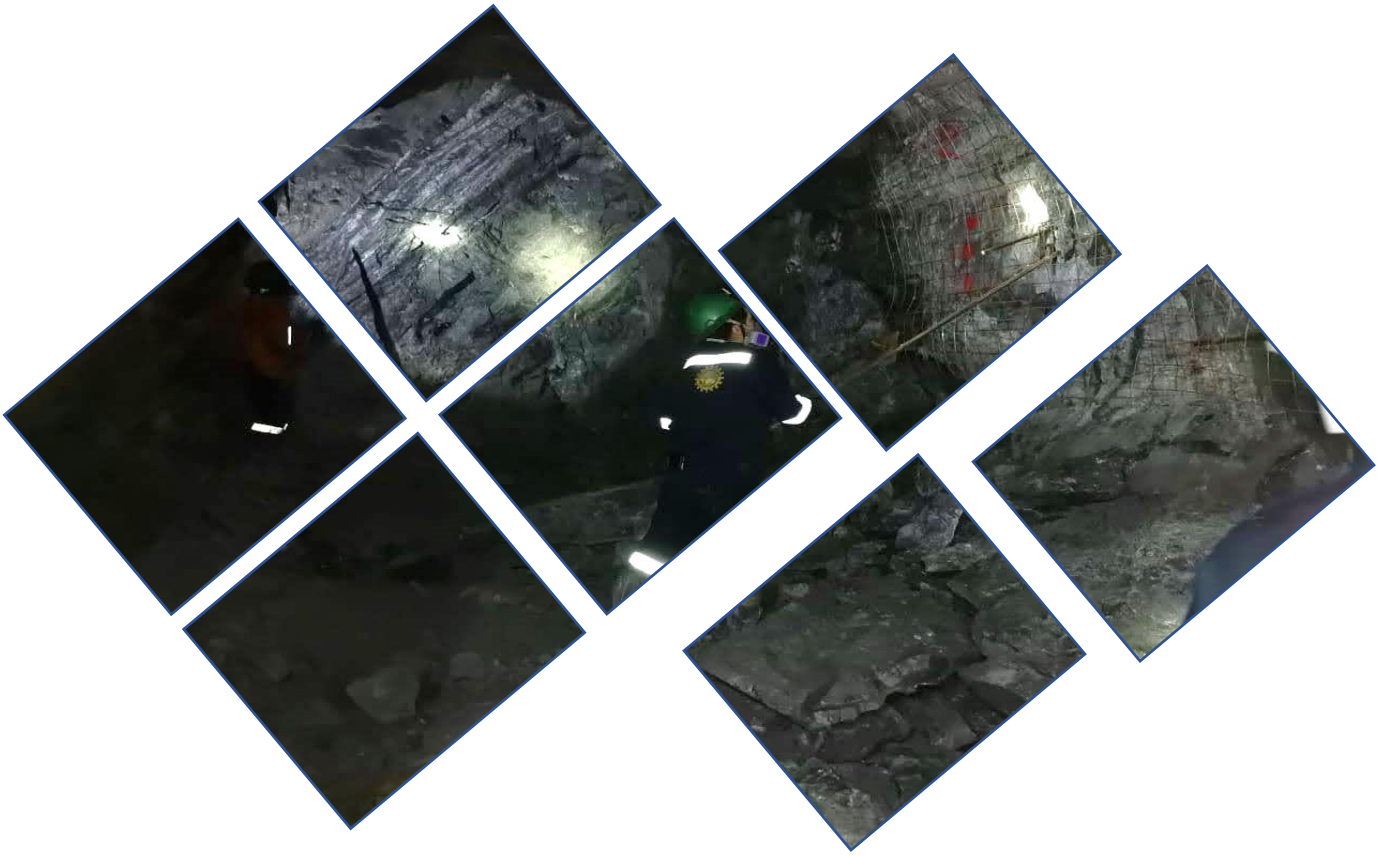



**FOTOGRAFIA 2**
*Capacitación de estudiantes de Ingeniería de Minas de la UNSAAC*



ANEXO 4: INSTRUMENTO DE INVESTIGACION 1

# APRENDIZAJE DE MECÁNICA DE ROCAS



CUSCO-PERÚ

2025

# UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL DEL CUSCO

## APRENDISAJE DE MECÁNICA DE ROCAS

**APELLIDOS Y NOMBRES……**
**FECHA: ……. /……/2025**

### 1. Aprendizaje conceptual:

1.1.-Se está evaluando la masa rocosa de una galería en la estación geomecánica E1 cuyos datos se encuentran en la siguiente tabla 01, determinar:

a) Proyección estereográfica de J1 b) Proyección estereográfica de J2 c) Valor de corrección de J1 d) Valor de corrección de J2 e) El RMR corregido y la clase

**Tabla 1**

| Estación geomecánica | Discontinuidad | DIP | DIP-DIRECTION | Rumbo de galería | RMR(Básico) |
|---|---|---|---|---|---|
| E1 | J1<br>J2 | 40°<br>40° | 10°<br>100° | N10°E | 70 |

1.2.-Se realizo el levantamiento geomecánico en la progresiva 0+50 de un túnel obteniendo los siguientes valores que se presentan en la tabla 02, determinar:

a) RMR(Básico) b) Valores de corrección c) Q
d) Graficar en proyección estereográfica e) GSI

**Tabla 2**

| Progresiva | Discontinuidad | DIP | DIP-DIRECTION | Rumbo de galería | RMR |
|---|---|---|---|---|---|
| 0+50 | J1<br>J2 | 80°<br>40° | 350°<br>78° | N10°W | 85 |

1.3.-Se está evaluando la masa rocosa según la clasificación Q de Barton cuya data se encuentra en la tabla 03, determinar:

a) Jr b) Ja c) Jw d) SRF e) Q

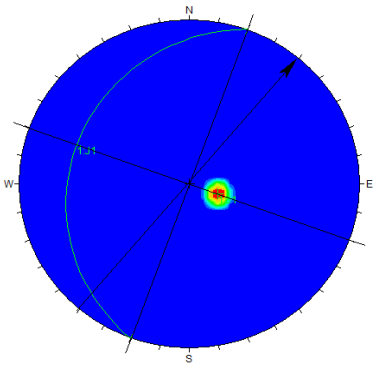
**Tabla 3**

| Estación geomecánica | Familia | $J_r$ | $J_a$ | $J_w$ | $\sigma_c$ | $\sigma_1$ | RQD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E1 | J1<br>J2 | 1.5<br>3.0 | 1.0<br>0.75 | 0.66<br>1.0 | 73.74MPa | 3.24MPa | 80% |

1.4.-Según la figura 01 de proyección estereográfico mostrado el plano presenta un buzamiento de 20°determinar:

a) Orientación del plano b) Rumbo de la galería c) Buzamiento aparente
d) Valor de corrección si estaría determinando el RMR e) Realizar un gráfico

**Figura 1**




## 2. Aprendizaje procedimental

2.1.-Se está evaluando la masa rocosa de una galería que presenta umbo N10°W en la estación geomecánica E1 cuyos datos se encuentran en la tabla 04, determinar:

a) El RMR(Básico) b) RMR c) Q d) GSI e) Clase de macizo rocoso según RMR

**Tabla 4**

| Familia | J1 | J2 | RQD | UCS |
|---|---|---|---|---|
| Orientación | 80/350 | 40/78 | | |
| Espaciamiento | 10 | 8 | | |
| Continuidad | 0.5m(30%)<br>1-2m (70%) | 0.5m(20%)<br>1-2m (80%) | | |
| Rugosidad | 3 | 5 | 80% | 70MPa |
| Meteorización | 5 | 6 | | |
| Apertura | 4 | 6 | | |
| Relleno | 4 | 6 | | |
| Filtración | 15 | 15 | | |

2.2.- Se está evaluando la masa rocosa de una galería que presenta umbo N10°W en la estación geomecánica E1 cuyos datos se encuentran en la tabla 05, determinar:

a) El RMR(Básico) b) RMR c) Q d) GSI e) Clase según Q

**Tabla 5**

| Familia | J1 | J2 | RQD | SRF |
|---|---|---|---|---|
| Jr | 1.5 | 3 | | |
| Ja | 0.75 | 8 | 95% | 70MPa |
| Jw | 0.6 | 1 | | |

2.3.-Se tiene los siguientes resultados de ensayo de carga puntual en la progresiva 0+50 de la construcción de un túnel cuya data está en la tabla 06, si los planos topográficos muestran una altura litostática de 150m y los resultados de laboratorio nos dan un valor de 29KN/m3, determinar:

a) Índices de carga puntual b) UCS c) Esfuerzo principal litostático
d) SRF e) Realizar un gráfico

**Tabla 6**

| Número de probeta | Diámetro entre puntas cónicas(mm) | Fuerza en (KN) |
|---|---|---|
| 1 | 53 | 9.80 |
| 2 | 54 | 10.00 |
| 3 | 54 | 10.20 |

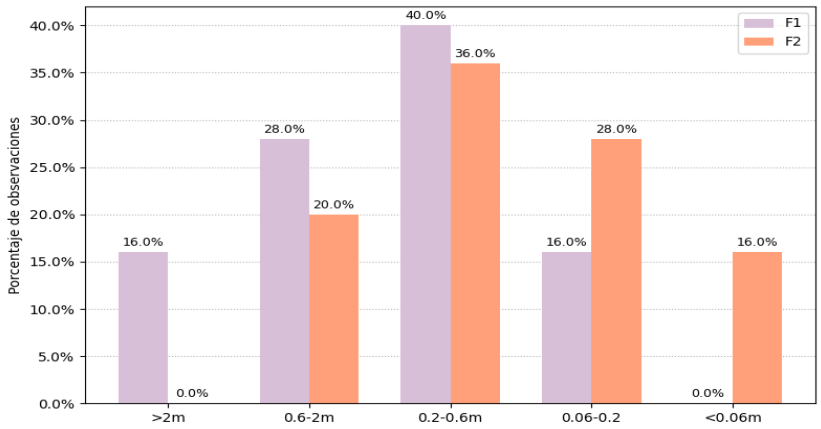
2.4.- Se está evaluando la masa rocosa de una galería que presenta rumbo N60°W en la estación geomecánica E1 cuyos datos se encuentran en la siguiente tabla 07 y figura 02, determinar:

a) El RMR(Básico) b) RMR c) Q d) GSI e) Clase de macizo rocoso según RMR

**Tabla 7**

| Familia | J1 | J2 | RQD | UCS | SRF |
|---|---|---|---|---|---|
| Orientación | 60/150 | 30/240 | | | |
| Espaciamiento | Histograma(0.06>2m) | Histograma(0.06>2m) | | | |
| Continuidad | 10-20m el 40%<br>1-3m el 60% | 0.5-1m el 30%<br>1-2m el 70% | | | |
| Rugosidad | JRC=0.4 | JRC=6 | 95% | Considerar el obtenido en 2.3 | Considerar el obtenido en 2.3 |
| Meteorización | Sana | Sana | | | |
| Apertura | Cerrada | Cerrada | | | |
| Relleno | Sin relleno | Sin relleno | | | |
| Filtración | Ligeramente húmeda | Húmeda | | | |

**Figura 2**

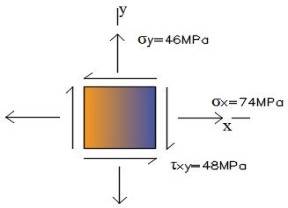



## 3. Aprendizaje estratégico

3.1.-Se tiene el siguiente estado tensional en la figura 03, determinar:

a) $I_1$ b) $I_2$ c) Esfuerzos principales d) Cortante máxima
e) Tensor cuando se haya rotado 30° en sentido antihorario

**Figura 3**

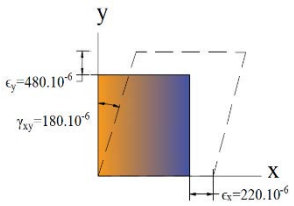



$$\sigma_{xy} = \begin{bmatrix} 74 & -48 \\ -48 & 46 \end{bmatrix}$$

3.2.- Se tiene el siguiente estado deformacional en la figura 04, determinar:

a) $I_1$ b) $I_2$ c) Deformaciones principales d) Tensor cuando se haya rotado 30° en sentido antihorario e) Realizar un gráfico de dicho proceso

**Figura 4**

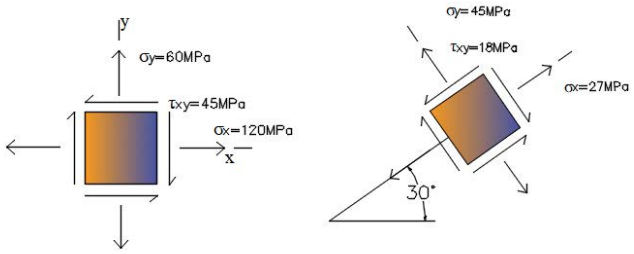



$$\delta_{xy} = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \epsilon_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 220 & 90 \\ 90 & 480 \end{bmatrix}$$

3.3.- Se tiene el siguiente estado tensional en la figura 05, determinar:

a) Estado tensional resultante para 0° b) $I_1$ c) $I_2$ d) esfuerzos principales e) Grafica los esfuerzos principales.

**Figura 5**




3.4.- Se tiene el siguiente estado tensional y el plano x+y+z-3=0, determinar:

$$\sigma_{xy} = \begin{bmatrix} 8 & -10 & 10 \\ -10 & 16 & 8 \\ 10 & 8 & 24 \end{bmatrix}$$

a) Vector tensión b) Componente normal del esfuerzo c) componente tangencial
d) $I_1$ e) $I_3$

## 4. Aprendizaje crítico

4.1.- En la tabla 08 se tiene los resultados de un ensayo triaxial de un suelo determinar:

a) El ángulo de fricción interna, b) la cohesión c) Graficar la envolvente de resistencia d) Calcular la resistencia a la compresión de dicho suelo e) La tensión de rotura para un esfuerzo de confinamiento de 30KPa

**Tabla 8**

| Numero de probeta | Tensión de confinamiento (KPa) | Tensión de rotura (KPa) |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 70 |
| 2 | 30 | 150 |

4.2.- Se han tomado probetas de una roca intacta que han sido sometidos a ensayo triaxial, cuyos valores están en la tabla 09, determinar:
a) El parámetro $m_i$ , b) la resistencia a la compresión de la roca intacta $\sigma_{ci}$ , c) la resistencia a la tracción $\sigma_t$ , d) Calcular el coeficiente de seguridad tensional según el criterio de Hoeck-Brown en un pilar en cuyo interior se determinó un esfuerzo vertical de 49MPa y un esfuerzo

horizontal de 10 MPa (Asumiendo que la masa rocosa se va comportar como la roca intacta) e) Graficar la envolvente de ruptura.

**Tabla 9**

| Numero de probeta | Tensión de confinamiento (MPa) | Tensión de rotura (MPa) |
|---|---|---|
| 1 | 5.5 | 66.7 |
| 2 | 17.0 | 99.6 |

4.3.-Según el método de detonación de taladros se determinó el elipsoide de perturbación cuyo eje vertical tiene un valor de 0.98 m, el eje horizontal tiene un valor de 0.48m, además se ha determinado que el ángulo del eje mayor respecto a la horizontal que tiene un valor de 74°. Si se considera un valor de $27\,\mathrm{KN/m^3}$ de peso específico y una altura litotática de 1250m, determinar:

a) El parámetro K b) El esfuerzo principal mayor c) El esfuerzo principal menor d) Recomendar el tipo de sección para mejor estabilidad de la labor e) Realizar un gráfico que describa dicha situación.

4.4.-En una mina subterránea está proyectado realizarse una excavación de 5x5 metros de luz, destinado a un polvorín interior mina a 2100 metros por debajo de la superficie, el valor del RMR=49, los datos del laboratorio arrojan $\sigma_{ci} = 110\mathrm{MPa}$, así mismo la magnitud de las tensiones principales horizontales es de aproximadamente 1.5 veces la tensión vertical, determinar:

a) Carga actuante en la corona b) Carga actuante en hastiales c) Se presenta estallido de rocas d) La posible sobre rotura e) Realizar un esquema de lo descrito.

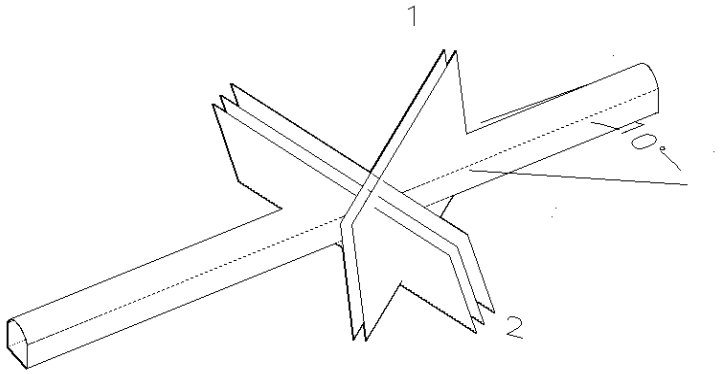
## 5. Aprendizaje estratégico crítico

5.1.- Considerando los parámetros de la roca intacta del ejercicio (4.2) y loas datos de las discontinuidades del ejercicio (2.1), cuyos datos adicionales se encuentran en la tabla 10 y figura 06, determinar:
a) El parámetro $m_b, \mathrm{s}, \mathrm{a}$ b) Los parámetros de resistencia $\phi'$ , $c'$ c) la resistencia a la tracción $\sigma_{tm}$ d) Realizar el modelamiento numérico para un esfuerzo vertical de 90MPa y un esfuerzo horizontal de 20 MPa además la sección 4x4 metros cuadraos y un factor de excavación 0.5 e) $\sigma_{cm}, E_m$

**Tabla 10**

| PROGRESIVA | Familia de discontinuidades | Condicion de juntas | Presecia de agua freática |
|---|---|---|---|
| 0+50 | 1: 40/78 | Rgosa sin alteración | Seco |
| 0+60 | 1: 80/350 | Muy rugosa con alteración | 5lt/min |

**Figura 6**



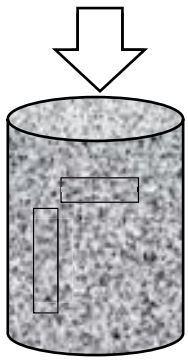

5.2.- Se realiza un ensayo de compresión simple sobre una probeta de roca en la que se ha colocado dos bandas extensiométricas en la que se muestra la lectura en micro deformaciones y carga axial en MPa cuyos valores se registran en la tabla 11 y figura 07, determinar:

a) Dibujar las dos curvas tensión – deformación del ensayo b) Módulo de Young secante c) Coeficiente de Poisson d) Módulo de Young para 44 y 53 MPa e) Módulo de Young tangente para 50% de la tensión máxima alcanzada.

***Tabla 11***

| $\sigma_1$ | 14 | 20 | 26 | 32 | 38 | 44 | 48 | 51 | 53 | 56 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H1 | -185 | -343 | -501 | -581 | -661 | -741 | -811 | -871 | -921 | -961 |
| V1 | 555 | 852 | 1149 | 1329 | 1509 | 1688 | 1859 | 2019 | 2169 | 2307 |

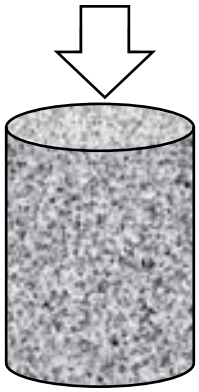
**Figura 7**



5.3.- En un ensayo de comprensión simple la carga de ruptura es de 36 t. El diámetro de la probeta es de 56mm y la relación de esbeltes es 2. El módulo de Young de la roca intacta es de 68GPa y su coeficiente de Poisson es de 0.28. Se pide, determinar:

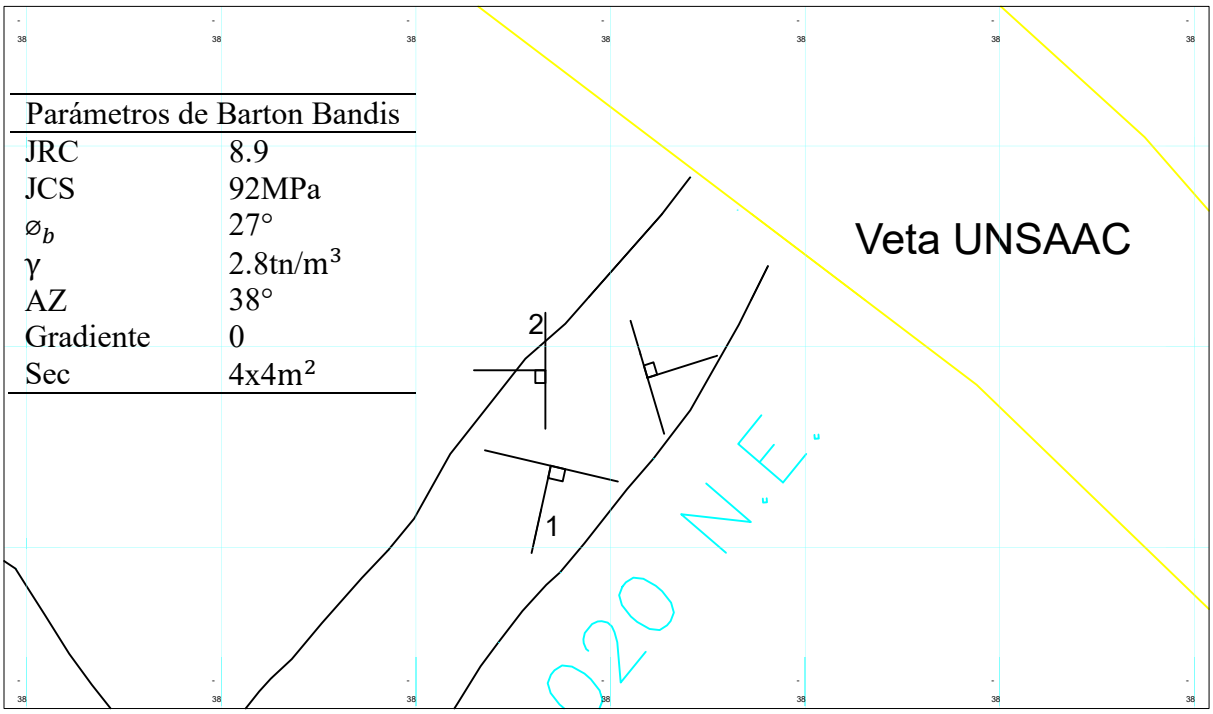
a) Tensión de rotura b) Desplazamiento axial para 14t c) Desplazamiento radia para 14t d) Gráfico de lo descrito e) Explica que es la relación de esbeltes.

**Figura 8**



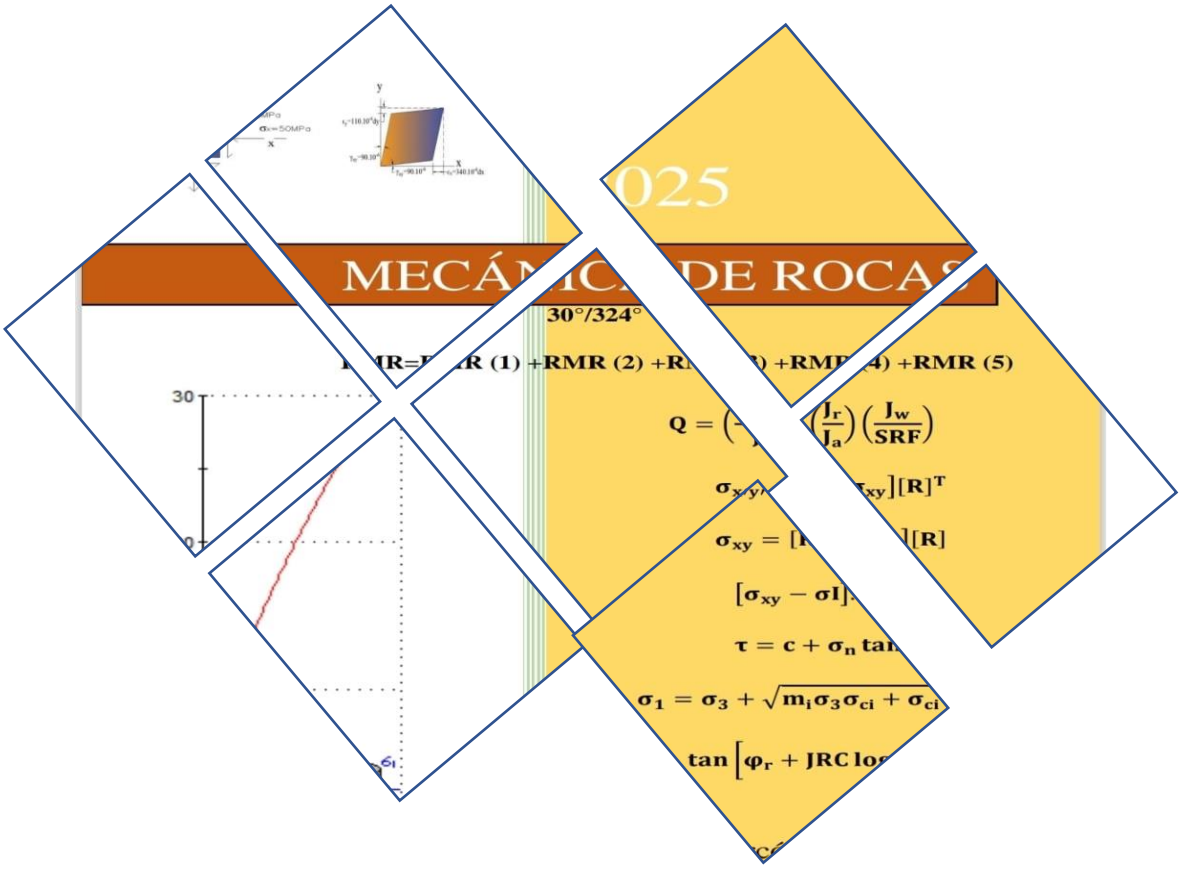
5.4.- Realizar un informe técnico a partir del siguiente plano que se presenta en la figura 09, usando la terminología más adecuada de una labor minera en la cual se realizó un trabajo de ingeniería teniendo como resultado los siguientes valores, determinar:
a) Tonelaje de cuñas en el techo b) Factores de seguridad de cada cuña c) Cuantas cuñas deben ser sostenidas de inmediato d) Tonelaje de la cuña más crítica e) se debe sostener o desatar la cuña crítica.

