

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Caracterización geomecánica del macizo rocoso  
para el diseño de soporte adecuado en la Unidad De  
Producción Andaychagua de la Compañía Minera  
Volcan S. A. A.**

Jose Erik Contreras Huaman  
Luis Raul Quispe Laimito

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : FAUSTINO ANIBAL GUTIERREZ DAÑOBEITIA  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 4 de Diciembre de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOPORTE ADECUADO EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN ANDAYCHAGUA DE LA COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Jose Erik Contreras Huaman y Luis Raul Quispe Laimito, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 40 ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Jose Erik Contreras Huaman, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 72771136, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOPORTE ADECUADO EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN ANDAYCHAGUA DE LA COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

04 de Diciembre de 2023.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Luis Raul Quispe Laimito, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73487808, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOPORTE ADECUADO EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN ANDAYCHAGUA DE LA COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

04 de Diciembre de 2023.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

# CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOPORTE ADECUADO EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN ANDAYCHAGUA DE LA COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	9%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
3	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="https://pdfcookie.com">pdfcookie.com</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Perú Trabajo del estudiante	1%

<b>8</b>	<b>repositorio.undac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>9</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>10</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>11</b>	<b>www.osinergmin.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>12</b>	<b>kupdf.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>13</b>	<b>renati.sunedu.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 65 words

Excluir bibliografía

Apagado

## ÍNDICE

<b>Índice</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>15</b>
<b>Planteamiento del estudio</b> .....	<b>15</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1. Problema general.....	16
1.1.2. Problemas específicos .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Hipótesis.....	18
1.4.1. Hipótesis general.....	18
1.4.2. Hipótesis específicas .....	18
1.5. Identificación de variables .....	18
<b>Capítulo II</b> .....	<b>20</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>20</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	20
2.2. Bases teóricas .....	23
2.2.1. Sostenimiento .....	23
2.2.2. Clasificación de elementos de sostenimiento .....	24
2.2.3. Métodos de sostenimiento en minería subterránea.....	24
2.2.4. Generalidades de la unidad minera Andaychagua.....	27
2.2.5. Descripción geotécnica.....	31
2.2.6. Calidades de rocas RMR, GSI, Q y otros .....	39
2.2.7. Sismicidad .....	41
2.2.8. Estado tensional a la mina .....	43
<b>Capítulo III</b> .....	<b>48</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>48</b>
3.1. Métodos y alcances de la investigación .....	48

