



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y

Geográfica

Unidad de Posgrado

**Propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el
tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas de la
unidad minera Paragsha, Cerro de Pasco**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Geotecnia

AUTOR

Nelson RAMOS PARRA

ASESOR

Dr. José Freddy ATUNCAR YRRIBARI

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

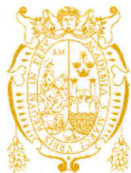
Referencia bibliográfica

Ramos, N. (2026). *Propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas de la unidad minera Paragsha, Cerro de Pasco*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Nelson Ramos Parra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41981266
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-4467-1081
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	José Freddy Atuncar Yrribari
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08129250
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8104-1565
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Enrique Guadalupe Gómez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191995
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Humberto Iván Pehovaz Alvarez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07450662
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Augusto Guillermo Bravo Malca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06016801
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Jorge Leonardo Jave Nakayo
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	01066653
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.6.6. Estabilidad de Taludes
Grupo de investigación	Investigación en Estabilidad de Taludes en Suelos y Rocas
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Pasco Provincia: Pasco Distrito: Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar Centro poblado: Yanacancha Latitud: -10.6833 Longitud: -76.2667
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería ambiental, Geociencias: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01 Geotecnia: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.02



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los tres días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, siendo las dieciséis horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000095-2026-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 05 de febrero del 2026, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«PROPUESTA GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN EL TRAMO NOR-OESTE DEL TAJO ABIERTO RAÚL ROJAS DE LA UNIDAD MINERA PARAGSHA, CERRO DE PASCO»

Presentado por el Bach. **NELSON RAMOS PARRA**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER en GEOLOGÍA con mención en GEOTECNIA**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° UNMSM-20230096092, de fecha 18 de octubre del 2023, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 00301-R-09 del 22 de enero del 2009.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

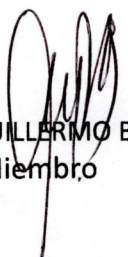
BUENO (16)

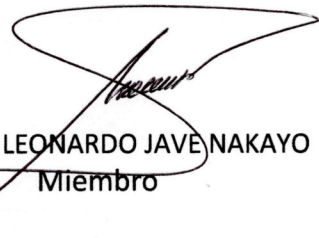
Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER en GEOLOGÍA con mención en GEOTECNIA** al Bach. **NELSON RAMOS PARRA**.

Siendo las 17:00 horas, se dio por concluido al acto académico.


DR. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ
Presidente


DR. HUMBERTO IVÁN PEHOVAZ ALVAREZ
Secretario


MG. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA
Miembro


DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
Miembro


DR. JOSÉ FREDDY ATUNCAR YRRIBARI
Asesor



Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **JOSÉ FREDDY ATUNCAR YRRIBARI** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N° 000596-2023-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es «**PROPUESTA GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN EL TRAMO NOR-OESTE DEL TAJO ABIERTO RAÚL ROJAS DE LA UNIDAD MINERA PARAGSHA, CERRO DE PASCO**», presentado por el Bach. **NELSON RAMOS PARRA** para optar el grado académico de **MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **18%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado académico de **MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**.

Lima, 16 de julio del 2026

Firma del Asesor:

Nombres y Apellidos del asesor: José Freddy Atuncar Yrribari

DNI: 25527597

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante en valores, perseverancia y consecuencia protegiéndome de lo alto; a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mi padre y hermanos, en especial a mi hermana Lucy, a quien quiero como a una madre, por guiarme y por ser solidaria y bondadosa. A Janet, porque te amo infinitamente y a mi consentida Hija Céline, que son fuente de amor, trabajo y constancia y a Alexis lo quiero mucho quien me demuestra convicción en sus cosas que emprende. A mi Tío Gumercindo eje fundamental de mi proyección como persona y profesional al respeto y valores que inculco en mí, a Jhan persona de gran valor en el análisis geomecánico compartimos tanto en lo profesional como familiar buenos momentos en distintas minas y ahora nos protege de lo alto, a todos ellos los dedico con mucho afecto y aprecio.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco al docente investigador de tesis magíster José Freddy Atuncar Yrribari, quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación, por sus consejos, enseñanzas, apoyo y sobre todo amistad brindada en los momentos más difíciles de mi vida.

Agradezco a todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDOS	iv
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	vi
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. Situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Justificación de la investigación	4
1.4 Objetivos de la investigación	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
II. Marco teórico	8
2.1 Antecedentes del problema	8
2.2 Bases teóricas	12
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	26
3.1 Hipótesis general	26
3.2 Hipótesis específicas	26
3.3 Identificación de las variables	26
3.3.1 Variable independiente	26
3.3.2 Variable dependiente	26
3.4 Operacionalización de variables	26
3.5 Matriz de consistencia	28
IV. METODOLOGÍA	30
4.1 Tipo y diseño de investigación	30

4.1.1. Tipo de la investigación	30
4.1.2. Diseño de la investigación	30
4.2 Unidad de análisis	30
4.3 Población de estudio	30
4.4 Tamaño de muestra	30
4.5 Selección de muestra	31
4.6 Técnicas de recolección de datos.....	32
4.6.1 Técnicas de recolección de datos.....	32
4.6.2 Instrumentos.....	37
4.7 Análisis de datos de campo	55
V, RESULTADOS Y DISCUSIONES	51
5.1. Resultados.....	51
5.2. Discusiones	66
VI. CONCLUSIONES.....	71
VII. RECOMENDACIONES	73
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Matriz de operacionalización de la investigación	26
Tabla 2	Matriz de consistencia de la investigación	28
Tabla 3	Resumen de procesamiento de casos	51
Tabla 4	Estadísticas de fiabilidad	51
Tabla 5	Análisis de la normalidad para datos no paramétricos.	51
Tabla 6	Análisis de los datos para la estadística no paramétrica	52
Tabla 7	Tabla de frecuencias - Estabilidad Talud (Antes)	52
Tabla 8	Tabla de frecuencias - Estabilidad Talud (Después)	53
Tabla 9	Tabla de frecuencias - Seguridad (Antes)	54
Tabla 10	Tabla de frecuencias - Seguridad (Después)	55
Tabla 11	Tabla de frecuencias - Geotécnicos (Antes).....	56
Tabla 12	Tabla de frecuencias - Geotécnicos (Después).....	57
Tabla 13	Tabla de frecuencias - Estructurales (Antes).....	58
Tabla 14	Tabla de frecuencias. Estructurales (Después).....	59
Tabla 15	tabla de frecuencias - Monitores (Antes)	60
Tabla 16	Tabla de frecuencias - Monitores (Después).....	61
Tabla 17	Tabla de análisis estadístico - Estadísticas de muestras emparejadas	62
Tabla 18	Los estadísticos de las Pruebas T se Student de muestras emparejadas.	63
Tabla 19	Estadísticas de muestras emparejadas	63
Tabla 20	Los estadísticos de las Pruebas T se Student de muestras emparejadas.	64
Tabla 21	Estadísticas de muestras emparejadas	64
Tabla 22	Cálculo estadístico de T Student - Estadísticas de muestras emparejadas	64
Tabla 23	Estadísticas de muestras emparejadas	65
Tabla 24	Estadístico para cálculo del T Student . Estadísticas de muestras emparejadas.....	65
Tabla 25	Estadísticas de muestras emparejadas	65

Tabla 26 Datos estadísticos de T Student . Estadísticas de muestras emparejadas	
.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de la fórmula para cálculo de una muestra.....	31
Figura 2 Diagrama del cálculo de una muestra online	31
Figura 3 Figura pie - Estabilidad Talud (Antes).....	53
Figura 4 Grafica pie - Estabilidad Talud (Después)	54
Figura 5 Diagrama pie - Tabla de frecuencias - Seguridad (Antes)	55
Figura 6 Diagrama de pie - Seguridad (Después).....	56
Figura 7 Diagrama de pie - Geotecnicos (Antes)	57
Figura 8 Diagrama pie - Geotécnicos (Después)	58
Figura 9 Grafica pie - Estructurales (Antes).....	59
Figura 10 Diagrama pie - Estructurales (Después)	60
Figura 11 Grafico pie - Monitores (Antes)	61
Figura 12 Grafica pie - Monitores (Después)	62

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general elaborar la propuesta geotécnica para el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco. La investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo; el paradigma utilizado es el positivista; la metodología es científica; el tipo de investigación es aplicada; y el diseño de investigación es pre-experimental de pretest-posttest con un solo grupo. La unidad de análisis correspondió al tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, con una población de 2,345 puntos de monitoreo geotécnico, de los cuales se seleccionó una muestra de 331 puntos, determinada mediante muestreo probabilístico con nivel de confianza del 95%, margen de error del 5% y heterogeneidad del 50%. Las técnicas de recolección de datos empleadas fueron el monitoreo mediante el sistema GeoMos (Estación Total Automatizada) y el sistema RADAR SSR 083, complementadas con inspección visual directa. Para el procesamiento estadístico se utilizó el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS Versión 25). Los resultados indican que las medias de Estabilidad del Talud antes y después de la propuesta fueron 23,38 y 36,02 respectivamente, y el factor de seguridad obtenido es de 1,483. La prueba de Wilcoxon arrojó un valor de significancia bilateral de 0,000 ($< 0,05$), lo que permite rechazar la hipótesis nula y confirmar que la propuesta geotécnica influye positivamente en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Palabras clave: propuesta geotécnica, factor de seguridad, estabilidad del talud, tajo abierto, monitoreo geotécnico.

ABSTRACT

The general objective of this research was to develop a geotechnical proposal for the stability of the slope in the north-west section of the Raúl Rojas open pit, at the Paragsha Mining Unit, Cerro de Pasco. The study is grounded in a quantitative approach, based on a positivist paradigm, with an applied research type and a pre-experimental pretest-posttest single-group design. The unit of analysis was the north-west section of the Raúl Rojas open pit, with a population of 2,345 geotechnical monitoring points, from which a sample of 331 points was selected using probabilistic sampling at a 95% confidence level, 5% margin of error, and 50% heterogeneity. Data collection techniques included monitoring through the GeoMos system (Automated Total Station) and the RADAR SSR 083 system, complemented by direct visual inspection. Statistical processing was performed using SPSS Version 25. Results show that mean values of Slope Stability before and after the geotechnical proposal were 23.38 and 36.02 respectively, and the safety factor obtained was 1.483. The Wilcoxon signed-rank test yielded a bilateral significance value of 0.000 (< 0.05), leading to the rejection of the null hypothesis and confirming that the geotechnical proposal positively influences slope stability in the north-west section of the Raúl Rojas open pit, at the Paragsha Mining Unit, Cerro de Pasco.

Keywords: geotechnical proposal, safety factor, slope stability, open pit mining, geotechnical monitoring.

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Situación problemática

La estabilidad del talud en operaciones mineras es una preocupación constante para los ingenieros de minas, ya que las condiciones geotécnicas pueden afectar directamente la seguridad de la operación y la eficiencia en la extracción de minerales. La importancia de la presente investigación radica en la necesidad de prevenir posibles deslizamientos, colapsos o deformaciones del terreno, que podrían tener consecuencias catastróficas para la infraestructura y, lo que es aún más crítico, para la vida humana. Uno de los principales desafíos es la variabilidad geológica, que puede dar lugar a diferentes condiciones de resistencia y cohesión del suelo en distintas partes del yacimiento.

La utilización de técnicas avanzadas, como el monitoreo GeoMos y el sistema de monitoreo radar SRX, pueden proporcionar una visión más completa de la variabilidad del terreno y permitir un diseño más preciso de las medidas de estabilización. Asimismo, la implementación de monitoreo geotécnico en tiempo real se ha destacado como una herramienta valiosa para evaluar la evolución de las condiciones del talud durante la operación minera. La combinación de datos geotécnicos en tiempo real con modelos numéricos puede mejorar la capacidad predictiva y permitir respuestas más rápidas ante posibles amenazas de estabilidad. Para abordar la complejidad de la estabilidad del talud en operaciones mineras, se propone una metodología integral que combine la caracterización detallada del suelo y la roca con la implementación de técnicas avanzadas de monitoreo geotécnico. La aplicación de modelos numéricos tridimensionales permitirá simular diferentes escenarios y evaluar la influencia de la variabilidad geotécnica en la estabilidad del talud. Además, se sugiere la implementación de medidas de estabilización específicas, como sistemas de drenaje, refuerzo del talud y control de la erosión, adaptadas a las condiciones geotécnicas identificadas. La monitorización continua durante la operación minera permitirá ajustar estas medidas según sea necesario y anticiparse a posibles problemas de estabilidad.

Llegando a la conclusión de que la estabilidad del talud en operaciones mineras es un desafío multidimensional que requiere un enfoque integral para garantizar la seguridad y la eficiencia. La variabilidad geotécnica, las tensiones inducidas por la actividad minera y la falta de monitoreo en tiempo real son aspectos clave que deben abordarse en la gestión de la estabilidad del talud. La implementación de esta propuesta geotécnica no solo mejorará la comprensión de las condiciones del talud, sino que también permitirá una gestión proactiva de la estabilidad, reduciendo el riesgo de eventos catastróficos y optimizando la operación minera.

Desde una perspectiva social, las operaciones mineras a menudo se llevan a cabo en áreas que albergan comunidades locales. Estas comunidades, enfrentan impactos significativos en términos de reubicación, cambios en el paisaje y posibles riesgos para la salud debido a la actividad minera. La estabilidad del talud no solo afecta la seguridad de la operación, sino que también tiene implicaciones directas para la seguridad y calidad de vida de estas comunidades. La participación activa de las comunidades locales en el diseño e implementación de medidas geotécnicas se vuelve crucial para abordar las preocupaciones sociales. La transparencia en la comunicación y la colaboración efectiva entre la industria minera y las comunidades pueden mitigar conflictos y mejorar la aceptación de las medidas propuestas para la estabilidad del talud.

La estabilidad del talud está estrechamente ligada a la viabilidad económica de las operaciones mineras. La variabilidad geotécnica puede afectar los costos de extracción y las inversiones en infraestructura. Las inversiones en tecnologías geotécnicas deben considerarse como una estrategia a largo plazo para garantizar la sostenibilidad económica de la operación. Además, la realidad económica también se ve influenciada por regulaciones gubernamentales. Las políticas ambientales y normativas de seguridad pueden afectar los costos operativos y la planificación a largo plazo, lo que destaca la necesidad de una propuesta geotécnica que no solo sea efectiva desde el punto de vista técnico, sino también económicamente viable.

Las operaciones mineras a menudo están arraigadas en contextos culturales específicos. La extracción de minerales puede tener impactos culturales significativos,

ya que el paisaje, las prácticas tradicionales y los valores culturales pueden verse afectados. La consulta y la participación de las comunidades indígenas, cuando sea aplicable, son aspectos críticos en el desarrollo de propuestas geotécnicas. La integración de conocimientos tradicionales en la planificación geotécnica puede no solo mejorar la efectividad de las medidas, sino también fortalecer la relación entre la industria minera y las comunidades locales.

Desde una perspectiva científica, la investigación geotécnica es fundamental para comprender la complejidad del talud y desarrollar medidas efectivas. La variabilidad geológica, la hidrogeología del sitio y la caracterización precisa del suelo son aspectos clave que requieren enfoques científicos avanzados. La aplicación de tecnologías de modelado tridimensional, mapeo geotécnico avanzado y monitoreo en tiempo real son áreas de investigación activas que buscan mejorar la capacidad de previsión y respuesta.

Asimismo, la tecnología desempeña un papel crucial en la implementación de propuestas geotécnicas efectivas. Los avances en sensores geotécnicos, sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías de modelado tridimensional han revolucionado la forma en que se aborda la estabilidad del talud. La automatización y la inteligencia artificial también están emergiendo como herramientas poderosas en la interpretación de datos geotécnicos y la toma de decisiones. La realidad tecnológica actual exige una adaptación continua para aprovechar al máximo estas innovaciones y garantizar la eficacia de las propuestas geotécnicas.

Abordar estos desafíos de manera integral es esencial para desarrollar propuestas geotécnicas efectivas que no solo sean técnicamente sólidas, sino también social y económicamente sostenibles. La participación activa de las comunidades locales, la consideración de aspectos culturales, la adaptabilidad a regulaciones gubernamentales cambiantes, la investigación científica continua y la adopción de tecnologías avanzadas son elementos clave para el éxito de cualquier propuesta geotécnica. Al abordar estas realidades de manera integral, podemos avanzar hacia operaciones mineras más seguras, sostenibles y socialmente responsables.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿La propuesta geotécnica influye en la estabilidad del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?

1.2.2 Problemas específicos

Problema Especifico 1

¿En qué medida las características físicas y mecánicas permite elaborar la propuesta geotécnica en la estabilidad del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?

Problema Especifico 2

¿Establecer la geometría del talud contribuye a elaborar la propuesta geotécnica en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?

Problema Especifico 3

¿En qué medida la evaluación del diseño del talud aporta a la elaboración de la propuesta geotécnica en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?

Problema Especifico 4

¿En qué medida el factor de seguridad determina la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación Teórica

Afortunadamente, la gran mayoría de los problemas con la estabilidad de taludes rocosos se manifiestan durante el periodo de excavación y permiten su rectificación con medidas apropiadas, en especial si el modo de falla es identificado

correctamente. Sin embargo, después de cierto tiempo se mueve el talud, lenta y ocultamente, hacia el peligro o eventualmente hacia una ruptura total. Algunas rocas blandas continuarán degradándose debido a alteraciones durante la construcción y posteriormente debido a la acción del agua y del clima, particularmente en regiones con climas cálidos y húmedos.