**Figura 9**



ANEXO 5: INSTRUMENTO DE INVESTIGACION 2

# PERCEPCION DE LA GUÍA METODOLÓGICA DE MECÁNICA DE ROCAS




CUSCO-PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL DEL CUSCO**
**PERCEPCIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA DEL ÁREA DE MECÁNICA DE ROCAS**

**APELLIDOS Y NOMBRES :……**
**FECHA: ……. /……/2025**

1. **Contenido:**

1.1.- El contenido refleja información actualizada, pertinente y alineada con los avances de la mecánica de rocas:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

1.2.- Aborda todos los temas necesarios con el nivel apropiado de profundidad:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

2. **Estructura:**

2.1.- La guía presenta una secuencia clara, coherente y fácil de seguir:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

2.2.- Emplea adecuadamente elementos visuales que facilitan la comprensión:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

3. **Metodología:**

3.1.- Las actividades están ordenadas progresivamente y permiten desarrollar competencias:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

3.2.- Emplea métodos didácticos pertinentes para el aprendizaje de la mecánica de rocas:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

4. **Recursos:**

4.1.- Los materiales incluidos en la guía están disponibles para los usuarios y pueden ser consultados o utilizados sin dificultades técnicas o de acceso:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

4.2.- Los materiales incluidos en la guía presentan calidad técnica y académica adecuada, y se encuentran actualizados en relación con los avances del área:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

**5. Flexibilidad:**

5.1.- La guía permite ajustes según necesidades del entorno o estudiantes:
a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

5.2.- Facilita modificaciones para contextos específicos:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

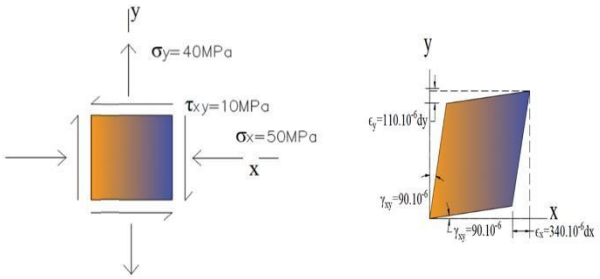
**6. Evaluación:**

6.1.- Los criterios son claros, medibles y coherentes con los objetivos:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo

6.2.- Aplica diferentes formas de evaluación y con la periodicidad adecuada:

a) Insuficiente b) Limitado c) Aceptable d) Satisfactorio e) Óptimo



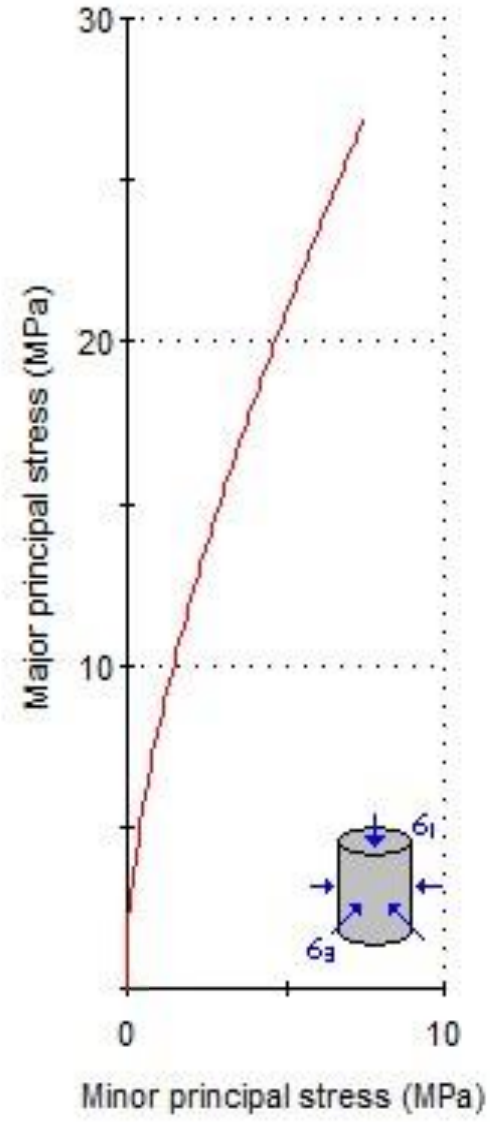

ANEXO 6

2025

# GUÍA DE MECÁNICA DE ROCAS

**30°/324°**

**RMR=RMR (1) +RMR (2) +RMR (3) +RMR (4) +RMR (5)**




$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right)$$

$$\sigma_{x'y'} = [R][\sigma_{xy}][R]^T$$

$$\sigma_{xy} = [R]^T[\sigma_{x'y'}][R]$$

$$[\sigma_{xy} - \sigma I].\vec{V} = \vec{0}$$

$$\tau = c + \sigma_n \tan\varphi$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_3 \sigma_{ci} + \sigma_{ci}^2 s}$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + JRC \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)\right]$$

Ing. Roy Alarcón Guillén

17-10-2025

# ÍNDICE

I. ASPECTOS GENERALES ..... 11

1.1. Representación de planos ..... 11

1.1.1. Ejercicios de representación de planos ..... 13

1.1.2. Ejercicios de palicaión de representación de planos ..... 14

1.2. Red estereográfica ..... 15

1.2.1. Ejercicios de la representacion estereográfica de planos ..... 16

1.2.2. Ejercicio de aplicación estereográma de panos ..... 17

1.3. Uso de software dips ..... 17

1.3.1. Ejercicio del uso de software dips ..... 18

1.3.2. Ejercicio de aplicación del uso del software dips ..... 20

1.4. Uso del software unwedwe ..... 21

1.4.1. Ejercicios del uso del software unwedge ..... 23

1.4.2. Ejercicio de aplicascion de uso de softwar unwedge ..... 26

1.5. Actividad 1 ..... 29

II. CLASIFICACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS ..... 30

2.1. RMR (Rock Mass Rating) ..... 30

2.1.1. Ejemplo de determinacion de rmr ..... 36

2.1.2. Ejemplo de palicacion de la determinacion del rmr ..... 43

2.2. Q (Tunnelling Quality Idex) ..... 46

2.2.1. Ejemplo de determinación de q ..... 54

2.2.2. Ejemplo de aplicación de la determinación de q ..... 57

2.3. GSI (Geological Strength Index) ..... 58

2.3.1. Ejemplo del uso de la cartilla gsi ..... 63

2.3.2. Ejemplo de aplicación de la cartilla gsi ..... 63

2.4. Actividad 2 ..... 64

III. ESTADOS TENSIONALES ..... 67

3.1. Estados tencionales en 2d ..... 67

3.1.1. Ejemplo de aplicación del cambio de base de un tensor ..... 68

3.1.2. Ejemplo de aplicación del cambio de base de un tensor ..... 69

3.1.3. Ejemplo de determinación de los esfuerzos principales 2d ..... 71

3.1.4. Esfuerzos principales en 2d ..... 74

3.2. Actividad 3 ..... 74

3.3. Tensor de deformaciones en 2d ..... 75

3.3.1. Ejercicio de cambio de base del tensor de deformaiones ..... 76

3.3.2. Ejercicio de cambio de base del tensor de deformaciones ..... 79

3.4. Actividad 4 ..... 80

IV. PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ROCAS ..... 81

4.1. Determinación de las propiedades elásticas de la roca ..... 81

4.2. Ejercicio de aplicación propiedades elasticas de las rocas ..... 83

4.3. Determinación del desplazamientos axiales y radiales ..... 84

4.4. Ejercicio de aplicación de dezplazamiento axial y radial ..... 85

4.5. Actividad 5 ..... 86

V. RESISTENCIA MECANICA DE LAS ROCAS ..... 86

5.1. Resistencia mecanica de la roca intacta ..... 87

5.1.1. Criterio lineal de fallamiento mohr coulumb ..... 87

5.1.2. Envolvente de hoek y brown de la roca intacta ..... 91

5.2. Resistencia mecanica del maciso rocoso ..... 97

5.2.1. Parámetros de la masa rocosa ..... 97

5.2.2. Determinación de los parámetros de la masa rocosa ..... 100

5.3. Actividad 6 ..... 100

VI. RESISTENCIA MECÁNICA DE DISCONTINUIDADES ..... 101

6.1. Barton Bandis ..... 101

6.1.1. Ejercicio de la envolvente de barton bandis ..... 102

6.1.2. Envolvente de baron bandis ..... 109

6.2. Actividad 7 ..... 110

# TABLAS DE LA GUÍA

Tabla guía 1 Notación de orientación de planos ..... 12

Tabla guía 2 Resultado del caso práctico de orientación ..... 13

Tabla guía 3 Data de orientación de planos ..... 14

Tabla guía 4 Data estructural ..... 16

Tabla guía 5 Data de representación estereográfica ..... 17

Tabla guía 6 Data estructural para el uso del software DIPS ..... 19

Tabla guía 7 Data estructural para trabajar en el software DIPS ..... 21

Tabla guía 8 Data para modelar las cuñas y su sostenimiento ..... 27

Tabla guía 9 Parámetros de la clasificación RMR ..... 31

Tabla guía 10 Parámetro RMR (6) ..... 33

Tabla guía 11 Corrección por orientación ..... 33

Tabla guía 12 Tipo de roca según RMR ..... 34

Tabla guía 13 Parámetros resistentes según RMR ..... 34

Tabla guía 14 Mapeo estructural para la determinación del RMR ..... 36

Tabla guía 15 Ensayos de carga puntual para la tabla 14 ..... 37

Tabla guía 16 Resultados de la tabla 15 ..... 39

Tabla guía 17 Resultados de la tabla 21 ..... 40

Tabla guía 18 Valoración de las discontinuidades de la tabla 14 ..... 40

Tabla guía 19 Ensayo de carga puntual para el ejemplo aplicativo ..... 43

Tabla guía 20 Mapeo estructural para el ejemplo aplicativo ..... 43

Tabla guía 21 UCS del ejemplo aplicativo ..... 45

Tabla guía 22 Espaciamiento de discontinuidades del ejemplo aplicativo ..... 45

Tabla guía 23 Condiciones de discontinuidad del ejemplo aplicativo ..... 45

Tabla guía 24 Parámetros del sistema Q ..... 47

Tabla guía 25 Tabla de aplicación de la determinación de Q ..... 58

Tabla guía 26 Cartilla GSI ..... 60

Tabla guía 27 Sostenimiento de labores permanentes ..... 61

Tabla guía 28 Sostenimiento de labores temporales ..... 61

Tabla guía 29 Descripción del sostenimiento ..... 62

Tabla guía 30 Ensayos de carga puntual de la actividad 2 ..... 64

Tabla guía 31 Mapeo estructural de la actividad 2 ..... 65

Tabla guía 32 Data de las cintas extensiométricas ..... 81

Tabla guía 33 Data extensiométrica del ejercicio de aplicación ..... 83

Tabla guía 34 Ensayo triaxial par la envolvente de Mohr ..... 88

Tabla guía 35 Ensayo triaxial para determinar la envolvente de Mohr ..... 91

Tabla guía 36 Data triaxial para la envolvente de Hoeck y Brown ..... 92

Tabla guía 37 Data triaxial para determinar parámetros de H-B ..... 97

Tabla guía 38 Data triaxial para la actividad 6 ..... 101

Tabla guía 39 Levantamiento geomecánico de talud ..... 106

Tabla guía 40 Levantamiento geomecánico para aplicación ..... 110

# FIGURAS DE LA GUÍA

Figura guía 1 Representación gráfica del rumbo y el buzamiento ..... 11

Figura guía 2 Caso práctico de orientación ..... 13

Figura guía 3 Ejemplo de orientación de planos ..... 14

Figura guía 4 Red Schmid ..... 15

Figura guía 5 Red Wulf ..... 15

Figura guía 6 Proyección estereográfica del plano A y B ..... 16

Figura guía 7 Estereograma del plano A y B ..... 17

Figura guía 8 Gráfico proporcionado por el software DIPS ..... 18

Figura guía 9 Interpretación Gráfica de la data estructural de la tabla 6 ..... 20

Figura guía 10 Modelado de cuñas con UNWEDGE ..... 22

Figura guía 11 Modelado del soporte de la cuña ..... 22

Figura guía 12 Convergencia de polos de la tabla 6 ..... 23

Figura guía 13 Data del software DIPS de la figura 12 ..... 24

Figura guía 14 Data de convergencia y rumbo de galeria ..... 24

Figura guía 15 Cuña formada de la data de la figura 14 ..... 25

Figura guía 16 Modelado del sostenimiento de la cuña del a figura 14 ..... 26

Figura guía 17 Data de la cuña de la tabla 8 y el azimut de la galería ..... 27

Figura guía 18 Grafica las cuñas probables y sus pesos ..... 28

Figura guía 19 Grafica el sostenimiento con las características indicadas ..... 28

Figura guía 20 Plano del mapeo estructural ..... 29

Figura guía 21 Espaciamiento de discontinuidades de la tabla 14 ..... 37

Figura guía 22 Corrección por orientación F1 y F2 ..... 42

Figura guía 23 Espaciamiento de discontinuidades para el ejemplo ..... 44

Figura guía 24 Corrección de F1y F2 del ejercicio de aplicación ..... 46

Figura guía 25 Condición de masa rocosa ..... 63

Figura guía 26 Condiciones de la masa rocosa de la tabla 29 ..... 64

Figura guía 27 Histograma de discontinuidades de la actividad 2 ..... 65
Figura guía 28 Representación gráfica y matemática de un tensor 2D ..... 67
Figura guía 29 Tensor del ejemplo de aplicación ..... 68
Figura guía 30 Tensor resultado de la figura 29 ..... 69
Figura guía 31 Estado tensional del ejemplo de aplicación ..... 70
Figura guía 32 Resultado del estado tensional del ejemplo de aplicación ..... 70
Figura guía 33 Tensor del ejemplo de determinación de los esfuerzos principales ..... 71
Figura guía 34 Cortante máxima del tensor de esfuerzos de la figura 33 ..... 73
Figura guía 35 Estado tensional, esfuerzos principales y cortante máxima del ejemplo de aplicación ..... 74
Figura guía 36 Tensor de esfuerzos en 3D ..... 75
Figura guía 37 Tensor normal y corregido de deformaciones ..... 76
Figura guía 38 Tensor de deformaciones rotado ..... 77
Figura guía 39 Tensor de deformaciones rotado y corregido ..... 77
Figura guía 40 Tensor de deformaciones principales ..... 79
Figura guía 41 Tensor de deformaciones del ejercicio de aplicación ..... 79
Figura guía 42 Tensor de deformaciones en 3D ..... 80
Figura guía 43 Curva tensión - deformación ..... 81
Figura guía 44 Envolvente Máxima de Mohr ..... 88
Figura guía 45 Parámetros de Mohr con RocData ..... 90
Figura guía 46 Regresión lineal de data triaxial ..... 93
Figura guía 47 Parámetros de Hoeck y Brown con RocData ..... 94
Figura guía 48 Parámetros de H-B y M-C con RocData ..... 100
Figura guía 49 Cortante versus desplazamiento ..... 105
Figura guía 50 Envolvente de Barton Bandis con RocData ..... 106
Figura guía 51 Data de talud ..... 107

# ECUACIONES DE LA GUÍA

Ecuación guía 1 Índice de carga puntual ..... 38

Ecuación guía 2 UCS a partir de la carga puntual ..... 38

Ecuación guía 3 RMR básico ..... 42

Ecuación guía 4 RMR corregido por orientación ..... 42

Ecuación guía 5 Sistema de clasificación Q ..... 46

Ecuación guía 6 Esfuerzo vertical insitu ..... 55

Ecuación guía 7 RMR en función de Q ..... 56

Ecuación guía 8 Q en función del RMR ..... 57

Ecuación guía 9 Relación del RMR (89) y el GSI ..... 59

Ecuación guía 10 Ecuación de cambio de base de tensor de esfuerzos ..... 68

Ecuación guía 11 Ecuación general del cambio de base de un tensor en 2D ..... 70

Ecuación guía 12 Ecuación de autovalores, autovectores e invariantes ..... 71

Ecuación guía 13 Módulo de Young ..... 82

Ecuación guía 14 Coeficiente de Poisson ..... 82

Ecuación guía 15 Fuerza de ruptura ..... 84

Ecuación guía 16 Tensión de ruptura ..... 84

Ecuación guía 17 Deformación axial ..... 84

Ecuación guía 18 Deformación radial ..... 85

Ecuación guía 19 Envolvente de Mohr Coulumb ..... 87

Ecuación guía 20 Mohr Coulumb en función del esfuerzo axial y el confinado ..... 89

Ecuación guía 21 Envolvente de Hoeck y Brown ..... 92

Ecuación guía 22 Ecuación de Balmer ..... 96

Ecuación guía 23 Parámetros de H-B de la masa rocosa ..... 98

Ecuación guía 24 Envolvente de Barton Bandis ..... 101

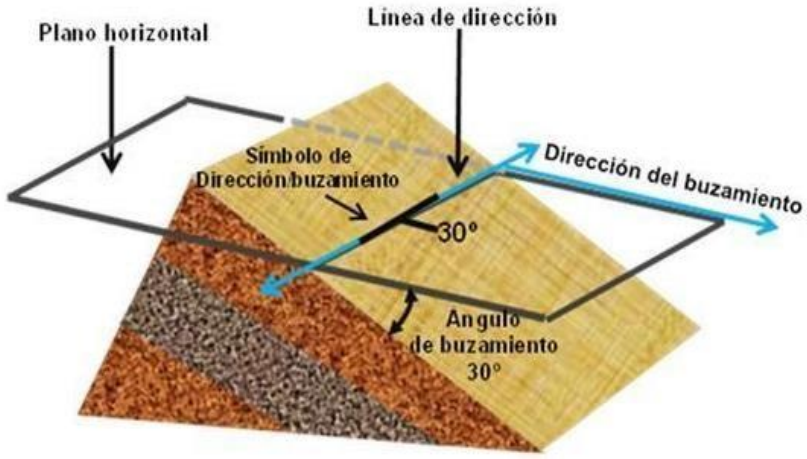
Ecuación guía 25 Formulas de escalamiento de Barton Bandis..... 104

# I. ASPECTOS GENERALES

## 1.1. REPRESENTACIÓN DE PLANOS

La orientación de estructuras geológicas se realiza gracias a la dirección de buzamiento y el buzamiento de las estructuras geológicas, estos términos son de mucha importancia ya que a lo largo del curso es muy importante tener un control estructural para analizar la estabilidad de los macizos rocosos. A continuación, pasaremos a explicar gráficamente las distintas notaciones usadas para representar planos.

Figura guía 1
Representación gráfica del rumbo y el buzamiento



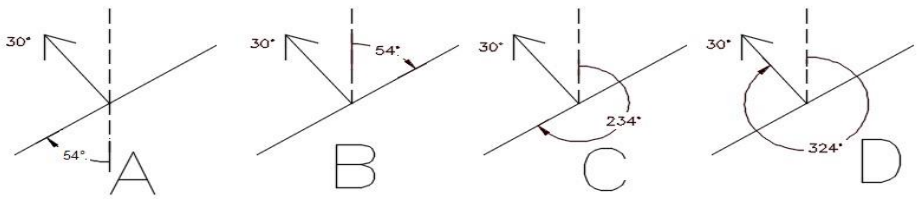

Para poder representar un plano podemos realizar cuatro formas de notación las cuales son cuadrante, azimut cuadrante, azimut mano derecha y finalmente buzamiento y dirección de buzamiento las cuales pasaremos a representar gráficamente a continuación, es importante tener en cuenta estas consideraciones ya que cuando un estudiante se enfrenta a diversas fuentes bibliográficas se usan indistintamente, por ejemplo al usar recursos informáticos suele usarse más la última (DIP/DIP DIRECTION) que son palabra sen ingles que significa buzamiento y dirección de buzamiento lo cual está ampliamente expandido cuando se trabaja con software, sin embargo es importante tener en

cuenta que en textos académicos no siempre se usa esta notación por eso en esta guía académica se detalla y se muestra las ventajas y usos de las notaciones para orientar planos en el espacio desde el punto de vista de la geología estructural.

A continuación, pasaremos a realizar la representación en cuatro notaciones distintas las cuales nos ayudaran a tener más claro el panorama a la hora de enfrentarnos a situaciones prácticas. En la figura 2 realizamos la representación gráfica y en la tabla 1 su interpretación.

Figura guía

Orientación de planos




Como podemos apreciar en la figura 2 tenemos cuatro formas de representar un plano las cuales detallamos en la tabla 1, es muy importante considerar estas notaciones a la hora de realizar una revisión bibliográfica o usar herramientas tecnológicas.

Tabla guía 1

Notación de orientación de planos

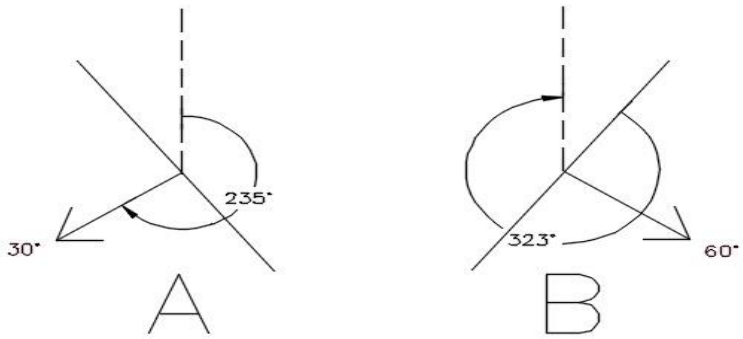
| | NOTACION | DATOS UTILIZADOS |
|---|---|---|
| Cuadrante (A) | S54°W/30°NW | Rumbo y buzamiento |
| Azimut cuadrante (B) | 54°/30°NW | Azimut y buzamiento |
| Azimut mano derecha (C) | 234°/30° | Azimut y buzamiento |
| Dip/Dip Direction (D) | 30°/324° | Buzamiento y dirección |

Como podemos apreciar existen cuatro formas de poder representar la orientación de planos desde el punto de vista de la geología estructural, sin embargo, la más utilizada es la de buzamiento y dirección de buzamiento que en inglés es (Dip/Dip Direction). En necesario conocer estas definiciones ya que el uso de software implica el conocimiento de estas definiciones, la notación de (Dip/Dip Direction) es muy importante ya que solamente lleva valores numéricos y facilita su interpretación.

### *1.1.1. EJERCICIOS DE REPRESENTACIÓN DE PLANOS*

A continuación, se presenta dos casos distintos dónde se pide representar de las cuatro formas estudiadas cada uno de los dos planos de la figura 2.

Figura guía 2
Caso práctico de orientación




Para poder dar solución a estos ejercicios usaremos lo aprendido en la tabla nuero 1 dónde se detalla las cuatro notaciones más usuales en la representación de planos estructurales.

Tabla guía 2
Resultado del caso práctico de orientación

| | PLANO A | PLANO B |
|---|---|---|
| Cuadrante | N35°W/30°SW | N37°E/60°SE |
| Azimut cuadrante | 325°/30°NW | 217°/60°SE |

| | | |
|---|---|---|
| Azimut mano derecha | 145°/30° | 37°/60° |
| Dip/Dip Direction | 30°/325° | 60°/127° |

### *1.1.2. EJERCICIOS DE PALICAIÓN DE REPRESENTACIÓN DE PLANOS*

De acuerdo a lo estudiado y considerando la figura 2 y la tabla 1 se pide determinar las cuatro notaciones para los siguientes casos plano A y B de la figura 4 y rellenar la tabla 4 que se presentan a continuación.

Figura guía 3
Ejemplo de orientación de planos

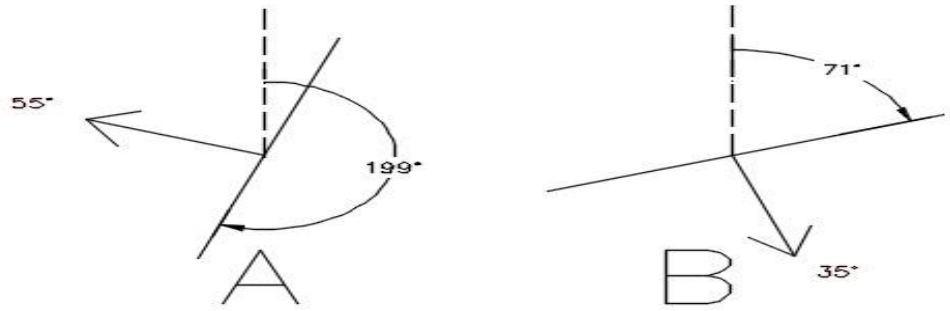



Tabla guía 3
Data de orientación de planos

| | PLANO A | PLANO B |
|---|---|---|
| Cuadrante | | |
| Azimut cuadrante | | |
| Azimut mano derecha | | |
| Dip/Dip Direction | | |

## 1.2. RED ESTEREOGRÁFICA

Es la representación en dos dimensiones, una esfera en la que es posible ubicar estructuras planas como vetas, fallas, diaclasas, etc.

Es importante tener en cuenta las notaciones de las orientaciones de los planos para poder realizar su proyección estereográfica, en la realidad existen dos tipos de proyecciones estereográficas:

- ✓ Equiangular: Ángulos correctos, distancias falsas. Red de WULFF
- ✓ Equidistancia: Distancia correcta, ángulos falsos. Red de SCHMIDT

Cada una de estas redes tiene su propia aplicación en la orientación de planos usaremos la de WULFF

Figura guía 4
Red Schmid

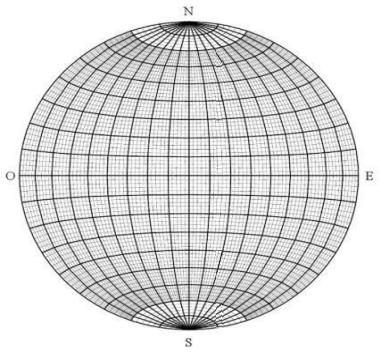
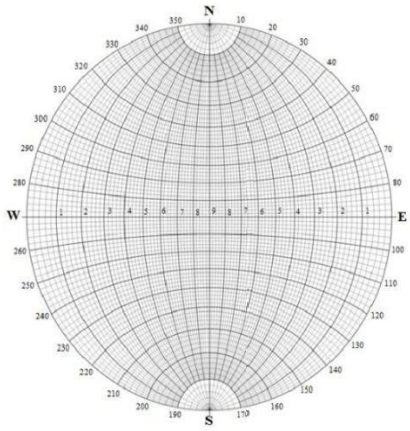



Figura guía 5
Red Wulf



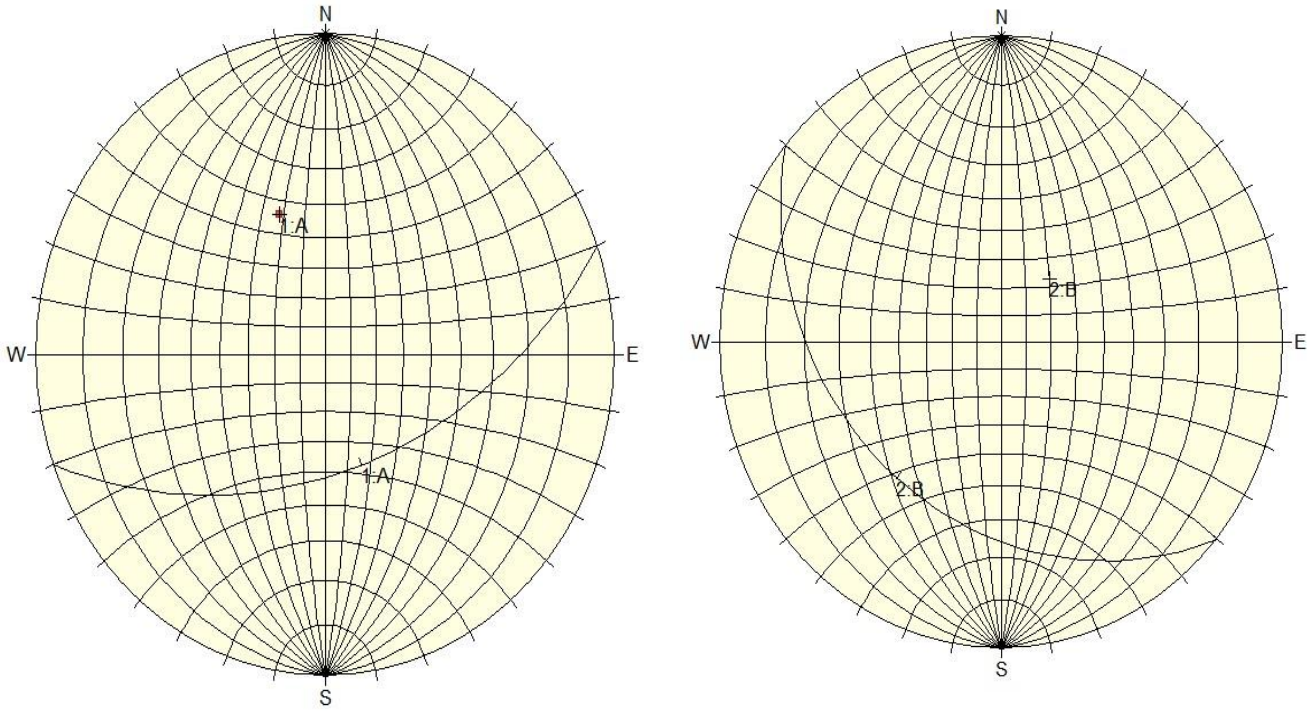
### *1.2.1. EJERCICIOS DE LA REPRESENTACION ESTEREOGRÁFICA DE PLANOS*

Ahora utilizando la red de Wulff realizaremos la representación gráfica de los planos A y B cuya data se encuentra en la tabla 4 y cuya representación estereográfica esta graficada en las figuras 7 y 8 respectivamente.

Tabla guía 4
Data estructural

| | PLANO A | PLANO B |
|---|---|---|
| Dip/Dip Direction | 50°/160° | 30°/220° |

Figura guía 6
Proyección estereográfica del plano A y B



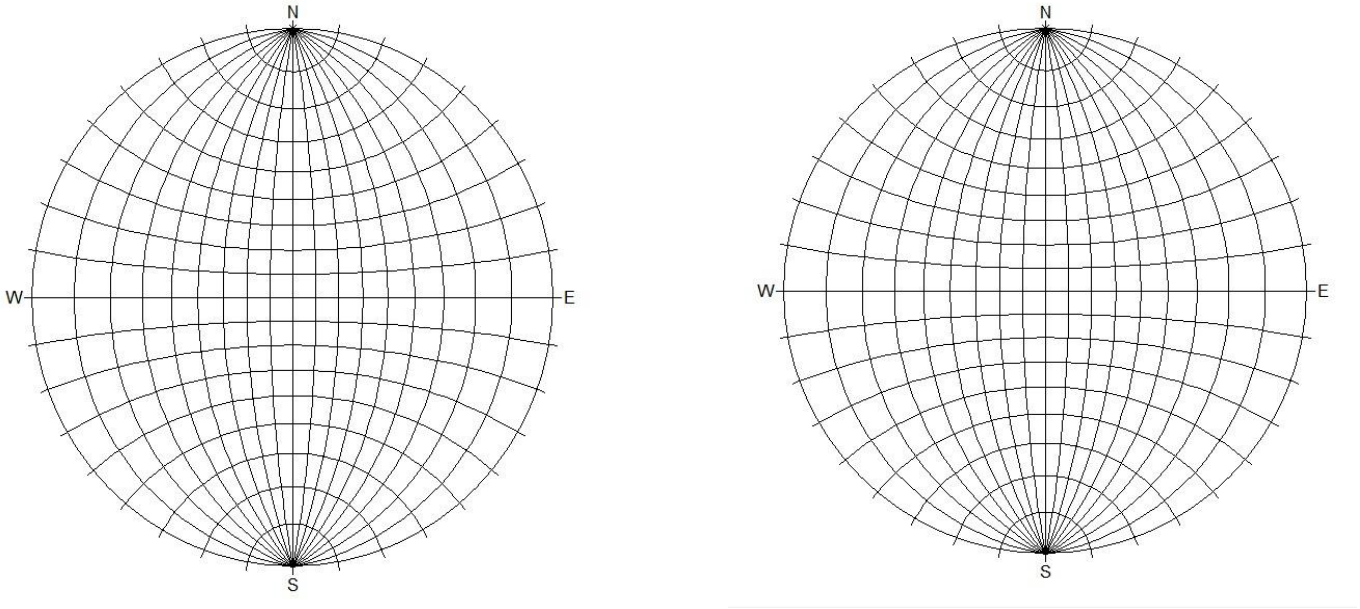
### *1.2.2. EJERCICIO DE APLICACIÓN ESTEREOGRÁMA DE PANOS*

Usando la red de Wulff realizar la proyección estereográfica de los planos cuya data estructural esta dado en la tabla 5 y cuya representación deberá realizarlo en las figuras 9 y 10 respectivamente.