3.1.1. Método general.....	48
3.1.2. Tipo de investigación .....	48
3.1.3. Nivel de investigación .....	48
3.1.4. Diseño de investigación.....	49
3.2. Población y muestra.....	49
3.2.1. Población.....	49
3.2.2. Muestra.....	49
3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	49
3.2.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	49
3.2.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	50
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>51</b>
<b>Resultados e investigación .....</b>	<b>51</b>
4.1. Diseño del sistema de sostenimiento .....	51
4.2. Tipo y densidad de sostenimiento.....	53
4.3. Secuencia y tiempo de sostenimiento .....	53
4.4. Secuencia y tiempo de sostenimiento .....	55
4.5. Requisitos generales del soporte minero .....	57
4.5.1. Soporte para ancho de las excavaciones.....	58
4.5.2. Control estándar del terreno – aberturas verticales.....	63
4.5.3. Control estándar del terreno – aberturas verticales.....	64
4.5.4. Control de calidad del soporte minero.....	68
<b>Conclusiones .....</b>	<b>79</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>80</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>81</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>82</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de zonas mineralizadas .....	32
Tabla 2. Características litológicas por zonas .....	33
Tabla 3. Resumen de ensayos ejecutados, cantidad y distribución por zona .....	34
Tabla 4. Clasificación geomecánica mediante sistema RMR89.....	40
Tabla 5. Clasificación geomecánica mediante sistema Q de Barton .....	40
Tabla 6. Ubicación de estación portátil y geófonos .....	41
Tabla 7. Resumen de reportes microsísmico.....	43
Tabla 8. Resumen de campañas de mediciones de esfuerzos.....	43
Tabla 9. Resumen de resultados de ensayos de Overcoring.....	45
Tabla 10. Resumen de resultados de ensayos de emisión acústica (campaña 2021).....	47
Tabla 11. Características de elementos de sostenimiento por recomendación.....	53
Tabla 12. Características de elementos de sostenimiento por recomendación.....	61
Tabla 13. Parámetros para la instalación de cable bolting .....	63
Tabla 14. Especificaciones del perno Omega Bolt.....	64
Tabla 15. Especificaciones de la barra helicoidal .....	64
Tabla 16. Especificaciones de la tuerca y placa de fijación .....	65
Tabla 17. Especificaciones del cable bolting .....	65
Tabla 18. Propiedades físicas y mecánicas de la malla electrosoldada .....	66
Tabla 19. Propiedades mecánicas de la malla mesh strap .....	66
Tabla 20. Especificaciones del shotcrete.....	67
Tabla 21. Especificaciones de la cimbra.....	67
Tabla 22. Descripción de los almacenes de los elementos de sostenimiento .....	68
Tabla 23. Cronograma de ensayos Pull Test .....	68
Tabla 24. Cronograma de ensayos para agregados .....	69
Tabla 25. Cronograma de ensayos de concreto endurecido .....	70
Tabla 26. Procedimientos de control de calidad.....	71
Tabla 27. Cronograma de cumplimiento de ensayo .....	74
Tabla 28. Cronograma de cumplimiento de ensayo de arranque de perno.....	76
Tabla 29. Lista de gestiones de cambio .....	77
Tabla 30. Propiedades mecánicas del relleno cementado .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina Andaychagua .....	27
Figura 2. Geología regional.....	28
Figura 3. Estratigrafía .....	28
Figura 4. Geología local y modelo litológico 3D de Salvadora .....	29
Figura 5. Condición estructural a escala mayor UM Andaychagua .....	30
Figura 6. Mapeo geomecánico estructural RP 663(-) nivel 1350 - Prosperidad Techo .....	31
Figura 7. Vista longitudinal con la ubicación de las zonas de minado 2023.....	33
Figura 8. Vista transversal litológica – zona Andaychagua .....	34
Figura 9. Análisis de resultados UCS en filita .....	35
Figura 10. Análisis de resultados UCS en metavolcánico.....	35
Figura 11. Análisis de resultados UCS en metavolcánico.....	36
Figura 12. Análisis de resultados UCS en metavolcánico.....	36
Figura 13. Análisis de resultados UCS de metavolcánico .....	36
Figura 14. Curva de rotura Hoek & Brown – filita (izquierda) y metavolcánico (derecha).....	37
Figura 15. Análisis de las propiedades elásticas de filita / transductores (izquierda) – Gauges (derecha).....	37
Figura 16. Estadística de propiedades elásticas de metavolcánico / transductores (izq.) – Gauges (der.) .....	38
Figura 17. Estadística de razón de Poisson en filita (izquierda) y metavolcánico (derecha) ....	38
Figura 18. Análisis de ensayos de corte directo en discont. naturales y simuladas (condición residual) .....	38
Figura 19. Análisis de ensayos de corte directo por litología (condición residual).....	39
Figura 20. Sección geotécnica transversal – Salvadora Norte y Prosperidad Techo .....	39
Figura 21. Clasificación GSI (Hoek & Marinos 2000) .....	40
Figura 22. Plano geomecánico TJ500-SN330D-SN362-tramo 2 .....	41
Figura 23. Vista isométrica con la ubicación de geófonos del sistema de monitoreo microsísmico.....	42
Figura 24. Ubicación espacial de los eventos sísmicos registrados .....	42
Figura 25. Ubicación de las estaciones de medición de esfuerzos para campaña 2021 .....	46
Figura 26. Proyección estereográfica de esfuerzos in situ (campaña 2013 y 2021).....	46
Figura 27. Ecuaciones de calibración del estado tensional – Overcoring .....	47
Figura 28. Ecuaciones de calibración del estado tensional – emisiones acústicas .....	47
Figura 29. Ejemplo de estimación de soporte para Salvadora usando gráfico de Grimstad y Barton .....	52