La identificación y caracterización precisa de las condiciones del suelo y la roca en el talud proporcionarán información valiosa para el diseño de medidas geotécnicas efectivas. Además, se espera contribuir al desarrollo de técnicas avanzadas y monitoreo en tiempo real. Este avance en la tecnología geotécnica permitirá una evaluación más precisa y continua de la estabilidad del talud, mejorando así la capacidad predictiva y facilitando respuestas proactivas ante posibles amenazas.

La investigación sobre la "Propuesta Geotécnica para la Estabilidad del Talud" no solo aborda desafíos técnicos, sino que también tiene implicaciones significativas en términos de seguridad, sostenibilidad y eficiencia económica en operaciones mineras.

1.3.2 Justificación práctica

. La importancia prima en tanto la Empresa como las comunidades serán los beneficiarios; el primero porque minimizará los riesgos de volcadura y con ello las posibles pérdidas humanas, también en cuanto a la producción habrá mayor seguridad tanto para las operaciones fluidas de interior mina como de los últimos bancos de producción del tajo abierto pared este. Y la población circulante y circundante realizará sus actividades con mínimos riesgos de deslizamiento.

La relevancia de la investigación se destaca en múltiples niveles. Desde una perspectiva técnica, la propuesta geotécnica contribuirá a la mitigación de riesgos geotécnicos en operaciones mineras, mejorando la seguridad de las instalaciones y reduciendo la posibilidad de eventos catastróficos. Esto es particularmente relevante en un contexto donde la seguridad y la sostenibilidad son prioridades fundamentales. Además, la relevancia se extiende a consideraciones económicas y ambientales. La implementación de medidas geotécnicas efectivas puede reducir los costos asociados con la estabilidad del talud a largo plazo. Además, la prevención de deslizamientos y

colapsos minimizará los impactos ambientales negativos, fortaleciendo así la sostenibilidad de las operaciones mineras.

La implementación de medidas geotécnicas efectivas mejora la seguridad en el lugar de trabajo, reduciendo el riesgo de accidentes relacionados con la estabilidad del talud. Asimismo, en las comunidades locales y el medio ambiente circundante, permitirá la prevención de deslizamientos y colapsos, que reducen los impactos ambientales negativos, como la contaminación del agua y la degradación del suelo, beneficiando así a la flora y fauna locales.

La reducción de los costos asociados con problemas geotécnicos contribuye a la rentabilidad a largo plazo de las operaciones mineras, mejorando la eficiencia económica.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Elaborar la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

1.4.2 Objetivos específicos

Objetivo Especifico 1

Determinar las características físicas y mecánicas del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Objetivo Especifico 2

Establecer la geometría del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Objetivo Especifico 3

Evaluar el diseño del talud para el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Objetivo Especifico 4

Determinar el factor de seguridad de la propuesta geotécnica del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

II. Marco teórico

2.1 Antecedentes del problema

Antecedentes internacionales

La investigación " Análisis de Estabilidad de Taludes en una Cantera de Áridos y Pétreos ubicada en Manabí, Ecuador" (Gómez. K, y Rodríguez. G, 2021) manifiesta que, los diseños de explotaciones mineras se ven poco respaldados por los mínimos o inexistentes estudios geotécnicos de la zona o concesión. Esta falta de información técnica imposibilita el aprovechamiento óptimo de los recursos y genera un riesgo para el personal de la mina. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la situación actual de los taludes del frente de explotación de una cantera en Manabí y proponer un diseño óptimo. Para ello, se realizó un estudio geotécnico de la zona mediante la caracterización SMR del macizo rocoso, el análisis cinemático para la identificación de posibles fallas usando el software DIPs y el cálculo del factor de seguridad a través del método simplificado de Bishop en el software Slide2. Los resultados muestran que los diseños actuales no son estables, la mayoría de los taludes presentan valores del factor de seguridad por debajo de 1.5 y sus SMR se encuentran entre 0 y 40. Debido a su clasificación SMR son considerados entre taludes muy malos y malos, presentan probabilidades de entre 0.6 y 0.9 para que ocurran fallas en cuña o por volcamiento. Por tales motivos, se propone un nuevo diseño a los taludes de la empresa en base al estudio geotécnico realizado en el presente trabajo.

La investigación "Análisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetalización" (Reyes. Y, 2019) realiza análisis de las condiciones de estabilidad para diferentes taludes utilizando técnicas de revegetalización basados en el primer programa piloto de revegetalización y paisajismo de taludes realizado por el Instituto Nacional de Vías en el año 2017, con la participación de las direcciones territoriales a cargo de este Instituto, localizadas en cuatro (4) zonas del territorio Nacional Colombiano, con el objetivo de incentivar la implementación de métodos para la estabilización de taludes, acorde a las características geológicas y geomorfológicas de cada región. El proyecto consistió en la selección de cuatro (4) taludes localizados en corredores viales a cargo de INVIAS, que hayan presentado problemas de estabilidad y estabilizarlo con una técnica de revegetalización que más se adapte a la zona del proyecto, este proceso fue evaluado por diferentes profesionales de INVIAS de planta central, en el cual se asignó para la participación en el proyecto, así como gestor del proyecto del estudio del talud localizado en Boyacá. Se seleccionaron cuatro (4) taludes, localizados en los departamentos de Caquetá, Huila, Risaralda y Boyacá los cuales serán denominados en adelante territoriales para identificación de cada zona. En estos taludes se obtuvieron características generales, relacionadas con temas de localización exacta, aspectos

climatológicos, geológicos y topográficos, así mismo para cada talud se realizaron exploraciones de campo con el propósito de realizar su caracterización; con esta información y antes de que los taludes fueran revegetalizados, se realizó un análisis de estabilidad en los taludes localizados en las territoriales de Boyacá y Risaralda donde se determinaron parámetros de diseño tales como ángulo de fricción, cohesión y peso unitario, los cuales se utilizaron para la modelación de los taludes en los softwares MIDAS GTS NX y SLIDE, para observar su comportamiento y determinar el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Con la información obtenida anteriormente, se determinó la técnica de revegetalización a implementar en cada talud y se efectuó un seguimiento de la ejecución de los proyectos mencionados, mediante la realización de visitas de campo con el fin de conocer el estado en el que se encuentra cada técnica de revegetalización implementada en los taludes, esto con el propósito de verificar su efectividad y prendimiento de la cobertura vegetal; finalmente la realización de un análisis costo-beneficio, el cual determinó el costo de la revegetalización de cada talud y el beneficio que dicha estabilización generó en el sitio de estudio.

La investigación “Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad” (Mucuta-Lito. H, Cartaya-Pires. M, Watson-Quesada. R, 2020) precisa la condición de estabilidad de los taludes del yacimiento polimetálico Castellano, el objetivo de este estudio fue calcular el factor de seguridad en tres escenarios representados por tres taludes (frentes I, II y III) y bajo dos condiciones: incluyendo en los cálculos el valor del coeficiente sísmico de la región, y no considerarlo. Se utilizó para la modelación y cálculo el software Slide v.6.0. Según los valores obtenidos del factor de seguridad los tres escenarios analizados del yacimiento Castellano son inestables bajo ambas situaciones de sismicidad evaluadas. Los valores del factor de seguridad obtenidos, entre 0,281 y 0,444 están muy por debajo de 1,3 que es el valor límite de estabilidad. Ello indica la necesidad de implementar medidas de estabilización, como pudieran ser las zanjas de drenaje, atendiendo a que se tratan de taludes inactivos sin operaciones de minado.

Antecedentes Nacionales

La investigación "Estabilidad de Taludes del Tajo Abierto Jérica considerando el Macizo Rocosó Isotrópico y Anisotrópico" (Herrera. E, y Solórzano. L, 2020) analiza la estabilidad del talud global, en seis (6) tipos de alteración hidrotermal presentes en el tajo abierto Jérica, considerando al macizo rocoso isotrópico es decir que no tiene orientación preferencial de discontinuidades y anisotrópico teniendo en cuenta las discontinuidades paralelas o subparalelas al talud. Para el análisis de estabilidad de taludes del macizo rocoso isotrópico y anisotrópico se utilizó el criterio de rotura de Hoek-Brown Generalizado y Anisotrópico Generalizado respectivamente, ambos en el software Slide versión 6.0.

En el análisis de estabilidad anisotrópico se consideraron dos (2) familias de discontinuidades subparalelas al talud F1 (buzamiento de 72° a 82°) y F2 (buzamiento de 45° a 55°). Los factores de seguridad obtenidos considerando el macizo rocoso anisotrópico son menores hasta en 29% respecto a los obtenidos en el macizo rocoso isotrópico; así mismo a mayor calidad del macizo rocoso, mayor es la variación de los factores de seguridad, esta diferencia es más marcada en la zona de sulfuros con la familia F2, donde en un macizo rocoso con RMR 40 el factor de seguridad disminuye en 8%, mientras que en un macizo rocoso con RMR 61 el factor de seguridad disminuye en 29%.

La investigación "Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excelsior, Cerro de Pasco – 2021" (Castro. L, 2021) analiza la estabilidad de taludes ubicado en las inmediaciones de la ciudad de Cerro de Pasco. Se ha cuantificado el grado de estabilidad de los taludes de la desmontera bajo condiciones mecánicas y de diseño actuales, a través del valor del factor de seguridad para potenciales superficies de falla esférica de talud, encontrando factores de seguridad muy por debajo de los mínimos (FS) para las condiciones de análisis, indicando que dichos taludes presentan condiciones no deseadas de estabilidad y de diseño, representando un grave riesgo de rotura de talud y un grave peligro de accidentes. La población estuvo constituida por todos los taludes de la desmontera Excelsior y se aplicó un muestreo seleccionando los taludes más críticos en cuanto a su estabilidad. El estudio verificó que en condiciones actuales los taludes presentan factores de seguridad entre 1,24 a 1,48 en condiciones estáticas y 0,88 a 1,07 en condiciones pseudoestática, indicando que se encuentran por debajo del factor de seguridad óptimo planteado en las condiciones de análisis. , asimismo, mediante la aplicación del método Bishop se puede predecir que los factores de seguridad óptimos para la estabilidad física de los taludes deberán estar entre 1,62 a 2,63 en condiciones estáticas y 1,11 a 1,76 en condiciones pseudoestática respectivamente, lo que permitió verificar la validez de la hipótesis de investigación.

La investigación “Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú” (Breña. C, 2019) determina que los factores que influyen en la interacción roca-suelo en los taludes de la carretera Longitudinal de la sierra tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca, Perú son: Meteorización, humedad, y parámetros geotécnicos (peso unitario, cohesión, ángulo de fricción interna, límites de Atterberg). La presente investigación se hizo en base a Geología, Geotecnia, Geomecánica roca suelo, agua y Geofísica, que aplicados, buscó conseguir la estabilidad de los taludes. La carretera evaluada por su clima, presenta dos sectores: 1) Clima seco Cochabamba-Cutervo a progresiva 61 2) Clima caluroso húmedo Progresiva Chiple a progresiva 61. La cohesión del suelo a lo largo del sector de la carretera es diferente, que favorece que repten y colapsen, proceso que interrumpe el normal del transporte de insumos y personas. El procesamiento de datos se hizo en tiempo real, que se acopio para determinar los parámetros geotécnicos insitu como: Factor de seguridad estático, factor de seguridad pseudoestáticos, cálculos de carga admisible, carga única e hidrogeología. Las obras de arte se hicieron para canalizar las aguas y evitar que se filtren y proporcionar los factores de corrección en diferentes ambientes para conseguir la estabilidad de los taludes.

2.2 Bases teóricas

Geotecnia

La palabra «geotecnia» proviene de la combinación de dos términos: «geo», que se refiere a la tierra o suelo, y «tecnia», que se refiere a la aplicación de técnicas o conocimientos específicos. Por lo tanto, la geotecnia se refiere al estudio y aplicación de técnicas y conocimientos relacionados con el comportamiento de la tierra y los materiales geológicos en ingeniería civil y geología. Es una disciplina que abarca aspectos como la caracterización del suelo, el diseño de cimentaciones, la estabilidad de taludes, entre otros. La geotecnia es una rama de la ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades y comportamiento de los suelos y rocas, así como de su interacción con las estructuras construidas sobre ellos.

La geotecnia se utiliza para el diseño y construcción de cimentaciones, taludes, excavaciones, túneles, entre otros proyectos de ingeniería. Su objetivo principal es garantizar la estabilidad y seguridad de las obras civiles, teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas del terreno.

Antecedentes

A lo largo de la historia, la geotecnia ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la ingeniería civil y la construcción de infraestructuras. Los orígenes de la geotecnia se remontan a la antigüedad, donde se utilizaban técnicas rudimentarias para la construcción de estructuras sobre suelos y rocas. Sin embargo, fue en el siglo XVIII cuando se comenzaron a realizar estudios más sistemáticos sobre el comportamiento de los suelos.

Uno de los hitos más importantes en la historia de la geotecnia fue la publicación en 1773 del libro «Ensayos sobre la resistencia de los materiales» por el ingeniero francés Charles Augustin de Coulomb. En este libro, Coulomb estableció los principios básicos de la mecánica de suelos y desarrolló la teoría de la resistencia al corte de los suelos cohesivos.

A lo largo del siglo XIX, se realizaron importantes avances en la geotecnia, como el desarrollo de técnicas de exploración del subsuelo, la clasificación de los suelos y la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. Estos avances sentaron las bases para el diseño de cimentaciones y estructuras más seguras y eficientes.

En el siglo XX, la geotecnia experimentó un gran desarrollo gracias a los avances en la tecnología y la aparición de nuevos métodos de investigación. Se

desarrollaron técnicas de ensayo in situ, como el ensayo de penetración estándar (SPT) y el ensayo de cono de penetración (CPT), que permitieron obtener información más precisa sobre las propiedades de los suelos.

Además, se desarrollaron métodos de análisis más sofisticados, como el método de elementos finitos, que permiten simular el comportamiento de los suelos y rocas frente a las cargas y sollicitaciones.

Estos avances han permitido diseñar y construir infraestructuras cada vez más seguras y eficientes. En la actualidad, la geotecnia continúa evolucionando y adaptándose a los nuevos desafíos de la ingeniería civil, como la construcción en suelos blandos o la mitigación de riesgos geotécnicos.

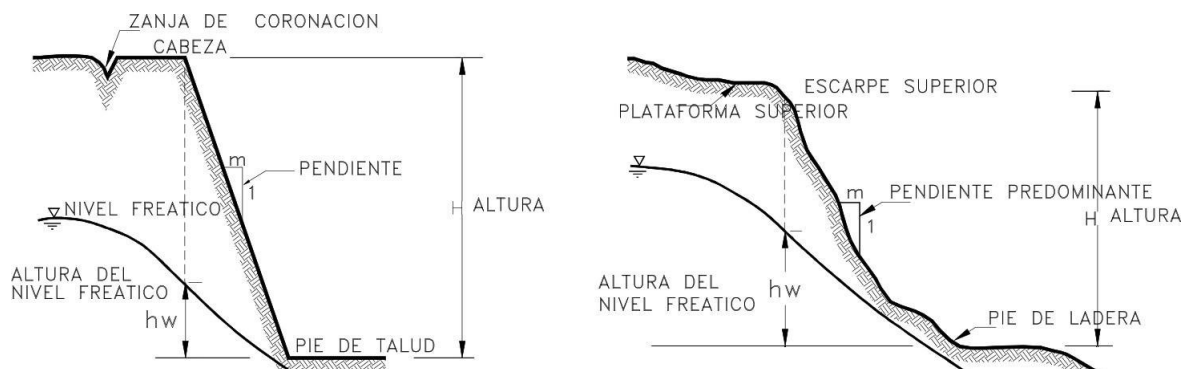
La aplicación de nuevas tecnologías, como la monitorización en tiempo real y el uso de geosintéticos, también ha contribuido a mejorar la eficiencia y la seguridad en la construcción de cimentaciones y estructuras. La historia de la geotecnia es una historia de avances científicos y tecnológicos que han permitido comprender y aprovechar las propiedades de los suelos y rocas para construir infraestructuras seguras y sostenibles.

Glosario

TALUDES

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente como se detalla en la figura siguiente.

Figura 01. Componentes de un talud



Fuente: Suarez (1998)

Componentes del talud:

1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

3. Cabeza o escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

5. Pendiente

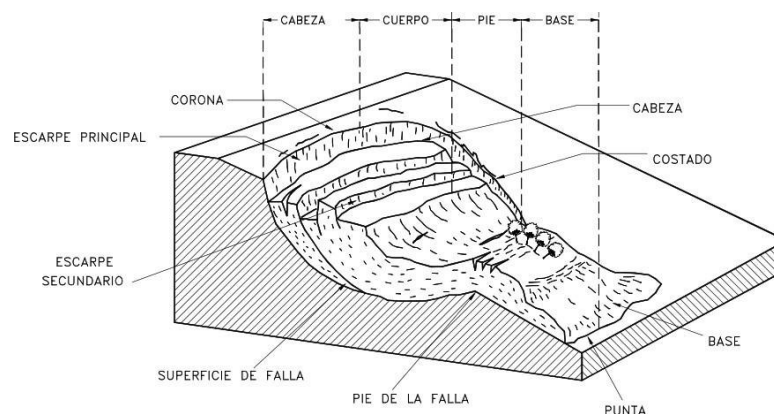
Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45 o, 100%, o 1H:1V. Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud. Suarez (1998)

PROCESOS DE MOVIMIENTO DEL TALUD

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos.

Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo, tal como se muestra en la imagen.

Figura 02. Movimientos de un talud



Fuente: Suarez (1998)

1. Escarpe principal

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

2. Escarpe secundario

Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

3. Cabeza

Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

4. Cima

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

5. Corona

El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

6. Superficie de falla

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

7. Pie de la superficie de falla

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

8. Base

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

9. Punta o uña

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

10. Costado o flanco

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

11. Superficie original del terreno

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

12. Derecha e izquierda

Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie. Suarez (1998)

ETAPAS EN FALLA DEL TALUD

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas.

Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por Varnes (1978), Hutchinson (1988), etc., deben adaptarse a las condiciones verdaderas de los movimientos.

En este orden de ideas se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a. Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- b. Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c. La etapa post - falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d. La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores. Suarez (1998).

ESTABILIDAD DE TALUDES

La mayoría de estudios de estabilidad de taludes en macizos rocosos, tanto con hipótesis de deslizamiento plano como con deslizamiento circular, suelen considerar el criterio de rotura lineal de Mohr- Coulomb, o el criterio empírico no lineal de Hoek & Brown. En general, todos estos procedimientos suelen suponer una ley de fluencia asociada. Sin embargo, el valor del coeficiente de seguridad de un talud se sobreestima siempre que se emplea la hipótesis de la ley de fluencia asociada, tanto bajo criterios de rotura lineales, como bajo criterios de rotura no lineales.

Las hipótesis básicas incluidas en este estudio son que: * Se analiza un talud rocoso en términos bidimensionales. Se estudia tanto el deslizamiento plano como el deslizamiento circular * El desplazamiento del talud se produce por una superficie que pasa por su pie, implicando así el cuerpo entero del mismo. Sin afectación por presencia de agua ni fuerzas externas. Este estudio es válido para taludes en macizos rocosos homogéneos e isótropos, lo cual es imprescindible para poder aplicar el criterio de rotura de Hoek & Brown.

Es decir, preferentemente es aplicable a macizos rocosos de muy baja calidad que se pueden clasificar casi como suelos duros, o a macizos rocosos muy fracturados, en

los cuales la estabilidad no está condicionada por defectos singulares del macizo rocoso. Se realiza un análisis teórico de la estabilidad de taludes rocosos empleando el criterio de rotura no lineal de Hoek & Brown (1980) en la forma paramétrica de Serrano & Olalla (1994) con la ley de fluencia no asociada. Los valores del ángulo de dilatación se han recogido de las recomendaciones de Hoek & Brown (1997), y tienen unos valores constantes dependiendo de las propiedades del macizo rocoso en función de su índice de calidad (GSI -Geological Strength Index; Hoek, 1994; Hoek et al., 1995). En términos generales, en esta tesis, el valor del GSI se supone equivalente al valor del RMR (Rock Mass Rating; Bieniawski, 1976).

El análisis teórico de la estabilidad de taludes rocosos se efectúa empleando el método de equilibrio límite, admitiendo en una primera fase las mismas hipótesis básicas que el método de Morgenstern & Price (1965), aunque en una segunda fase, mediante formulación matemática, se pasa a un sistema diferencial, haciendo tender a cero el espesor de dovelas. Se plantea un sistema de ecuaciones diferenciales que expresa el equilibrio horizontal y vertical de fuerzas y el equilibrio de momentos. Es un planteamiento riguroso desde el punto de vista de la matemática. Se propone un método general para la integración numérica que tiene muy diversas posibilidades de aplicación, ya que admite cualquier tipo de solicitaciones entre dovelas, así como cualquier forma de la superficie de deslizamiento.

Inicialmente, se aplica la metodología desarrollada en el caso de deslizamiento plano. Posteriormente, partiendo del caso más simple del deslizamiento plano se amplía el estudio al caso de deslizamiento circular. En base al método teórico desarrollado y programado, se obtienen los resultados, en función de ciertas variables, entre otros argumentos en términos de coeficientes de seguridad, que se aportan en forma de ábacos para distintos datos de partida. Los ábacos muestran gráficamente la influencia del ángulo de dilatación en los resultados obtenidos.

Estos ábacos también proporcionan la relación entre: 1,- El ángulo de la inclinación del talud. 2,- El ángulo de la superficie de deslizamiento plano correspondiente al mismo factor de seguridad del talud. 3,- La longitud de la proyección horizontal del deslizamiento. 4,- La longitud de la proyección horizontal del deslizamiento en la parte del terreno, con la altura del talud. Facilitan una estimación rápida de los datos geométricos necesarios para definir una excavación de un talud rocoso para distintos datos geotécnicos de partida (el tipo de material dado cuantificado mediante el parámetro de Hoek & Brown, para la roca sana, la resistencia a compresión simple RCS, estado de fracturación dado mediante el valor de RMR, y el ángulo de dilatación). Es decir, permite determinar el ángulo de inclinación necesario en función de la altura requerida H , lo cual presenta un interés obvio en la ingeniería de taludes.

INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La U.E.A. Cerro de Pasco actualmente Cerro SAC, se localiza en la parte céntrica de la ciudad de Cerro de Pasco, en los distritos de Chaupimarca y Yanacancha, Provincia de Cerro de Pasco y Departamento de Cerro de Pasco; a una altitud promedio de 4,300 msnm.

El yacimiento de Cerro de Pasco está localizado en el Perú central, al NE de la ciudad de Lima, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central de los Andes Peruanos.

Políticamente se encuentra entre los distritos de Chaupimarca y Yanacancha, en la provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco.

Geográficamente se ubica entre las coordenadas 10° 42' de Latitud S, y 76° 15' de Longitud W. En coordenadas UTM la ubicación será: 8'819,500 Norte > 363000 Este. La altitud media es de 4334 m sobre el nivel del mar.

Las vías de comunicación al yacimiento son:

- Carretera Central: Lima Oroya-Cerro de Pasco, desarrollo de 315 Km.
- Carretera afirmada: Lima-Canta-Cerro de Pasco, longitud de 410 Km.
- Vía férrea: Lima-La Oroya-Cerro de Pasco.

Litología y Geología

Las unidades litológicas donde se realizó simulaciones de estabilidad para determinar factores de seguridad apropiadas investigadas para determinar sus características geotécnicas. Las investigaciones consistieron en: levantamiento geológico, explorando el talud, ensayos geotécnicos in situ y en el laboratorio; la cantidad de investigaciones y la metodología empleada se describen a continuación.

Levantamiento Geológico

Las condiciones geológicas de superficie de la zona donde fueron evaluadas con un levantamiento geológico. Durante el levantamiento se identificaron y evaluaron las características geológicas con: tipos litológicos (basamento rocoso y depósitos cuaternarios), elementos geoestructurales, aspectos hidrogeológicos, factores que pueden dar origen a peligros geológicos, etc.

Geología Regional

Cerro de Pasco está ubicado en la unidad morfoestructural identificada como Cordillera Oriental. En esta zona, la Cordillera tiene cimas que están por encima de 4500 msnm, el relieve es típico de una superficie puna donde intercalan llanuras amplias con cerros de perfiles redondeados y valles amplios.

Según INGEMMET (1996) y BISA (2008), la zona del proyecto “Botadero Rumiallana” está sobre cuatro unidades litoestratigráficas identificadas como: Grupo Excélsior (Paleozoico – Devoniano) compuesto por pizarras y filitas con intercalaciones de cuarcitas y lutitas, Grupo Pucará (Mesozoico – Jurásico) compuesto por calizas y Volcánico Rumiallana (Cenozoico - Neógeno) compuesto por aglomerado volcánico. El basamento rocoso está cubierto parcialmente por depósitos fluvioglacial, glacial y coluvial del Cuaternario y tramos que están emplazada en el Grupo Excélsior.

Los estudios geológicos regionales han identificado tres sistemas de fallamiento: sistema de fallamiento Cerro de Pasco cuyo rumbo predominante es norte-sur, sistema de fallamiento Sacrafamilia cuyo rumbo es N15 a 20°E y sistema de fallas cuyo rumbo N50–60°O. Según BISA (2008), la falla Cerro de Pasco coincide con la quebrada Rumiallana y su buzamiento es 60° E.

Geología Local

Filitas Excélsior (Silúrico-Devónico)

Son las rocas más antiguas de la zona y están compuestas de filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas. Constituyen el núcleo del anticlinal de Cerro de Pasco.

Grupo Mitú (Pérmico)

Yace discordante sobre el Excélsior y está constituido de areniscas, cuarcitas y conglomerados rojos. En los alrededores de Cerro de Pasco su potencia varía entre 50 y 80 m.

Calizas Pucará (Triásico-Jurásico)

En el flanco oriental las calizas del Grupo Pucará sobreyacen en clara discordancia angular al Grupo Mitú, con potencia de 2900 m. Están compuestas por:

- Capas de caliza de grano fino de color gris oscuro a negro y con venillas de calcita.
- Capas de caliza amarillenta de grano medio de composición dolomítica, con cristales de dolomita y siderita en venillas y como relleno de pequeñas cavidades.
- Interestratificaciones de horizontes bituminosos, lutíticos, fosilíferos y con nódulos de chert.
- Varios horizontes de tufos de composición dacítica.

Esta facie ha sido de gran importancia en la localización de cuerpos mineralizados, principalmente las capas de caliza amarillenta que se extienden por 1 Km desde el borde oriental del Tajo hacia el E en el área de la Mina El Pilar.

En el flanco occidental, a 6 Km al W de Cerro de Pasco, el Pucará aflora formando el núcleo del anticlinal de Rancas, con una potencia de sólo algunas decenas de metros.

Formación Goyllarisquizga (Cretáceo Inferior)

Conformada por cuarcitas y areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas bituminosas, derrames volcánicos y mantos de carbón.

Formación Pocobamba (Terciario Inferior)

Ha sido subdividida en 3 unidades litológicas: Miembro Inferior, Conglomerado Shuco y Miembro Calera.

- Miembro Inferior

Compuesto por capas de lutitas y areniscas deleznales de color verde grisáceo, con intercalaciones de margas rosáceas y lutitas de color rojo, con potencia de 300 a 330 m.

- Conglomerado Shuco

Al E, el conglomerado está constituido por bloques angulares de caliza de hasta 4 m dentro de una matriz formado por fragmentos calcáreos subangulosos de diversos tamaños. Al W, el conglomerado se presenta estratificado, los fragmentos de caliza decrecen en tamaño y son más redondeados, es notoria la presencia de fragmentos de areniscas, cuarcitas y chert junto a los de caliza. Al S de Cerro de Pasco tiene una potencia de 170 m.

- Miembro Calera

Sus afloramientos se localizan al S del distrito en la proximidad de Colquijirca. Consiste de lutitas, areniscas y lodolitas en un 70 %, y de calizas con capas de nódulos de chert en el 30% restante. La potencia total es de 155 m.

Rocas Ígneas

Las rocas ígneas y volcano-clásticas se encuentran rellenando una estructura aproximadamente circular con diámetro promedio de 2.5 Km, que corresponde al cuello del antiguo volcán de Cerro de Pasco. Dentro de esta estructura se identifica una fase explosiva consistente en aglomerados y tufos, y una fase intrusiva de composición dacítica a cuarzo-monzonítica.

Rocas Volcánicas

El llamado Aglomerado Rumiallana se ubica en la mitad oriental del cuello volcánico es de color gris oscuro y esta constituido por fragmentos angulosos y subangulosos de filita, caliza y chert en un 90 %; el 10 % adicional consiste de roca ígnea por-firítica fuertemente alterada. La abundancia relativa de los tipos de clastos varía de lugar a lugar, y la matriz generalmente contiene material volcánico consolidado, incluyendo cristales de biotita y plagioclasa cementados por calcita.

Localmente se presenta finamente estratificado con algunos canales de estratificación cruzada, pero algunas veces es masivo sin señales de estratificación.

La porción NO y SW del cuello volcánico está dominada por rocas volcánicas tufáceas que mayormente no muestran evidencias de deformación, por lo que se les refiere como tufos no consolidados. La roca es blanca a gris, comúnmente muestra una fina estratificación y está constituida de cuarzo y feldespatos con variables cantidades de biotita, hornblenda, epidoto y calcita como material cementante. El contacto entre los tufos y el aglomerado es gradacional.

Rocas Intrusivas

Se les ha dividido en 2 unidades: rocas porfíricas de composición dacítica y los diques de cuarzo-monzonita porfírica.

La primera unidad aflora en la porción W del cuello volcánico y son rocas ígneas porfíricas que gradan en composición de dacita a riodacita. Los fenocristales, que comprenden entre el 30 y 50 % de la roca, están constituidos de cuarzo en menos del 10 % de los fenocristales; minerales máficos como biotita y hornblenda entre el 10 y 30 % de los fenocristales; y feldespatos los restantes fenocristales. La matriz es afanítica de color violácea a gris.

Cortando las rocas volcánicas y volcano-clásticas se encuentran los diques de cuarzo-monzonita porfírica, la cual contiene fenocristales de sanidina de más de 6 cm de longitud que hace a la roca muy diferenciable en sus afloramientos. Los fenocristales comprenden el 20 a 40 % de la roca y consisten de sanidina y cuarzo en partes iguales, además, de algunos feno-cristales de biotita, plagioclasa, hornblenda y turmalina. La matriz es afanítica de color gris. Aparentemente el emplazamiento de los diques fue contemporáneo con la mineralización. El modelo de emplazamiento de los diques ha sido irregular, en la parte central del cuello volcánico tienen un rumbo E-O; hacia el N el rumbo es NO; y hacia el S el rumbo es NE. También se han reconocido diques fuera del cuello volcánico, principalmente al N del mismo.

ESTRUCTURAL

Plegamiento

En general, el distrito se caracteriza por presentar pliegues paralelos que arrumban al N y cuyos planos axiales están inclinados al E. La intensidad del plegamiento regional se incrementa hacia el E en la cercanía de la falla longitudinal.

Entre las estructuras de mayor importancia se tiene:

- Estructura Doma Regional, que es la más septentrional de los tres domos identificados en el Perú central.

- Anticlinal de Cerro de Pasco, que es un anticlinal de doble hundida en el que la elevación máxima de su núcleo, probablemente, estuvo ubicada al S del cuello volcánico.
- Sinclinal Cacuán-Yurajhuanca, situado al W del anticlinal de Cerro de Pasco.
- Sinclinal Yanamate-Colquijirca, situado al E del anticlinal de Cerro de Pasco.

Localmente, la dirección regional N-S ha sido interrumpida por pequeños pliegues transversales de rumbo Este - Oeste y buzamiento al N, que se ubican al E del cuello volcánico. Estos pliegues han originado que las estructuras regionales, pliegues y fallas Longitudinales, se hayan comprimido e inflexionado más intensamente que en las zonas al N y S del cuello volcánico. Pertenecen a este grupo de estructuras: el Domo de Patarcocha, el sinclinal Matagente y otros pliegues paralelos.

Fracturamiento

En el distrito minero se han identificado 8 conjuntos de fracturas, siendo las más importantes las siguientes:

- Fallas Longitudinales, a este conjunto pertenecen las fallas longitudinales de Cerro de Pasco que son paralelas al plegamiento regional; con rumbo al N y buzamiento entre 60° y 65° al E. Su desplazamiento es en sentido inverso y tiene un ancho de más de 100 m.
- Fallas Oblícuas al plegamiento regional, a este conjunto pertenecen los sistemas de fracturas Huislamachay-Yurajcancha de rumbo NO, y la falla Yurajhuanca de rumbo NE. El primer conjunto ha desplazado al plegamiento regional y a las fallas longitudinales, siendo el desplazamiento del bloque N hacia el NO. Son fallas pre-minerales.
- Fallas Transversales al contacto W del cuerpo de sílica-pirita, de rumbo E-O, convergentes en profundidad y que albergan a la mineralización de Cu.
- Fallas Oblícuas a los pliegues transversales, de rumbo NO, que han sido mineralizadas con esfalerita y galena y que constituyen el sistema de vetas en Mina El Pilar.