Tabla guía 5
Data de representación estereográfica

| | PLANO A | PLANO B |
|---|---|---|
| Dip/Dip Direction | 25°/230° | 35°/130° |

Figura guía 7
Estereograma del plano A y B

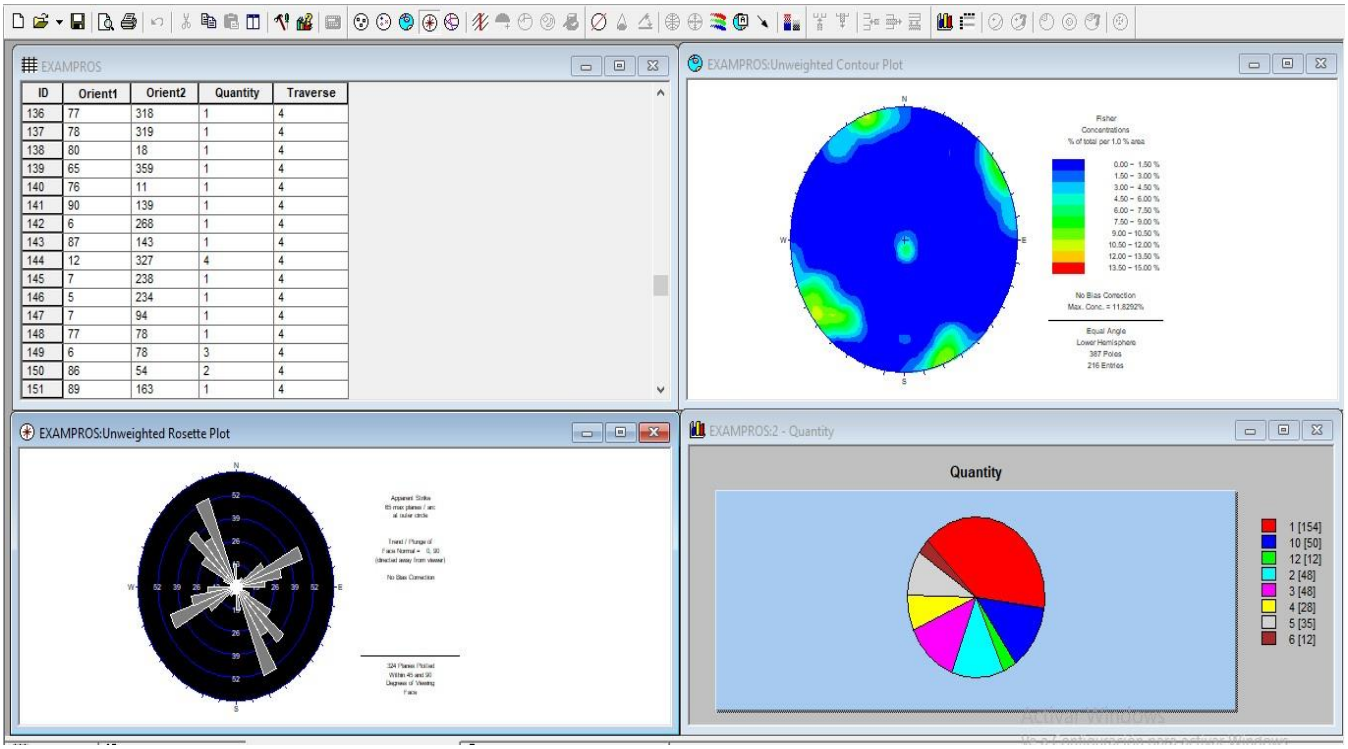



## 1.3. USO DE SOFTWARE DIPS

A continuación, pararemos a ver la herramienta más usada en la representación de estructuras geológicas como es el software DIPS, la ventaja de usar este software es que podemos trabajar con volúmenes grandes de información y que además permite tener gráficos adicionales para mejor comprensión, la utilidad de este software es que soporta gran cantidad de data, grafica concentración

de polos, tendencia de direcciones de buzamiento y también facilita a la extracción de gráficos estadísticos a partir de la data cargada lo cual presentamos en la figura 11. y esto no queda acá también nos permite realizar análisis de cuñas usando la convergencia de los datos estructurales los que describiremos, se tiene el levantamiento estructural de la en cierta progresiva de una galería principal en la interior mina para lo cual se pide realizar los gráficos en proyección e indicar si se forma cuñas y cuál es el tonelaje de dichas cuñas.

Figura guía 8
Gráfico proporcionado por el software DIPS




| ID | Orient1 | Orient2 | Quantity | Traverse |
|---|---|---|---|---|
| 136 | 77 | 318 | 1 | 4 |
| 137 | 78 | 319 | 1 | 4 |
| 138 | 80 | 18 | 1 | 4 |
| 139 | 65 | 359 | 1 | 4 |
| 140 | 76 | 11 | 1 | 4 |
| 141 | 90 | 139 | 1 | 4 |
| 142 | 6 | 268 | 1 | 4 |
| 143 | 87 | 143 | 1 | 4 |
| 144 | 12 | 327 | 4 | 4 |
| 145 | 7 | 238 | 1 | 4 |
| 146 | 5 | 234 | 1 | 4 |
| 147 | 7 | 94 | 1 | 4 |
| 148 | 77 | 78 | 1 | 4 |
| 149 | 6 | 78 | 3 | 4 |
| 150 | 86 | 54 | 2 | 4 |
| 151 | 89 | 163 | 1 | 4 |

### *1.3.1. EJERCICIO DEL USO DE SOFTWARE DIPS*

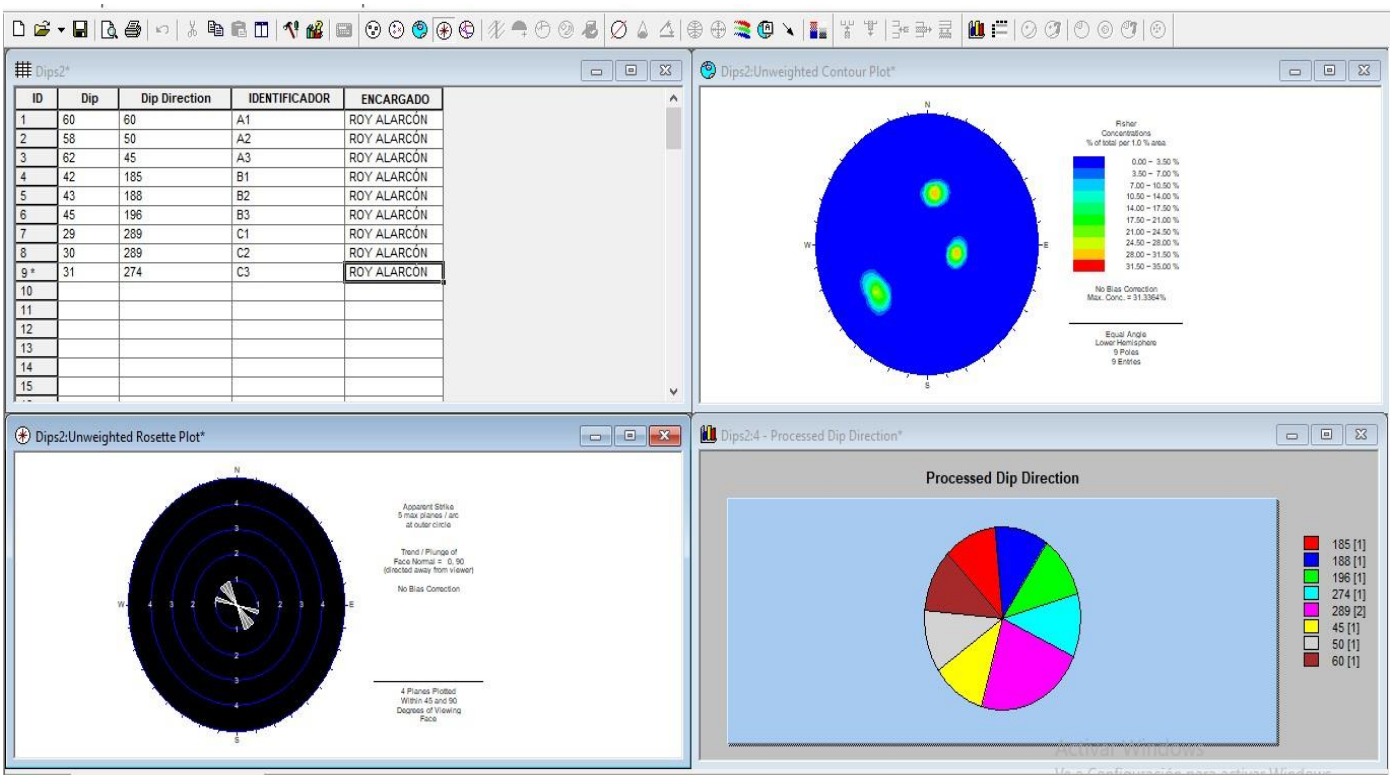
Se tiene el levantamiento estructural de interior mina de la RC12 del nivel 2670 de la unidad minera Santa María de la compañía minera PODEROSA, usar el software DIPS y realizar los 4 tipos de graficas que se presenta en la figura 11, si la data estructural se presenta en la tabla 6.

Tabla guía 6
Data estructural para el uso del software DIPS

| ID | DIP/DIP DIRECTION | LABEL |
|---|---|---|
| 1 | 60/60 | A1 |
| 2 | 58/50 | A2 |
| 3 | 62/45 | A3 |
| 4 | 42/185 | B1 |
| 5 | 43/188 | B2 |
| 6 | 45/196 | B3 |
| 7 | 29/289 | C1 |
| 8 | 30/396 | C2 |
| 8 | 31/274 | C3 |

Utilizaremos el software DIPS para poder realizar el análisis estereográfico de dicha data levantada en el campo, en primer lugar, cargamos la data, en seguida generamos los siguientes gráficos para realizar la interpretación respectiva. La interpretación de la concentración de polos es muy importante para tomar decisiones en las operaciones mina ya que permite asegurar que no se encuentren cuñas sueltas en las labores donde se realiza la extracción minera.

Figura guía 9
Interpretación Gráfica de la data estructural de la tabla 6




| ID | Dip | Dip Direction | IDENTIFICADOR | ENCARGADO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 60 | 60 | A1 | ROY ALARCÓN |
| 2 | 58 | 50 | A2 | ROY ALARCÓN |
| 3 | 62 | 45 | A3 | ROY ALARCÓN |
| 4 | 42 | 185 | B1 | ROY ALARCÓN |
| 5 | 43 | 188 | B2 | ROY ALARCÓN |
| 6 | 45 | 196 | B3 | ROY ALARCÓN |
| 7 | 29 | 289 | C1 | ROY ALARCÓN |
| 8 | 30 | 289 | C2 | ROY ALARCÓN |
| 9 * | 31 | 274 | C3 | ROY ALARCÓN |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |

### *1.3.2. EJERCICIO DE APLICACIÓN DEL USO DEL SOFTWARE DIPS*

Usando el software DIPS realizar el procesamiento de la siguiente data estructural tomada en el interior de una unidad minera cuya data se encuentra en la tabla 7 y representar los gráficos correspondientes en la imagen 13 similar a lo hecho en la imagen 12.

Tabla guía 7
Data estructural para trabajar en el software DIPS

| ID | DIP/DIP DIRECTION | LABEL |
|---|---|---|
| 1 | 60/60 | A1 |
| 2 | 58/50 | A2 |
| 3 | 62/45 | A3 |
| 4 | 42/185 | B1 |
| 5 | 43/188 | B2 |
| 6 | 45/196 | B3 |
| 7 | 29/289 | C1 |
| 8 | 30/396 | C2 |
| 8 | 31/274 | C3 |

### 1.4. USO DEL SOFTWARE UNWEDWE

Como vimos anteriormente los software a diferencia de los medios convencionales nos permiten tener con mayor rapidez la representación gráfica del levantamiento estructural y de esta manera realizar una análisis más detallado de las estructuras en interior mina, ahora el análisis y el resultado del software DIPS no queda simplemente en el estereograma, una vez analizado la convergencia de polos podemos sacar una data de convergencia de alta probabilidad de convergencia de los polos y realizar el siguiente análisis de la existencia o no de cuñas, de los factores de seguridad y como mejorar el factor de seguridad al colocar un sostenimiento adecuado, este análisis se puede realizar gracias a este software, cuyos gráficos con los siguientes. En primer lugar, podemos ver como

se forma la cuña en la figura 14 y luego como mejora la estabilidad de la cuña al aplicar un sostenimiento con pernos helicoidales en la figura 10.

Figura guía 10
Modelado de cuñas con UNWEDGE

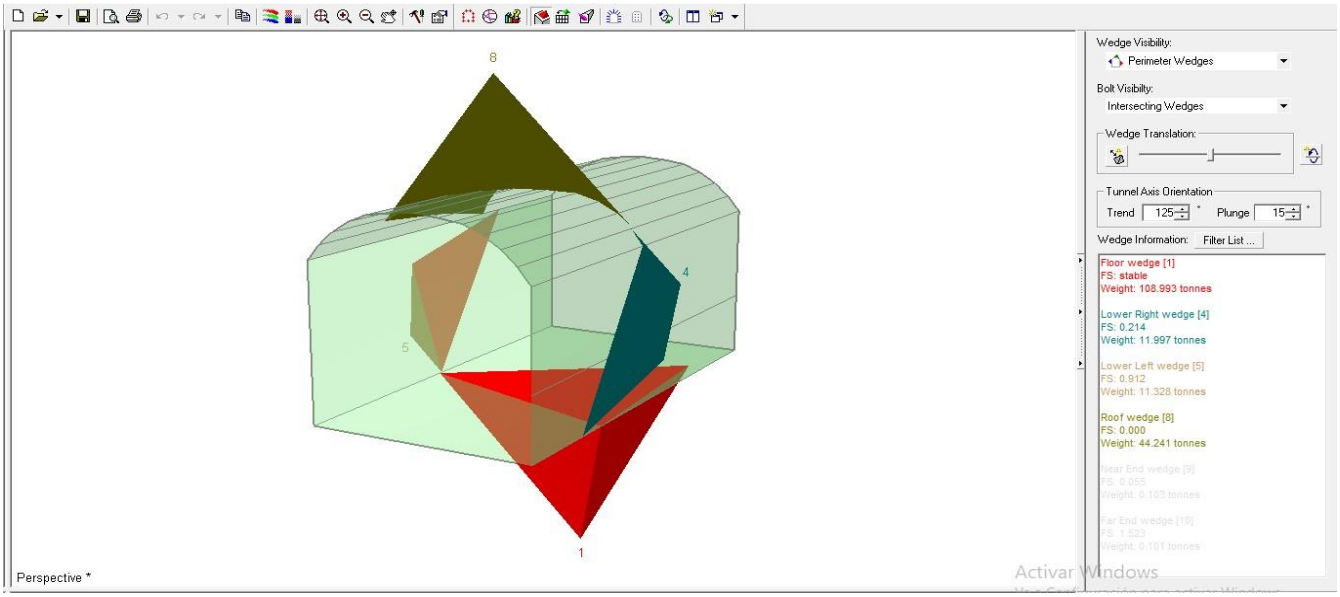
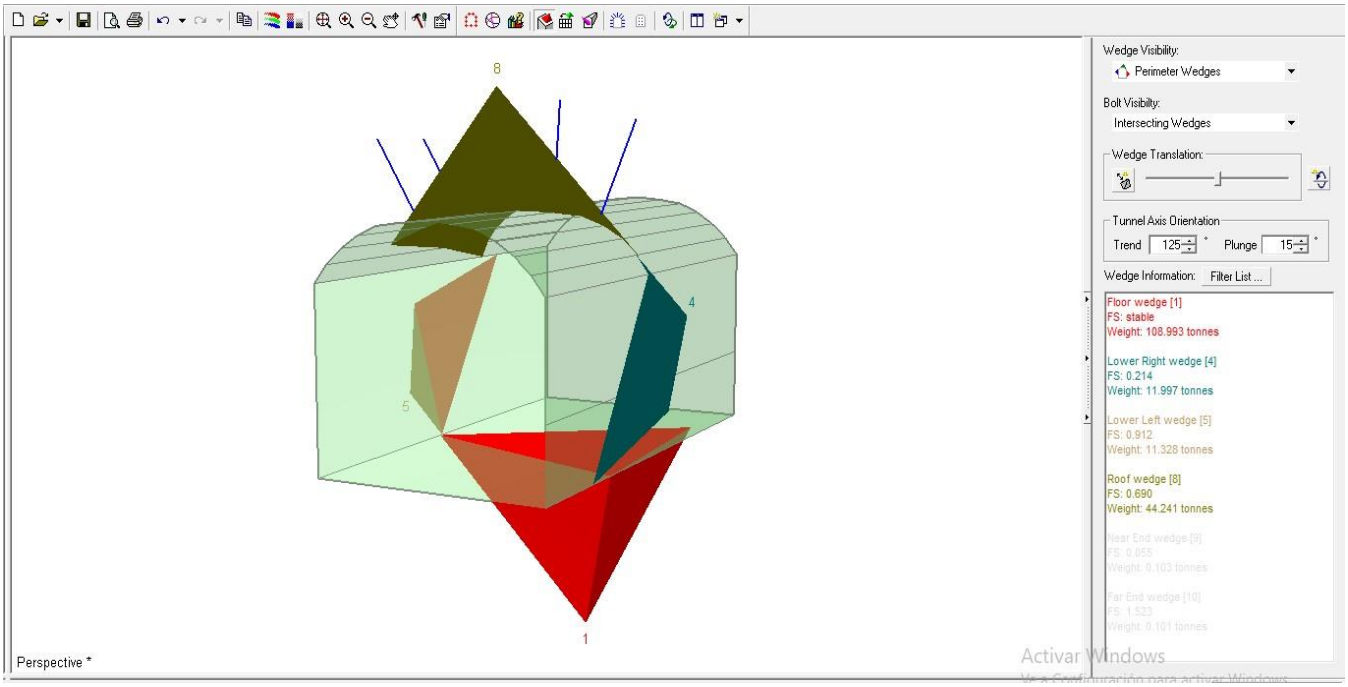



Figura guía 11
Modelado del soporte de la cuña



### *1.4.1. EJERCICIOS DEL USO DEL SOFTWARE UNWEDGE*

La data de la tabla 6 nos permite concluir en los siguiente, luego de realizar el análisis de proyecciones estereográficas podemos notar la tendencia de la formación de tres polos de convergencia lo cual podemos graficar y extraer la data para luego realizar el modelamiento de cuñas, la convergencia de los tres planos y los tres polos podemos visualizarlo en la figura 16, cuya data fue descargada del software DIPS para el respectivo modelado el cual podemos apreciar en la figura 17, cuyo resultado nos servirá para poder modelar las cuñas y realizar el respectivo control para evitar cualquier inconveniente a la hora de realizar la extracción minera.

Sin la ayuda de estas herramientas tecnológicas sería muy tedioso y difícil realizar estos análisis que ayudan a comprender como se comportan las discontinuidades en el interior de las excavaciones subterráneas para evitar todo tipo de peligros y riesgos al momento de trabajar.

Figura guía 12
Convergencia de polos de la tabla 6

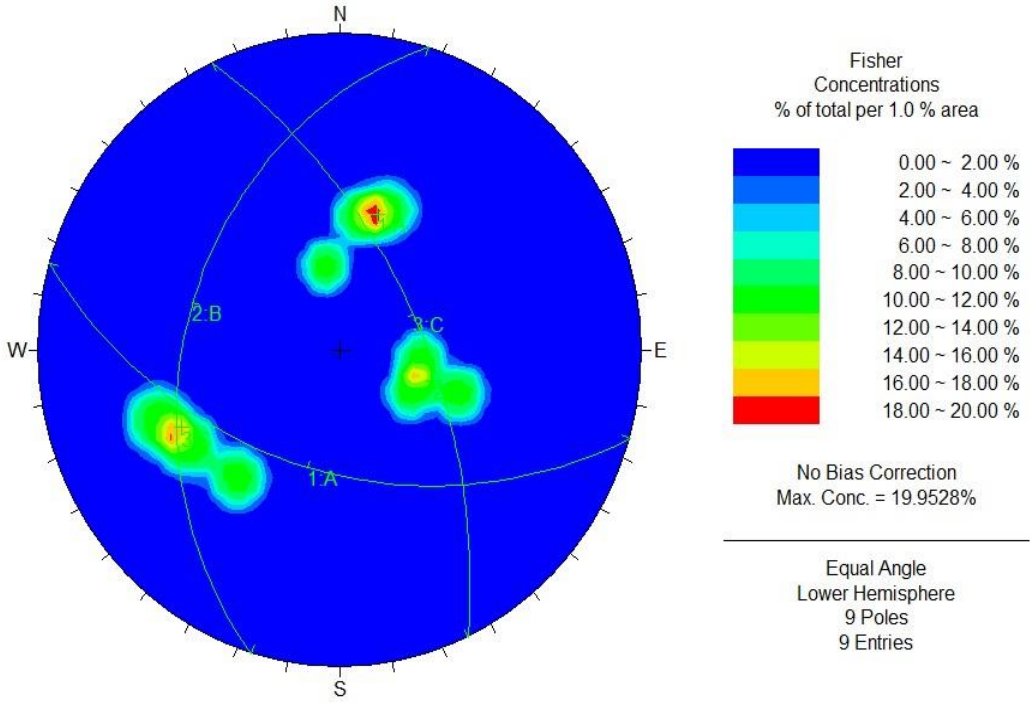


Figura guía 13
Data del software DIPS de la figura 12

***Dips Document Information***

**Document Name:**
Dips1

**Document Title:**

**Document Setup:**
Traverses: 0
Data is DIP/DIPDIRECTION format
Magnetic Declination (E pos): 0 degrees
Multiple Data Flag (Quantity) is OFF
1 Extra Data Columns
9 Poles from 9 Entries

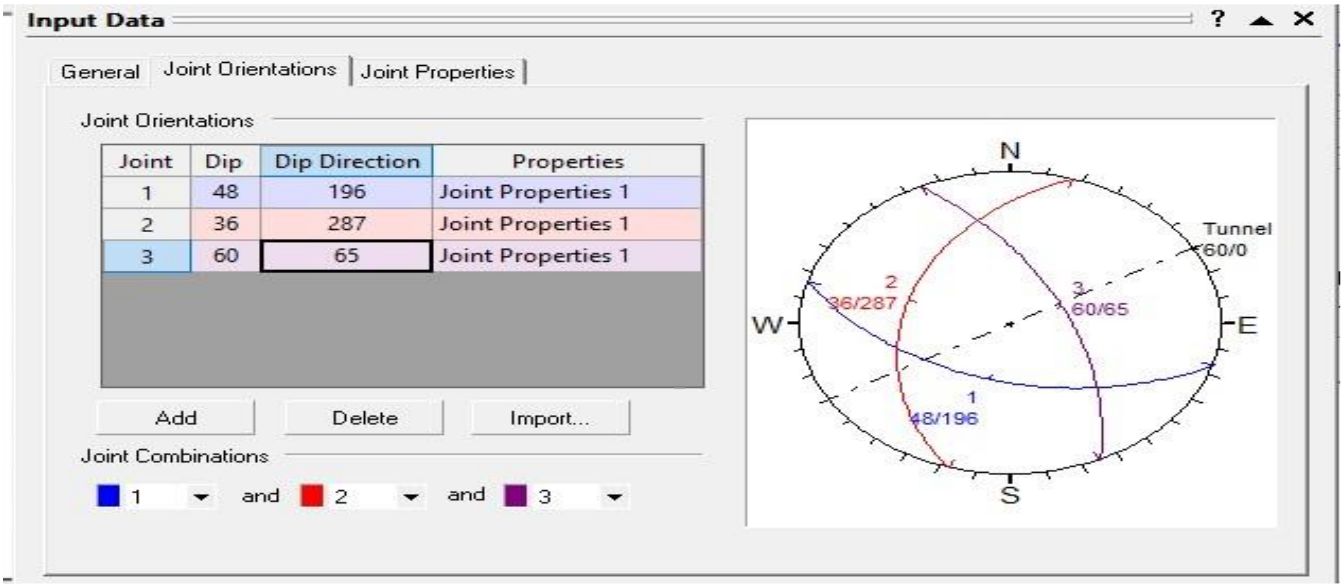
**Global Mean Vector:**
Unweighted TREND/PLUNGE = 273.786/87.8205
Weighted TREND/PLUNGE = 273.786/87.8205
Unweighted DIP/DIPDIRECTION = 2.17949/93.7858
Weighted DIP/DIPDIRECTION = 2.17949/93.7858

**Added Planes (via Add Plane Option):**

| *ID* | *TREND/PLUNGE* | *DIP/DIPDIRECTION* | *LABEL* |
|---|---|---|---|
| 1 | 16/42 | 48/196 | A |
| 2 | 107/54 | 36/287 | B |
| 3 | 245/30 | 60/65 | C |

A partir de las tendencias de estas proyecciones tomamos la data brindada por este software DIPS y pasaremos a modelar las cuñas para una galería que tiene un azimut de 60° como podemos ver en la figurará 14.

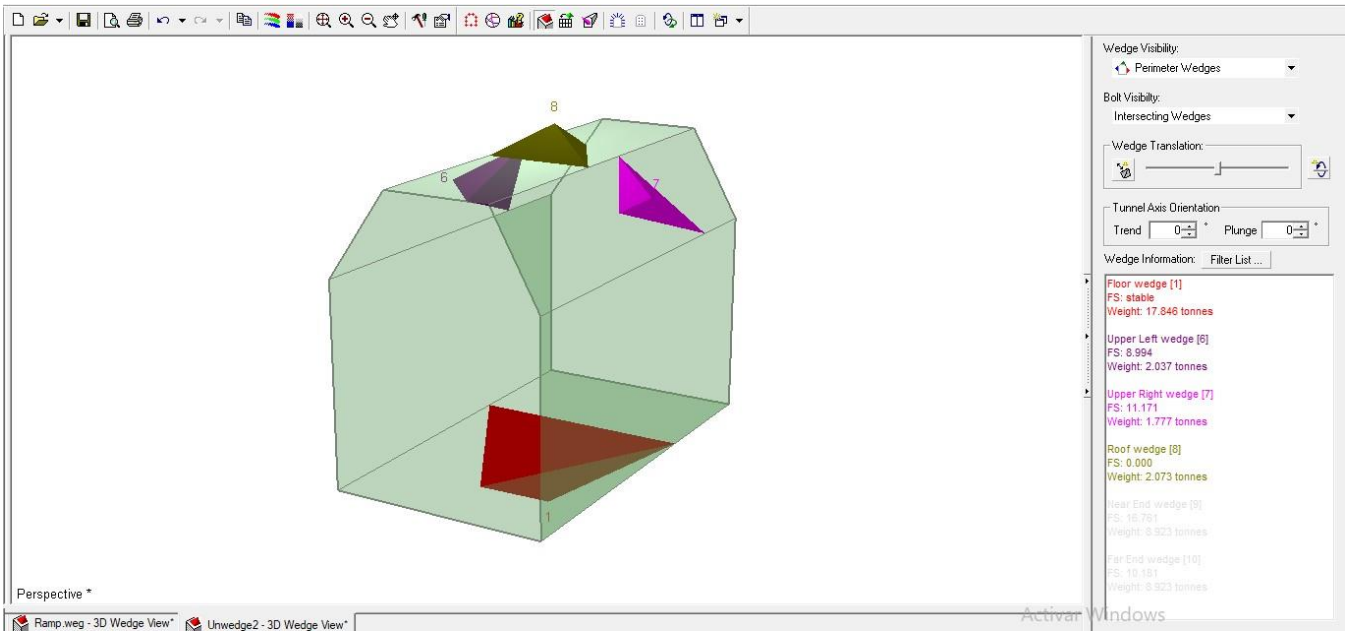
Figura guía 14
Data de convergencia y rumbo de galeria



Como podemos ver a partir del gráfico de concentración de polos obtenemos una posible formación de cuña que pasaremos analizar en el siguiente software considerando que el azimut de la galería es de 60°, y los datos resistencia mecánica lo vamos a dejar por defecto ya que aún nos falta el capítulo concerniente a dichos input.

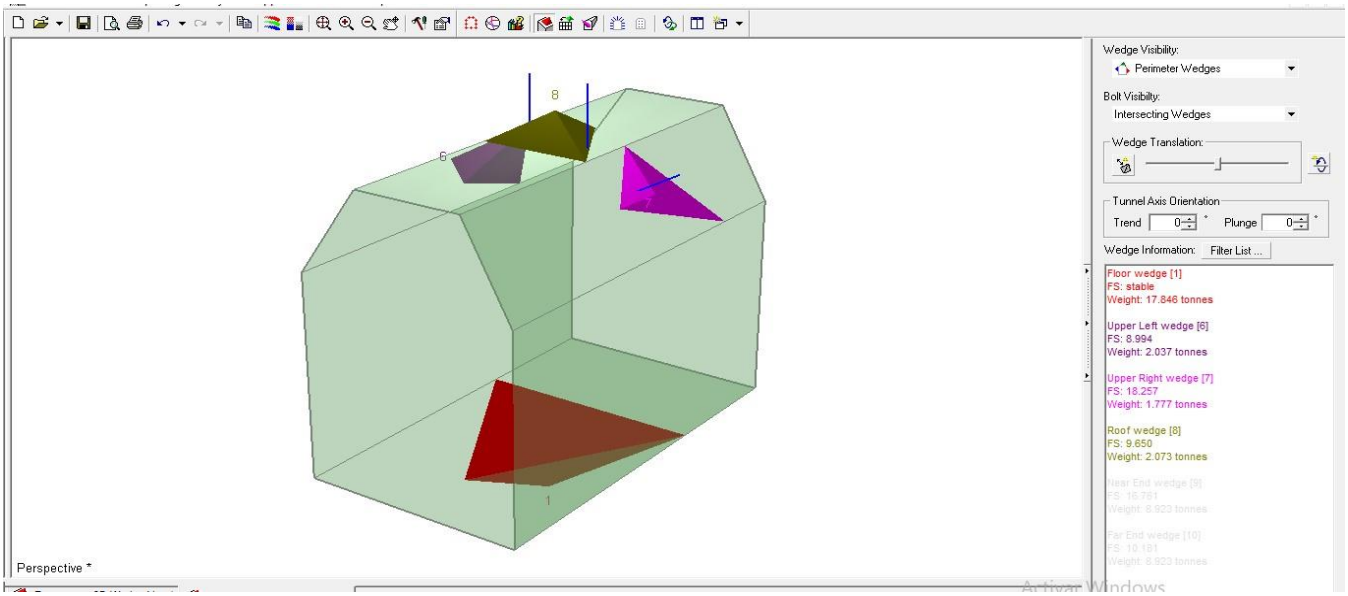
Ahora pasaremos realizar el modelamiento de cuñas para tomar las medidas correspondientes si lo amerita la situación para lo cual usaremos pernos helicoidales.

Figura guía 15
Cuña formada de la data de la figura 14




Como podemos apreciar tenemos la cuña número 8 en la figura 19 la cual presenta una caída inminente cuyo peso aproximado es un poco más de 2 toneladas, para lo cual procederemos a realizar las medidas correspondientes de sostenimiento y evitar inconvenientes a causa de esta cuña.