Figura 30. Ejemplo de análisis cinemático de cuñas para el TJ740-741 .....	52
Figura 31. Modelamiento numérico del sostenimiento en labor de avance con RS2 .....	53
Figura 32. Sostenimiento de labor en roca regular con sección 4.5 x 4.5 m .....	54
Figura 33. Sostenimiento de labor en roca mala a muy mala con sección 4.5 x 4.5 m .....	54
Figura 34. Secuencia de sostenimiento de intersección labor con GSI>40 (moderada a buena calidad).....	55
Figura 35. Secuencia de sostenimiento de intersección labor con GSI<40 (mala a muy mala calidad).....	55
Figura 36. Estudio geomecánica a nivel de detalle para SLS – TJ CO56-48 Salvadora	56
Figura 37. Evaluación geomecánica de labor lineal – AC743 Prosperidad Techo.....	57
Figura 38. Cartilla geomecánica de sostenimiento para labores temporales y permanentes – uso de los trabajadores .....	59
Figura 39. Cartilla geomecánica de sostenimiento para labores temporales y permanentes – elementos de influencia .....	60
Figura 40. Sostenimiento de intersección en metavolcánico.....	62
Figura 41. Sostenimiento (primario y secundario) mínimo requerido para infraestructuras permanentes.....	62
Figura 42. Vistas planta, transversal y longitudinal del SN736 – Vanesa.....	63
Figura 43. Resultados de ensayos por encima de los criterios mínimos de estabilidad .....	69
Figura 44. Resultados de análisis granulométrico cantera Pachachaca.....	70
Figura 45. Criterios de aceptabilidad y no conformidad .....	72
Figura 46. Formato de registro de Pull Test – pernos .....	73
Figura 47. Formato de registro de Pull Test – cable.....	73
Figura 48. Pruebas de arranque (Pull Test) .....	75
Figura 49. Pruebas de absorción de energía (flexotracción) .....	77

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se propone resolver el siguiente problema general: ¿cuál es el sistema de sostenimiento más adecuado según el campo geomecánico de la unidad de producción Andaychagua de la compañía minera Volcan S. A. A.?, y el objetivo general es determinar el diseño de sostenimiento más adecuado, de acuerdo con el dominio geomecánico en la unidad de producción Andaychagua de la compañía minera Volcan S. A. A.

La hipótesis: al aplicar la caracterización geomecánica de Q de Barton y RMR de Bieniawski en la unidad de producción Andaychagua de la compañía minera Volcan S. A. A., se diseña el tipo de sostenimiento según las condiciones geológicas existentes, el cual será estable. La metodología de investigación es el método deductivo y analítico, tipo aplicado, de nivel explicativo. La población son las galerías de la unidad de producción Andaychagua de la compañía minera Volcan S. A. A. y la muestra es la veta Andaychagua.

En el estudio del tipo de sostenimiento se describen propiedades geomecánicas, caracterización y condiciones estructurales del macizo rocoso en concordancia con los parámetros de evaluación geomecánica presentes en la evaluación del RMR de Bieniawski usado para túneles.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que teniendo en cuenta las propiedades mecánicas, caracterización y condiciones asociadas al macizo rocoso, el sostenimiento recomendado, según la clasificación RMR de Bieniawski, es el empernado con pernos helicoidales complementado con tuercas de sujeción cuya función permite el posicionamiento de las placas de sujeción sobre el macizo rocoso.

## ABSTRACT

The present research work aims to solve the following general problem: what is the most appropriate support system according to the geomechanical field of the Andaychagua production unit of the Volcan S.A.A. mining company? and the general objective is to determine the support design most appropriate, according to the geomechanical domain in the Andaychagua production unit of the Volcan S. A. A. mining company.

The hypothesis to be tested is: by applying the geomechanical characterization of Barton's Q and Bieniawski's RMR in the Andaychagua Production Unit of the Volcan S. A. A. mining company, the type of support is designed according to the existing geological conditions, which will be stable. The research methodology is the deductive and analytical method, applied type, explanatory level. The population is the galleries of the Andaychagua production unit of the Volcan S. A. A mining company. and the sample is the Andaychagua vein.

In the study of the type of support, geomechanical properties, characterization and structural conditions of the rock mass are described in accordance with the geomechanical evaluation parameters present in the evaluation of the Bieniawski RMR used for tunnels.

Finally, the results obtained demonstrate that considering the mechanical properties, characterization and conditions associated with the rock mass, the recommended support, according to Bieniawski's RMR classification, is bolting with helical bolts complemented with clamping nuts whose function allows the positioning of the holding plates on the rock mass.