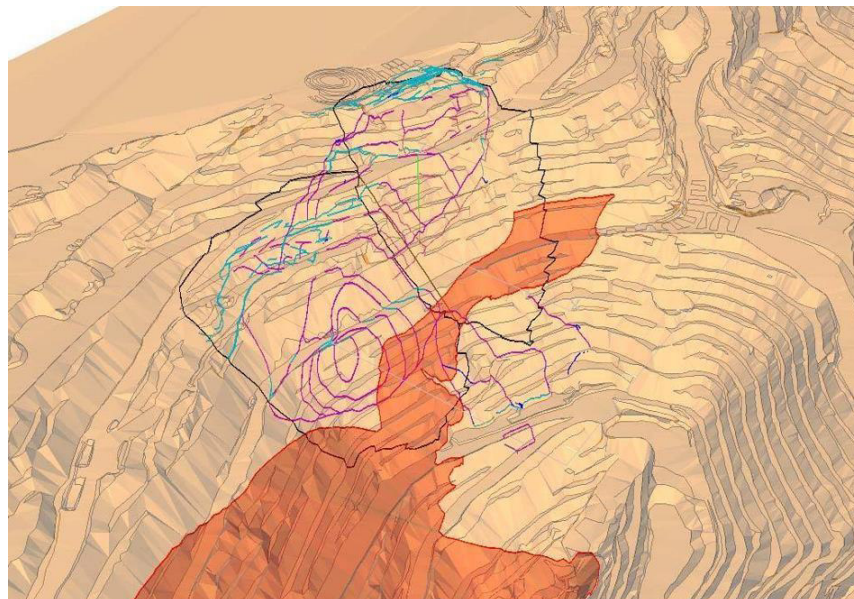
La inestabilidad en la pared Oeste del tajo abierto Raúl Rojas en parte estaba influenciada por la actividad continua y vibración de la Planta Concentradora se remonta cuando Centromin Perú aún era propietaria de la Unidad de Cerro de Pasco. Se produjeron agrietamientos y estos progresivamente fueron evolucionando, estas estructuras son visibles en superficie. Se hicieron varios estudios para definir la problemática en este sector.

Figura 3. Vista de la Pared NO, con las estructuras Principales (contactos litológicos, fallas y agrietamientos)



Fuente: Informe de Estabilidad Botadero Inpit

Figura 4. Estructuras mapeadas y proyectadas en Datamine del sector de la pared NO



Fuente: Informe de Estabilidad Botadero Inpit

Dentro de la pared Noroeste, existe una zona con mayor movimiento, conocido como el Punto PM-71Noroeste, que se ubica al Norte de la zona del Ex – Sedimentador, esto comprobado con nuestro sistema de monitoreo GeoMos y Radar, el desplazamiento de este sector se incrementa más en los meses de lluvia (diciembre-marzo).

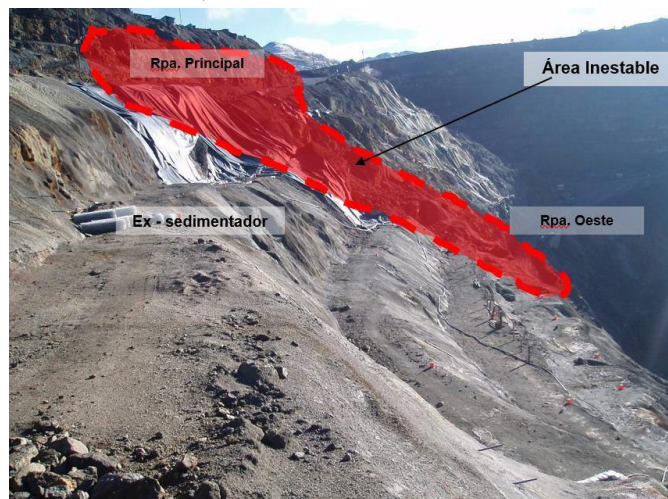
Esta zona de riesgo se encuentra por encima de la rampa Oeste y debajo de la Rampa principal, en los años de 2006 y 2007 se trabajó hicieron trabajos de estabilización en el sector del Ex - sedimentador, se realizaron banqueos, colocación de mallas y Shotcrete. Dejando pendiente el sector del PM-71Noroeste a razón que rampa Principal se estrechaba donde se encuentra dicho punto.

Figura 5. Vista mirando al Noroeste, señalizando la zona inestable.



Fuente: Informe de Estabilidad Botadero Inpit

Figura 6. Vista mirando al Norte, señalizando la zona inestable



Fuente: Informe de Estabilidad Botadero Inpit

Figura 7. Vista mirando al Norte, Zona estrecha de la Rampa Principal, bancos arriba se observa bloques en proceso de volteo.



Fuente: Informe de Estabilidad Botadero Inpit

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general

La propuesta geotécnica permite la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

3.2 Hipótesis específicas

Hipótesis Específica 1

La determinación de las características físicas y mecánicas permite la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Hipótesis Específica 2

El establecimiento de la geometría del talud contribuye a la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Hipótesis Específica 3

La evaluación del diseño del talud aporta a la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

Hipótesis Específica 4

El factor de seguridad determina la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.

3.3 Identificación de las variables

3.3.1 Variable independiente

Propuesta Geotécnica

3.3.2 Variable dependiente

Estabilidad del talud

3.4 Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de la investigación

VARIABLE	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE
	CONCEPTUAL	OPERACIONAL			MEDIDA
					Cohesión (kN/m ²)
	Es un documento técnico que	La propuesta geotécnica se	Características	Propiedades	Densidad (kN/m ³)
Propuesta	establece un plan detallado para	evaluará mediante las	geotécnicas	físicas	Angulo de fricción
Geotécnica	evaluar y garantizar la estabilidad	características geotécnicas			
	de un talud, que es una inclinación	y la geometría del talud	Geometría del	Propiedades	Densidad
	o superficie de terreno con una		talud	mecánicas	Porosidad
	pendiente				Permeabilidad
	(Suarez Díaz, Jaime - 1998)			Nivel de	Grados
				pendiente	
	Talud es toda inclinación				
	permanente con respecto a la		Evaluación del	Características	
Estabilidad del talud	horizontal, cuando la formación	La estabilidad del talud se	diseño del talud	geométricas	m
	se ejecuta de forma natural se	se medirá a través de su		Ancho del talud	
	denomina talud natural, si es hecha	diseño y los factores de			
	por el ser humano se denomina	seguridad	Factor de	Condición	escala
	talud artificial.		seguridad	estática	
	Estabilidad de talud es el				
	estado de equilibrio de los			Condición	escala
	materiales			pseudoestática	

3.5 Matriz de consistencia

Tabla 2

Matriz de consistencia de la investigación

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general			
¿La propuesta geotécnica influye en la estabilidad del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?	Elaborar la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.	La elaboración de la propuesta geotécnica permite la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.		Características geotécnicas	Tipo de investigación Aplicada
Problema específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
1. ¿En qué medida las características físicas y mecánicas permite elaborar la propuesta geotécnica en la estabilidad del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?	1. Determinar las características físicas y mecánicas del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.	1. La determinación de las características físicas y mecánicas permite la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.	Independiente Propuesta geotécnica	Geometría del talud	Enfoque de investigación Cuantitativa
2. ¿Establecer la geometría del talud contribuye a elaborar la propuesta geotécnica en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?	2. Establecer la geometría del talud del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco	2. El establecimiento de la geometría del talud contribuye a la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco	Dependiente Estabilidad del talud	Evaluación del diseño del talud	
3. ¿En qué medida la evaluación del diseño del talud aporta a la elaboración de la propuesta geotécnica en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?	3. Evaluar el diseño del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.	3. La evaluación del diseño del talud aporta a la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.		Factor de seguridad	Diseño de investigación No Experimental
4. ¿En qué medida el factor de seguridad determina la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco?	4. Determinar el factor de seguridad de la propuesta geotécnica del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.	4. El factor de seguridad determina la elaboración de la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco.			

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de la investigación

Es una investigación de tipo Aplicada. La investigación en la estabilidad de los taludes en una mina a tajo abierto se enfoca en resolver problemas específicos y prácticos relacionados con la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras. Implica la recopilación de datos geotécnicos de campo, como muestreo de suelos, pruebas de laboratorio, mediciones in situ y observaciones de las condiciones del talud. Incluye el uso de herramientas de modelización y análisis geotécnico para predecir el comportamiento del talud en diferentes condiciones y evaluar la estabilidad.

4.1.2. Diseño de la investigación:

El diseño de la investigación es pre-experimental de tipo pretest-posttest con un solo grupo, con enfoque cuantitativo. Se realizó el análisis del comportamiento geotécnico del talud en dos momentos: antes y después de implementada la propuesta geotécnica, utilizando los 331 puntos de monitoreo como unidad de medición. Este diseño permite evaluar el efecto de la intervención técnica sobre la estabilidad del talud mediante la comparación de los valores registrados en ambas mediciones, sin manipulación directa de variables controladas en laboratorio.

4.2 Unidad de análisis

El tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl rojas, de la unidad minera Paragsha, Cerro de Pasco.

4.3 Población de estudio

Se considera 2,345 puntos de monitoreo del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl rojas, de la unidad minera Paragsha, Cerro de Pasco.

4.4 Tamaño de muestra

Se consideran 331 puntos de monitoreo del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco. La muestra fue calculada aplicando la fórmula estadística para poblaciones finitas, con un nivel de heterogeneidad del 50%, margen de error del 5% y nivel de confianza del 95%, obteniendo una muestra representativa de los 2,345 puntos de monitoreo que conforman la población de estudio.

Figura 1*Diagrama de la fórmula para cálculo de una muestra***Cómo calcular el tamaño de muestra
para una población finita**

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

n = Tamaño de muestra buscado**N** = Tamaño de la Población o Universo**z** = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)**e** = Error de estimación máximo aceptado**p** = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)**q** = (1 - p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado**Figura 2***Diagrama del cálculo de una muestra online*

Calculadora de muestra

Nivel de confianza: ? ☒ 95% ☐ 99%

Margen de Error: ?

Población: ?

Tamaño de Muestra:

4.5 Selección de muestra

El reconocimiento del marco geológico regional: permite interpretar el origen y formación de los suelos, ya que en este proceso se gestan las características y propiedades de los suelos. b) En la etapa de exploración y muestreo, se deben definir las condiciones estratigráficas del sitio, mediante un programa de sondeos exploratorios con muestreo alterado, que permitan reprogramar la exploración con muestreo inalterado. c) Las pruebas de laboratorio deben conducir a la determinación de los parámetros significativos del comportamiento mecánico de los suelos. Realizar un análisis geotécnico, para predecir el comportamiento del subsuelo ante las cargas

de tipo estático y sollicitaciones dinámicas que le comunica la estructura y estimar el factor de seguridad a corto y largo plazo, así como bajo condiciones de cargas transitorias. d) La formulación del procedimiento constructivo debe ser parte integrante del informe geotécnico y además ser congruente con las propiedades mecánicas del subsuelo para garantizar su seguridad.

4.6 Técnicas de recolección de datos

4.6.1 Técnicas de recolección de datos

Observación directa

Toda inspección visual es considerada importante, porque permite e primera instancia asumir la ubicación de la posible falla de manera que permita mantener una operación segura en el depósito de Relave. Existen una serie de indicadores visuales que pueden reflejar problemas como son:

- Presencia de agrietamiento superficial excesivo
- Nivel de bermas, plataformas o rampa no constante
- Presencia de desplazamientos en la cresta del depósito
- Abombamiento de talud del relleno
- Presencia de deslizamientos del pie o la cimentación.

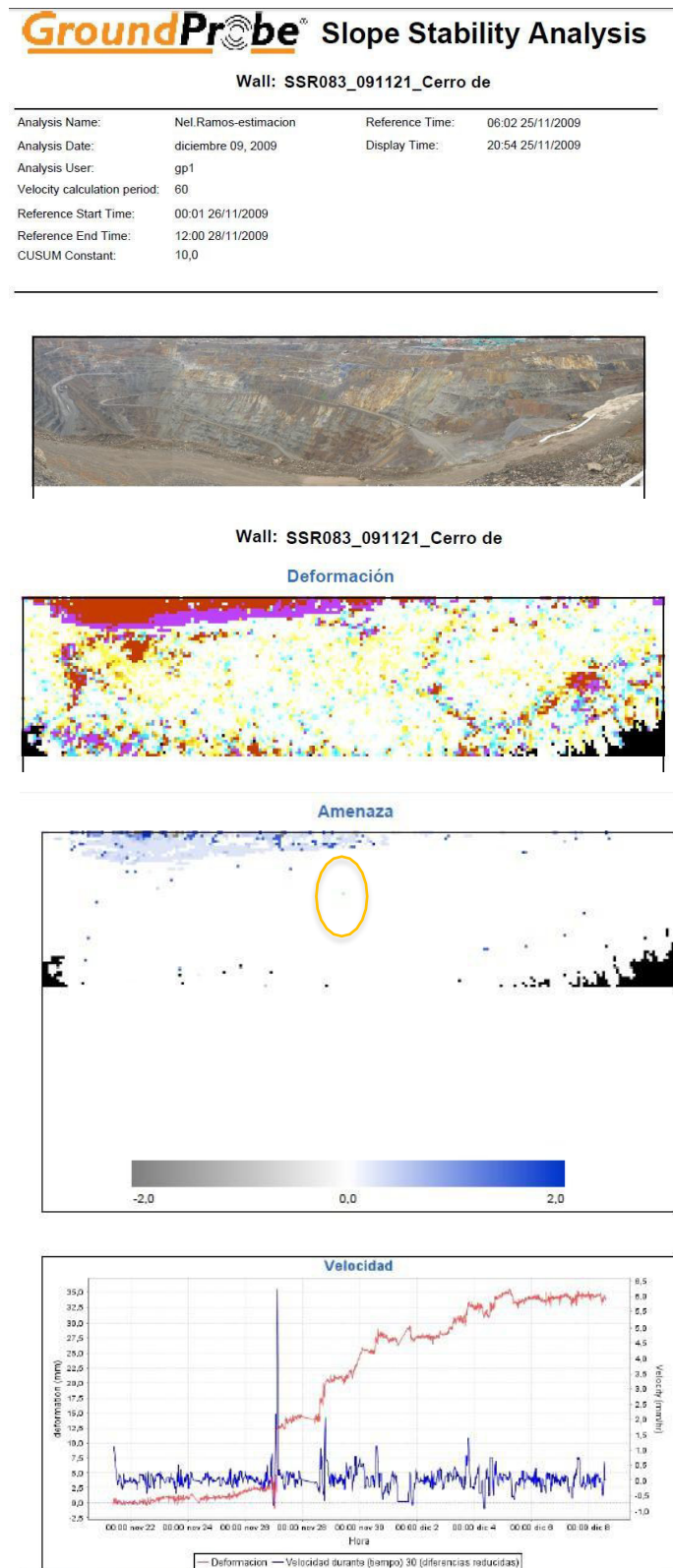
La inspección visual es el medio más empleado y, generalmente el más práctico para la vigilancia, todo equipo técnico, así como las maquinarias y operadores del talud deben estar adiestrados en la identificación de señales de inestabilidad con la finalidad de evitar accidentes.

Informe de reportes de la zona crítica del estudio.

Toma de datos

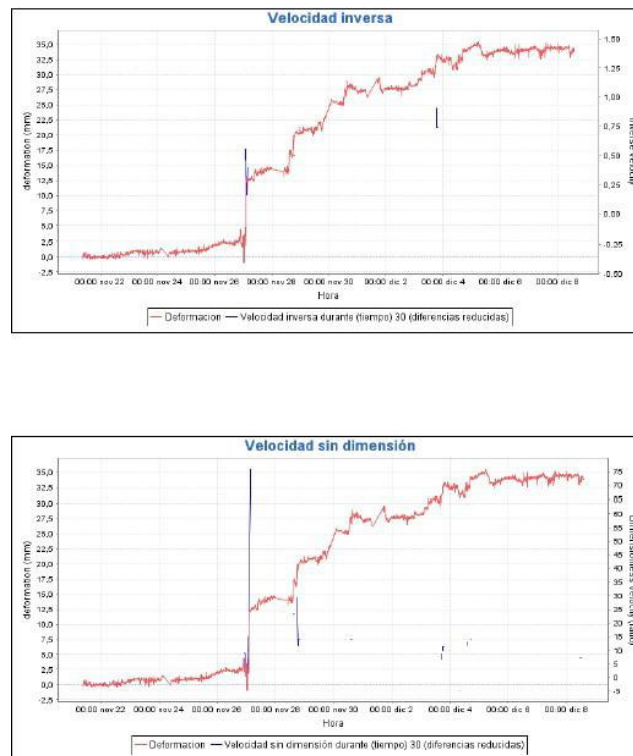
Es importante que los prismas se coloquen en los bancos accesibles a medida que el minado avanza. El espaciado de los prismas es idealmente no mayor que el doble de la altura del banco. Cuando se ha identificado una zona de inestabilidad del talud, se colocan prismas adicionales para mejorar la cobertura e identificar los límites de la del talud en deformación.

Figura 10. Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009



Fuente: Fuente: Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009

Figura 11. Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009



Fuente: Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009

Se pudo determinar el colapso de la rampa principal del Nv. 800, pared oeste zona critica que alcanzan de 2.5 mm llegando hasta 12.5 mm, para determinar que el análisis en función de 8.00 mm de aceleración en la velocidad inversa como en la velocidad sin dimensión da indicios de colapso al menos para un material volcánico rumiallana como se muestra en la imagen siguiente.

Figura 12. Material de colapso en Rampa Principal del Nv. 800



Fuente: Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009

Figura 13. Material de colapso en Rampa Principal del Nv. 800



Fuente: Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009

4.6.2 Instrumentos

Introducción: Para efectos del desarrollo de investigación se utilizaron instrumentos para actividades específicas de campo, que a continuación se detalla:

GEOMOS

El objetivo del monitoreo de prismas con Estación Total Automatizada es proporcionar el detalle histórico del desplazamiento, direcciones de desplazamiento y estimación de rangos de velocidad de deformación en zonas inestables. Las estaciones totales son dispositivos de reconocimiento óptico basados en tecnología láser y que pueden ser programados para la medición automática de los prismas objetivo en la línea de vista del instrumento. El beneficio del uso de estaciones totales automatizadas está en que sus mediciones tienen mejor precisión y generalmente más precisas que el reconocimiento in situ. Además, estos dispositivos pueden operar continuamente proporcionando información en tiempo real.