Figura guía 16
Modelado del sostenimiento de la cuña del a figura 14




Como podemos apreciar cuando se coloca el sostenimiento la seguridad se incremente demasiado tal es así que según el modelamiento con pernos de 1.5 el factor de seguridad de que caiga la cuña 8 está por encima de 9 lo que indica que es casi imposible que caiga la cuña 8 cuando se tomaron las medidas necesarias de realizar el sostenimiento respectivo.

### *1.4.2. EJERCICIO DE APLICASCION DE USO DE SOFTWAR UNWEDGE*

A partir de la data de la tabla 8 realizar el respectivo modelamiento de las cuñas probables y su respectivo sostenimiento si se va realizar con pernos helicoidales de 1.5m y la galería tiene un azimut de 120°, graficar la data, cuñas y el sostenimiento en la figura 21, 22 y 23. Considere una sección de análisis de 4.5m por 4.5m.

Tabla guía 8

Data para modelar las cuñas y su sostenimiento

| ID | DIP/DIP DIRECTION | LABEL |
|---|---|---|
| 1 | 40/120 | A1 |
| 2 | 30/150 | A2 |
| 3 | 62/180 | A3 |
| 4 | 42/170 | B1 |
| 5 | 43/240 | B2 |
| 6 | 45/230 | B3 |
| 7 | 29/250 | C1 |
| 8 | 30/320 | C2 |
| 8 | 31/330 | C3 |

Figura guía 17

Data de la cuña de la tabla 8 y el azimut de la galería

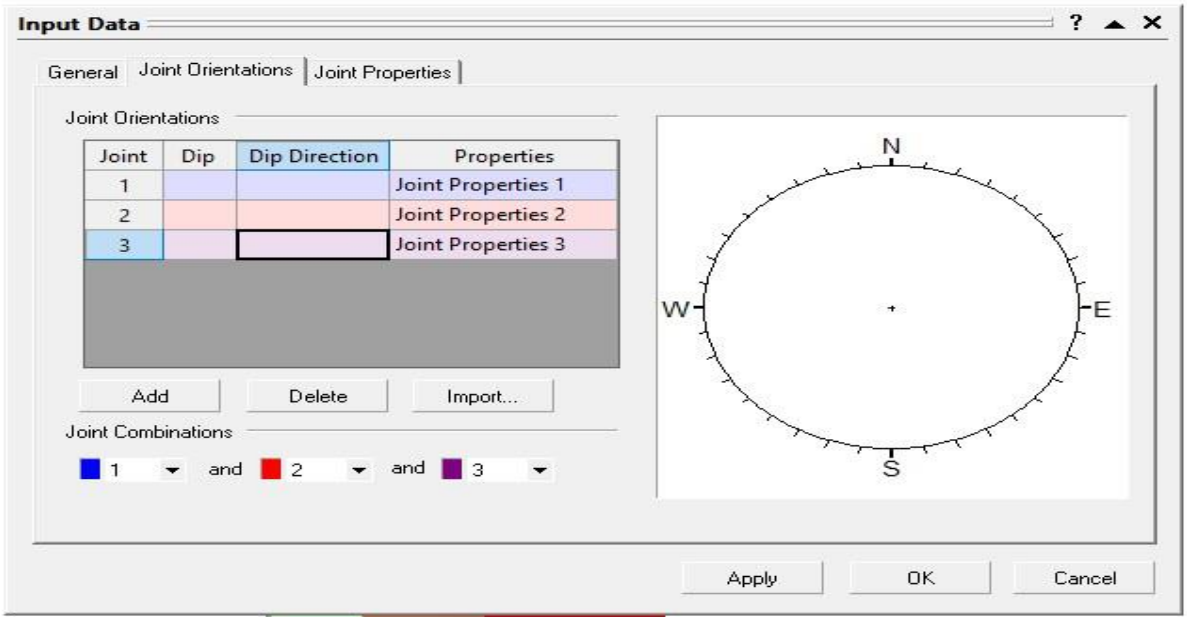


Figura guía 18
Grafica las cuñas probables y sus pesos

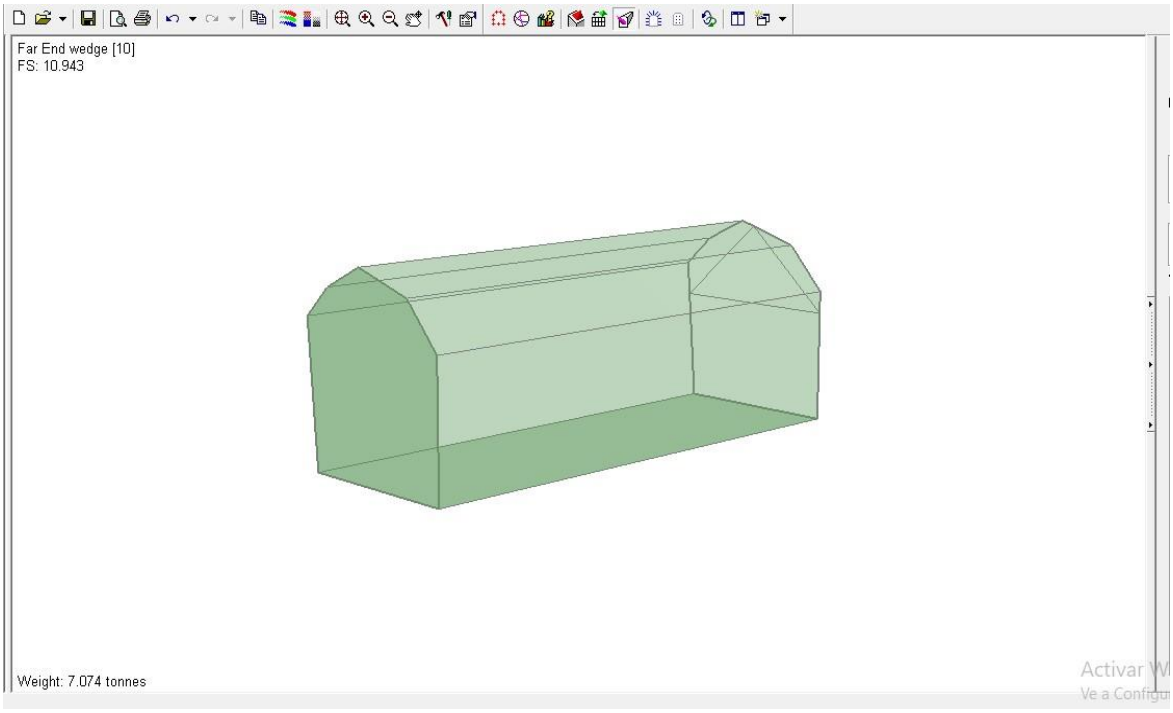
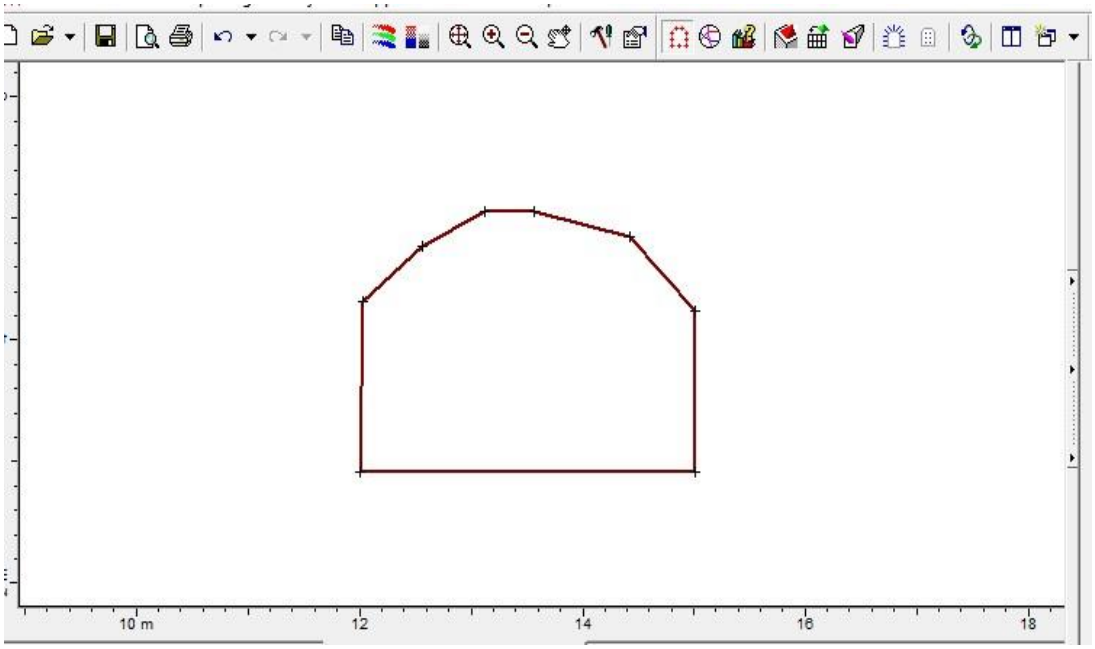


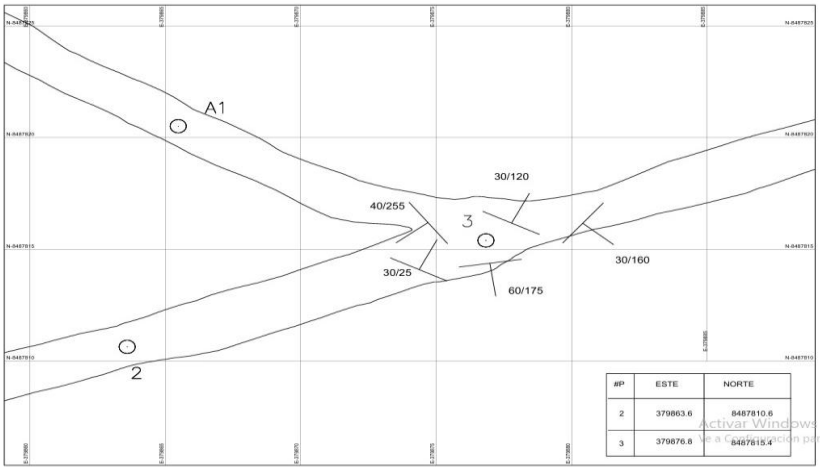

Figura guía 19
Grafica el sostenimiento con las características indicadas



## 1.5. ACTIVIDAD 1

En grupos de trabajo por afinidad realizar las siguientes actividades que se enumeran a continuación, haciendo uso de la parte teórica y también de los softwares DIPS y UNWEDGE.

Figura guía 20
Plano del mapeo estructural




a) De acuerdo a los datos del plano mostrado en la figura 24 realizar el levantamiento de la data estructural y su conversión a las cuatro notaciones detalladas en la tabla 1

b) Realice la representación gráfica usando el software DIPS considerando las gráficas trabajadas en la figura 12

c) Realizar una interpretación de dicho gráfico de concentración de polos, extraer la data para las posibles cuñas a partir de los datos cargados en el software DIPS

d) Usando el software UNWEDGE realiza el modelado de cuñas y su sostenimiento respectivo, solo considerar pernos helicoidales para el sostenimiento

e) Realiza un informe con la explicación de resultados obtenidos y que medidas podrías tomar para garantizar la operatividad de la labor minera.

# II. CLASIFICACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Existen varios sistemas de clasificación geomecánica, sin embargo, explicaremos las más importantes que ayudarán a conocer la resistencia mecánica de las rocas en posteriores capítulos y que tendrán relevancia a lo largo del desarrollo de la presente guía, conocer y realizar una buena clasificación es el punto de partida para toda evaluación geomecánica en toda labor minera.

## 2.1. RMR (Rock Mass Rating)

Desarrollado por Bieniaswki en el año 1973, este sistema de clasificación se utiliza para evaluar la calidad y la estabilidad de los macizos rocosos en la ingeniería de minas, este sistema de clasificación está basado en 6 parámetros los cuales describimos en la tabla 9.

El RMR se utiliza en una variedad de aplicaciones como por ejemplo en el diseño de túneles, excavaciones subterráneas, evaluación de la estabilidad de taludes, diseño de cimentaciones y estructura de rocas y también en la evaluación de proyectos de la ingeniería de minas. El propósito de las clasificaciones geomecánicas es proporcionar un índice numérico que nos indica la calidad del macizo rocoso para luego recomendar el sostenimiento más adecuado. Es importante mencionar que se debe realizar un seguimiento durante la excavación, ya que, los índices de calidad de macizos rocosos no son exactos, por lo tanto, necesitan un monitoreo que nos permita asegurar la estabilidad de las excavaciones, si solo uso el RMR y los ábacos que se desprenden estaré usando metodología empírica pero si uso propiedades mecánicas de la masa rocosa estoy realizando un análisis geomecánico si la geometría no es complicada de la excavación puedo recurrir a un análisis analítico, sin embargo si la excavación tiene una geometría no elemental como por ejemplo la circular necesariamente debo recurrir modelos numéricos de elementos finitos mediante herramientas computacionales para poder predecir el comportamiento de la masa rocosa.

Como podemos ver siempre es importante integrar todos los análisis posibles para garantizar de esta manera la estabilidad de la masa rocosa.

Tabla guía 9

Parámetros de la clasificación RMR

| Parámetro | | | Escala de valores | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Resistencia de la roca inalterada | Índice de la carga puntual | >8MPa | 4-8MPa | 2-4MPa | 1-2MPa | Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de resistencia a la compresión uniaxial | | |
| | | Resistencia a la compresión uniaxial | >200MPa | 100-200MPa | 50-100MPa | 25-50MPa | 10-25MPa | 3-10MPa | 1-3MPa |
| | | **Valuación** | **15** | **12** | **7** | **4** | **2** | **1** | **0** |
| **2** | RQD | | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | <25% | | |
| | | **Valuación** | **20** | **17** | **13** | **8** | **3** | | |
| **3** | espaciamiento de juntas | | >2m | 0.6-2m | 0.2-0.6m | 0.06-0.2m | <0.06m | | |
| | | **Valuación** | **20** | **15** | **10** | **8** | **5** | | |
| **4** | condición de juntas | Persistencia | <1m | 1-3m | 3-10m | 10-20m | >20m | | |
| | | **Valoración** | **6** | **4** | **2** | **1** | **0** | | |
| | | Apertura | Nada | <0.1mm | 0.1-1mm | 1-5mm | >5mm | | |
| | | **Valoración** | **6** | **5** | **3** | **1** | **0** | | |
| | | Rugosidad | Muy rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Lisa o plana | Pulida | | |
| | | **Valuación** | **6** | **5** | **3** | **1** | **0** | | |
| | | Relleno | Ninguno | <5mm (duro) | >5mm (duro) | <5mm (blando) | >5mm (blando) | | |
| | | **Valuación** | **6** | **4** | **2** | **1** | **0** | | |
| | | Alteración | inalterada | Ligeramente alterada | Moderadamente alterada | Muy alterada | descompuesta | | |
| | | **Valuación** | **6** | **5** | **3** | **1** | **0** | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **5** Agua subterránea | Cantidad de infiltración | Ninguna | <10litros/minuto | <25liros /minuto | 25-125litros/minuto | >125 litros /minuto |
| | Relación (presión de agua en las fisuras/esfuerzo principal mayor) | 0 | 0-0.1 | 0.0-0.2 | 0.2-0.5 | >0.5 |
| | Situación general | Totalmente seco | Ligeramente húmedo | Solo húmedo (agua de intersticios) | Ligera presión de agua | Serios problemas de agua |
| | **valuación** | **15** | **10** | **7** | **4** | **0** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Buzamiento y dirección de buzamiento de las fisuras | | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
| **6** | **Valuación** Túnel Cimentación | **0** | **-2** | **-5** | | **-12 -10** |
| | Talud | **0** | **-2** | **-7** | | **-25 -15** |
| | | **0** | **-5** | **-25** | | **-60 -50** |

Los parámetros de RMR del 1 al 5 nos permiten calcular el RMR básico, sin embargo en los túneles cimentaciones y taludes este RMR debe ser corregido según la siguiente la orientación de las discontinuidades para eso ya se realizó el estudio de las proyecciones estereográficas en el primer capítulo, también demos considerar el ensayo de carga puntual y resistencia a la compresión de la roca inalterada que será desarrollada en los siguientes capítulos, también hay que tener en cuenta que la tabla es para una discontinuidad si se presentan más discontinuidades se debe usar el criterio ingenieril basado en la estadística dando pesos necesarios a cada sistema de discontinuidades.

La valoración de la masa rocosa es de suma importancia para poder tener cuantificada las labores mineras y poder tomar las mejores decisiones a la hora de explotación para garantizar la seguridad y operatividad de las mismas, en ese entender pasaremos a describir la siguiente tabla para poder realizar la corrección por orientación de discontinuidades.

Tabla guía 10
Parámetro RMR (6)

| Buzamiento y dirección de buzamiento de las fisuras | | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Valuación | Túnel | **0** | **-2** | **-5** | **-10** | **-12** |
| | Cimentación | **0** | **-2** | **-7** | **-15** | **-25** |
| | Talud | **0** | **-5** | **-25** | **-50** | **-60** |

Esta corrección se realiza siguiendo las consideraciones de la tabla 11 que pasaremos a describirá continuación, para lo cual ya se realizó el estudio de proyecciones estereográfica de estratos lo cual nos ayudara a comprender el uso de la tabla 11, en necesario realizar el análisis realizado en el capítulo anterior respecto a la representación estereográfica de planos ya que sin considerar dicho análisis sería imposible poder entender la corrección del RMR.

Tabla guía 11
Corrección por orientación

| Rumbo perpendicular al eje del túnel | | | | Rumbo paralelo al eje del túnel | | Buzamiento de 0 - 20° independiente del rumbo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Penetración en el sentido del rumbo | | Penetración en contra del rumbo | | | | |
| Buzamiento 45°-90° | Buzamiento 20°-45° | Buzamiento 45°-90° | Buzamiento 20°-45° | Buzamiento 45°-90° | Buzamiento 20°-45° | |
| **Muy favorable** | **favorable** | **regular** | **desfavorable** | **Muy desfavorable** | **Regular** | **Desfavorable** |

Una vez realizado la corrección necesaria se tiene que clasificar a la masa rocosa según la valoración obtenida lo cual lo realizaremos en la siguiente tabla.

Tabla guía 12
Tipo de roca según RMR

| **Valuación (RMR)** | **100-81** | **80-61** | **60-41** | **40-21** | **<20** |
|---|---|---|---|---|---|
| Clasificación | I | II | III | IV | V |
| Descripción | Muy buena roca | Buena roca | Roca regular | Roca mala | Roca muy mala |

Una vez obtenido el tipo de roca es necesario realizar una interpretación para cada tipo al momento de realizar las excavaciones subterráneas y de esta manera tener un correcto control de la excavación subterránea. Determinado el RMR no solo ayuda a determinar el tipo de roca, también permite estimar los parámetros resistentes de la roca como son el ángulo de fricción y la cohesión de la masa rocosa los cuales son útiles cuando se requiere realizar un análisis más riguroso o se quiere modelar el comportamiento de la masa rocosa ante la perturbación de dicha masa por trabajos de excavación.

La correcta determinación del RMR es muy importante para iniciar el análisis de estabilidad de las masas rocosas en tal sentido pasaremos a ver la siguiente tabla de dichos parámetros.

Tabla guía 13
Parámetros resistentes según RMR

| **Clasificación** | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo medio de sostenimiento | 10 años para luz de 5m | 6 meses para una luz de 4m | 1 semana para una luz de 3m | 5 horas para una luz de 15 m | 10 minutos para una luz de 0.5m |
| Cohesión de la roca | >300Kg.Pa | 200-300Kg.Pa | 150-200Kg.Pa | 100-150Kg.Pa | <100Kg.Pa |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Angulo de fricción de la roca | >45° | 40°-45° | 35°-40° | 30°-35° | <30° |

A continuación, pasaremos a realizar un ejemplo aplicativo donde se detallarán cada paso para realizar el cálculo del RMR, en este ejemplo se detallarán todos los pormenores ya que en toda unidad minera es de suma importancia realizar bien el mapeo estructural.

Para poder realizar un buen mapeo estructural de campo es necesario usar ciertos instrumentos como por ejemplo la brújula, el martillo Schmidt o en su defecto obtener testigos de roca los cuales serán sometidos a ensayos de laboratorio para poder determinar el respectivo UCS de la roca en estudio.

Hay que tener en cuenta que la única forma de calcular la resistencia a la compresión es el ensayo triaxial cualquier otro método solo lo estima, sin embargo, en la práctica siempre se usa un valor estimado ya que un ensayo triaxial es mucho más costoso y requiere una mayor preparación de los testigos de roca para realizar el ensayo.

Como podemos ver la determinación del RMR necesita de ciertos instrumentos de medida los cuales nos proporcionan distinto nivel de precisión lo cual va depender de la unidad minera y de la importancia que se le quiera dar a la determinación del valor de RMR, en tal sentido los ingenieros de minas deben estar capacitados para usar cualquier método dependiendo de la disponibilidad de las herramientas con las que cuenta en ese entender pasaremos a la realización del ejemplo explicativo de la determinación del RMR.

### *2.1.1. EJEMPLO DE DETERMINACION DE RMR*

Una vez realizado el mapeo estructural en interior mina se determinó dos familias claramente definidas las cuales denotaremos como F1 y F2 y cuya data presentaremos en la tabla 14 y 15 y en la figura 21

Tabla guía 14
Mapeo estructural para la determinación del RMR

| Familia | F1 | F2 |
|---|---|---|
| Orientación | 30/320 | 32/230 |
| Espaciamiento | Histograma (0.06-2m) | Histograma (<0.06-2m) |
| Persistencia | 10-20m el 40% | 0.5-1m el 20% |
| Apertura | 1-3m el 60%<br>0.1-1mm | 1-2m el 80%<br>cerrada |
| Rugosidad | Escalonada JRC=11 | Ondulada JRC=9 |
| Relleno | Cuarzo | Sin relleno |
| Meteorización | Manchas de óxido | Sana |
| Filtración | Ligeramente húmeda | seco |

En la figura 21 se encuentra graficado el histograma de mapeo del espaciamiento de las familias observadas de la tabla 14. El valor medio del RQD se obtuvo en los estudios de viabilidad del proyecto teniendo una estimación de 85%. También se obtuvieron varios testigos de roca los cuales han sido sometidos a ensayos de carga puntual los cuales se encuentran en la tabla 15.

Figura guía 21
Espaciamiento de discontinuidades de la tabla 14

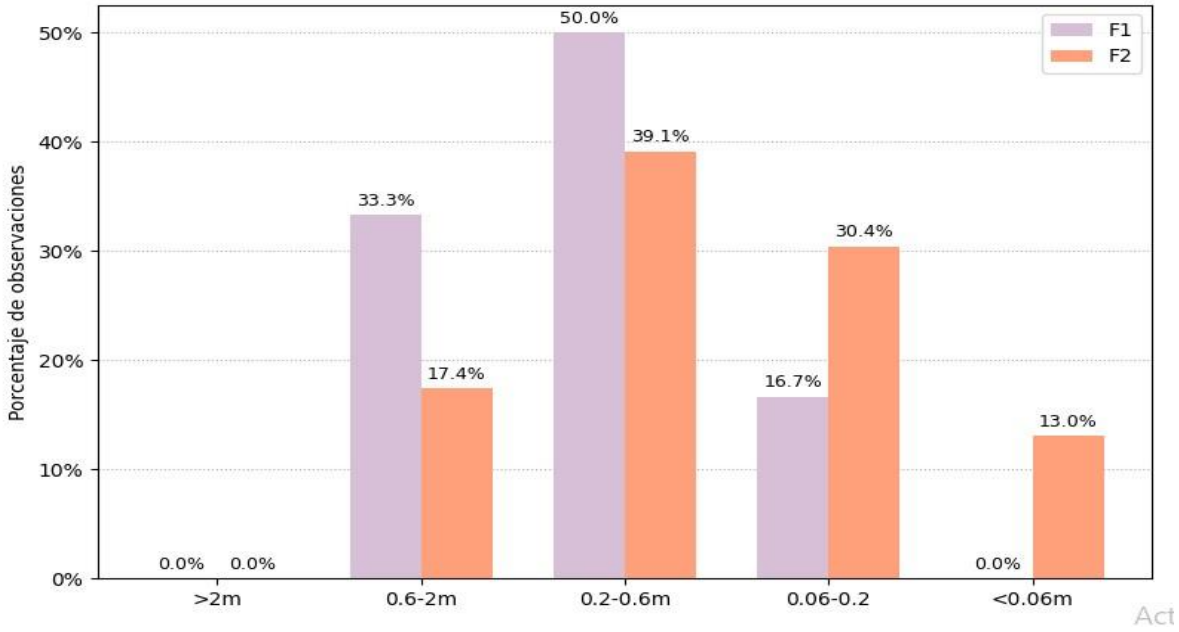



Tabla guía 15
Ensayos de carga puntual para la tabla 14

| # DE PROBETA | DIAMETRO (mm) | FUERZA EN ROTURA(KN) |
|---|---|---|
| 1 | 31 | 3.05 |
| 2 | 31 | 2.65 |
| 3 | 31 | 2.95 |

| | | |
|---|---|---|
| 4 | 54 | 8.25 |
| 5 | 54 | 10.30 |

Se pide determinar el RMR si la labor de la galería tiene una orientación de N40°W, para poder resolver el ejercicio necesitamos encontrar cada parámetro del RMR a partir de la información brindada en la tablas e histograma descritos anteriormente.

RMR (1): Resistencia a la compresión simple de la roca intacta

Este valor lo determinaremos a partir de los valores obtenidos en la tabla 15 y la siguiente expresión

Ecuación guía 1
Índice de carga puntual

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

$I_s$: Es el índice de carga puntual (MPa)

P: Carga de ruptura de la probeta (N)

D: Diámetro de probeta en (mm)

Que determina el índice de carga puntual para cada ensayo, una vez obtenido el índice de carga puntual podemos determinar la resistencia a la compresión simple a partir de la siguiente expresión.

Ecuación guía 2
UCS a partir de la carga puntual

$$UCS = 24 I_s$$

Mediante las ecuaciones 1 y 2 podemos obtener la resistencia a la compresión simple, en necesario tener en cuenta que este valor se puede determinar de otras formas que serán estudiadas en los próximos capítulos, sin embargo, esta forma de obtener el valor de la resistencia a compresión es practica ya no requiere de ensayos sofisticados para dicho fin.

Tabla guía 16
Resultados de la tabla 15

| #PROBETA | D(mm) | P(N) | $\mathbf{I_s}$(N/$\boldsymbol{mm^2}$) | **UCS**(MPa) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 54 | 8250 | 2.83 | 67.92 |
| **2** | 31 | 3050 | 3.17 | 76.08 |
| **3** | 31 | 2650 | 2.76 | 66.24 |
| **4** | 31 | 2950 | 3.07 | 73.68 |
| **5** | 54 | 10300 | 3.53 | 84.77 |

$$\text{UCS} = \frac{67.92 + 76.08 + 66.24 + 73.68 + 84.77}{5} = 73.74\text{MPa}$$

RMR (1) =7

RMR (2): RQD

A partir de la información proporcionada tenemos un RQD=85% y usando la tabla 9 tenemos:

RMR (2) =17

Como podemos ver es de suma importancia conocer bien los parámetros y su escala de valoración de RMR para de esta manera poder realizar una buena valoración de la masa rocosa, sin

una adecuada manipulación y comprensión de dicha tabla se pueden cometer errores que pueden afectar considerablemente a la determinación del RMR, es de suma importancia conocer bien dicha herramienta para que cuando se mapee las discontinuidades en el campo refleje realmente lo que se presenta en las labores mineras de no ser así todos los análisis que se puedan realizar a partir de este valor acumularan errores que a la postre se convertirá en información obsoleta.

RMR (3): Espaciado de las discontinuidades

Tabla guía 17
Resultados de la tabla 21

| Familia | >2m | 0.6-2m | 0.2-0.6m | 0.06-0.2m | <0.06 |
|---|---|---|---|---|---|
| F1 | 0% | 33.3% | 50% | 16.7% | 0% |
| F2 | 0% | 17.4% | 39.1% | 30.4% | 13% |
| Valor | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 |

$$RMR(3) = \frac{15(0.333 + 0.174) + 10(0.5 + 0.391) + 8(0.167 + 0.304) + 5(0.13)}{2} = 10.44$$

RMR (3) =10

RMR (4): Condiciones de las juntas

Tabla guía 18
Valoración de las discontinuidades de la tabla 14

| Parámetro | F1 | Valor | F2 | Valor |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 10-20m 40% | 0.4*1+0.6*4=2.8 | 0.5-1m 20% | 0.2*6+0.8*4=4.4 |
| Persistencia | 1-3m 60% | 2.8 | 1-2m 80% | 4.4 |
| Apertura | 0.1-1mm | 3 | Cerrada | 6 |
| Rugosidad | Escalonada JRC=11 | 5 | Ondulada JRC=9 | 5 |
| Relleno | Cuarzo | 4 | Sin relleno | 6 |
| Alteración | Manchas de oxido | 5 | Sana | 6 |
| Valoración | | 19.8 | | 27.4 |

$$\text{RMR}(4) = \frac{19.8 + 27.4}{2} = 23.6$$

RMR (4) =23

RMR (5): Condiciones de agua subterránea

Según la información brindada para el ejercicio de F1 Y F2, la familia F1 se encuentra ligeramente húmeda lo que hace corresponder según la valoración del quinto parámetro de la tabla 9 un valor de 10 mientras que la familia F2 se encuentra en condiciones secas lo que según esta misma tabla le corresponde un valor de 15 con lo cual concluimos que el:

$$\text{RMR}(5) = \frac{10 + 15}{2} = 12.5$$

Una vez determinados estos 5 parámetros podemos encontrar el valor del RMR básico simplemente sumando los valores obtenidos.

Ecuación guía 3
RMR básico

$$RMR(Básico)=RMR\ (1)\ +RMR\ (2)\ +RMR\ (3)\ +RMR\ (4)\ +RMR\ (5)$$

$$RMR(Básico)=7\ +17+10\ +23\ +12.5=69.5$$

Figura guía 22
Corrección por orientación F1 y F2




A partir de La figura 2 obtenemos los siguientes valores del sexto parámetro del RMR

$$RMR\ (6)\text{-}F1=-5\ Y\ RMR\ (6)\text{-}F2=-2.5$$

$$RMR\ (6)\ =-3.75$$

Ecuación guía 4
RMR corregido por orientación

$$RMR=RMR(Básico)\text{-}RMR\ (6)\ =69.5-2.5=67$$

Tenemos entonces un macizo rocoso tipo II, roca buena, usando la tabla 12, como podemos ver emos descrito el procedimiento completo para la determinación del RMR el cual nos servirá de guía para realizar el ejemplo práctico.

Debemos recordar que la resistencia a la compresión se determina solamente con ensayo triaxial sin embargo la forma de determinarlo de esa forma lo veremos en el siguiente capítulo por eso en el ejemplo de aplicación solo usaremos el ensayo de carga puntual.

### *2.1.2. EJEMPLO DE PALICACION DE LA DETERMINACION DEL RMR*

A partir del muestreo de una galería subterránea se pide determinar el valor de su RMR siguiendo los pasos del ejercicio anterior cuya data se detalla en la tabla 19, 20 y en la figuro 18.

Tabla guía 19
Ensayo de carga puntual para el ejemplo aplicativo

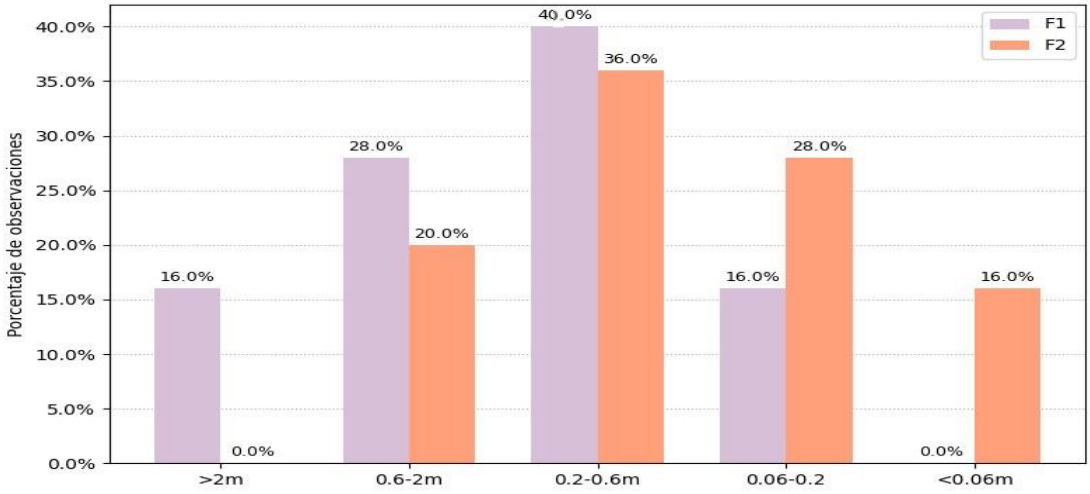
| # DE PROBETA | DIAMETRO (mm) | FUERZA EN ROTURA(KN) |
|---|---|---|
| 1 | 30 | 3.00 |
| 2 | 30 | 2.60 |
| 3 | 31 | 2.70 |

Tabla guía 20
Mapeo estructural para el ejemplo aplicativo

| Familia | F1 | F2 |
|---|---|---|
| Orientación | 60/150 | 30/240 |
| Espaciamiento | Histograma (0.06->2m) | Histograma (<0.06-2m) |
| Persistencia | 10-20m el 40%<br>1-3m el 60% | 0.5-1m el 30%<br>1-2m el 70% |

| | | |
|---|---|---|
| Apertura | Cerrada | Cerrada |
| Rugosidad | Plana JRC=0.4 | Ondulada JRC=6 |
| Relleno | Sin relleno | Sin relleno |
| Meteorización | Sana | Sana |
| Filtración | Ligeramente húmeda | Húmeda |

Figura guía 23
Espaciamiento de discontinuidades para el ejemplo




A partir de la información brindada en el ejercicio resuelto pasaremos a rellenar las siguientes tablas al igual que en el ejercicio anterior.

Tabla guía 21
UCS del ejemplo aplicativo

| #PROBETA | D(mm) | P(N) | $\mathbf{I_s}$(N/$\boldsymbol{mm^2}$) | **UCS** (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | | | | |
| **2** | | | | |
| **3** | | | | |

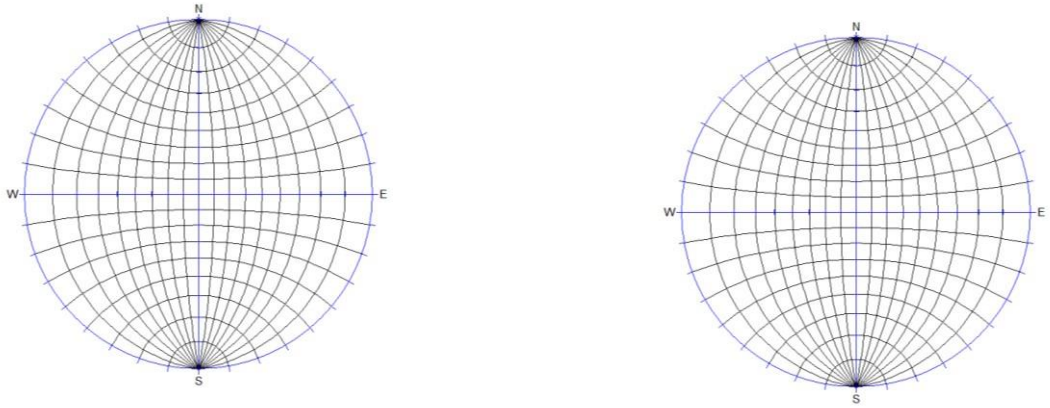
Tabla guía 22
Espaciamiento de discontinuidades del ejemplo aplicativo

| Familia | >2m | 0.6-2m | 0.2-0.6m | 0.06-0.2m | <0.06 |
|---|---|---|---|---|---|
| F1 | | | | | |
| F2 | | | | | |
| Valor | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 |

Tabla guía 23
Condiciones de discontinuidad del ejemplo aplicativo

| Parámetro | F1 | Valor | F2 | Valor |
|---|---|---|---|---|
| Persistencia | | | | |
| Apertura | | | | |
| Rugosidad | | | | |
| Relleno | | | | |
| Alteración | | | | |
| Valoración | | | | |

Figura guía 24
Corrección de F1y F2 del ejercicio de aplicación




## 2.2. Q (Tunnelling Quality Idex)

Desarrollado por Barton en el año 1974, este sistema evalúa la calidad del macizo rocoso en función a parámetros como la resistencia a la compresión, orientación de las discontinuidades y la condición de las discontinuidades.

Este método está basado en una gran cantidad de excavaciones subterráneas que fue planteado por el instituto geotécnico de Noruega, cuya expresión matemática es la siguiente.

Ecuación guía 5
Sistema de clasificación Q

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right)$$

RQD: Es el índice de calidad de las

$J_n$: Es el número de sistemas de discontinuidades (joint set number)

$J_r$: Es el número de la rugosidad de las fisuras (joint roughness number)

$J_a$: Es el número de alteración de las fisuras (joint alteración number)

$J_w$: Es el factor de reducción por agua (joint wáter reduction factor)

SRF: Factor de reducción de esfuerzos (stress reduction factor)

La definición de estos términos se entiende por si solos, sobre todo si su valor se saca de la siguiente tabla se presenta a continuación.

Tabla guía 24
Parámetros del sistema Q

| 1.- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA | |
|---|---|
| Descripción | RQD % |
| MUY POBRE | 0 - 25 |
| POBRE | 25 - 50 |
| REGULAR | 50 - 75 |
| BUENA | 75 - 90 |
| EXCELENTE | 90 - 100 |

Nota:

i) Estimar el RQD con 5% de aproximación

ii) Cuando no se disponga de testigos

RQD = 115 - 3.3 Jv  Donde: Jv: N° de Diaclasas por m3

iii) Si el RQD es menor de 10, emplear un valor nominal 10

2.- NÚMERO DE DISCONTINUIDADES

| Descripción | Jn |
|---|---|
| Masiva o con muy poca discontinuidad | 0.5 - 1.0 |
| Un sistema de discontinuidad | 2 |
| Un sistema de principal y uno secundario | 3 |
| Dos sistemas de discontinuidad | 4 |
| Dos sistemas principales y uno secundario | 6 |
| Tres sistemas de discontinuidades | 9 |
| Tres sistemas principales y uno secundario | 12 |
| Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada) | 15 |
| Roca triturada (Terrosa) | 20 |

Nota:

i) Para intersecciones de túneles, usar (3.0*Jn)

ii) Para portales usar (2.0*Jn)

3.-FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES

| | DESCRIPCION | Jr |
|---|---|---|
| A | Diaclasas discontinuas | 4 |
| B | Rugosas e irregulares, onduladas | 3 |
| C | Lisas, Onduladas | 2 |
| D | Lustrosas Ondulantes | 1.5 |

| | | |
|---|---|---|
| E | Rugosas o irregulares, planares | 1.5 |
| F | Lisas, Planares | 1 |
| G | Lustrosas, Planares | 0.5 |
| H | Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura | 1 |
| J | Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura | 1 |

NOTAS.

En grupos A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm. Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden. En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla

4.-FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES

| DESCRIPCION | | Ja |
|---|---|---|
| a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos) | | |
| A | Ajustadas, rellenas con material compacto | 0.75 |
| B | Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | C | Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca. | 2 |
| | D | Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva. | 3 |
| | E | Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor | 4 |
| b) Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10cm de (relleno de mineral fino) | | | |
| | F | Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas | 4 |
| | G | Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto. | 6 |
| , I | H | Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcillosos compacto con bajo grado de consolidación | 8 |
| | J | Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita) el valor de Ja dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc. | 8 - 12 |
| c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla (relleno de mineral grueso) | | | |
| , L, M | K | Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y | 6 - 8 ó |
| | | arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla) | 8 - 12 |

| | | |
|---|---|---|
| N | Zona de arcilla limosa o arenosa | 5 |
| O | Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla) | 10 - 13 ó 13 - 20. |
| , P, Q | | |

5.-FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS

| | DESCRIPCION | Jw |
|---|---|---|
| A | Secas o flujos bajos (5 l/min) | 1 |
| B | Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno | 0.66 |
| C | Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno | 0.5 |
| D | Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno | 0.33 |
| E | Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo | 0.2 - 0.1 |
| F | Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo | 0.1 - 0.05 |

NOTAS

i) Factores C a F son estimaciones básicas. Aumentar Jw si se han instalado medidas de drenaje.

ii) Especiales problemas causados por la formación de hielo no son considerados.

6.-FACTOR DE REDUCCIÓN POR TENSIONES

| | DESCRIPCION | SRF |
|---|---|---|
| A) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando. | | |
| A | Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad | 10 |
| B | Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m) | 5 |
| C | Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m. | 2.5 |
| D | Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad) | 7.5 |
| E | Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m. | 5 |
| F | Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m. | 2.5 |
| G | Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier prof. | 5 |

Nota: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen, pero no interceptan la excavación.

| | B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas | $\sigma_c/\sigma_1$ | $\sigma_\theta/\sigma_c$ | SRF |
|---|---|---|---|---|
| H | Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas | > 200 | < 0.01 | 2.5 |
| J | Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables | 200 - 10 | 0.01 - 0.3 | 1 |
| K | Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales | 10 - 5 | 0.3 - 0.4 | 0.5 - 2 |
| L | Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas | 5 - 3 | 0.5 - 0.65 | 5 - 50 |
| M | Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas | 3 - 2 | 0.65 - 1 | 50 - 200 |
| N | Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas | < 2 | > 1 | 200 - 400 |

Nota:

ii) Para campos insitu fuertemente anisotrópico (si se ha medido): cuando 5<= $\sigma_c/\sigma_1$<=10, reducir $\sigma_c$ en 0.75$\sigma_c$, cuando $\sigma_1/\sigma_3$> 10, reducir $\sigma_c$ a 0.5$\sigma_c$, donde $\sigma_c$ =esfuerzo compresivo sin confirmar, $\sigma_1$ y $\sigma_3$ son los esfuerzos principales mayores y menores y $\sigma_\theta$=esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad)

iii) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para este caso se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H).

| | C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones citostáticas | $\sigma_\theta/\sigma_c$ | SRF |
|---|---|---|---|
| O | Presión de deformación suave | 1 - 5 | 5 a 10 |
| P | Presión de deformación intensa | > 5 | 10 a 20 |

Nota:

iv) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades H>350*Q ^ (1/3). La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como q=7* $\rho$ *Q ^ (1/3), donde

$\rho$=densidad de la roca(gm/cc)

| | | |
|---|---|---|
| D) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua | | |
| R | Presión de expansión suave | 5 - 10 |
| S | presión de expansión intensa | 10 - 15 |

### *2.2.1. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE Q*

Realizaremos un ejemplo con los datos del ejercicio anterior detallando cada uno de los pasos a considerar, del ejercicio resuelto de cálculo de RMR se tiene un RQD:

$$RQD=85\%$$

En el mapeo de discontinuidades se encuentran marcadamente dos familias de discontinuidades F1 Y F2 lo cual al usar la tabla 24 dará un valor de Jn de:

$$Jn=6$$

La familia de discontinuidades F1 que presenta un valor de JRC=0.4, el valor de Jr(F1) será determinado a partir de la tabla 24:

$$Jr(F1) =1$$

De igual forma para la familia F2, que presenta un valor de JRC=6, el valor de Jr(F2) será determinado de igual forma usando la tabla 24:

$$Jr(F2) =1.5$$

Para determinar el valor de Jr como se mencionó se usará el promedio geométrico ya que la clasificación Q presenta una estructura multiplicativa:

$$Jr=\sqrt{Jr(F1).Jr(F2)}=\sqrt{1.5}=1.22$$

Procederemos de forma análoga para los demás valores de la clasificación Q usando los parámetros de la tabla 24.

La familia F1 presentan manchas de óxido Ja(F1) =1, La familia F2 presentan un aspecto sano Ja(F2) =0.75, entonces el valor de Ja será:

$$Ja=\sqrt{Ja(F1).Ja(F2)}=\sqrt{0.75}=0.86$$

Las juntas de la familia F1 se encuentran ligeramente húmedas lo cual da un valor de Jw(F1) =0.66, mientras que las juntas de la familia F2 se encuentra en condiciones secas lo cual nos dará un valor de Jw(F2) =1, a partir de estos dos valores podemos obtener el valor de Jw:

$$Jw=\sqrt{Jw(F1).Jw(F2)}=\sqrt{0.66}=0.81$$

La determinación del parámetro SRF se realizará a partir de la resistencia a la comprensión obtenidas en el laboratorio y el valor del esfuerzo principal mayor insitu obtenidos en el terreno.

$$UCS = 73.74MPa$$

El valor de la tensión vertical principal mayor la obtendremos para este caso considerando una profundidad de 200m y el peso específico de la roca circundante en este caso de una granodiorita de $27KN/m^3$ si consideramos que el esfuerzo principal mayor tiene una orientación vertical consideraremos lo siguiente:

Ecuación guía 6
Esfuerzo vertical insitu

$$\sigma_v = \sigma_1 = \gamma h = 27\frac{KN}{m^3}.200m = 5400KPa = 5.4MPa$$

Ahora pasaremos a determinar el valor del factor SRF que es el cociente entre el esfuerzo a la compresión y el esfuerzo principal mayor:

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_1} = \frac{73.74}{5.4} = 13.65 \Longrightarrow \text{SRF} = 1$$

Ahora podemos determinar el valor de Q con todos los valores determinados anteriormente y haciendo uso de la ecuación 5 descrita anteriormente tenemos:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right) = \left(\frac{85}{6}\right)\left(\frac{1.22}{0.86}\right)\left(\frac{0.81}{1}\right) = 16.27 = 16$$

Este valor corresponde con un macizo rocoso bueno ya que 10<Q<40, también podemos usar la correlación sugerida por Bieniawski (1976) para la relación existente entre la clasificación geomecánica de Q de Barton y el RMR de Bieniawski la cual describimos a continuación:

Ecuación guía 7
RMR en función de Q

$$RMR=9LnQ+44$$

Usando la ecuación 7 tenemos obtendremos los siguientes resultados de la siguiente manera:

$$RMR=9Ln\ (16.27)\ +44=69.10$$

Valor análogo al obtenido para el RMR (básico)=69.5, la clasificación de Q de Barton no tiene en cuenta las orientaciones de la obra.

También podemos despejas Q de la ecuación 7 haciendo uso de las propiedades de los logaritmos:

Ecuación guía 8
Q en función del RMR

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}} = e^{\frac{69.5-44}{9}} = 16.95$$

Como podemos observar, esta formulación no nos brinda un valor exacto, pero es prácticamente lo mismo considerar un macizo rocoso de RMR=69.5 que un RMR=69.10 o un macizo roco de un Q=16.27 que un Q=16.95.

Determinado la valoración de la masa rocosa podemos presentar los siguientes resultados:

RMR (básico)=69.5

RMR= 67 Macizo rocoso bueno tipo II

Q=16 Macizo rocoso bueno

### *2.2.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA DETERNIMACIÓN DE Q*

A partir de los datos del ejemplo de aplicación de la determinación del RMR se pide determinar el valor de Q y también determinar las correlaciones haciendo uso de las ecuaciones 7 y 8, además se debe considerar una altura litostática de 250m y un peso específico de $26.5KN/m^3$.

Tabla guía 25
Tabla de aplicación de la determinación de Q

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|---|
| RQD | |
| Jn | |
| Jr | |
| Ja | |
| Jw | |
| SRF | |
| RMR (básico) | |
| RMR | |
| Q | |

### 2.3. GSI (Geological Strength Index)

Desarrollado por Hoeck en el año 1995, este sistema evalúa la calidad del macizo rocoso en función de las discontinuidades, muy usado para el sostenimiento en minas subterráneas pasaremos a describirlo a continuación hay que tener en cuenta que el valor del GSI se estima y se determina para temas de sostenimiento solo se estima mientras que para realizar modelamiento numérico se debe realizarse un cálculo a partir de los parámetros SR y el parámetro SCR.

La valoración de la masa rocosa es el punto de partida para cualquier trabajo subterráneo y as allí donde justamente se han enfocado los estudios ya que es la fuente de información principal para obtener una representación correcta y poder tomar la mejor decisión a la hora de tomar decisiones. El objetivo principal del GSI es el de proporcionar una herramienta lo más sencilla y práctica posible para poder evaluar la calidad del macizo rocoso y predecir su comportamiento en diferentes condiciones posibles.

Existe correlación directa entre el RMR y el GSI, sin embargo, estas correlaciones han ido cambiando a lo largo de los años ya que podemos encontrar versiones del RMR (76), RMR (89) y RMR (14).

Ecuación guía 9
Relación del RMR (89) y el GSI

$$GSI=RMR\ (89)-5$$

Esta relación es aproximada no exacta, se puede estimar el GSI a partir de la relación empírica anterior pero lo mejor es reportarlo como rango es decir en el ejemplo anterior se tiene un RMR=69.5, entonces dicho macizo rocoso presentara un valor de GSI en el siguiente rango:

GSI=64.5 redondeándolo al entero mayor tenemos tendríamos un GSI=65 que estaría en un rango de 60 a 70 es decir el GSI que se obtiene a partir del RMR siempre se tiene que estimar en un rango. Para temas de modelado conservador se usa el límite inferior lo cual veremos en los próximos capítulos.

Tabla guía 26
Cartilla GSI

# CARTILLA GEOMECÁNICA

| Tipo de Roca | RMR |
|---|---|
| | > 81 |
| | 61 – 80 |
| | 51 – 60 |
| | 41 – 50 |
| | 31 – 40 |
| | 21 – 30 |
| | 0 – 20 |

CLASICACIÓN GSI/RMR
Sostenimiento Inmediato
Metro Avanzado
Metro Sostenido

## CONDICIÓN ESTRUCTURA

| CONDICIÓN ESTRUCTURA | BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B)<br>Discontinuidades rugosas, levemente alteradas, manchas de oxidación, ligeramente abierta. (Rc 100 – 250 MPa)<br>(SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA). | REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (R)<br>Discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 – 100 MPa)<br>(SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA). | POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE RESISTENTE) (P)<br>Superficie pulida o con estriaciones, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca panizo. (Rc 25 – 50 MPa)<br>(SE INDENTA SUPERFICIALMENTE). | MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) (MP)<br>Superficie pulida y estriada, muy abierta con relleno de arcillas blandas (Rc < 25 MPa)<br>(SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE). |
|---|---|---|---|---|
| LEVEMENTE FRACTURADA (LF)<br>Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí. (RQD 75 – 100%).<br>(2 A 6 FRACTURAS POR METRO). | LF/B | LF/R | <br>El desatado de rocas es antes, durante y después de cada actividad. |  |
| MODERADAMENTE FRACTURADA (F)<br>Muy bien trabada, no disturbada Bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades (RQD 50 – 75%).<br>(7 A 12 FRACTURAS POR METRO). | F/B | F/R | F/P | F/MP |
| MUY FRACTURADA (MF)<br>Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades (RQD 25 – 50%).<br>(13 A 20 FRACTURAS POR METRO). | MF/B | MF/R | MF/P | MF/MP |
| INTENSAMENTE FRACTURADA (IF)<br>Plegamiento y fallamiento, muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares (RQD 0 – 25%).<br>(MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO). | IF/B | IF/R | IF/P | IF/MP |
| TRITURADA (T)<br>Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados.<br>(SIN RQD). | <br>Nunca ingreses a zonas que no hayan sido desatados y que no estén sostenidas. |  | T/P | T/MP |

Tabla guía 27
Sostenimiento de labores permanentes

| Labor Permanente | | | Labor Permanente > 1 años | Sección de la Labor (m) |
|---|---|---|---|---|
| Tipo de Roca | | Clasificación GSI | Condición Superficial | Excavaciones hasta 6.0 m |
| I | MUY BUENA I | LF/B |   | P1 |
| II | BUENA II | F/B – LF/R | | P2 |
| III – A | REGULAR III – A | F/R – MF/B | | P3 |
| III – B | REGULAR III – B | F/P – MF/R IF/B | BUENA: Se rompe con varios golpes de picota | P4 |
| IV – A | MALA IV – A | MF/P – IF/R F/MP |  | P5 |
| IV – B | MALA IV – B | MF/MP – IF/P | | P6 |
| V | MUY MALA V | IF/MP – T/MP – T/P | MUY POBRE: Se disgrega o indenta profundamente | NO EXCAVAR |

Tabla guía 28
Sostenimiento de labores temporales

| Labor Temporal | | | Labor Temporal ≤ 1 años | Sección de la Labor (m) |
|---|---|---|---|---|
| Tipo d Roca | | Clasificación GSI | Condición Estructural | Excavaciones hasta 8.0 m |
| I | MUY BUENA I | LF/B |  | T1 |
| II | BUENA II | F/B – LF/R | | T2 |
| III – A | REGULAR III – A | F/R – MF/B | LEVEMENTE FRACTURADA 2 a 6 fracturas por metro lineal o metro cuadrado | T3 |
| III – B | REGULAR III – B | F/P – MF/R IF/B | | T4 |
| IV – A | MALA IV – A | MF/P – IF/R F/MP |  | T5 |
| IV – B | MALA IV – B | MF/MP – IF/P | MUY FRACTURADA | T6 |
| V | MUY MALA V | IF/MP – T/MP – T/P | 13 a 20 fracturas por metro lineal o metro cuadrado | P6 |

Tabla guía 29

Descripción del sostenimiento

| Cod. | Descripción del sostenimiento |
|---|---|
| P1 | Perno de anclaje de ocasional |
| P2 | Perno de anclaje sistemático 1.50m x 1.50m + Malla electrosoldada |
| P3 | Perno de anclaje sistemático 1.20m x 1.20m + Malla electrosoldada |
| P4 | SHFR 2" (5 kg/m$^3$) + Perno de anclaje sistemático 1.50m x 1.50m |
| P5 | SHFR 2" (5 kg/m$^3$) + P3 + SH de 1" cubriendo la malla |
| P6 | SHFR 2" (5 kg/m$^3$) + Cimbra metálica viga H6 espaciada a 1.20m |
| T1 | Perno de anclaje de ocasional |
| T2 | Perno de anclaje sistemático 1.50m x 1.50m + Malla electrosoldada |
| T3 | Perno de anclaje sistemático 1.30m x 1.30m + Malla electrosoldada |
| T4 | Perno de anclaje sistemático 1.10m x 1.10m + Malla electrosoldada |
| T5 | SHFR 2" (5 kg/m$^3$) + Perno de anclaje sistemático 1.20m x 1.20m |
| T6 | SHFR 2" (5 kg/m$^3$) + T3 + SH de 1" cubriendo la malla |

## FACTORES INFLUYENTES

SOSTENIMIENTO SIN FACTORES INFLUYENTES

La aplicación se realiza usando el flexómetro y la picota o martillo, en condiciones normales de minado, el sostenimiento aplicado será con el color de la parte superior.



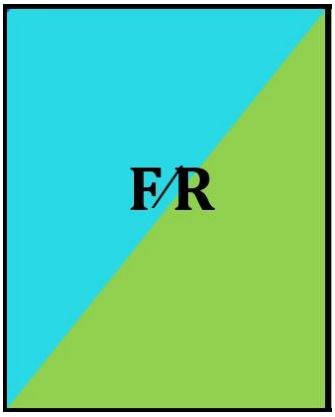

SOSTENIMIENTO CON FACTORES INFLUYENTES

La aplicación se realiza con el flexómetro y la picota o martillo, las condiciones cambian debido a presiones de la roca, presencia de agua, presencia de fallas, voladura deficiente, realces naturales, el sostenimiento aplicado será con el color de la parte inferior.

### *2.3.1. EJEMPLO DEL USO DE LA CARTILLA GSI*

Haciendo uso de la cartilla GSI se determinó un macizo rocoso con las condiciones de moderadamente regular se pide determinar el tipo de sostenimiento a considerar para labores temporales.

Figura guía 25
Condición de masa rocosa

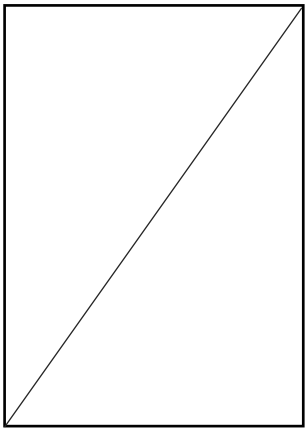



Como podemos apreciar una vez elegido el recuadro de las condiciones descritas necesitamos elegir el color para poder determinar el sostenimiento en presencia o ausencia de factores influyentes, en este caso consideraremos ausentes los factores influyentes nos quedamos con el color celeste y buscamos en la tabla 28 y luego en la tabla 29 que recomienda pernos sistemáticos 1.5m por 1.5m y malla electrosoldada.

### *23.1.1. 2.3.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA CARTILLA GSI*

A partir de los datos del ejemplo cuyos datos están cargados en la tabla 29 determinar el tipo de sostenimiento para labores permanentes haciendo uso de la cartilla GSI que se encuentra en la tabla 26, considere presencia de factores influentes como agua subterránea.

Figura guía 26
Condiciones de la masa rocosa de la tabla 29



## 2.4. ACTIVIDAD 2

En grupos de trabajo por afinidad realizar las siguientes actividades que se enumeran a continuación, haciendo uso de toda la teoría estudiada hasta este momento y usando los softwares necesarios trabajados hasta el momento.

Tabla guía 30
Ensayos de carga puntual de la actividad 2

| # DE PROBETA | DIAMETRO (mm) | FUERZA EN ROTURA(KN) |
|---|---|---|
| 1 | 30 | 3.00 |
| 2 | 30 | 2.60 |
| 3 | 31 | 2.80 |
| 4 | 31 | 3.10 |
| 5 | 31 | 2.70 |

Figura guía 27
Histograma de discontinuidades de la actividad 2

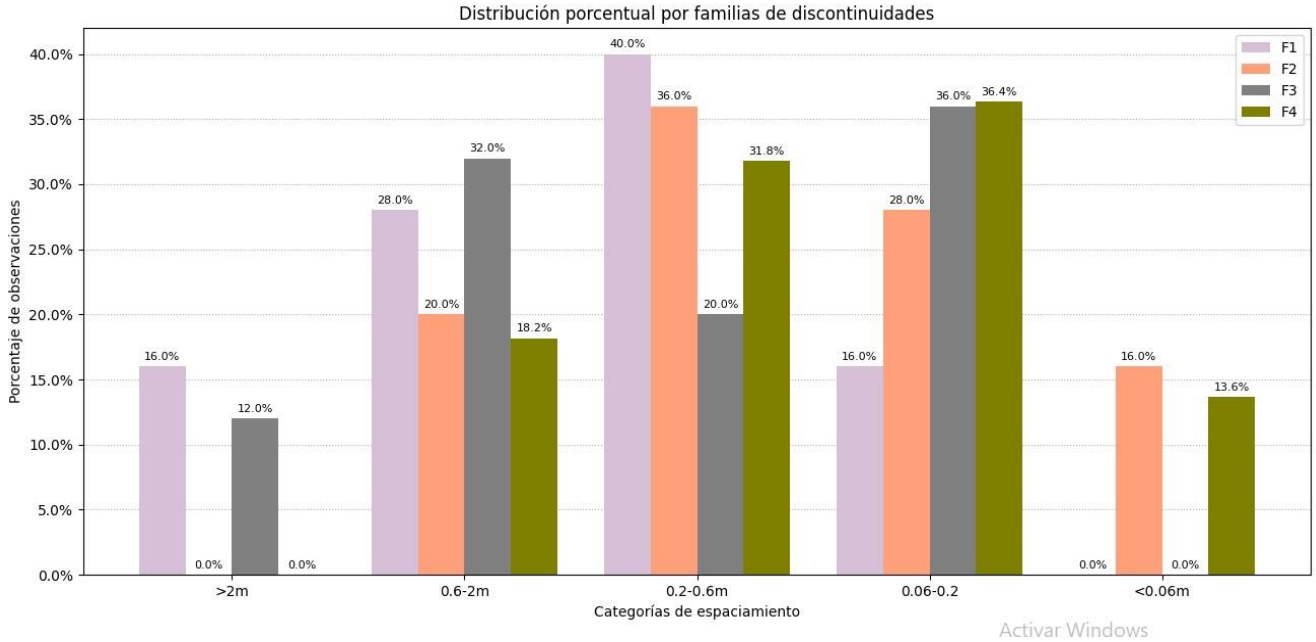



Tabla guía 31
Mapeo estructural de la actividad 2

| Familia | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|---|---|---|---|
| Orientación | 60/150 | 30/240 | 45/230 | 20/310 |
| Espaciamiento | Histograma (0.06->2m) | Histograma (<0.06-2m) | Histograma (0.06->2m) | Histograma (<0.06-2m) |
| Persistencia | 10-20m el 40%<br>1-3m el 60% | 0.5-1m el 30%<br>1-2m el 70% | 10-20m el 20%<br>1-3m el 80% | 0.5-1m el 45%<br>1-2m el 45% |
| Apertura | Cerrada | Cerrada | Cerrada | Cerrada |
| Rugosidad | Plana JRC=2.3 | Ondulada JRC=9 | Escalonada JRC=11 | escalonada JRC=8 |
| Relleno | Sin relleno | <5mm (blanda) | Sin relleno | >5mm (duro) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Meteorización | Sana | Moderadamente alterada | Sana | Muy alterada |
| Filtración | Ligeramente húmeda | Húmeda | seca | Húmeda |

a) De acuerdo a los datos de la tabla 30, 31 y la figura 33 determinar el valor del RMR de la masa rocosa.

b) Tomando como base los resultados del ítem "a" determinar el valor de Q de la masa rocosa considerando una altura litostática de 300m y una densidad e la masa rocosa circundante de $25KN/m^3$

c) Tomando como referencia los resultados del ítem "a" y "b" indicar el tipo de sostenimiento para labores permanentes que se debe considerar.

d) Usando los resultados de la valoración de la masa rocosa realizar las distintas correlaciones describiendo los detalles a tener en cuenta a la hora de determinar cada uno de estos valores.

e) Realiza un informe con los datos obtenidos para el RMR, Q y GSI indicando la trascendencia que tiene la buena determinación de dichos valores para el trabajo subterráneo.