Los datos del monitoreo de prismas proporcionan información puntual y no precisamente de la superficie total de la cara del talud, debido a esta limitación puede perder áreas más pequeñas de inestabilidad si los prismas no se colocan en los sectores de movimiento. Sin embargo, el monitoreo con prismas proporciona un vector desplazamiento tridimensional completo, que es esencial para la estimación de dirección de desplazamiento de taludes y la evaluación de los riesgos. En comparación con las tecnologías de monitoreo de cara total del talud, por ejemplo, los radares, estos no son capaces de proporcionar vectores de desplazamiento.

RADAR

RADAR SSR 083

El RADAR (Radio Detection And Ranging), es un instrumento capaz de detectar un objeto distante, entre el equipo y el objetivo (el talud o pared). Este método de monitoreo de estabilidad de taludes tiene la ventaja de que una sección completa especificada de la pared se puede monitorear remotamente en tiempo casi real, sin el uso de reflectores e independientemente de las condiciones atmosféricas. Pero las mediciones de radar en algunos casos podrían estar influenciadas por cambios de temperatura o humedad. En muchas minas se utilizan equipos básicos con un alcance aproximado de 800 m. Dependiendo del tipo de equipo y del rango

(distancia equipo -pared), el movimiento en los taludes se puede detectar con una precisión milimétrica. Cuanto mayor es la distancia del equipo a la pared objetivo, mayor será la variación en la medida (tamaño de pixel). Las mejoras tecnológicas posteriores han proporcionado equipos con mayor alcance (4500 m.).

Los sistemas de monitoreo con radar son semipermanentes porque están en ubicaciones fijas por largos períodos de tiempo, pero pueden ser movidos si es necesario. Son excelentes para monitorear el "panorama general de condición de estabilidad de los taludes", pero no reemplazan totalmente a otros sistemas.

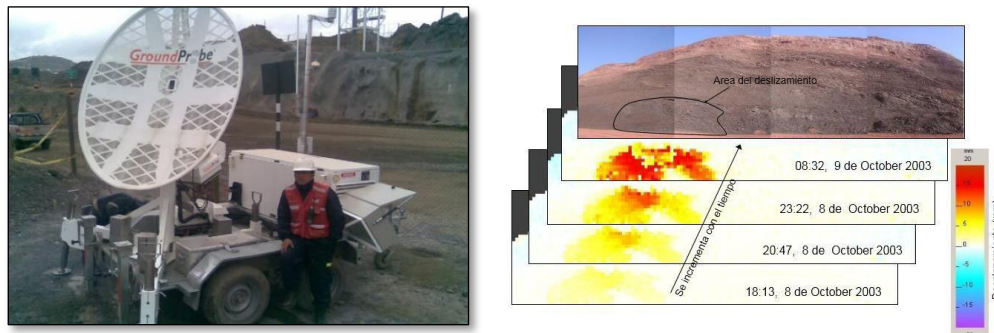
Este sistema de monitoreo funciona registrando el tiempo necesario para que una señal de amplitud, longitud de onda y velocidad conocidas, se envíe, refleje y se reciba desde la pared objetivo. La interferometría, una técnica de procesamiento de señal, evalúa la información de fase inherente a la señal de radar reflejada para lograr el nivel deseado de precisión.

El escaneo de un área objetivo del talud, toma aproximadamente 5 minutos o menos. En general el tamaño de los píxeles escaneados en parte depende de la distancia del radar hasta el talud. Los datos de los radares se transmiten a las PCs, en la mina y de allí a un servidor central a través de telemetría donde los datos se interpretan y se grafican para una revisión visual inmediata. Los datos también se pueden ver insitu en el equipo o en la caseta de monitoreo. Al comparar las señales recibidas de cada ciclo del radar, se determinan los movimientos en la línea de visión y estos se procesan a gráficos de la pared que muestran las cantidades de desplazamiento relativo. También se pueden generar graficas de desplazamiento durante períodos de tiempo específicos.

Debido a que los aspectos del movimiento 3D no se pueden controlar, el sistema de monitoreo con radares es menos útil para definir el mecanismo de falla o modo de inestabilidad, aunque puede proporcionar una medición más precisa de la dimensión de la masa en movimiento (límite superficial de deformación). Por lo tanto, los radares se deben usar en combinación con un sistema de monitoreo topográfico (Estación Total – Prismas), que además de definir desplazamiento, puede calcular la dirección de desplazamiento y también cubren un área más extensa desde una distancia mayor.

Figura 05. Registro de Monitoreo Robotizado – GeoMos

Figura 14. Equipo de escáner para Monitoreo Geotécnico - RADAR



Fuente: Informe de Monitoreo Geomecánica

Figura 15. Reporte de escaneo del Radar



Fuente: Informe de Monitoreo Geomecánica

Los datos de monitoreo geotécnico empleados en la presente investigación corresponden a registros históricos del sistema GeoMos y del RADAR SSR, recopilados durante el período agosto 2009 – enero 2010, período en el que se documentaron los eventos críticos de deformación y colapso en la pared oeste del tajo Raúl Rojas, incluyendo el colapso de la rampa principal del Nivel 800. Estos datos constituyen la base empírica más completa disponible sobre el comportamiento geomecánico del tramo nor-oeste bajo condiciones de inestabilidad activa, lo que los convierte en la fuente primaria idónea para la validación de la propuesta geotécnica desarrollada. El uso de esta base de datos histórica responde a criterios de pertinencia técnica, disponibilidad de información sistemática y representatividad del fenómeno estudiado.

1. Fichas de datos

Medición del desplazamiento vertical y horizontal del talud.

Los resultados de los análisis presentados a continuación consideran – sucintamente – el comportamiento de los prismas ubicados en los sectores de Concentradora, Conos, Ex –Sedimentadores, Rampa Oeste y Rampa Principal. Estos análisis se efectuaron considerando los desplazamientos diarios y acumulados desde Agosto del 2009 hasta Enero del 2010.

Lo primero a mencionar es que se distingue un considerable aumento en el número de prismas, de 12 a 19 prismas, que en su desplazamiento acumulado ya superan los 2000 [mm], o 2 [m]. Además es de suma importancia mencionar que en todos los sectores de la pared Oeste, de la Concentradora hasta Conos, e incluyendo las Rampas, hay presencia de estos prismas con altos desplazamientos acumulados.

Por otro lado, podemos interpretar que, siendo necesariamente diferentes las historias operacionales de diversos prismas a lo largo del tiempo, puesto que han comenzado su monitoreo en distintas fechas (comienzos del 2007, mediados y fines del 2007 y comienzos del 2008), los prismas que primero se instalaron tienen un mayor desplazamiento acumulado. Sin embargo, todos los prismas han manifestado una clara tendencia a homogeneizar los desplazamientos en los últimos meses.

Para entender con mayor claridad lo recién mencionado, se presentan a continuación una serie de tablas que revelan en mayor detalle este comportamiento:

Figura 16. Prismas de desplazamiento continuo – Concentradora

Concentradora	
Prisma	Despl. acumulado Ago. a Ene. [mm]
PM-1	90,45
PM-2	11,8
PM-3	109,18
PM-4	91,34
PM-5	92,83
PM-6	108,19
PM-39	67,77
PM-40	79,63
PM-42	79,76
PM-43	75,33
PM-44	79,54
PM-45	81,59
PM-48	80,81

Datos Estadísticos de desplazamientos acumulados de Agosto 2009 a Enero 2010 - en [mm]	
Promedio	86,37
Superior	109,18
Inferior	67,77
“Outlier”	11,8

Fuente: Análisis Crítico Actualizado de Desplazamientos de pared oeste del Tajo Abierto Raúl Rojas – Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

Figura 17. Prismas de desplazamiento continuo – Conos

Conos	
Prisma	Despl. acumulado Ago. a Ene. [mm]
PM-11	25,64
PM-51	231,61
PM-52	302,02
PM-53	361,61
PM-54	389,97
PM-55	266,43
PM-56	293,35
PM-57	271,47
PM-58	264,36
PM-59	241,26
PM-92	419,84
PM-93	279,14

Datos Estadísticos de desplazamientos acumulados de Agosto 2009 a Enero 2010 - en [mm]	
Promedio	301,91
Superior	419,84
Inferior	231,61
Outlier	25,64

Fuente: Análisis Crítico Actualizado de Desplazamientos de pared oeste del Tajo Abierto Raúl Rojas – Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

Figura 18. Prismas de desplazamiento continuo – Ex/Sedimentador

Ex - Sedimentadores	
Prisma	Despl. acumulado Ago. a Ene. [mm]
PM-16	27,13
PM-19	31,67
PM-67	59,60
PM-68	36,79
PM-72	42,58
PM-73	381,05
PM-74	270,44
PM-75	381,67
PM-76	260,11
PM-77	243,14
PM-78	270,69
PM-79	350,51
PM-80	416,83
PM-81	429,57
PM-82	52,51
PM-83	229,61
PM-85	327,21
PM-87	362,22
PM-88	31,72
PM-95	239,53
PM-96	218,42
PM-97	216,49
PM-98	249,07
PM-99	306,69
PM-100	398,27
PM-101	403,54
PM-102	375,08

Datos Estadísticos de desplazamientos acumulados de Agosto 2009 a Enero 2010 - en [mm]	
Promedio	316,51
Superior	429,57
Inferior	216,49
Prom. Outlier	40,29

Fuente: Análisis Crítico Actualizado de Desplazamientos de pared oeste del Tajo Abierto Raúl Rojas – Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

Figura 19. Prismas de desplazamiento continuo – Rampa Oeste

Rampa Oeste		Despl. acumul. Ago a Ene [mm]	Datos Estadísticos de desplazamientos acumulados de Agosto 2009 a Enero 2010 - en [mm]						
Prisma									
PM 24	-	176,58	<table><tr><td>Promedio</td><td>233,37</td></tr><tr><td>Superior</td><td>339,14</td></tr><tr><td>Inferior</td><td>175,47</td></tr></table>	Promedio	233,37	Superior	339,14	Inferior	175,47
Promedio	233,37								
Superior	339,14								
Inferior	175,47								
PM 25	-	175,47							
PM 26	-	200,58							
PM 27	-	232,80							
PM 28	-	275,67							
PM 29	-	339,14							

Fuente: Análisis Crítico Actualizado de Desplazamientos de pared oeste del Tajo Abierto Raúl Rojas – Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

Figura 20. Prismas de desplazamiento continuo – Rampa Principal

Rampa Principal	
Prisma	Despl. acumul. Ago. 2009 a Ene 2010 - en [mm]
PM - 7	171,18
PM 12	269,83
PM 15	292,16
PM 21	808,42
PM 71	492,78

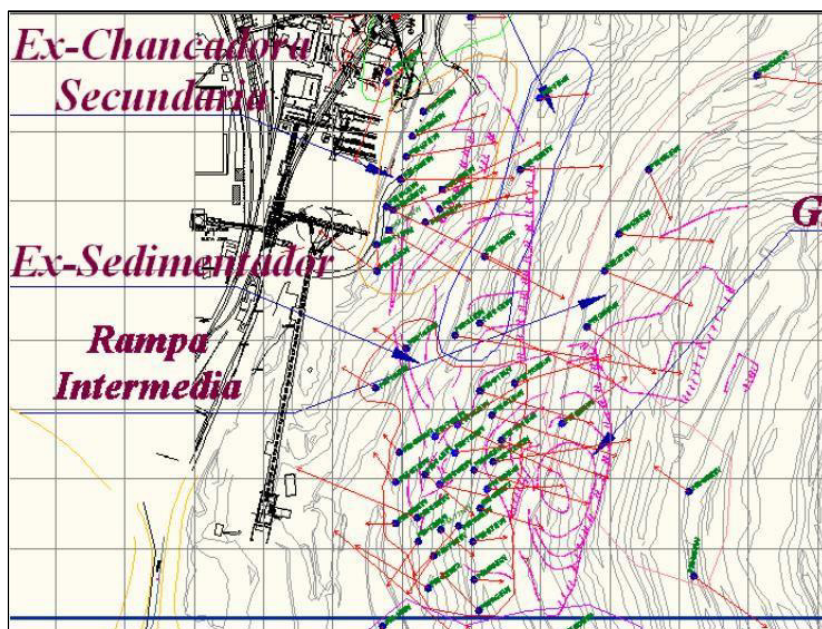
Fuente: Análisis Crítico Actualizado de Desplazamientos de pared oeste del Tajo Abierto Raúl Rojas – Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

Lo primero que se corroboró en esta visita fue la completa corrección de los errores mencionados en el avance del mes de abril y reiterados en el informe de la visita de 8 al 12 de junio del 2009, cumpliéndose completamente con este objetivo y asegurando una correcta interpretación de los nuevos resultados de dichas correcciones.

Por tanto, si se toman medidas radicales y rápidas de estabilización, se podría cambiar dicha situación. Pero similarmente, un empeoramiento de factores climáticos, como por ejemplo un aumento del periodo e intensidad de las lluvias, podría adelantar considerablemente estos posibles colapsos.

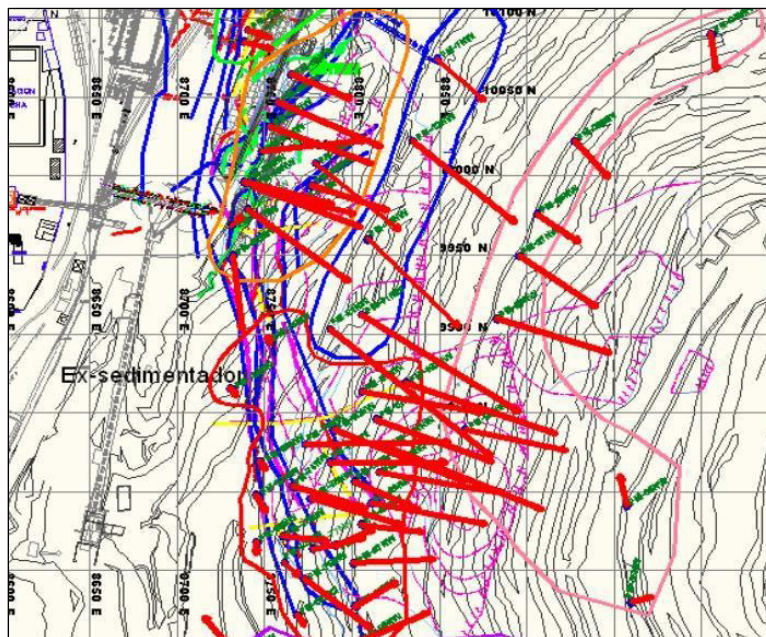
El impacto directo que tuvieron estas correcciones fue en la real interpretación de los vectores de desplazamiento acumulado, representativos para cada prisma de medición, lo cual se visualiza fácilmente comparando los planos de dichos vectores antes y después de las mencionadas correcciones de interpretación de azimuth y dip de estos. Esto se aprecia en las Figuras 21 y 21.

Figura 20. Vectores de desplazamiento antes de las correcciones



Fuente: Informe de Visita 13 – 17 Julio 2009 - “ASESORÍA GEOMECÁNICA U.E.A. CERRO DE PASCO” - Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

Figura 21. Vectores de desplazamiento después de las correcciones.



Fuente: Informe de Visita 13 – 17 Julio 2009 - “ASESORÍA GEOMECAÁNICA U.E.A. CERRO DE PASCO” - Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

4.7 Análisis de datos de campo

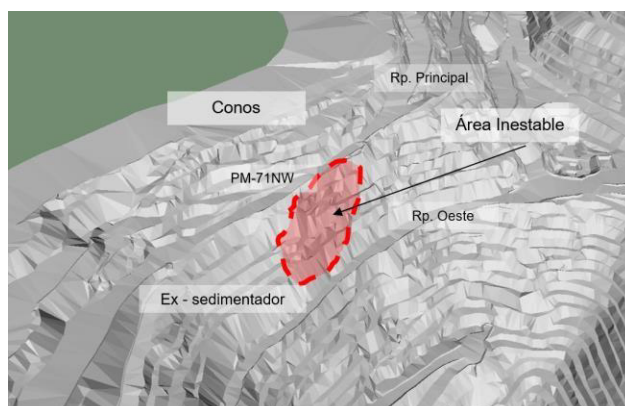
La muestra del estudio estuvo conformada por 331 puntos de monitoreo, para su tratamiento estadístico se utilizó el software SPSS versión 25.

Propuesta Geotécnica

Para proseguir la estabilización pendiente de la zona del Ex – Sedimentador parte norte orientado a la zona de mayor desplazamiento según el PM-71NO hacia el norte se requiere estabilizar y contener la aceleración que expone a la Rampa Principal, para ello se ha trabajado en un diseño a estabilizar la parte superior del banco 4320 hasta el banco 4270 que es la cota actual de la rampa principal orientado a generar un botadero In-Pit como contrafuerte al pie del talud.