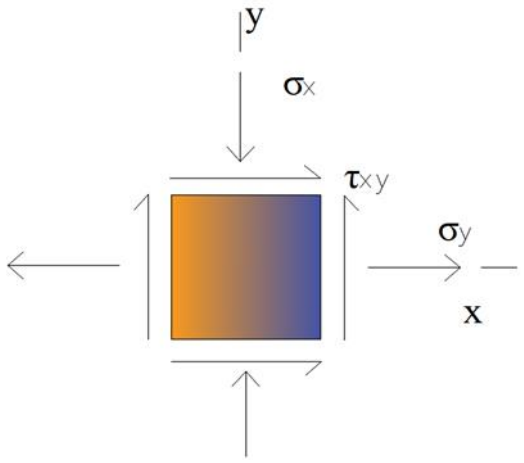
# III. ESTADOS TENSIONALES

Los estados tensionales permiten conocer de mejor forma el comportamiento del medio continuo, es de suma importancia para los ingenieros conocer la matemática que permite hacer un tratamiento riguroso de los tensores de esfuerzos que se presentan en los trabajos de la ingeniería. La comprensión de las tensiones y su manipulación permiten tener una comprensión detallada de la masa rocosa ya que sin dicho conocimiento solo nos quedaríamos en un análisis empírico y no podríamos pasar a realizar modelamiento numérico mucho más preciso y detallado del comportamiento de la masa rocosa ante la perturbación de dichos estados tensionales por la excavación de la roca para diferentes fines, el análisis de los estados tensionales lo podemos realizar en dos y tres dimensiones para lo cual en este capítulo lo realizaremos usando herramientas algebraicas de los auto vectores y los autovalores estudiados en el algebra lineal.

## 3.1. ESTADOS TENCIONALES EN 2D

Conocer el estado tensional como parte de la mecánica del medio continuo nos permite tener un conocimiento sólido para poder asimilar todos los conceptos que de ella derivan, el tensor de esfuerzos es la magnitud tensorial más importante para poder comprender el comportamiento del medio continuo, a continuación, presentamos la representación geométrica como algebraica del tensor de esfuerzo.

Figura guía 28
Representación gráfica y matemática de un tensor 2D




$$\sigma_{xy} = \begin{bmatrix} -\sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix}$$

Ecuación guía 10
Ecuación de cambio de base de tensor de esfuerzos

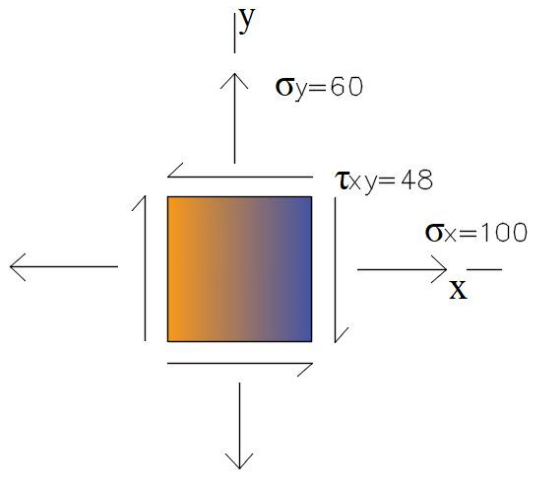
$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Manipular los tensores algebraicamente es de suma importancia para poder comprender su comportamiento y sus implicancias en el mundo real, los tensores se pueden cambiar de base, encontrar sus esfuerzos principales, superponerlos entre otras operaciones. La manipulación de los tensores también nos permite comprender los criterios de fallamiento de las estructuras en nuestro caso el comportamiento de la masa rocosa. Veremos cada una de estas operaciones en ellos ejemplos siguientes que desarrollaremos en este manual.

### *3.1.1. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CAMBIO DE BASE DE UN TENSOR*

Dado el tensor de la figura 36 se pide rotar el tensor un ángulo de 30° en sentido antihorario, es decir cambiaremos de base dicho tensor a una base que se encuentra rotada 30°.

Figura guía 29
Tensor del ejemplo de aplicación



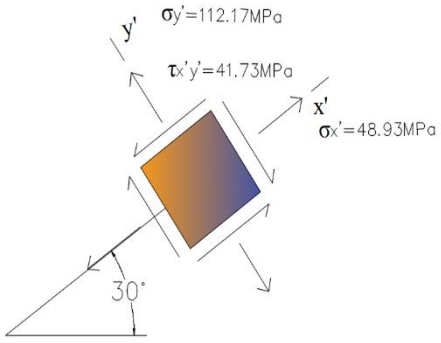

$$\sigma_{xy} = \begin{bmatrix} 100 & -48 \\ -48 & 60 \end{bmatrix} \text{MPa}$$

$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} \cos 30° & \sin 30° \\ -\sin 30° & \cos 30° \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 & -45 \\ -45 & 60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 30° & -\sin 30° \\ \sin 30° & \cos 30° \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} 0.87 & 0.5 \\ -0.5 & 0.87 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 & -48 \\ -48 & 60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.87 & -0.5 \\ 0.5 & 0.87 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} 63 & -11.76 \\ -91.76 & 76.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.87 & -0.50 \\ 0.50 & 0.87 \end{bmatrix}$$

Figura guía 30
Tensor resultado de la figura 29




$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} 48.93 & -41.73 \\ -41.73 & 112.17 \end{bmatrix} \text{MPa}$$

### *3.1.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CAMBIO DE BASE DE UN TENSOR*

Para la siguiente situación de estados tensionales, se pide determinar la resultante cuando se hayan superpuesto y rotado 60°en sentido antihorario.

Figura guía 31
Estado tensional del ejemplo de aplicación

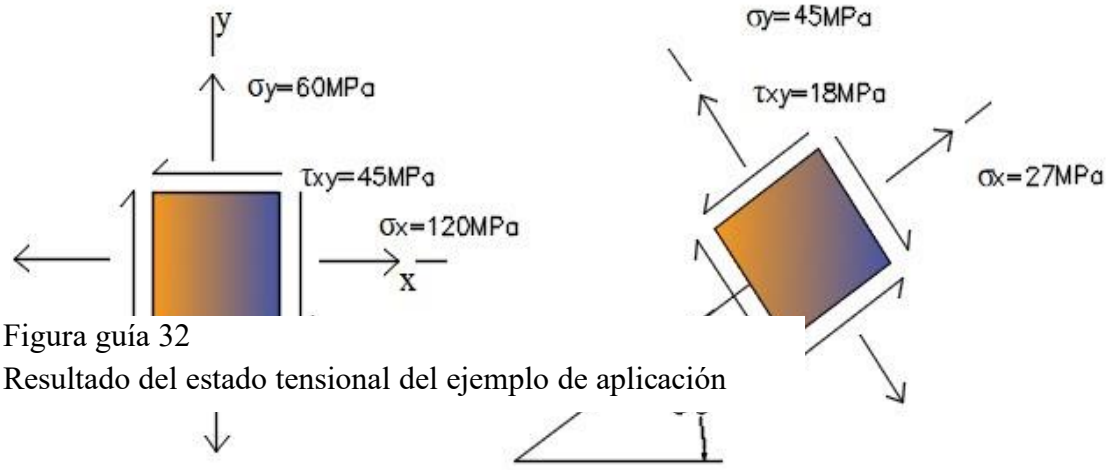
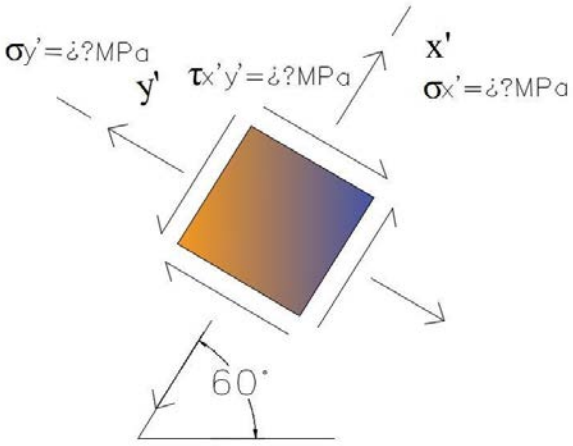



Figura guía 32
Resultado del estado tensional del ejemplo de aplicación




$$\sigma_{x\prime y\prime} = \begin{bmatrix} ¿? & ¿? \\ ¿? & ¿? \end{bmatrix} \text{MPa}$$

Como podemos ver este es el método algebraico para poder cambiar la base un tensor, también podemos generalizar en una sola matriz el cambio de base como veremos a continuación realizando algunas manipulaciones matemáticas.

Ecuación guía 11
Ecuación general del cambio de base de un tensor en 2D

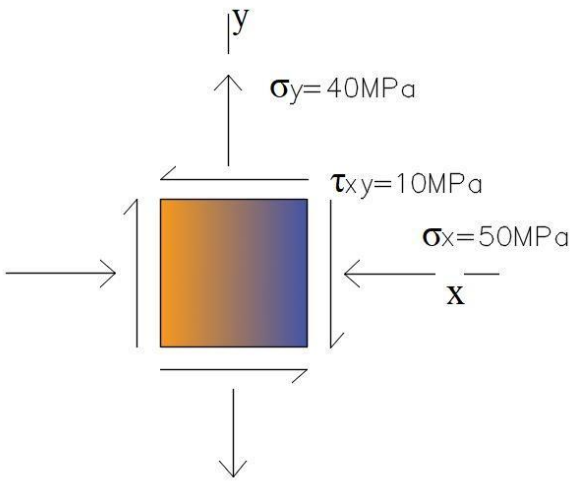
$$\begin{bmatrix} \sigma_{x\prime} \\ \sigma_{y\prime} \\ \tau_{x\prime y\prime} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & \sin 2\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & -\sin 2\theta \\ -\frac{1}{2}\sin 2\theta & \frac{1}{2}\sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}$$

Esta expresión puede deducirse de la expresión general del cambio de base de un tensor partiendo del concepto vector tensión, de la matriz de cambio de base realizando manipulaciones trigonométricas llegamos a esta expresión. También es importante recordar que en cursos previos se puede realizar dichos cálculos haciendo uso del círculo de MOHR.

### *3.1.3. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES 2D*

Considerando el siguiente estado tensional se pide determina los esfuerzos principales y la cortante máxima usando el criterio algebraico de autovalores y auto vectores.

Figura guía 33
Tensor del ejemplo de determinación de los esfuerzos principales




$$\sigma_{xy} = \begin{bmatrix} -50 & -10 \\ -10 & 40 \end{bmatrix} \text{MPa}$$

Ahora pasaremos a encontrar los esfuerzos principales, para dicho fin debemos recordar los cursos de algebra lineal y el capítulo anterior del cambio de base.

Ecuación guía 12
Ecuación de autovalores, autovectores e invariantes

$$[\sigma_{xy} - \sigma I].\vec{V} = \vec{0}$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma \end{vmatrix} = 0$$

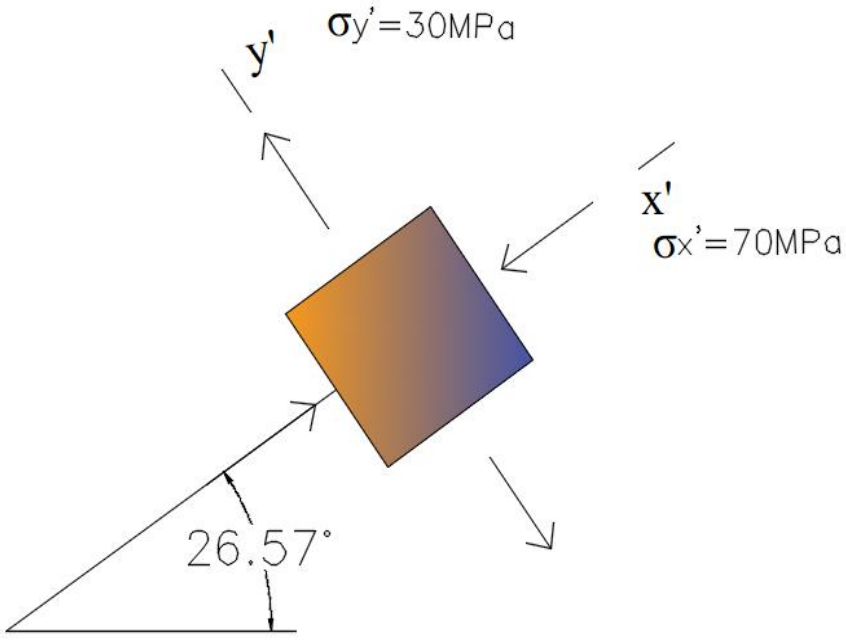
$$\sigma^2 - I_1\sigma + I_2 = 0;\ I_1 = \sigma_x + \sigma_y;\ I_2 = \sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2$$

$$\sigma^2 + 40\sigma - 2100 = 0;\ I_1 = -40;\ I_2 = -2100$$

$$\sigma_1 = -70;\ \sigma_2 = 30$$

$$\begin{bmatrix} 20 & -40 \\ -40 & 80 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} -80 & -40 \\ -40 & -20 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{u_2}{u_1}\right) = 26.57° \qquad \theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{u_2}{u_1}\right) = -63.43°$$



Y por último pasaremos a calcular la cortante máxima con lo cual se concluye el análisis del estado tensional en 2D desde el punto de vista algebraico usando los conceptos del álgebra lineal.

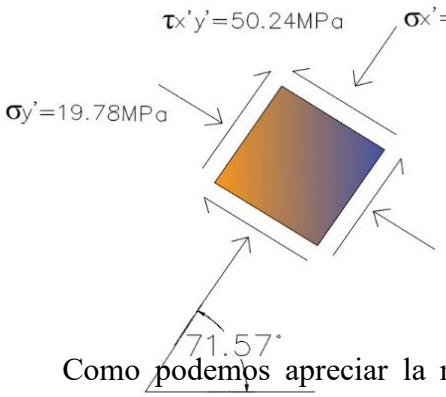
De la teoría sabemos que la cortante máxima está orientada a 45° de los planos principales, por lo tanto, debemos hacer rotar nuestro tensor de esfuerzos un ángulo de 71.57°. Este análisis lo realizaremos haciendo uso de las ecuaciones 10 y 12 trabajadas anteriormente.

$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} \cos 71.57° & \sin 71.57° \\ -\sin 71.57° & \cos 71.57° \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -50 & -40 \\ -40 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 71.57° & -\sin 71.57° \\ \sin 71.57° & \cos 71.57° \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} 0.32 & 0.95 \\ -0.95 & 0.32 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -50 & -40 \\ -40 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.32 & -0.95 \\ 0.95 & 0.32 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} -54.00 & -3.30 \\ 34.70 & 41.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.32 & -0.95 \\ 0.95 & 0.32 \end{bmatrix}$$

Figura guía 34
Cortante máxima del tensor de esfuerzos de la figura 33




$$\sigma_{x'y'} = \begin{bmatrix} -20.41 & 50.24 \\ 50.24 & -19.78 \end{bmatrix}$$

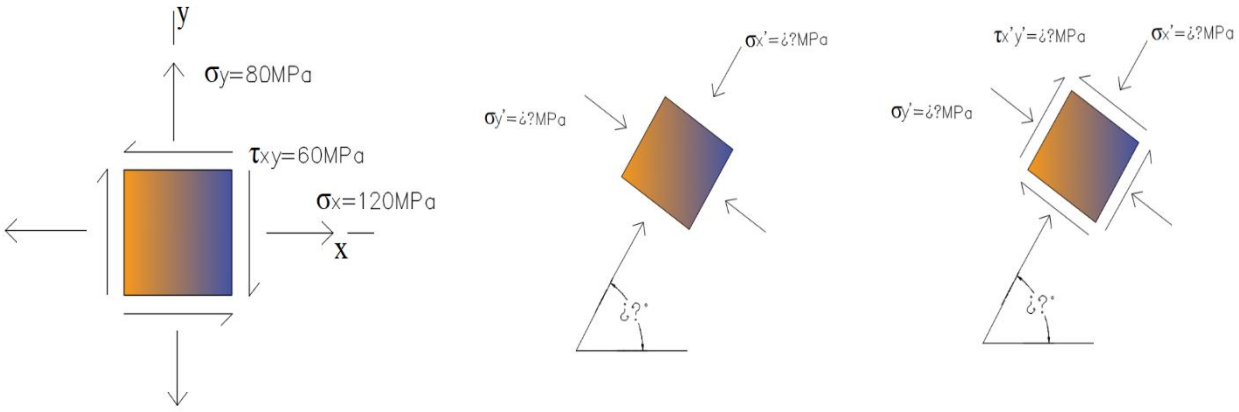
Como podemos apreciar la manipulación algebraica es de suma importancia porque permite conocer de mejor forma la interpretación de la base de un tensor y cambio a medida que se rota el tensor de esfuerzos.

La metodología usada para poder manipular los tensores algebraicamente como podemos ver es muy sencilla de aplicar y también facilita grandemente la comprensión ya que usa conceptos algebraicos y no solamente conceptos geométricos, es importante mencionar que para la demostración de dichas expresiones en necesario tener conocimientos de algebra lineal.

### *3.1.4. ESFUERZOS PRINCIPALES EN 2D*

A partir del siguiente estado tensional se pide determinar los esfuerzos principales y la cortante máxima usando las ecuaciones 10 y 12.

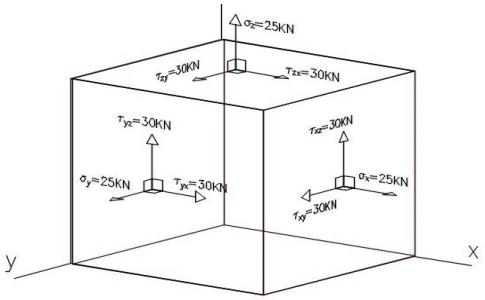
Figura guía 35
Estado tensional, esfuerzos principales y cortante máxima del ejemplo de aplicación




## 3.2. ACTIVIDAD 3

En grupos de trabajo por afinidad realizar las siguientes actividades que se enumeran a continuación, haciendo uso de toda la teoría estudiada hasta este momento y usando los softwares necesarios trabajados en los todos los temas desarrollados.

Figura guía 36
Tensor de esfuerzos en 3D




$$\sigma_{xyz} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

De acuerdo a los datos de la figura 46 encuentre el nuevo tensor respecto a la nueva base:

$e_1 = (-1/\sqrt{2}, 1/2, -1/2)$ $e_2 = (0, 1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ $e_3 = (¿?, ¿?, ¿?)$

a) Con los datos de del estado tensional de la figura 46 encuentre el tensor respecto a la base generada por una por $e_1 = (2,2,2)$ y dónde $e_2$, $e_3$ son una base ortogonal del plano perpendicular a $e_1$.

b) Encontrar el esfuerzo normal y cortante para una orientación perpendicular al plano x+y+z-5=0.

c) Encontrar los esfuerzos principales usando el método algebraico, indicando detalladamente los resultados obtenidos.

d) Encontrar la tensión máxima de corte usando los resultados del ítem "d".

### 3.3. TENSOR DE DEFORMACIONES EN 2D

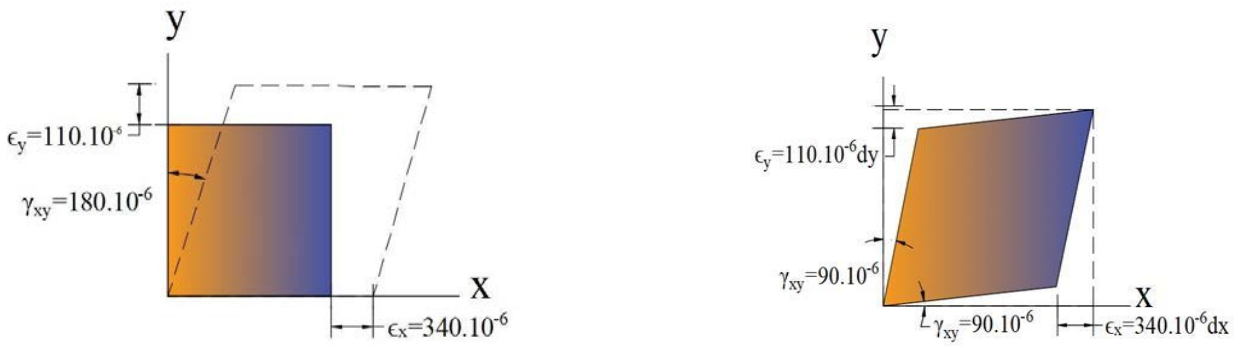
Al igual que el tensor de esfuerzos en 2D podemos realizar el mismo tratamiento de las deformaciones lineales y angulares en el plano con las mismas expresiones algebraicas, pero con ciertas consideraciones a tener en cuenta.

### *23.1.2. 3.3.1. EJERCICIO DE CAMBIO DE BASE DEL TENSOR DE DEFORMAIONES*

Se tiene un estado tensional con las siguientes deformaciones por influencia de los esfuerzos. Determinaremos a) las deformaciones para un ángulo de 30°; b) las deformaciones principales y; c) la deformación unitaria cortante máxima.

$$\epsilon_x = 340x10^{-6};\ \epsilon_y = 110x10^{-6};\ \gamma_{xy} = 180x10^{-6}$$

Figura guía 37
Tensor normal y corregido de deformaciones




$$\delta_{xy} = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \epsilon_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 340 & 90 \\ 90 & 110 \end{bmatrix}$$

$$\delta_{x\prime y\prime} = \begin{bmatrix} \cos 30° & \sin 30° \\ -\sin 30° & \cos 30° \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 340 & 90 \\ 90 & 110 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 30° & -\sin 30° \\ \sin 30° & \cos 30° \end{bmatrix}$$

$$\delta_{x\prime y\prime} = \begin{bmatrix} 0.87 & 0.5 \\ -0.5 & 0.87 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 340 & 90 \\ 90 & 110 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.87 & -0.5 \\ 0.5 & 0.87 \end{bmatrix}$$

$$\delta_{x'y'} = \begin{bmatrix} 340.8 & 133.3 \\ -91.7 & 50.7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.87 & -0.50 \\ 0.50 & 0.87 \end{bmatrix}$$

$$\delta_{x'y'} = \begin{bmatrix} 363.14 & -54.43 \\ -54.43 & 89.96 \end{bmatrix}$$

Figura guía 38
Tensor de deformaciones rotado

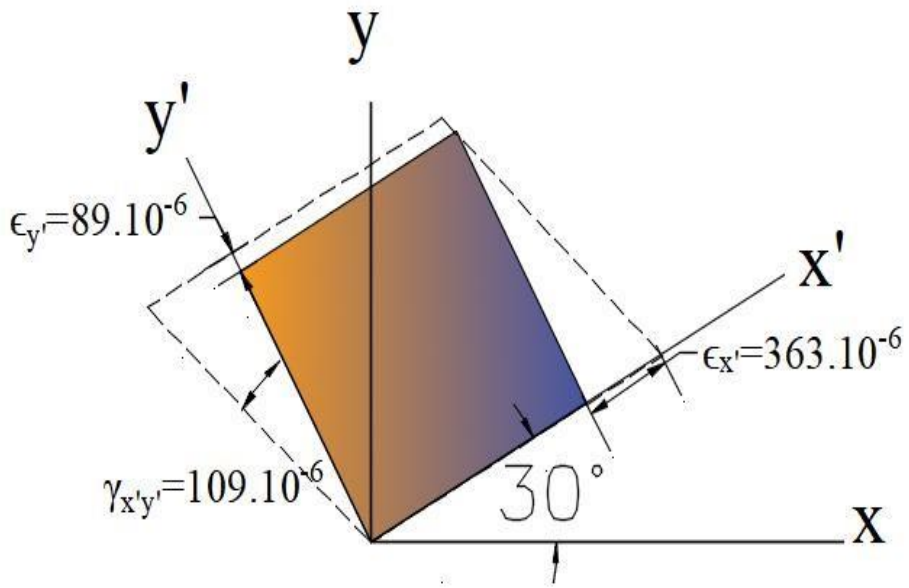
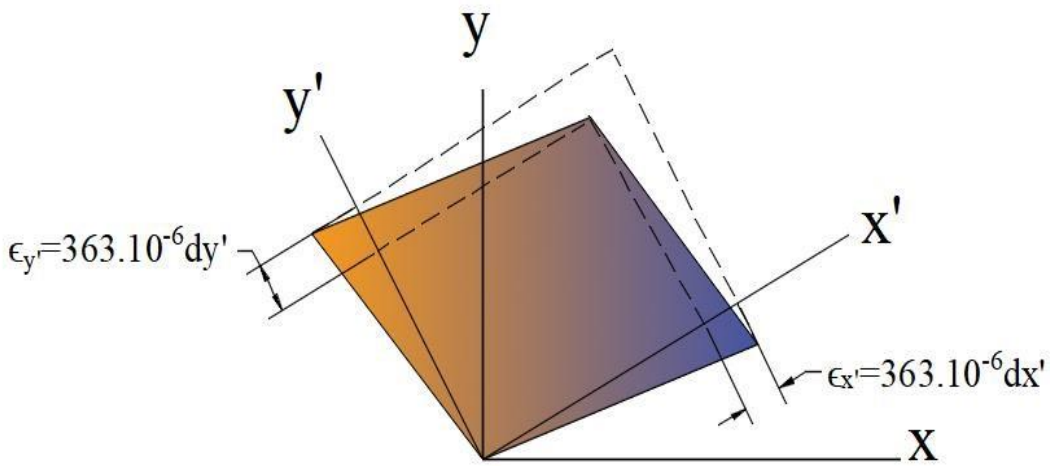



Figura guía 39
Tensor de deformaciones rotado y corregido



Ahora pasaremos a determinar las deformaciones principales, es decir cuando la deformación angular sea nula, como podemos ver la interpretación de los resultados son de suma importancia ya que permiten tener un entendimiento profundo del tensor de esfuerzos y deformaciones para su aplicación a la vida real.

$$[\delta_{xy} - \epsilon I].\vec{V} = \vec{0}$$

$$\delta_{xy} = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \epsilon_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 340 & 90 \\ 90 & 110 \end{bmatrix} \qquad \begin{vmatrix} \epsilon_x - \epsilon & \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \epsilon_y - \epsilon \end{vmatrix} = 0$$

$$\epsilon^2 - I_1\epsilon + I_2 = 0;\ I_1 = \epsilon_x + \epsilon_y;\ I_2 = \epsilon_x\epsilon_y - \left[\frac{\gamma_{xy}}{2}\right]^2$$

$$\epsilon^2 - 450\epsilon + 29300 = 0;\ I_1 = 450;\ I_2 = 29300$$

$$\epsilon_1 = 78.96;\ \epsilon_2 = 371.03$$

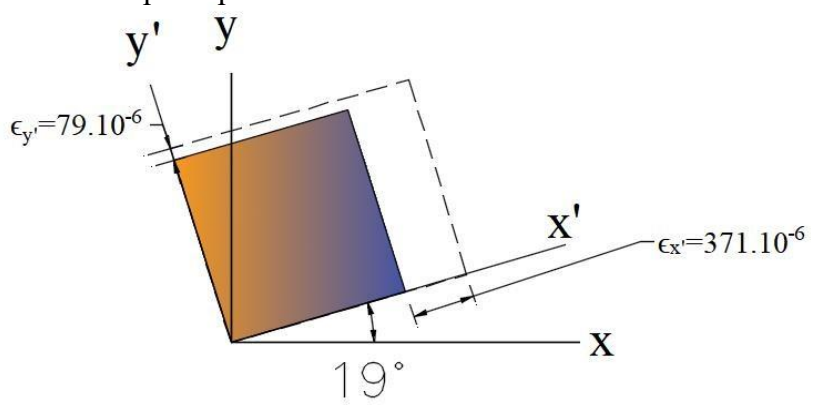
$$\begin{bmatrix} 261 & 90 \\ 90 & 31 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{u_2}{u_1}\right) = -71.0°$$

$$\begin{bmatrix} -31 & 90 \\ 90 & -261 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{u_2}{u_1}\right) = 19°$$

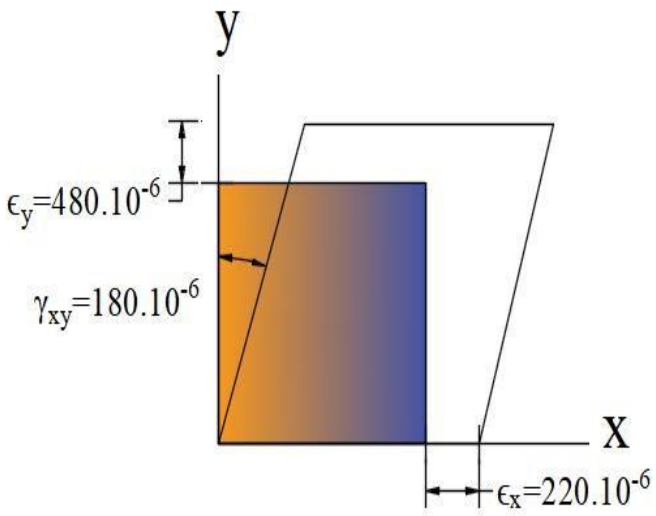
Figura guía 40
Tensor de deformaciones principales




### *3.3.2. EJERCICIO DE CAMBIO DE BASE DEL TENSOR DE DEFORMACIONES*

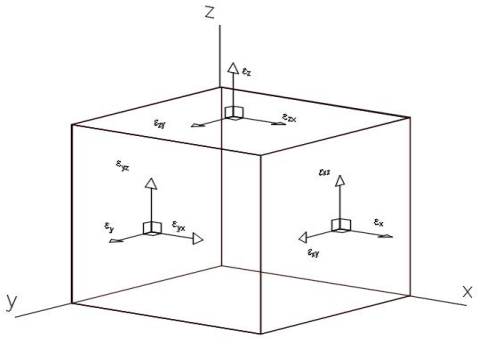
Para el siguiente estado tensional se pide determinar en estado tensional para un ángulo de 60° y las deformaciones principales, realizar los gráficos correspondientes detallando todas las consideraciones posibles.

Figura guía 41
Tensor de deformaciones del ejercicio de aplicación



### 3.4. ACTIVIDAD 4

Figura guía 42
Tensor de deformaciones en 3D




$$\epsilon_{xyz} = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{yx}}{2} & \epsilon_y & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} & \frac{\gamma_{zy}}{2} & \epsilon_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.002 & 0.001 & 0 \\ 0.001 & 0.003 & 0 \\ 0 & 0 & 0.004 \end{bmatrix}$$

a) De acuerdo a los datos de la figura 53 encuentre el nuevo tensor respecto a la nueva base:

$e_1 = (-1/\sqrt{2}, 1/2, -1/2)$ $e_2 = (0, 1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ $e_3 = (¿\,?\,, ¿\,?\,, ¿\,?\,)$

b) Encontrar las deformaciones principales para el tensor de la figura 53 y realizar el grafico correspondiente

c) Encontrar la contracción volumétrica para el tensor de derogaciones del ítem “a” y para las deformaciones principales

d) Encontrar los esfuerzos principales si se sabe que E=250GPa y el $\upsilon$ =0.25 usando la matriz de rigidez

e) Realizar la demostración de la matriz de cambio de base a partir de la definición de vector tensión.

# IV. PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ROCAS

En esta parte veremos la forma de determinación de las propiedades mecánicas de las rocas para luego vincularlas al macizo rocoso.

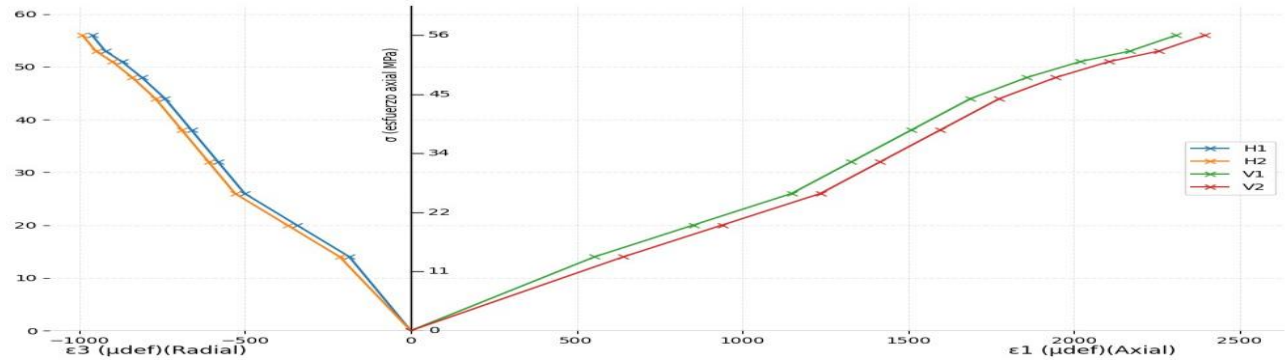
## 4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA ROCA

Se realiza un ensayo de compresión simple sobre una probeta de roca en la que se ha colocado cuatro bandas extensiométricas en la que se muestra la lectura en microdeformaciones y carga axial en MPa cuyos valores se registran en la siguiente tabla:

Tabla guía 32
Data de las cintas extensiométricas

| $\sigma_1$ | 14 | 20 | 26 | 32 | 38 | 44 | 48 | 51 | 53 | 56 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H1 | -185 | -343 | -501 | -581 | -661 | -741 | -811 | -871 | -921 | -961 |
| H2 | -214 | -372 | -530 | -610 | -690 | -772 | -840 | -900 | -950 | -990 |
| V1 | 555 | 852 | 1149 | 1329 | 1509 | 1688 | 1859 | 2019 | 2169 | 2307 |
| V2 | 642 | 939 | 1236 | 1416 | 1596 | 1776 | 1946 | 2106 | 2256 | 2396 |

Figura guía 43
Curva tensión - deformación



Determine el módulo de Young y el coeficiente de Poisson de la roca, tomando como intervalo de tensión para los cálculos 20 y 38 MPa,

Ecuación guía 13
Módulo de Young

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_1}$$

$$E_{20-38} = \frac{38 - 20}{\left(\frac{1596x10^{-6} + 1509x10^{-6}}{2}\right) - \left(\frac{939x10^{-6} + 852x10^{-6}}{2}\right)}$$

$$E_{20-38} = \frac{18}{\left(\frac{3105x10^{-6}}{2}\right) - \left(\frac{1791x10^{-6}}{2}\right)}$$

$$E_{20-38} = \frac{18}{\left(\frac{3105x10^{-6}}{2}\right) - \left(\frac{1791x10^{-6}}{2}\right)}$$

$$E_{20-38} = \frac{18}{657x10^{-6}} = 27.4GPa$$

Ahora el coeficiente de Poisson

Ecuación guía 14
Coeficiente de Poisson

$$\upsilon = -\frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}$$

$$\upsilon_{20-38} = -\frac{\left(\frac{-690-661}{2}\right)-\left(\frac{-372-343}{2}\right)}{\left(\frac{1596+1509}{2}\right)-\left(\frac{939+852}{2}\right)} = 0.48$$

Nota podemos ver y correlacionar las expresiones de la siguiente manera:

$$\mathrm{E} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_1} \qquad \Delta\varepsilon_1 = \frac{\Delta\sigma}{E} \qquad \upsilon = -\frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1} \qquad \upsilon = -\frac{\Delta\varepsilon_3}{\frac{\Delta\sigma}{E}} \qquad \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_3} = -\frac{E}{\upsilon}$$

## 4.2. EJERCICIO DE APLICACIÓN PROPIEDADES ELASTICAS DE LAS ROCAS

Par la siguiente data de cintas extensiométricas determinar el módulo de Young y el coeficiente de

Poisson, también realizar el gráfico correspondiente, el módulo de Young secante y tangente al 40% .

Tabla guía 33
Data extensiométrica del ejercicio de aplicación

| $\sigma_1$ | 14 | 20 | 26 | 32 | 38 | 44 | 48 | 51 | 53 | 56 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H1 | -185 | -343 | -501 | -581 | -661 | -741 | -811 | -871 | -921 | -961 |
| H2 | -214 | -372 | -530 | -610 | -690 | -772 | -840 | -900 | -950 | -990 |
| H3 | -200 | -358 | -516 | -596 | -676 | -757 | -826 | -886 | -936 | -976 |
| V1 | 555 | 852 | 1149 | 1329 | 1509 | 1688 | 1859 | 2019 | 2169 | 2307 |
| V2 | 642 | 939 | 1236 | 1416 | 1596 | 1776 | 1946 | 2106 | 2256 | 2396 |
| V3 | 599 | 896 | 1193 | 1373 | 1553 | 1732 | 1903 | 2063 | 2213 | 2352 |

### 4.3. DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTOS AXIALES Y RADIALES

En un ensayo de comprensión simple la carga de ruptura es de 36 t. El diámetro de la probeta es de 56mm y la relación de esbeltes es 2. El módulo de Young de la roca intacta es de 68GPa y su coeficiente de Poisson es d 0.28. Se pide determinar la tensión de ruptura de la roca intacta y los desplazamientos axial y radial cuando la probeta está sometida a una carga de 15t.

Ecuación guía 15
Fuerza de ruptura

$$F_r = M_r . g$$

$$F_r = 36t\left(\frac{1000Kg}{1t}\right)\left(9.8\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_r = 352800N = 352.8KN$$

Ecuación guía 16
Tensión de ruptura

$$\sigma_C = \frac{F_r}{A}$$

$$\sigma_c = 0.143239x10^3 10^6 Pa$$

$$\sigma_c = 143.239GPa$$

Los desplazamientos axial y radial se determinarán a partir del módulo de Young y el coeficiente de Poisson.

Ecuación guía 17
Deformación axial

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \quad \Delta\varepsilon_1 = \frac{\Delta\sigma}{E}$$

$$(\varepsilon_{1(15t)} - \varepsilon_{1(0t)}) = \frac{(\sigma_{(15t)} - \sigma_{(0t)})}{E}$$

$$\varepsilon_{1(15t)} = \frac{0.059683x10^{6}KPa}{68x10^{9}Pa}$$

$$\varepsilon_{1(15t)} = 0.00087769def = 0.87769mdef = 877.96\mu def = 0.087\%$$

$$\Delta L = \varepsilon_1 L = 0.00087769x112mm = 0.09mm$$

Ecuación guía 18
Deformación radial

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta r}{r} \quad \upsilon = -\frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}$$

$$\Delta\varepsilon_{3(15t)} = -\upsilon\Delta\varepsilon_{1(15t)}$$

$$\Delta\varepsilon_{3(15t)} = \varepsilon_{3(15t)} - \varepsilon_{3(0t)} = \varepsilon_{3(15t)}$$

$$\varepsilon_{3(15t)} = -877.96\mu\,def(0.28) = -245.8288\mu def$$

$$\Delta r = \varepsilon_3 r = -0.0002458288(28mm) = -0.00688321mm = -6.88\mu m$$

$$\Delta d = -13.76mm$$

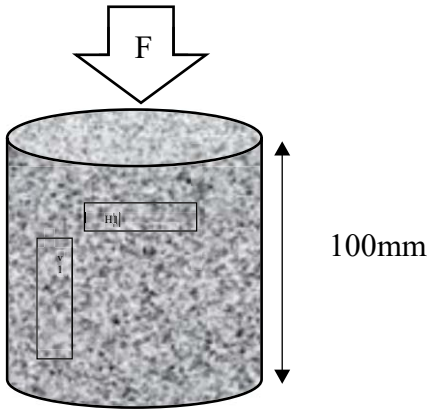
## 4.4. EJERCICIO DE APLICACIÓN DE DEZPLAZAMIENTO AXIAL Y RADIAL

En un ensayo de comprensión simple la carga de ruptura es de 35 t. El diámetro de la probeta es de 50mm y la relación de esbeltes es 2.5 El módulo de Young de la roca intacta es de 66GPa y su coeficiente de Poisson es d 0.25. Se pide determinar la tensión de ruptura de la roca intacta y los desplazamientos axial y radial cuando la probeta está sometida a una carga de 18t.

### 4.5. ACTIVIDAD 5

A partir del siguiente gráfico y tabla determinar los parámetros elásticos la tensión de rotura y los desplazamientos axial y radial cuando la carga sea 13t, si la carga está en toneladas y la lectura de las bandas extensiométricas en micro deformaciones y la relación de esbeltez es 2.

| F(t) | 3.57 | 5.10 | 6.63 | 8.16 | 9.69 | 11.22 | 12.24 | 13 | 13.31 | 14.32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | -214 | -372 | -530 | -610 | -690 | -772 | -840 | -900 | -950 | -990 |
| V | 642 | 939 | 1236 | 1416 | 1596 | 1776 | 1946 | 2106 | 2256 | 2396 |




## V. RESISTENCIA MECANICA DE LAS ROCAS

Para el diseño y el modelamiento del comportamiento de las masas rocosas es de suma importancia conocer su comportamiento bajo influencia de campos tensionales para ello es de suma importancia conocer sus propiedades mecánicas tanto de la roca intacta como del macizo rocoso el cual pasaremos a estudiar a continuación.

## 5.1. RESISTENCIA MECANICA DE LA ROCA INTACTA

En toda labor minera es imposible encontrar roca intacta a lo largo de las excavaciones, sin embargo, si es posible obtener roca intacta a menor escala para poderla someter a distintos ensayos de laboratorio y poder observar cuantitativamente su comportamiento mecánico, es importante poder medir algunos parámetros de la roca intacta para de esta manera poder predecir el comportamiento de la masa rocosa.

Las rocas a diferencia de los suelos presentan un comportamiento no lineal el cual se modela muy bien con el criterio de falla de Hoeck y Brown, pasaremos a continuación estudiar el criterio de falla de MOHR COULUMB para dicho fin usaremos el software Roc Data.

### *5.1.1. CRITERIO LINEAL DE FALLAMIENTO MOHR COULUMB*

Criterio usado em mecánica de suelos pero que también se puede usar en mecánica de rocas a partir de los parámetros de fallamiento no lineal como veremos más adelante.

Ecuación guía 19
Envolvente de Mohr Coulumb

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$$

Donde tenemos:

$\tau$: Resistencia al corte en MPa

$c$: Cohesión

$\sigma_n$: Esfuerzo normal

$\varphi$: Ángulo de fricción

#### 5.1.1.1. EJERCICIOS DE DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MOHR COULUMB PARA ENSAYO TRIAXIAL

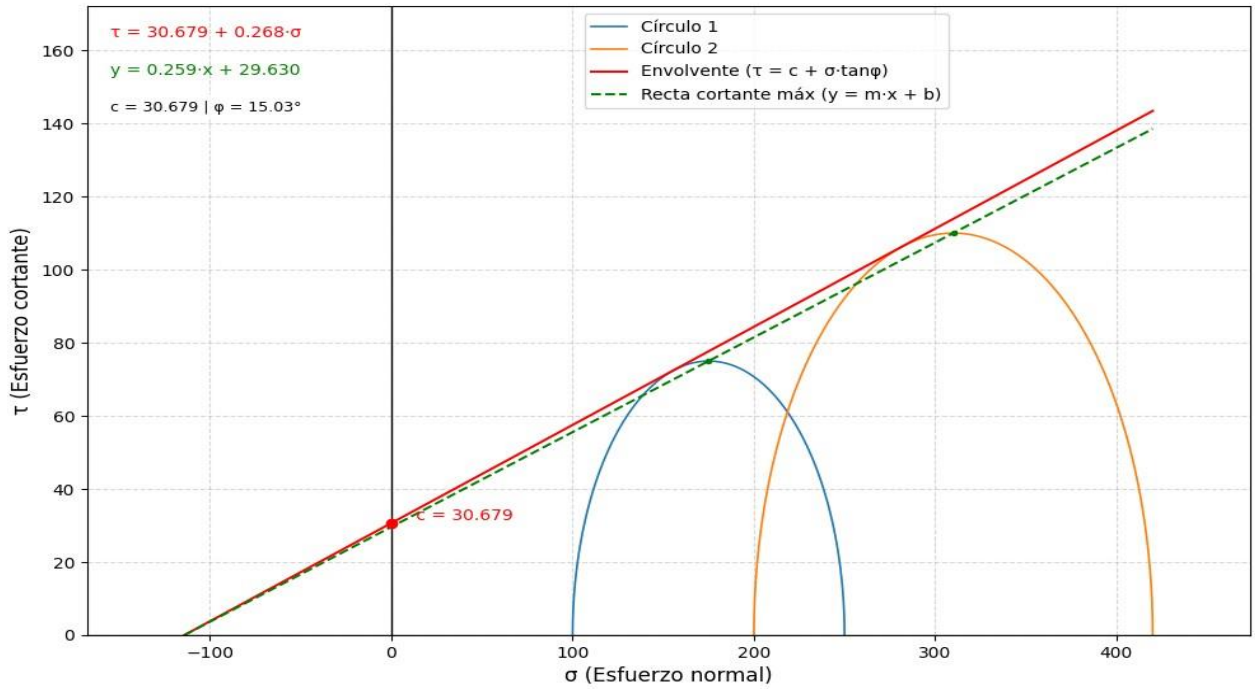
Se tiene un suelo arcilloso en el cual se realizó una serie de ensayos triaxiales dando por resultado los esfuerzos que se presentan en la tabla, se pide determinar; a) El ángulo de fricción; b) Cohesión; c) Resistencia a la comprensión y; d) Resistencia a la tracción de dicho suelo.

Tabla guía 34
Ensayo triaxial par la envolvente de Mohr

| ENSAYO | $\sigma_3$(KPa) | $\sigma_1$(KPa) |
|---|---|---|
| 1 | 100 | 250 |
| 2 | 200 | 420 |

Para poder realizar se ha considerado solo dos ensayos en la realidad se puede realizar con muchos más ensayos, para poder generar los puntos de dispersión se usará la semisuma y semidiferencia de los esfuerzos obtenidos en el laboratorio.

Figura guía 44
Envolvente Máxima de Mohr



Como podemos ver el valor de la los parámetros de la envolvente de Mohr lo obtenemos de la recta de valores máximos.

$$c = 30.68; \varphi = \sin^{-1}(0.2) = 15.01°$$

Ahora para poder encontrar la resistencia a la compresión y la tracción basta con escribir la ecuación que relaciona los esfuerzos 1 y 2.

Ecuación guía 20
Mohr Coulumb en función del esfuerzo axial y el confinado

$$\sigma_1 = \frac{2c\cos\varphi}{1-\sin\varphi} + \sigma_3\frac{(1+\sin\varphi)}{(1-\sin\varphi)}$$

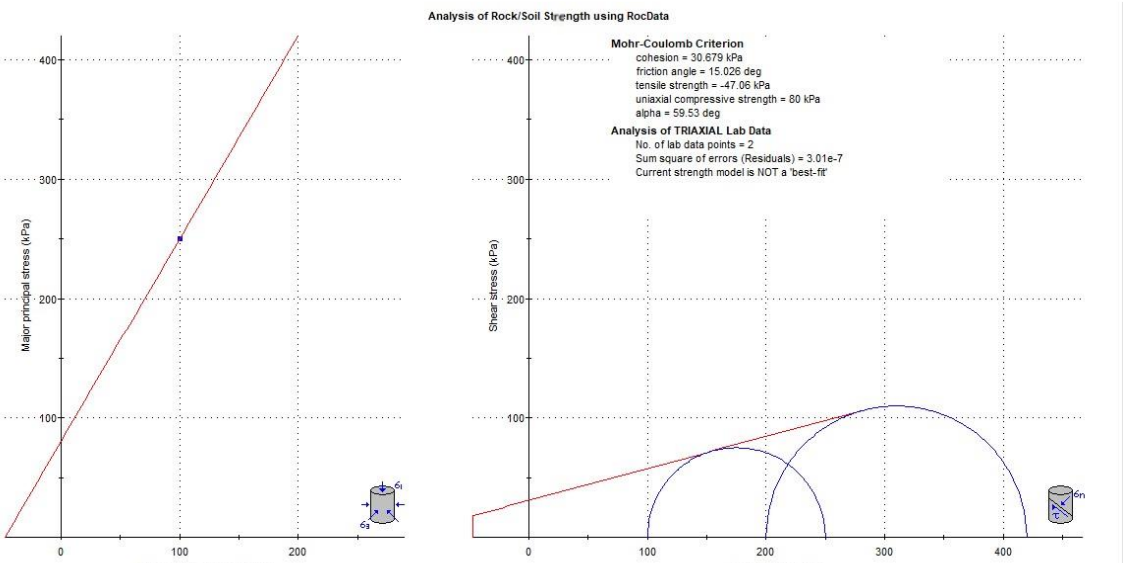
$$\sigma_1 = 79.98 + 1.70\sigma_3 \qquad \Psi = \tan^{-1}(1.70) = 59.55°$$

De esta última ecuación podemos calcular la resistencia a la comprensión y la tracción respectivamente.

$$\sigma_1 = \sigma_c + \sigma_3 \tan\Psi \qquad \sigma_c = \frac{2c\cos\varphi}{1-\sin\varphi} = 79.98\text{KPa} \qquad \sigma_t = \frac{2c\cos\varphi}{1+\sin\varphi} = 47.07\text{KPa}$$

Estos mismos resultados podemos determinar usando el software RocData,

Figura guía 45
Parámetros de Mohr con RocData




Ahora también podríamos plantear la situación inversa ya que como podemos ver las gráficas existen formas de poder realizar los cambios pertinentes.

$$\sigma_1 = 79.98 + 1.70\sigma_3$$

$$\sigma_1 = \sigma_c + K\sigma_3$$

Llevando a la envolvente de Mohr se tiene lo siguiente con lo cual compararemos la envolvente de Mohr y la ecuación de valores máximos.

$$\tau = c + \sigma_n \tan\varphi$$

$$\tau = \frac{\sigma_c}{2\sqrt{k}} + \sigma_n \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{k-1}{k+1}\right)\right)$$

$$\tau = \frac{79.98}{2\sqrt{1.7}} + \sigma_n \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{1.7-1}{1.7+1}\right)\right)$$

$$\tau = 30.67 + \sigma_n \tan(15.03°)$$

$$\tau = 9.17 + 0.27\sigma_n$$

$$c = 9.17; \varphi = 15.03°$$

5.1.1.2. ENVOLVENTE DE M-C A PARTIR DE ENSAYO TRIAXIAL

Determinar los parámetros Mohr Coulomb con los datos de la tabla 34, usando las ecuaciones la referencia la tabla 55 y la ecuación 20 y corroborar dichos resultados con RocData.

### *5.1.1.2. ENVOLVENTE DE HOEK Y BROWN DE LA ROCA INTACTA*

Ahora realizaremos un ejemplo para realizar el cálculo de la envolvente de HOECK y BROWN, lo realizaremos de forma manual como usando el software RocData.

Tabla guía 35
Ensayo triaxial para determinar la envolvente de Mohr

| ENSAYO | $\sigma_3$(MPa) | $\sigma_1$(MPa) |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 45.9 |
| 2 | 1 | 53.33 |
| 3 | 2 | 78.45 |
| 4 | 3 | 92.70 |

5.1.2.1. DETERMIANCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE HOECK Y BROWN

Se tiene los siguientes datos de laboratorio de ensayos triaxiales determinar los parámetros empíricos de Hoeck y Brown.

Tabla guía 36
Data triaxial para la envolvente de Hoeck y Brown

| ENSAYO | $\sigma_3$(MPa) | $\sigma_1$(MPa) |
|---|---|---|
| 1 | 1.5 | 68.82 |
| 2 | 3.0 | 74.82 |

Analizaremos los cambios de variables para poder realizar la envolvente de Hoeck y Brown y para poder determinar los parámetros que describen dicha envolvente de la roca intacta.

| ENSAYO | $\sigma_3$ | $\sigma_1$ | $(\sigma_1-\sigma_3)^2$ | $\sigma_3$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.5 | 68.82 | 4531.98 | 1.5 |
| 2 | 3.0 | 74.82 | 5158.11 | 3.0 |

Ecuación guía 21
Envolvente de Hoeck y Brown

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_3 \sigma_{ci} + {\sigma_{ci}}^2 s}$$

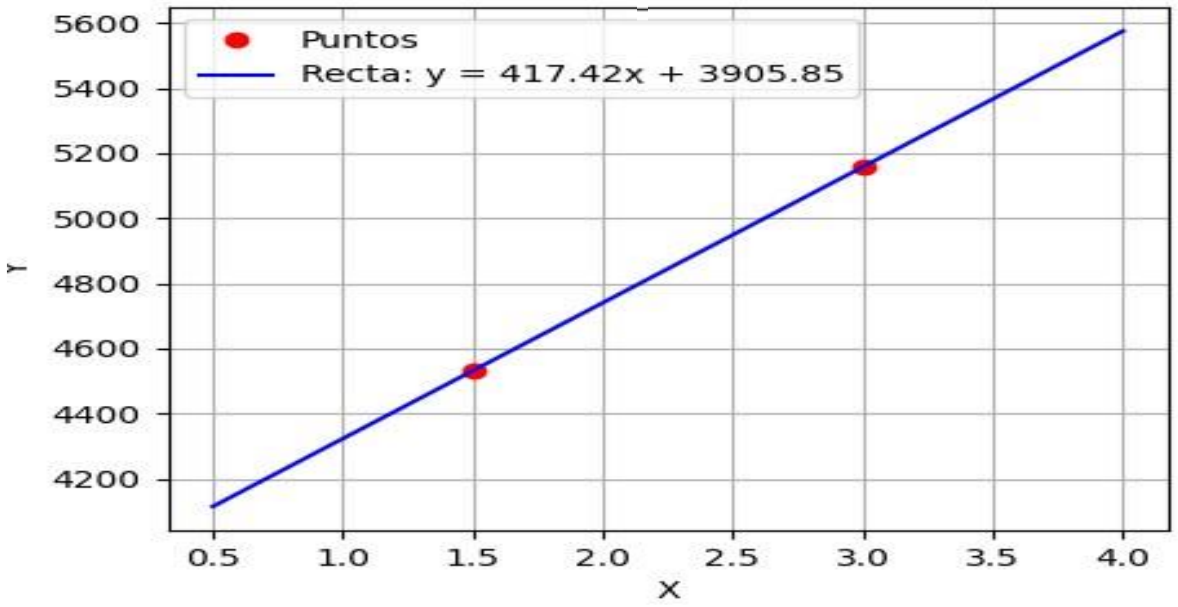
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{\frac{m_i}{\sigma_{ci}} \sigma_3 + s}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = m_i \sigma_3 \sigma_{ci} + {\sigma_{ci}}^2 s$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + {\sigma_{ci}}^2$$

$$y = ax + b$$

Figura guía 46
Regresión lineal de data triaxial




$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 417.42\sigma_3 + 3905.85$$

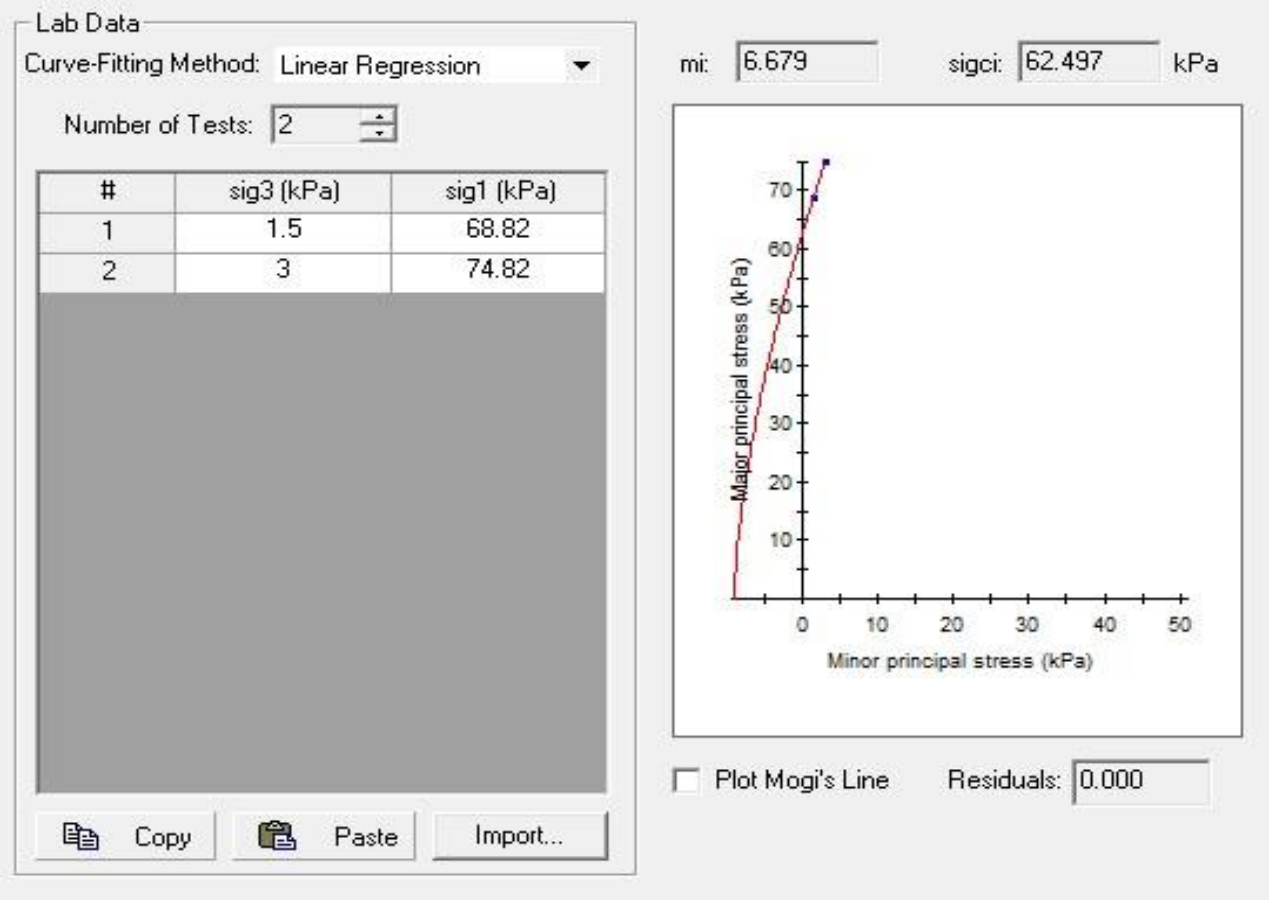
$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = m_i\sigma_{ci}\sigma_3 + {\sigma_{ci}}^2$$

Comparando las ecuaciones tenemos los siguientes valores que nos permitirán escribir y graficar la envolvente de Mohr Coulomb de la roca intacta.

$$m_i = 6.68 \text{ MPa}; \qquad \sigma_{ci} = 62.50 \text{ MPa}$$

Estos valores pueden ser corroborados usando RocData como veremos a continuación para mayor claridad

Figura guía 47
Parámetros de Hoeck y Brown con RocData




$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{(6.68\ )(62.5)\sigma_3 + 3905.85}$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{3905.85 + 417.50\sigma_3}$$

Una vez determinado estos valores debemos escalarlo a la masa rocosa para poder modelar en cualquier software y tomar las mejores decisiones a la hora de explotar las labores mineras.