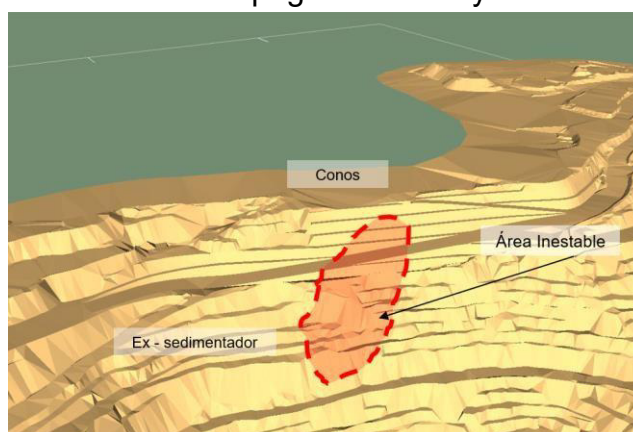
Haciendo el botadero In-Pit se mantendría más estable orientados a la rampa Principal incluso se podría obtener un posible mayor ancho hasta 19 m, y de la rampa Principal, en el tramo PM-71NO se continuaría con los trabajos de estabilización y controlaríamos el riesgo existente tratando de impermeabilizar estas zonas críticas, pero ya con la acción del botadero In-Pit

Figura 22. Vista en DM muestra la topografía actual y zona de Riesgo



Fuente: Área de Inestabilidad Pared Noroeste del Tajo Abierto Raúl Rojas

Figura 23. Vista en DM muestra la topografía actual y zona de Riesgo



Fuente: Área de Inestabilidad Pared Noroeste Tajo Abierto Raúl Rojas

A partir de datos de parámetros de informes previos (Informe Geoconsultora Julio 2005 y noviembre 2008 - Chile), los que han servido de base para definir los parámetros remitentes por litología, del talud para realizar los análisis de estabilidad sobre la base de la geometría y distribución litológica del talud, en la tabla siguiente se listan parámetros representativos por litología del tajo abierto Raúl Rojas.

Litología	Densidad Kn/m3	Cohesión Kpa	Ang. Fricc °
Rumiallana	26	150 - 180	24 - 28
Pirita / Pirrotita	37	160	30
Excélsior	27.9	130 - 150	27 – 29
Caliza	24	160	27
Mitú	27	120	31.5
Mineral	38	180	29
Botadero	20	15	35

Fuente: Estudio geomecánico – Tajo abierto – Volcán Cía. Minera

En base a estos parámetros y guiados por el diseño final “maestro” del botadero In-Pit tomando la configuración litológica y topográfica real, conjuntamente con los parámetros de botaderos recomendados en diseños anteriores (Botadero recomendado en noviembre 2008).

Figura 24. Vista del fondo del tajo mostrando los diversos bancos.

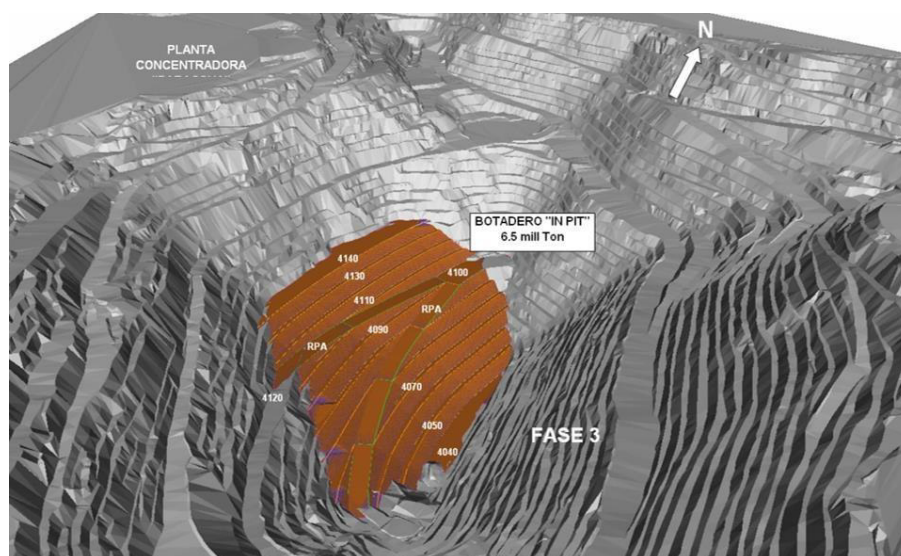


Fuente: Construcción de Botadero en el fondo del Tajo Abierto

Se muestra el diseño del In-Pit propios del botadero, se realizaron los análisis de estabilidad para talud global NO, con ayuda del Software SLIDE, donde nuestras recomendaciones para la configuración del botadero “In-Pit” se ilustran en la parte

inferior del talud considerando un total de 6.5 Millones de Toneladas como material a ser colocado, esto si regenerando mayor zona de almacenamiento de desmonte, pero eso si limitando futuras operaciones en esta zona de profundización es más esas zonas se trabajan por interior mina, así mismo se debe considerar un puente en relación al Tajo Abierto y Mina subterránea.

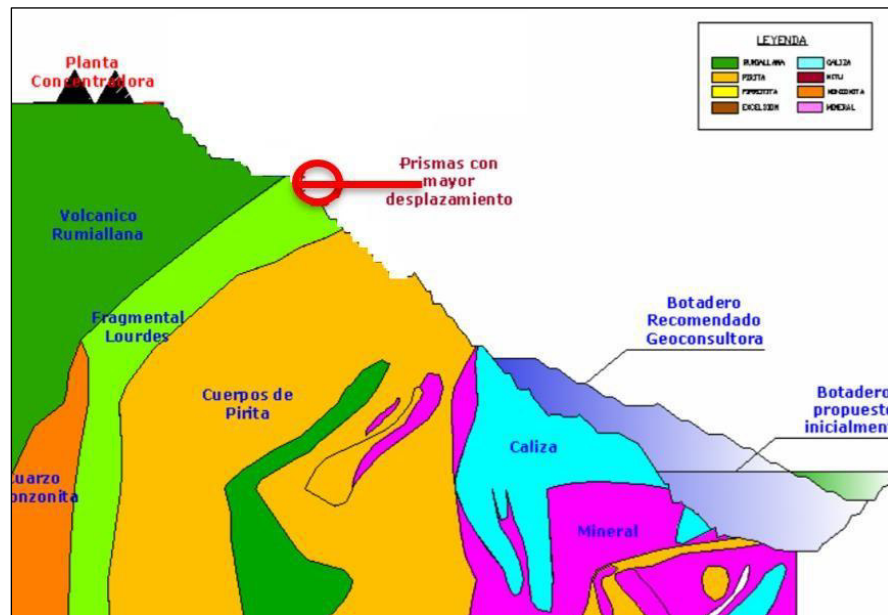
Figura 25. Vista del botadero In-Pit fondo del tajo abierto según diseño final



Fuente: Construcción de Botadero en el fondo del Tajo Abierto

Se compara la estabilidad global del talud, asociadas al botadero recomendado en una primera instancia, rangos de estabilidad dentro de criterios relativamente aceptables (Factores de Seguridad entre 1.4 y 1.2). Además, cabe mencionar que el botadero recomendado cubre una altura tal que cubre hasta la cota 4140 del tajo abierto brindando un soporte de pie al talud inestable inicial creta con un F.S. 0.9, inestable es más comprometiendo las operaciones y accesibilidad a las bocaminas del Nv. 800 y zona del fondo del tajo.

Figura 26. Sección In-Pit mostrando el prisma de mayor desplazamiento.



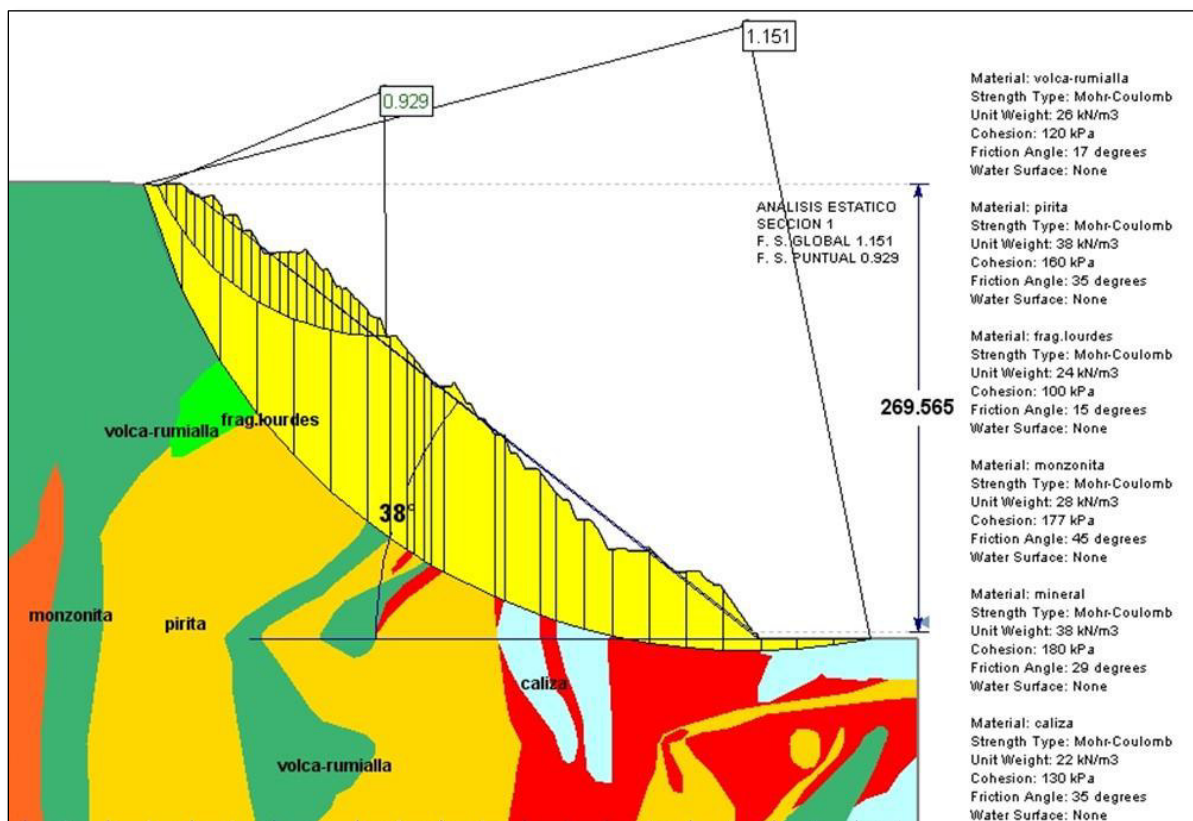
Fuente: Informe de estabilidad de Botadero In-Pit

ANALISIS SIN BOTADERO IN-PIT Y CON BOTADERO IN-PIT

Análisis Geotécnico sin botadero

- Se realiza análisis del talud sin botadero optimizado.
- Talud Global con FS = 1.151 rangos aceptables de estabilidad.
- Zona superior del talud con FS = 0.929

Figura 27. Análisis sin Botadero In-pit

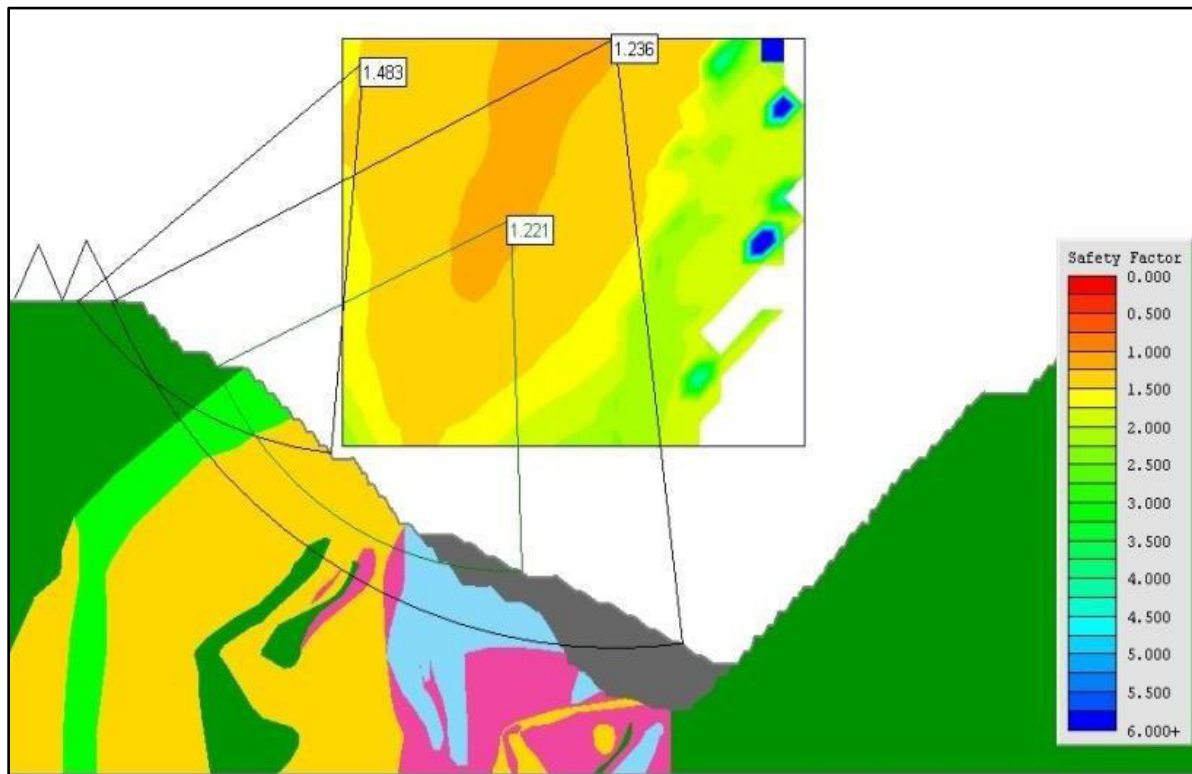


Fuente: Informe de estabilidad de Botadero InPit

Análisis Geotécnico con botadero In-Pit propuesto

- Se realiza análisis del talud con botadero optimizado.
- Talud Global con $FS = 1.236$ igualmente dentro de rangos aceptables de estabilidad.
- Zona superior del talud con $FS = 1.483$

Figura 28. Análisis con Botadero In-Pit



Fuente: Informe de estabilidad de Botadero InPit

V, RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados

Prueba de normalidad

Para muestras mayores a 50 la prueba a utilizar es Kolmogorov-Smirnov

Se establecen 2 hipótesis para comprobar la normalidad:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal (Sig. > 0.05).

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal (Sig. < 0.05).

Estabilidad de Talud

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad de Talud (Antes)	,088	331	,000
Estabilidad de Talud (Después)	,119	331	,000

En este caso ambos Sig. tanto del pre como del post test son < 0.05 indicando que **no siguen una distribución normal** quiere decir que debemos utilizar para la comprobación de la hipótesis prueba no paramétrica (Wilcoxon).

Seguridad

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Seguridad (Antes)	,182	331	,000
Seguridad (Después)	,238	331	,000

En este caso ambos Sig. tanto del pre como del post test son < 0.05 indicando que **no siguen una distribución normal** quiere decir que debemos utilizar para la comprobación de la hipótesis prueba no paramétrica (Wilcoxon).

Geotécnicos

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Geotécnicos (Antes)	,152	331	,000
Geotécnicos (Después)	,232	331	,000

En este caso ambos Sig. tanto del pre como del post test son < 0.05 indicando que **no siguen una distribución normal** quiere decir que debemos utilizar para la comprobación de la hipótesis prueba no paramétrica (Wilcoxon).

Estructurales

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Estructurales (Antes)	,185	331	,000
Estructurales (Después)	,238	331	,000

En este caso ambos Sig. tanto del pre como del post test son < 0.05 indicando que **no siguen una**

distribución normal quiere decir que debemos utilizar para la comprobación de la hipótesis prueba no paramétrica (Wilcoxon).

Monitoreos

	Kolmogorov-Smirnov ^a Estadístico	gl	Sig.
Monitores (Antes)	,196	331	,000
Monitores (Despues)	,248	331	,000

En este caso ambos Sig. tanto del pre como del post test son < 0.05 indicando que **no siguen una distribución normal** quiere decir que debemos utilizar para la comprobación de la hipótesis prueba no paramétrica (Wilcoxon).

En conclusión, debido las pruebas de normalidad realizadas todas las hipótesis planteadas se deben comprobar mediante Wilcoxon.

Prueba de hipótesis

Hipótesis General:

H_1 : La propuesta geotécnica mejora la estabilidad del talud del sector noroeste del tajo abierto Raúl Rojas, en la Unidad Minera Paragsha.

H_0 : La propuesta geotécnica no mejora la estabilidad del talud del sector noroeste del tajo abierto Raúl Rojas, en la Unidad Minera Paragsha.

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Estabilidad de Talud (Después) - Estabilidad de Talud (Antes)	Rangos negativos	0 ^a	,00	,00
	Rangos positivos	331 ^b	166,00	54946,00
	Empates	0 ^c		
	Total	331		

a. Estabilidad de Talud (Después) < Estabilidad de Talud (Antes)

b. Estabilidad de Talud (Después) > Estabilidad de Talud (Antes)

c. Estabilidad de Talud (Después) = Estabilidad de Talud (Antes)

Estadísticos de prueba^a

	Estabilidad de Talud (Después) - Estabilidad de Talud (Antes)
Z	-15,787 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Con un nivel de significancia del 5%, los resultados de la prueba de Wilcoxon evidencian diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones pretest y posttest de la estabilidad del talud ($Z = -15.787$; $p < 0.001$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis general, concluyendo que la propuesta geotécnica mejora significativamente la estabilidad del talud del sector noroeste del tajo abierto Raúl Rojas, en la Unidad Minera Paragsha.