Si consideramos un ensayo triaxial donde la cortante es nula y cambiamos de base un ángulo respecto a la horizontal obtendremos un nuevo tensor de esfuerzos que nos dará el valor de las tensiones en plano de falla de la siguiente manera según la ecuación N° 11.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & \sin 2\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & -\sin 2\theta \\ -\frac{1}{2}\sin 2\theta & \frac{1}{2}\sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_3 \\ \sigma_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_3\cos^2\theta + \sigma_1\sin^2\theta \\ \sigma_3\sin^2\theta + \sigma_1\cos^2\theta \\ -\sigma_3\frac{1}{2}\sin 2\theta + \sigma_1\frac{1}{2}\sin 2\theta \end{bmatrix}$$

$$\sigma_n = \sigma_3\sin^2\theta + \sigma_1\cos^2\theta$$

$$\tau = -\sigma_3\frac{1}{2}\sin 2\theta + \sigma_1\frac{1}{2}\sin 2\theta$$

Usando las identidades trigonométricas podemos demostrar reducir las expresiones usando ángulos dobles de la siguiente manera:

$$\cos^2\theta = \frac{1+\cos 2\theta}{2}$$

$$\sin^2\theta = \frac{1-\sin 2\theta}{2}$$

$$\sigma_n = \sigma_3\left(\frac{1-\cos 2\theta}{2}\right) + \sigma_1\left(\frac{1+\cos 2\theta}{2}\right)$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1}{2} + \frac{\sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1\cos 2\theta}{2} - \frac{\sigma_3\cos 2\theta}{2}$$

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1+\sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1-\sigma_3)\cos 2\theta$$

$$\tau = -\sigma_3 \frac{1}{2} \sin 2\theta + \sigma_1 \frac{1}{2} \sin 2\theta$$

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\theta$$

A partir de estas ecuaciones podemos encontrar la envolvente no lineal en función de la cortante y la normal de la siguiente manera:

Ecuación guía 22
Ecuación de Balmer

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \frac{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} - 1}{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} + 1}$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) \frac{\sqrt{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3}}}{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} + 1}$$

$$\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} = 1 + a m_b \left( m_b \frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} + s \right)^{a-1}$$

Con estos dos apartados podemos realizar los gráficos correspondientes tanto en función a los esfuerzos principales como en función a la cortante y la normal como lo veremos en el siguiente apartado donde analizaremos las propiedades mecánicas del macizo rocoso.

### 5.1.2.2. EJERCICIO DE APLICACIÓN PA´RAMETROS DE H-B

Con los datos que figuran en la tabla N° determine los parámetros de H-B.

Tabla guía 37
Data triaxial para determinar parámetros de H-B

| ENSAYO | $\sigma_3$(MPa) | $\sigma_1$(MPa) |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 45.90 |
| 2 | 1 | 53.33 |
| 3 | 2 | 78.45 |
| 4 | 3 | 92.70 |

## 5.2. RESISTENCIA MECANICA DEL MACISO ROCOSO

Una vez que se conocen los parámetros de roca intacta se procede a evaluar los parámetros del macizo rocoso para ello se debe previamente haber realizado un levantamiento de campo y haber realizado la valoración del macizo rocoso, combinando los parámetros de la roca intacta circundante más los parámetros de valoración de masa rocosa podemos completar el estudio calculando los parámetros del macizo rocoso.

### *5.2.1. PARÁMETROS DE LA MASA ROCOSA*

Sin perder los datos del ejercicio anterior consideremos una masa rocosa con las siguientes valoraciones GSI de 60 y una voladura de mala calidad considerar el factor de perturbación D = 0.8 a una profundidad de 200 metros de profundidad y un peso específico de 27440 $\mathrm{N/m^3}$.

$$m_i = 6.68 \text{ MPa}; \qquad \sigma_{ci} = 62.50 \text{ MPa}$$

Como podemos apreciar a partir de los datos de laboratorio y los datos de campo podemos obtener la envolvente para macizos rocosos de la siguiente manera.

Ecuación guía 23

Parámetros de H-B de la masa rocosa

$$m_b = m_i . e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)} = 6.68 . e^{\left(\frac{60-100}{28-14x0.8}\right)} = 0.618$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)} = e^{\left(\frac{60-100}{9-3x0.8}\right)} = 0.0023$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left[e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}}\right] = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left[e^{\frac{-60}{15}} - e^{\frac{-20}{3}}\right] = 0.5028$$

$$\sigma_{c,mr} = \sigma_{ci} s^a$$

$$\sigma_{c,mr} = 62.50(0.0023)^{0.5028} = 2.9468MPa$$

$$\sigma_{t,mr} = \frac{s\sigma_{ci}}{m_b}$$

$$\sigma_{t,mr} = \frac{(0.0023)(62.50)}{0.618} = 0.233$$

$$E_{mr}(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}}\, 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}; \sigma_{ci} \leq 100$$

$$E_{mr}(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}; \sigma_{ci} > 100$$

$$E_{mr}(GPa) = \left(1 - \frac{0.8}{2}\right)\sqrt{\frac{62.50}{100}}\, 10^{\left(\frac{60-10}{40}\right)} = 8434.92MPa = 8.43GPa$$

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sqrt{m_b \sigma_3' \sigma_{c,mr} + \sigma_{c,mr}{}^2 s}$$

$$\sigma_1{}' = \sigma_3{}' + ((0.618)\sigma_3{}'(2.9468) + (2.9468)^2(0.0023))^{0.5028}$$

$$\sigma_1{}' = \sigma_3{}' + (1.821\sigma_3{}' + 0.020)^{0.5028}$$

$$\varphi' = sin^{-1}\left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}\right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}][s + m_b\sigma_{3n}]^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + \frac{6m_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

$$\sigma_{3n} = \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{ci}}$$

Donde el valor de $\sigma_{3n}$ va depender si se trata de túneles o taludes, para poder encontrar dicho valor usaremos las siguientes expresiones que mostramos a continuación.

$$\frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} = 0.47\left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H}\right)^{-0.94}, \text{Tunel}$$

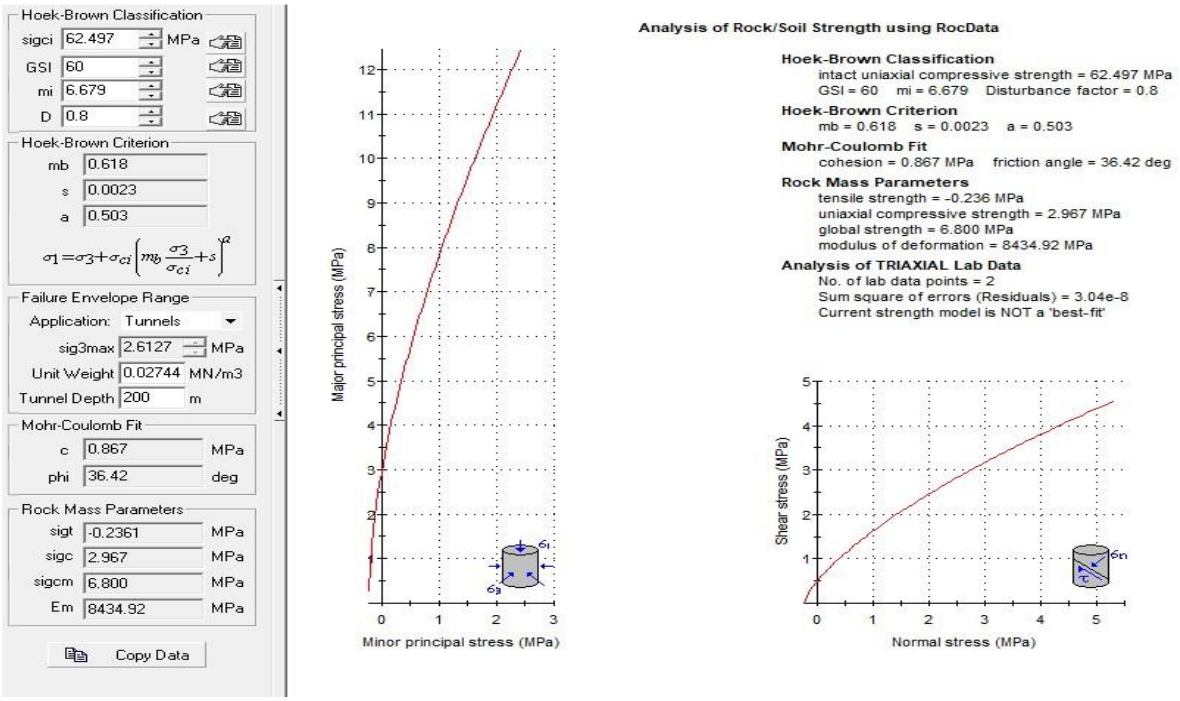
$$\frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} = 0.72\left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H}\right)^{-0.91}, \text{Talud}$$

γ: Peso específico del material ($N/m^3$)

H: Profundidad del túnel o altura el talud (m)

$$\sigma_1{}' = \frac{2c'\cos\varphi'}{1-\sin\varphi'} + \frac{1+\sin\varphi'}{1-\sin\varphi'}\sigma_3{}'$$

Figura guía 48
Parámetros de H-B y M-C con RocData




### *5.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA MASA ROCOSA*

Usando los datos de la tabla N°36, GSI de 80 y una voladura de mala calidad considerar el factor de perturbación D = 0.5 a una profundidad de 200 metros de profundidad y un peso específico de 28440 $N/m^3$, determine los parámetros de la masa rocosa con estas condiciones.

## 5.3. ACTIVIDAD 6

En la construcción de un túnel se han ensayado cuatro probetas de una roca intacta que han sido sometidas a ensayos de comprensión simple como triaxial de dichos ensayos se han obtenido los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla, también se ha realizado un mapeo geomecánica arrojando un GSI=80, factor de perturbación de la masa rocosa de 0.5. Si consideramos una altura litostática de 300m:

Tabla guía 38
Data triaxial para la actividad 6

| ENSAYO | $\sigma_3$(MPa) | $\sigma_1$(MPa) |
|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 34.00 |
| 2 | 6.50 | 67.00 |
| 3 | 12.00 | 86.50 |
| 4 | 18.00 | 100.50 |

a) Determinar los parámetros de la envolvente de Hoek y Brown de la masa rocosa.

b) Determinar los parámetros de la envolvente de Mohr Coulomb de la masa rocosa.

c) Si en el interior del túnel se determina un estado tensional de $\sigma_v$=50MPa y $\sigma_h$=20MPa determine el factor de seguridad para esta condición por H-B y M-C.

## VI. RESISTENCIA MECÁNICA DE DISCONTINUIDADES

### 6.1. BARTON BANDIS

Este criterio de fallamiento es utilizado para las discontinuidades y sobre todo a la hora de evaluar estabilidad de taludes con rotura plana entre otros:

Ecuación guía 24
Envolvente de Barton Bandis

$$\tau = \sigma_n \tan[\varphi_r + i]$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + JRC \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\varphi_r = (\varphi_b - 20°) + 20\left(\frac{r}{R}\right)$$

$\tau$: Resistencia de corte en la junta (MPa)

$\sigma_n$: Tensión normal en la junta (MPa)

$\varphi_r$: Ángulo de fricción residual en la junta (°)

JRC: Coeficiente de rugosidad de la junta

JCS: Es la resistencia a la comprensión simple de los labios de la junta

$\varphi_b$: Ángulo de fricción básico

R: Rebote del martillo Schmidt en superficies secas no meteorizadas

r: Rebote dl martillo Schmidt en superficies húmedas meteorizadas

### *6.1.1. EJERCICIO DE LA ENVOLVENTE DE BARTON BANDIS*

Se quiere determinar la resistencia al corte pico de una junta y su rigidez tangencial, para lo cual se ha realizado el levantamiento geotécnico dando los siguientes resultados:

Rugosidad de la junta, JRC: =12

Lectura de rebotes del martillo Schmidt: 27,29,34,30,28,24,23,31,28,31

Peso específico de la roca,$\gamma = 23\text{KN/m}^3$

La junta se encuentra en una zona donde se prevé una tensión vertical de 2.76MPa y una tensión horizontal que tiene por valor la mitad de la tensión vertical.

El ángulo de fricción residual de la junta $\varphi_r$=25° y su longitud de 1m. La junta forma un ángulo con la horizontal de 35°.

Iniciaremos con el tensor de esfuerzos para encontrar el esfuerzo resistente en la discontinuidad

$$\sigma_{xy} = \begin{bmatrix} 1.38 & 0 \\ 0 & 2.76 \end{bmatrix} \text{MPa}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & \sin 2\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & -\sin 2\theta \\ -\frac{1}{2}\sin 2\theta & \frac{1}{2}\sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_3 \\ \sigma_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 35° & \sin^2 35° & \sin 70° \\ \sin^2 35° & \cos^2 35° & -\sin 70° \\ -\frac{1}{2}\sin 70° & \frac{1}{2}\sin 70° & \cos 70° \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.38 \\ 2.76 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.671 & 0.329 & 0.940 \\ 0.329 & 0.671 & -0.940 \\ -0.470 & 0.470 & 0.342 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.38 \\ 2.76 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_n = 2.30\text{MPa}$$

$$\tau = 0.65\text{MPa}$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + \text{JRC}\log_{10}\left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$r = \frac{29 + 34 + 30 + 28 + 31 + 28 + 31}{10} = 30.14$$

$$\text{JCS} = 10^{(0.00088\gamma r + 1.01)} = 10^{(0.00088(23)(30.14) + 1.01)} = 41.70\text{MPa}$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[25 + 12\log_{10}\left(\frac{41.70}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\tau = 2.30 \tan\left[25 + 12\log_{10}\left(\frac{41.70}{2.30}\right)\right] = 1.94$$

$$k_s = \frac{\tau}{\delta_h} = \frac{1.94}{0.01} = 194\text{MPa/m}$$

Ahora consideremos una longitud de junta de 35m para poder escalar los valores obtenidos a partir de las fórmulas de Barton-Bandis.

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + \text{JRC}_n \log_{10}\left(\frac{\text{JCS}_n}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\text{JRC}_n = \text{JRC}_0 \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.02\text{JRC}_0}$$

$$\text{JCS}_n = \text{JCS}_0 \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.03\text{JRC}_0}$$

$$\delta_n = \frac{L_n}{500}\left(\frac{\text{JRC}_n}{L_n}\right)^{0.3}$$

Entonces escalando valores para la nueva longitud tenemos los siguientes valores determinados.

Ecuación guía 25
Formulas de escalamiento de Barton Bandis

$$\text{JRC}_n = 12\left(\frac{35}{0.1}\right)^{-0.02(12)} = 2.94$$

$$JCS_n = 41.70\left(\frac{35}{0.1}\right)^{-0.03(12)} = 5.06\text{MPa}$$

$$\delta_n = \frac{35}{500}\left(\frac{2.94}{35}\right)^{0.3} = 0.0309\text{m}$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[25 + 2.94\log_{10}\left(\frac{5.06}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\tau = 2.30\tan\left[25 + 2.94\log_{10}\left(\frac{5.06}{2.30}\right)\right] = 1.12\text{MPa}$$

$$k_s = \frac{\tau}{\delta_h} = \frac{1.12}{0.039} = 36.25\text{MPa/m}$$

Ahora determinaremos la resistencia residual una vez que hemos superado la resistencia pico de la siguiente manera eliminando de la envolvente el JRC Y JCS obteniendo la siguiente ecuación.

$$\tau = 2.30\tan[25] = 1.07\text{MPa}$$

Figura guía 49
Cortante versus desplazamiento

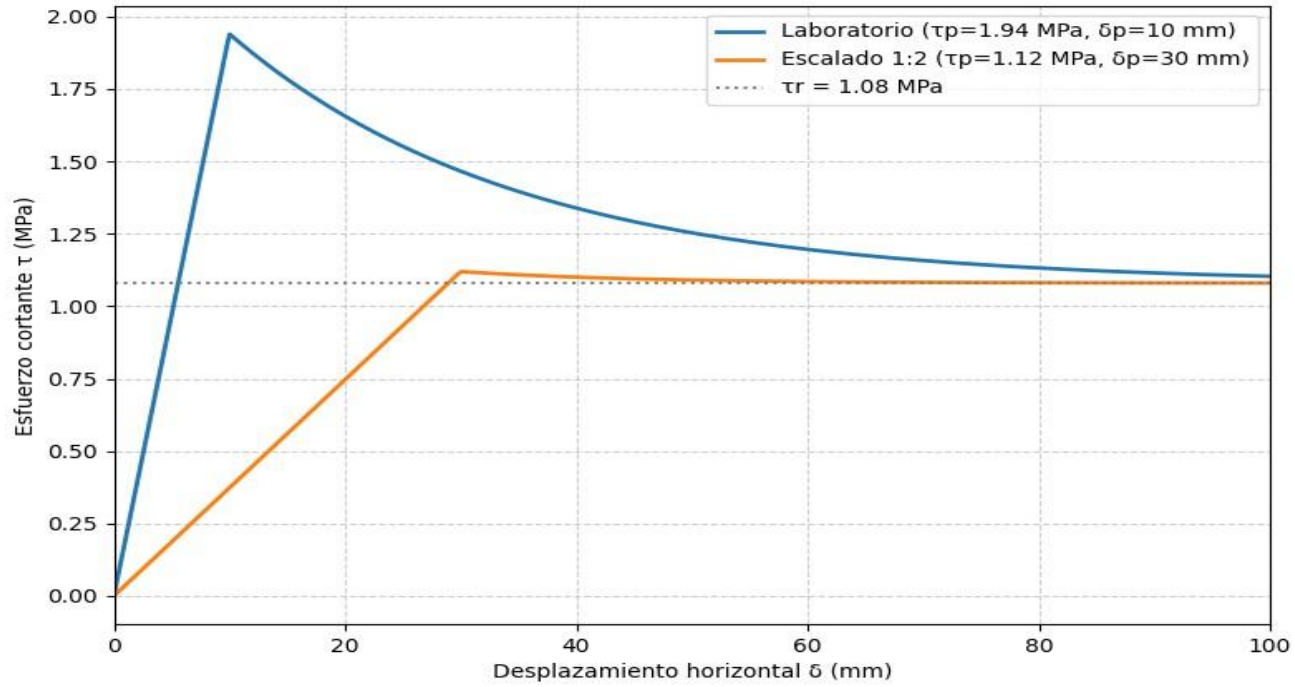
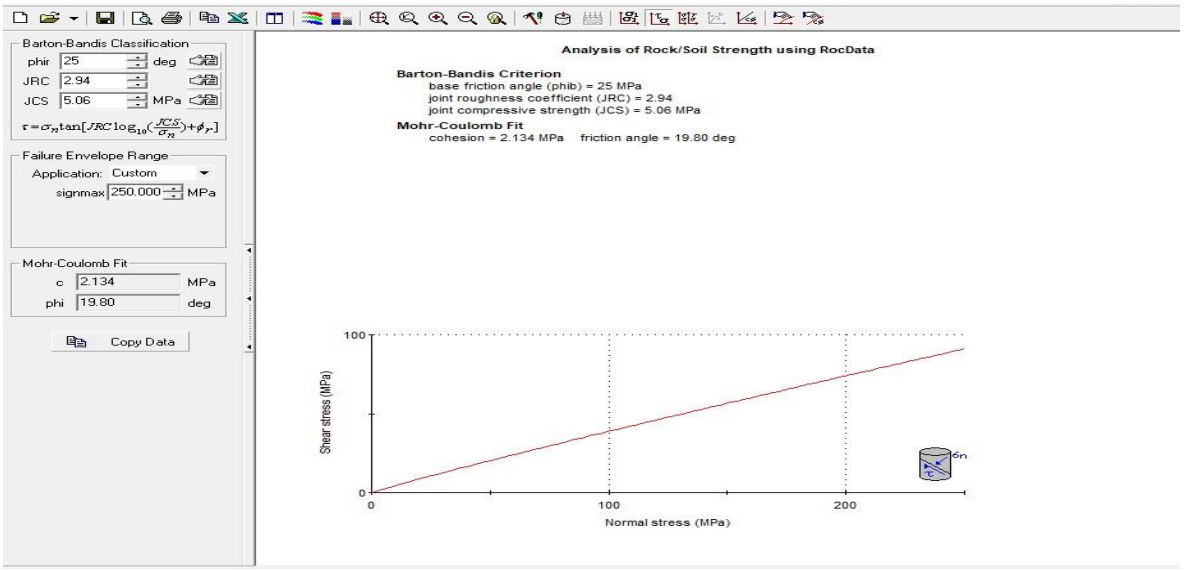



Figura guía 50
Envolvente de Barton Bandis con RocData




Se tiene el siguiente talud con los siguientes datos recogidos de campo, se pide determinar el factor de seguridad de dicho talud si se evidencia una falla planar:

Tabla guía 39
Levantamiento geomecánico de talud

| RMR | $\varphi_b$ | R | r | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|
| 66 | 20° | 40 | 35 | $27KN/m^3$ |

Levantamiento de la rugosidad y la probeta donde se usó el martillo Schmidt.

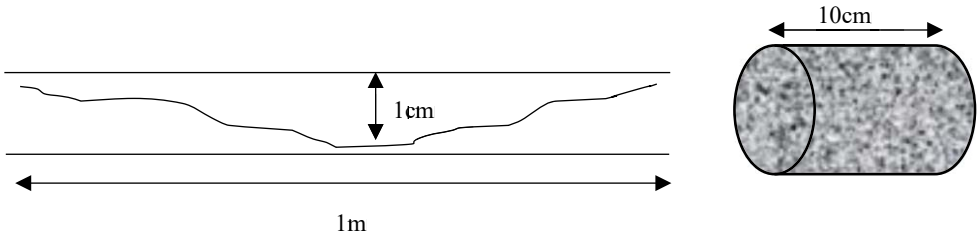
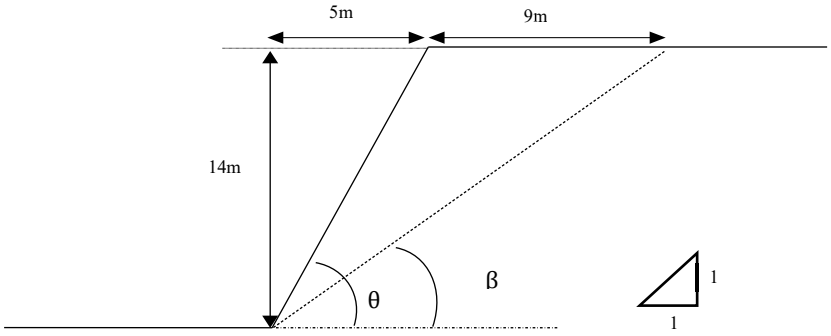
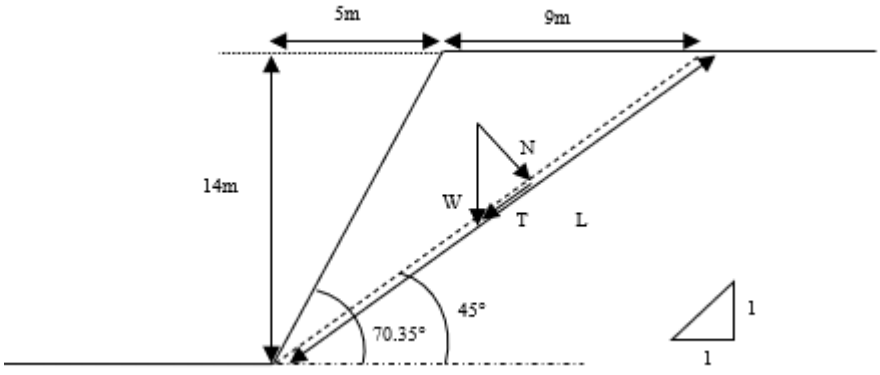



Figura guía 51
Data de talud




A partir del grafico llenemos los datos para poder encontrar el factor de seguridad de la siguiente manera:



$$\tan\beta = \frac{14}{14} \rightarrow \beta = \tan^{-1}(1) = 45°$$

$$\tan\theta = \frac{14}{5} \rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{14}{5}\right) = 70.35°$$

$$L = \sqrt{14^2 + 14^2} = 14\sqrt{2} = 19.8m$$

$$A = \frac{BxH}{2} = \frac{9x14}{2} = 63m^2$$

$$V = Ax1 = 63m^3$$

$$\gamma_{mr} = (0.02RMR + 0.8)\,\gamma$$

$$\gamma_{mr} = (0.002(66) + 0.8)(27) = 25.16KN/m^3$$

$$W = V\gamma_{mr} = (63m^3)(\frac{25.16KN^3}{m}) = 1585.08KN$$

$$N = W\cos 45° = 1120.82KN$$

$$T = W\sin 45° = 1120.82KN$$

$$\sigma = \frac{N}{19.8mx1m} = \frac{1120.82KN}{19.8m^2} = 56.61KPa$$

$$\tau = \frac{T}{19.8mx1m} = \frac{1202.79KN}{19.8m^2} = 56.61KPa$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + JRC_n \log_{10}\left(\frac{JCS_n}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\varphi_r = (20° - 20°) + 20\left(\frac{35}{40}\right) = 17.5°$$

Del levantamiento de la rugosidad tenemos que usando la tabla de rugosidades:

$$JRC_0 = 4.5$$

$$JRC_{19.8} = 4.5\left(\frac{19.8}{1}\right)^{-0.02(4.5)} = 3.44$$

$$\log(JCS_0) = 0.00088\gamma r + 1.01$$

$$\log(JCS_0) = 0.00088(27)(35) + 1.01$$

$$JCS_0 = 69.44\text{MPa}$$

$$JCS_{19.8} = 69.44\left(\frac{19.8}{0.1}\right)^{-0.03(4.5)} = 34.01\text{MPa}$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + JRC_n \log_{10}\left(\frac{JCS_n}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + JRC_{19.8} \log_{10}\left(\frac{JCS_{19.8}}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\tau = \sigma_n \tan\left[17.5 + 3.44 \log_{10}\left(\frac{34.01}{\sigma_n}\right)\right]$$

$$\tau = 56.61 \tan\left[17.5 + 3.44 \log_{10}\left(\frac{34.01x10^3}{56.61}\right)\right] = 28.92\text{KPa}$$

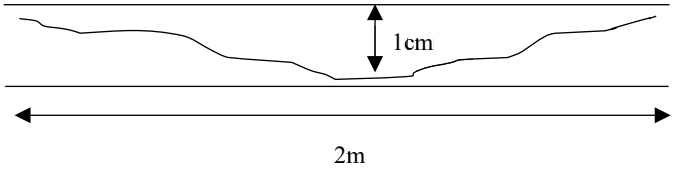
$$FS = \frac{\tau_{resis}}{\tau_{actu}} = \frac{28.92\text{KPa}}{56.61\text{KPa}} = 0.51$$

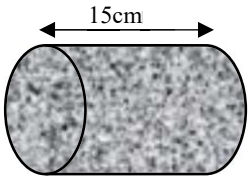
### *6.1.2. ENVOLVENTE DE BARON BANDIS*

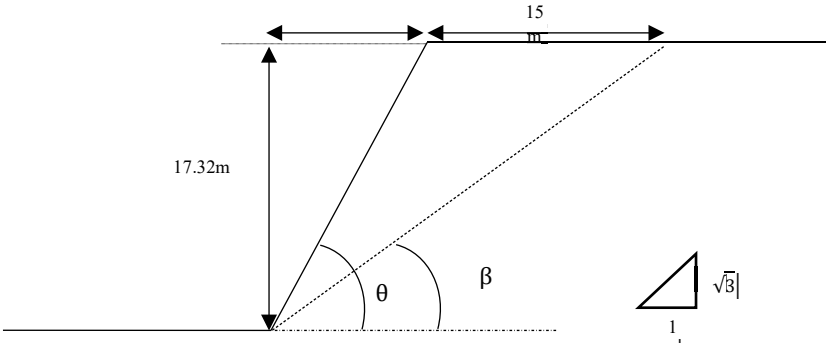
A partir de los siguientes datos determinar el factor de seguridad del talud indicando detalladamente los cálculos numéricos.

Tabla guía 40
Levantamiento geomecánico para aplicación

| RMR | $\varphi_b$ | R | r | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|
| 80 | 30° | 50 | 45 | $28KN/m^3$ |




## 6.2. ACTIVIDAD 7

Realiza un informe resumido de todas las actividades previas resaltando la parte aplicativa de cada una de ellas y como ayudo a usted a comprender mejor el curso de mecánica de rocas.

Use todos los softwares empleados en el desarrollo de la presente guía para poder resumir su trabajo indicando los detalles que considero resaltantes.

BIBLIOGRAFÍA


- ✓ Colorado School of Mines. (2023). *Applied rock mechanics curriculum*. Department of Mining Engineering.
- ✓ Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). *Practical estimates of rock mass strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), 1165–1186.
- ✓ Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *Hoek–Brown failure criterion—2002 edition*. Proceedings of the North American Rock Mechanics Symposium, 1–6.
- ✓ Universidad de Queensland. (2023). *Rock mechanics teaching framework*. School of Mechanical & Mining Engineering.
- ✓ International Society for Rock Mechanics. (2007). *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006*. ISRM.