Para la comprobación de las hipótesis específicas se aplica igualmente la prueba no paramétrica de Wilcoxon, dado que todas las variables evaluadas presentaron distribución no normal según la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Sig. < 0,05). A continuación, se presentan los resultados del contraste estadístico para cada una de las dimensiones: Seguridad, Geotécnicos, Estructurales y Monitores.

Seguridad

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Seguridad (Después) - Seguridad (Antes)	Rangos negativos	5 ^a	36,70	183,50
	Rangos positivos	323 ^b	166,48	53772,50
	Empates	3 ^c		
	Total	331		

a. Seguridad (Después) < Seguridad (Antes)

b. Seguridad (Después) > Seguridad (Antes)

c. Seguridad (Después) = Seguridad (Antes)

Estadísticos de prueba^a

Seguridad (Despues) - Seguridad (Antes)

Z	-15,669 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Geotécnicos

		Rangos			
		N	Rango promedio	Suma rangos	de
Geotécnicos (Despues)	-Rangos negativos	29 ^a	47,86	1388,00	
Geotecnicos (Antes)	Rangos positivos	259 ^b	155,32	40228,00	
	Empates	43 ^c			
	Total	331			

a. Geotécnicos (Despues) < Geotécnicos (Antes)

b. Geotécnicos (Después) > Geotecnicos (Antes)

c. Geotecnicos (Despues) = Geotecnicos (Antes)

Estadísticos de prueba^a

Geotecnicos (Despues) - Geotecnicos (Antes)

Z	-13,788 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Estructurales

		Rangos			
		N	Rango promedio	Suma rangos	de
Estructurales (Despues)	Rangos negativos	0 ^a	,00	,00	
- Estructurales (Antes)	Rangos positivos	331 ^b	166,00	54946,00	
	Empates	0 ^c			
	Total	331			

a. Estructurales (Despues) < Estructurales (Antes)

b. Estructurales (Despues) > Estructurales (Antes)

c. Estructurales (Despues) = Estructurales (Antes)

Estadísticos de prueba^a

Estructurales (Despues) - Estructurales (Antes)

Z	-15,853 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Monitoreos

		Rangos			
		N	Rango promedio	Suma rangos	de
Monitores (Despues)	-Rangos negativos	0 ^a	,00	,00	
Monitores (Antes)	Rangos positivos	331 ^b	166,00	54946,00	
	Empates	0 ^c			

Total	331		
-------	-----	--	--

a. Monitores (Despues) < Monitores (Antes)

b. Monitores (Despues) > Monitores (Antes)

c. Monitores (Despues) = Monitores (Antes)

Estadísticos de prueba^a

Monitores (Despues) - Monitores (Antes)

Z	-15,858 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

En cada uno de los casos el valor Sig. es menor a 0.05 por lo tanto en cada caso se rechazaría la hipótesis nula y se acepta la alterna.

6.1. Discusiones

Primera discusión

Para el objetivo general donde manifiesta que influye la propuesta geotécnica para la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco; (Cervera Teran, 2023) Las medidas paliativas o intervenciones aplicadas a un talud deben estar vinculadas con uno o más de los factores mencionados. Es crucial tener en cuenta que la cohesión es el factor más delicado entre todos ellos, ya que una pequeña variación en este aspecto puede marcar la diferencia entre un talud estable y el riesgo de deslizamiento. En términos de estabilidad en un talud, se concluye que la primera acción ante la posible inestabilidad debe ser la prevención. En la fase de diseño, se considera la elusión y, finalmente, se implementan obras de infraestructura que aseguren la estabilidad y reduzcan el riesgo. Es fundamental monitorear y controlar de manera más efectiva factores como la presencia de agua en la superficie o subsuperficie, así como las variaciones en las fuerzas gravitacionales. Estos aspectos se analizan en profundidad para garantizar la estabilidad del talud.

Segunda discusión

Para el objetivo específico 1 donde manifiesta que se presenta un impacto en la propuesta geotécnica para la seguridad en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco; (catanzariti, 2016) Estabilidad de taludes, se refiere a una porción de una vertiente natural cuyo perfil original ha sido alterado mediante intervenciones artificiales relevantes para la estabilidad. Por derrumbe se entiende una condición de inestabilidad que afecta vertientes naturales e involucra extensiones significativas de terreno. En la introducción al análisis de estabilidad, abordar el problema requiere considerar las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las ecuaciones se relacionan con el equilibrio, mientras que los vínculos describen el comportamiento del terreno. Estas ecuaciones son intrincadas debido a que los terrenos son sistemas multifase, que pueden simplificarse a sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco o análisis en condiciones drenadas. En la mayoría de los casos, los suelos son saturados y bifásicos, lo que complica significativamente el análisis de las

ecuaciones de equilibrio. Además, es prácticamente imposible establecer una ley constitutiva de validez general debido al comportamiento no lineal de los terrenos. Incluso con pequeñas deformaciones, son anisotrópicos y su comportamiento depende no solo del esfuerzo desviador, sino también del normal. Para abordar estas dificultades, se introducen hipótesis para simplificar: Se emplean leyes constitutivas simplificadas, como el modelo rígido perfectamente plástico, asumiendo que la resistencia del suelo se expresa solo con los parámetros de cohesión (c) y ángulo de rozamiento (ϕ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico

Tercera discusión

Para el objetivo específico 2 donde manifiesta que se presenta un impacto en la propuesta geotécnica para la seguridad en los aspectos geotécnicos en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco; (Masmela & Paez, 2019) Se ha explorado tanto el aspecto cualitativo como cuantitativo de las juntas o fallas regionales y locales, así como las micro-fallas que indican desplazamientos en los materiales de suelo y roca. Esta tesis se considera innovadora al abordar el tratamiento directo de los materiales generados por un metamorfismo que desestabiliza el macizo rocoso o la estructura suprayacente, sin contar con literatura previa sobre el tema. Se ha identificado la arcilla y la infiltración de agua como factores que contribuyen a colapsos, subsidencias, reptaciones y post-fracturamientos. Se determinó la ubicación de muestreo de rocas alteradas, desintegradas y descompuestas para análisis de laboratorio, incluyendo la medición de su cohesión. Se examinó el comportamiento geotécnico del suelo en áreas adyacentes a los taludes de la carretera, centrándose en la estabilidad en los puntos más críticos. Se realizó un análisis detallado en los tramos críticos de la carretera Cochabamba-Cutervo-Chiple en las progresivas 23 y 61, que son de mayor envergadura. La evaluación abarcó la infiltración y factores ambientales extremos, como las bajas y altas temperaturas, que causan contracciones, concreciones o expansiones en los materiales arcillosos, generando diversos desplazamientos del suelo. La zona del tramo Cochabamba-Cutervo hasta la Progresiva punto 61 experimenta climas extremos de bajas temperaturas (5°C - 10°C), lo que resulta en congelación de las aguas de infiltración y expansión del material arcilloso, provocando fracturas, fallas y desplazamientos. Se destacan las ondas sísmicas imperceptibles como factores que originan colapsos en materiales entre suelos y rocas de baja o alta resistencia. Las intercalaciones de rocas de RMR bajo y alto son causas de deslizamientos bajos o altos.

Cuarta discusión

Para el objetivo específico 3 donde manifiesta que se presenta un impacto en la propuesta geotécnica para la seguridad en los aspectos estructurales en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco;

(Masmela & Paez, 2019) Se sugiere implementar un plan agresivo de canalización en las cumbres de los cerros y desarrollar un plan hidrológico e hidrogeológico inmediato para mitigar la infiltración excesiva en los taludes de la carretera. Además, se hace hincapié en la importancia del espesor de contacto suelo/roca y suelo-suelo, que favorece los deslizamientos. Se ha identificado que los materiales desestabilizantes causados por un metamorfismo han afectado la estabilidad del macizo rocoso, promoviendo reptaciones y colapsos. La falta de un estudio de hidrología, hidrogeología e hidrotecnia permitió que las filtraciones activaran movimientos de fracturamientos, entre otros. El factor de aceleración (g) se determinó mediante el índice 0.30, obtenido a partir de un mapa del IGN de iso-aceleraciones y ubicando la zona de interés en base a coordenadas UTM. Todos los datos utilizados se basan en información de campo, calicatas, laboratorio, y se aplicaron programas y software como Dips, Slide, etc., para el análisis. El análisis estático se obtiene a partir de la geometría del talud y los parámetros geotécnicos, seguido de investigaciones de Mohr-Coulomb, Hoek Brown y otros criterios de ruptura, así como análisis de Peso Unitario, Ángulo de Fricción Interna, Cohesión, Consistencia, Cohesividad, Adhesión, Compresibilidad y Compactación, Permeabilidad, aplicando también Ratio de Poisson, Módulo de Young, entre otros. El factor de seguridad mínimo es 1.5 para el análisis estático, mientras que para el análisis pseudo-estático se aplica la aceleración g (0.30 en este caso) y se obtiene el factor de seguridad pseudo-estático con software como Slideo GeoStudio o Geo5.

Quinta discusión

Para el objetivo específico 4 donde manifiesta que se presenta un impacto en la propuesta geotécnica para el monitoreo en la seguridad en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco; (Suárez, 2023) El monitoreo y seguimiento de los procesos de revegetalización, requieren períodos más extensos para comprender el comportamiento a lo largo de los diversos ciclos de lluvias y sequías anuales en cada región del país. Para asegurar el suministro de agua en verano y evitar un crecimiento excesivo en áreas de vía, la revegetalización precisa de mantenimiento regular,

limitando el crecimiento a no más de 30 cm. Es esencial destacar que la revegetalización no tiene como objetivo impermeabilizar el talud; su función principal es prevenir la pérdida de suelo por la acción de agentes erosivos como el viento y el agua. Esto se logra al reducir las escorrentías y la velocidad del flujo, filtrar y regular el paso del agua, y prevenir la formación de surcos y la pérdida de material del talud. En cuanto a futuras investigaciones, se sugiere determinar los parámetros de diseño actuales del talud de Risaralda para observar la influencia de la revegetalización implementada y analizar el aumento en el factor de seguridad. Además, se podría llevar a cabo investigaciones similares en taludes revegetalizados con diversas características generales, como clima, geología y topografía, con la asesoría de profesionales en agronomía e ingeniería forestal. El objetivo sería determinar la incidencia del factor de seguridad en tales taludes.

VI. CONCLUSIONES

Primera conclusión

Podemos llegar a la conclusión de que la Estabilidad Talud (Antes) y Estabilidad Talud (Después) presenta valores de Media de 23,38 y 36,02, lo que muestra que si a influenciado positivamente la Propuesta Geotécnica. El valor de Sigma bilateral es de 0,00 que es menor a 0,05 por lo tanto se valida la hipótesis de estudio y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, podemos afirmar *“La propuesta geotécnica influye positivamente en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco”*

Segunda conclusión

Podemos llegar a la conclusión de que Monitores (Antes) y Monitores (Después) presenta valores de Media de 5,47 y 9,04, lo que muestra que si a influenciado positivamente la Propuesta Geotécnica. El valor de Sigma bilateral es de 0,00 que es menor a 0,05 por lo tanto se valida la hipótesis de estudio y se rechaza la hipótesis nula. Lo que nos permite indicar *“La propuesta geotécnica para la seguridad influye positivamente en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco”*

Tercera conclusión

Podemos llegar a la conclusión de que Geotécnicos (Antes) y Geotécnicos (Después) presenta valores de Media de 1,22 y 1,39, lo que muestra que si a influenciado positivamente la Propuesta Geotécnica. El valor de Sigma bilateral es de 0,00 que es menor a 0,05 por lo tanto se valida la hipótesis de estudio y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, podemos indicar lo siguiente *“El impacto en la propuesta geotécnica influye positivamente en la seguridad en los aspectos geotécnicos en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco”*

Cuarta conclusión

Podemos llegar a la conclusión de que Estructurales (Antes) y Estructurales (Después) presenta valores de Media de 1,49 y 1,58, lo que muestra que si a influenciado positivamente la Propuesta Geotécnica. El valor de Sigma bilateral es de

0,00 que es menor a 0,05 por lo tanto se valida la hipótesis de estudio y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se comprueba *“La propuesta geotécnica influye positivamente en la seguridad en los aspectos estructurales en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco”*

Quinta conclusión

Podemos llegar a la conclusión de que Monitores (Antes) y Monitores (Después) presenta valores de Media de 1,27 y 1,41, lo que muestra que si ha influenciado positivamente la Propuesta Geotécnica. El valor de Sigma bilateral es de 0,00 que es menor a 0,05 por lo tanto se valida la hipótesis de estudio y se rechaza la hipótesis nula. En tal sentido se comprueba *“La propuesta geotécnica influye positivamente en el monitoreo en la seguridad en la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco”*

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos siempre en zonas seguras y fundamente decir que no (PARE), cuando las condiciones de trabajo no son las ideales, es por ello que al realizar el análisis de propuesta geotécnica el Factor de Seguridad supera la unidad; la misma que hace viable los trabajos en el radio de influencia de la zona crítica y no exponiendo a personal tanto en la zona critica ni como en las operaciones en el fondo del Tajo Abierto.
- Continuar con el cumplimiento de los estándares de trabajos seguros para zonas críticas, así mismo la capacitación a todo personal que realice trabajos expuestos en dichas zonas sabiendo cómo actuar caso de un evento no deseado.
- Realizando los trabajos de relleno detrítico o desmonte (Botadero InPit – en el fondo del tajo), se condiciona a crear un pie de talud artificial la misma que subiría el Factor de Seguridad mediante las simulaciones que brindaría una mayor seguridad en la zona critica, por ende, las operaciones en dicha zona no implicarían estar comprometida y los diversos accesos a interior mina en la zona profunda del Tajo Abierto.
- En la zona del noroeste del Tajo abierto es considerado la zona de mayor deformación la misma que esta influenciada con el comportamiento desfavorable de las fallas circulares (aspectos estructurales) con orientación al Inpit, la que se debe de continuamente monitorear (Tell Tale – instrumentación geotécnica) y mantener un registro y levantamiento de cada estructura considerando cual es la apertura y su orientación y corroborar si en base al monitoreo esta guarda relación continua o varia.
- Mantener el monitoreo permanente proyectando realizar mantenimiento preventivos y predictivos de toda la instrumentación necesaria a fin de contar con data en tiempo real, es más se debería de considerar tomar aún más registros en la zona de mayor deformación ya que para esta evaluación solo se consideró un registro por día.
- Es de suma importancia realizar trabajos en zonas seguras, sumado a ello en función del monitoreo proyectar diversos análisis con tendencia de alertas

tempranas de una posible aceleración exponencial que involucre las operaciones en zonas de deformación continua.

- El monitoreo continuo es fundamental la cual permitirá no solamente analizar la zona de mayor deformación sino posibles zonas alternas a ellas que influenciadas con los aspectos estructurales tengan incidencia tanto en superficie como en interior mina zona I – Nv 800.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYALA et al. (1985), "Abacos de Estabilidad para Minería de Carbón y Sedimentaria a Cielo Abierto con Capas Inclinadas", Instituto Geológico y Minero, Madrid

AMADEI, B. (1988), "Strength of a Regularly Jointed Rock Mass Under Biaxial and Axisymmetric Loading Conditions", Int. J. RockMech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 25, No. 1, pp. 3-13

ATKINSON, J. H. & PARRAR, D. M. (1985), "Stress Path Tests to Measure Soil Strength Parameters for Shallow Landslides", In Proc. 11th Int. Conf. Soil Mech. & Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 2, pp. 983-986

BAKER, R. (2003), "Inter-relations Between Experimental and Computational Aspects of Slope Stability Analysis", Int. J. Numer. Analyt. Meth. Geomech., Vol. 27, No. 5, pp. 34-42

BAKER, R. (2004), "Nonlinear Mohr Envelopes Based on Triaxial Data", Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 130, No. 5, pp. 498-506

BAKER, R. & GARBER, M. (1977), "Variational Approach to Slope Stability", In Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mech. & Found. Engrg., Jap. Soc. for Soil Mech. & Found. Engrg., Tokyo, Vol. 2, pp. 9-12

BAKER, R. & GARBER, M. (1978), "Theoretical Analysis of the Stability of Slopes", Geotechnique, Vol. 28, No. 4, pp. 395-411

BALMER, G. (1952), "A General Analytical Solution for Mohr's Envelope", In Proc. Am. Soc. for Testing Materials, Vol. 52, pp. 1260-1271

BARTON, N., LIEN, R. & LUNDE, J. (1974), "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support", Rock Mechantes, Ed. Springer, Vienna, Austria, Vol. 6, No. 4, pp. 189-236

BARTON, N. R. & BANDIS, S. C. (1982), "Effects of Block Size on the Shear Behaviour of Jointed Rocks", In Proc. 2nd US Symp. on RockMechanics, A. A. Balkema, Vol. 10, pp. 739-760

BARTON, N. R. & CHOUBEY, V. (1977), "The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice", Rock Mechanics, Ed. Springer, Vienna, Austria, No. 1 & 2, pp. 1-54

BIENIAWSKI, Z. T. (1974), "Estimating the Strength of Rock Materials", J. S Afr. Inst. Min. Metall, Vol. 74, pp. 312-320

BIENIAWSKI, Z. T. (1976), "Rock Mass Classification in Rock Engineering", In Exploration for Rock Engineering, Bieniawski, Z. T. ed., A. A. Balkema, Rotterdam, Vol. 1, pp. 97-106

BISHOP, A. W. (1955), "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes", *Geotechnique*, Vol. 5, No. 1, pp. 7-17

BISHOP, A. W. (1971), "The Influence of Progressive Failure on the Choice of the Method of Stability Analysis", *Geotechnique*, Vol. 21, pp. 168-172

BISHOP, A. W., WEBB, D. L. & LEWIN, P. I. (1965), "Undisturbed Samples of London Clay from the Ashford Common Shaft: Strength - Effective Stress Relationships", *Geotechnique*, Vol. 15, No. 1, pp. 1-31

BODONYI, J. (1970), "Laboratory Tests of Certain Rocks under Axially Symmetrical Loading Conditions", In Proc. 2nd Int. Congress on Rock Mechanics., ISRM, Belgrade, Vol. 1, pp. 389-397

BROMHEAD, E. N. (1992), "The Stability of Slopes", 2nd ed., London: Blackie Academic & Professional, 1995, 411 pp.

BROMHEAD, E. N. (2004), "Landslide Slip Surfaces: Their Origins, Behaviour and Geometry", In Proc. Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, W. A. et al., eds., A. A. Balkema, Vol. 1, pp. 3-22

BROWN, E. T., BRAY, J. W., LADANYI, B. & HOEK, E. (1983), "Ground Response Curves for Rock Tunnels", *Journal Geotechnical Engineering*, Vol. 109, No. 1, pp. 15-39

CASTILLO, E. & LUCENO, A. (1982), "A Critical Analysis of some Variational Methods in Slope Stability Analysis", *Int. J. for Numer. and Analytical Methods in Geomech.*, Vol. 6, pp. 195-209

CAVOUNIDIS, S. (1987), "On the Ratio of Factors of Safety in Slope Stability Analyses", *Geotechnique*, Vol. 37, No. 2, pp. 207-210

CELESTINO, T. B. & DUNCAN, J. M. (1981), "Simplified Search for Noncircular Slip Surface", In Proc. 1st Vol. 3, pp. 391-394 Surface", In Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mech. & Found. Engrg., A. A. Balkema, Rotterdam,

CHANDLER, R. J. (1977), "Back Analysis Techniques for Slope Stabilisation Works: a Case Record", *Geotechnique*, Vol. 27, No. 4, pp. 479-495

CHARLES, J. A. (1982), "An Appraisal of the Influence of a Curved Failure Envelope on Slope Stability", *Geotechnique*, Vol. 32, No. 4, pp. 389-392

CHARLES, J. A. & SOARES, M. M. (1984a), "Stability of Compacted Rockfill Slopes", *Geotechnique*, Vol. 34, No. 1, pp. 61-70

CHARLES, J. A. & SOARES, M. M. (1984b), "The Stability of Slopes in Soils with Nonlinear Failure Envelopes", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 21, No. 2, pp. 397-406

- CHARLES, J. A. & WATTS, K. S. (1980), "The Influence of Confining Pressure on the Shear Strength of Compacted Rockfill", *Geotechnique*, Vol. 30, No. 4, pp. 353-367
- CHEN, W. F. (1970), "Discussion of 'Circular and Logarithmic Spiral Slip Surfaces' by Eric Spencer", *J. Soil Mech. and Found Div., ASCE*, Vol. 96, No. 1, pp. 324-326
- CHEN, W. F. (1975), "Limit Analysis and Soil Plasticity", Ed. Elsevier, Amsterdam, 638 pp.
- CHEN, W. F. & SNITBHAN, N. (1975), "On Slip Surface and Slope Stability Analysis", *Soils and Foundations*, Tokyo, Vol. 15, No. 3, pp. 41-49
- CHEN, Z. (1995), "Recent Developments in Slope Stability Analysis", In *Proc. 8th Int. Congress on Rock Mechamos*, ISRM, Tokyo, Japan, Vol. 3, pp. 1041-1048
- CHEN, Z. & MORGENSTERN, N. R. (1983), "Extensions to the Generalized Method of Slices for Stability Analysis", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 20, No. 1, pp. 104-119
- COLLINS, I. F., GUNN, C. I. M., PENDER, M. J. & WANG, Y. (1988), "Slope Stability Analyses for Materials with a Non-linear Failure Envelope", *Int. J. for Numer. and Analytical Methods in Geomech.*, Vol. 12, No. 5, pp. 533-550
- COSTA FILHO, L. M., FROES, A. S. & ROMANEE, C. (1982), "Analise de Estabilidade de Taludes em Solos com Envoltoria de Res: Conf Numer. Meth. Engng., Buenos Aires Taludes em Solos com Envoltoria de Resistencia Nao-Linear", In *Proc. 2nd Latin American*
- CRABB, G. I. & ATKINSON, J. H. (1991), "Determination of Soil Strength Parameters for the Analysis of Highway Slope Failures", In *Proc. Int. Conference on Slope Stability*, Isle of Wight, Thomas Telford, London, pp. 13-18
- CRJTESCU, N. (1982), "Rock Dilatancy in Uniaxial Tests", *Rock Mechanics*, Vol. 15, pp. 133-144
- CROSTA, G. B. & AGLIARDI, F. (2004), "3D Dispersión of Rockfall Trajectories: Constraints on Engineering Design and Hazard Assessment", In *Proc. Landslides: Evaluation and Stabilization*, Lacerda, W. A. et al., eds., A. A. Balkema, Vol. 1, pp. 509-514
- CRUDEN, D. & VARNES, D. J. (1996), "Landslide Types and Processes", In *Landslides: Investigation and Mitigation*, Tumer, A. K. & Schuster, R. L., eds., Washington – National Academy Press, pp. 36-75
- GOODMAN, R. E. (1989), "Introduction to Rock Mechanics", 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, 478 pp.
- GOODMAN, R. E. & BRAY, J. W. (1976), "Toppling of Rock Slopes", In *Proc. Of Special Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes*, ASCE, Boulder, Vol. 2, pp. 201-234

GRIFFITH, A. A. (1921), "The Phenomena of Rupture and Flow in Solids", Philos. Trans. R. Soc., London A221, pp. 163-198

HAINES, A. (1993), "Rock Slope Classification for the Optimal Design of Monitoring Networks", In Proc. Geotechnical Instrumentation and Monitoring in Open Pit and Underground Mining, Kalgoorlie, A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 201-209

HAINES, A. & TERBRUGGE, P. J. (1991), "Preliminary Estimation of Rock Slope Stability Using Rock Mass Classification Systems", In Proc. 7th Int. Congress on Rock Mechanics, ISRM, Aachen, Germany, Vol. 2, pp. 887-892

HALLIDAY, G. S. & McKELVEY, R. J. (2004), "Video-Analysis of an Extremely Rapid Rockslope Failure, Nevis Bluff, New Zealand", In Proc. Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, W. A. et al., eds., A. A. Balkema, Vol. 2, pp. 1355-1360

HILL, R. (1950), "The Mathematical Theory of Plasticity", 1st ed., Oxford: Clarendon Press, 355 pp.

HOBBS, D. W. (1964), "The Strength and the Stress-Strain Characteristics of Soil in Triaxial Compression", J. Geol., Vol. 72, pp. 214-231

HOEK, E. (1968), "Brittle Fracture of Rock", In Rock Mechanics in Engineering Practice, Stagg, K. G. & Zienkiewicz, O. C, eds., John Wiley & Sons, Inc., London, England, pp. 99-124

HOEK, E. (1983), "Strength of Jointed Rock Masses", Geotechnique, Vol. 33, No. 3, pp. 187-223

HOEK, E. (1991), "When is a Design in Rock Engineering Acceptable?", In Proc. 9th Int. Congress on Rock Mechanics, ISRM, Aachen, Germany, Vol. 3, pp. 1485-1497

HOEK, E. (1994), "Strength of Rock and Rock Masses", ISRM News Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 4-16

HOEK, E. & BRAY, J. W. (1981), "Rock Slope Engineering", Institution of Mining and Metallurgy, London, 3rd Ed., 358 pp.

HOEK, E. & BROWN, E. T. (1980), "Empirical Strength Criterion for Rock Masses", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT9, pp. 1013-1035

HOEK, E. & BROWN, E. T. (1988), "The Hoek-Brown Criterion - a 1988 Update", In Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp., University of Toronto, pp. 31-38

HOEK, E. & BROWN, E. T. (1997), "Practical Estimates of Rock Mass Strength", Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., Vol. 34, No. 8, pp. 1165-1186

HOEK, E., CARRANZA - TORRES, C. & CORKUM, B. (2002), "Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition", In Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting-TAC 2002: Mining and Tunnelling Innovation and Opportunity, Hammah, R. et al., eds., Toronto, Canadá, Vol. I, pp. 267-273

HOEK, E., KAISER, P. K. & BAWDEN, W. F. (1995), "Support of Underground Excavation in Hard Rock", A. A. Balkema, Rotterdam, 215 pp.

HOEK, E., READ, J., KARLUZOVIC, A. & CHEN, Z. Y. (2000), "Rock Slopes in Civil and Mining Engineering", In Proc. GeoEng2000: An Int. Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne, Australia, Vol. 1: Invited Papers, pp. 648-658

HOEK, E., WOOD, D. & SHAH, S. (1992), "A Modified Hoek-Brown Failure Criterion for Jointed Rock Masses", In Proc. Int. Symp. Soc. Rock Mech. Rock Characterization Eurock'92, Thomas Telford, London, pp. 209-214

HOJEM, J. P. P. & COOK, N. G. W. (1968), "The Design and Construction of a Triaxial and Poliaxial Cell for Testing Rock Specimens", S. African Mech. Eng, Vol. 18, No. 2, pp. 57-63

HUDSON, J. A. & HARRISON, J. P. (1997), "Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles", Ed. Elsevier, Amsterdam, 444 pp.

HUNGR, O. (1987), "An Extension of Bishop's Simplified Method of Slope Stability Analysis to Three Dimensions", Geotechnique, Vol. 37, No.1, pp. 113-117

HUNGR, O., SALGADO, F. M. & BYRNE, P. M. (1989), "Evaluation of a ThreeDimensional Method of Slope Stability Analysis", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 26, pp. 679-686

JANBU, N. (1968), "Slope Stability Computations", Soil Mech. and Found Engrg. Rep., The Technical University of Norway, Trondheim, Norway

JANBU, N. (1973), "Soil Stability Computations", In Emhankment - Dam Engineering. Casagrande Volume, Hirshfeld, R. C. & Poulos, S. J., eds., New York: John Wiley & Sons, pp. 47-86

JIANG, J. C, BAKER, R. & YAMAGAMI, T. (2003), "The Effect of Strength Envelope Nonlinearity on Slope Stability Computations", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 40, No. 2, pp. 308-325

JIANG, J. C, YAMAGAMI, T. & BAKER, R. (2000), "Search for 2-D and 3-D Critical Slip Surfaces Based on a Nonlinear Strength Envelope", In Proc. GeoEngIOOO: An Int. Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne, Australia

JOHNSTON, J. W. & CHIU, H. K. (1984), "Strength of Weathered Melbourne Mudstone", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110, No. GT7, pp. 875-898

JOHNSTON, J. W. (1985), "Strength of Intact Geomechanical Materials", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. GT6, pp. 730-749

KARLUZOVIC, A. (2004), "The Importance of Rock Slope Engineering in Open Pit Mining Business Optimization", In Proc. Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, W. A. et al., eds., A. A. Balkema, Vol. 1, pp. 443-456

KIM, J., SALGADO, R. & LEE, J. (2002), "Stability Analysis of Complex Soil Slopes Using Limit Analysis", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 128, No. 7, pp. 546-557

KOVARI, K. & FRITZ, P. (1984), "Recent Developments in Analysis and Monitoring of Rock Slopes", In Proc. 4th Int. Symposium on Landslides, Toronto, Vol. 1, pp. 1-16

LAUBSCHER, D. H. (1977), "Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses Mining Application", Trans. Inst. Min. Metall. (Section A: Min. Industry), 86: pp. A1-A8

LAUBSCHER, D. H. (1990), "A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design", J. South African Inst. Min. Metall., Vol. 90, No. 10, pp. 257-273

LEFEBVRE, G. (1981), "Strength and Slope Strength in Canadian Soft Clay Deposits", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 18, No. 3, pp. 420-442

SERRANO, A. & OLALLA, C. (2004a), "Closed Form Solution of Planar Rock Slope Stability under Hoek and Brown (1980) Failure Criterion and Non-Associative Plasticity", In Proc. Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, W. A. et al., eds., A. A. Balkema, Vol. 1, pp. 533-537

SERRANO, A., OLALLA, C. & MANZANAS, J. (2004b), "Estabilidad de Taludes Rocosos Infinitos con Criterios de Rotura no Lineales y Leyes de Fluencia no Asociadas", Monografía M-80, CEDEX, 132 pp.

SERRANO, A. & OLALLA, C. (2004c), "Shan Resistance of a Pile Embedded in Rock", Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., Vol. 41, pp. 21-35

SERRANO, A., OLALLA, C. & MANZANAS, J. (2005), "Stability of Highly Fractured Infinite Rock Slopes with Nonlinear Failure Criteria and Nonassociated Flow Laws", Canadian Geotechnical Journal, (en imprenta)

SHAH, S. (1992), "A Study of the Behaviour of Jointed Rock Masses", PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canadá

SHEOREY, P. R. (1997), "Empirical Rock Failure Criteria", A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 176 pp.

SHEOREY, P. R., BISWAS, A. K. & CHOUBEY, V. D. (1989), "An Empirical Failure Criterion for Rocks and Jointed Rock Masses", Engineering Geology, Vol. 26, pp. 141-159

SHIELD (1953), "Mixed Boundary Value Problems in Soil Mechanics", Quarterly of Applied Mathematics, Vol. 11, pp. 61-75

Avellaneda, V. ((2013). Lineamientos para el desarrollo de estructuras con técnicas de bioingeniería como alternativa para la mitigación de riesgos. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Bernal, L., & Suescún, E. ((2016). Manual de obras de bioingeniería en zonas de laderas. Bogotá: Universidad Nacional.

Correa, O., García, F., & Escobar, D. ((2013). Representación de estados y trayectorias volumétricas y gravimétricas del suelo. Avances Investigación en Ingeniería, 20-26.

Costa, A. ((2004). Inestabilidades por degradación superficial. Santander: Universidad de Cantabria.

DAS, B. ((2011). Fundamentos de ingeniería geotécnica. México: Cengage Learning.

De Matteis, A., Angelone, S., & Garibay, M. (2003). Geología y geotecnia, estabilidad de taludes. Buenos Aires: Universidad Nacional del Rosario.

Decorplantas. (11 de Marzo de 2015). Concepto de revegetalización. Obtenido de Decorplantas Forestal: <https://www.decorplantasforestal.com/revegetalizacion>

Escobar, C., & Duque, G. ((2016). Geotecnia para el trópico Andino. Manizales: Universidad Nacional.

Fuller, M., & Booth, D. ((2005). Construction for a Sustainable Environment. London: CRC Press.

Giraldo, Á. (2017). Sistemas tecnológicos alternativos para la protección vegetal en taludes. Medellín: Universidad Nacional.

González, F. ((2013). Descriptores geotécnicos: plasticidad, límites de Atterberg y consistencia. Lima: GeoSuport.

INVIAS. ((2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras. Bogotá: Instituto Nacional de Vías.

INVIAS. ((2017). Programa de revegetalización y paisajismo de taludes. Caquetá: Instituto Nacional de Vías.

Padilla, L. ((2014). Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT. Bogotá: Universidad Nacional.

Paredes, A. ((2019). Confiabilidad en estabilidad de taludes. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana de México.

Pérez, J., & Merino, M. (19 de Febrero de 2019). Concepto de ladera. Obtenido de Definiciones web: <https://definicion.de/ladera/>

Rico, A. ((2009). Artículos sobre tópicos de geotecnia y vías terrestres. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Schweickt, R. (12 de Agosto de (2003). Pasto Humidícola. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Tazewell P.B. & Farmer I.W. (1973) - Principles of Engineering Geology. Chapman & Hall, London . (Attewell P.B. & Farmer I.W. ,1973)

Barton M.E. & Thompson R.I. (1986) - A model for predicting groundwater response to meteorological changes. Groundwater in Engineering Geology. Geol. Soc. Eng. Group. Spec. Pub., 3, 299-311. (Barton M.E. & Thompson R.I.,1986)

Casagrande A. (1971). On liquefaction phenomena: report of a lecture. Géotechnique, 21, 197-202. (Casagrande A.,1971)

Gonzales, S. (2005), Estabilidad de taludes con criterios de rotura no lineales y leyes de influencia no asociados. Editorial.....España , p. 35-78. (Gonzales, S.,2005),

González del Valle, L. (2002). Ingeniería Geológica, Editorial Pearson Educación, p. 35-42. (González del Valle, L.,2002).

Herrera, F. (2000). Análisis de Estabilidad de Taludes-Guía de Cálculo de Estabilidad de Taludes. Editorial Madrid, p.. 91-102. (Herrera, F.,2000).

McMahon B.K. (1975). Probability of failure and expected volume of failure in high slopes. Proc. 2 Australia-New Zealand Conf. Geomechanics, Brisbane, 308-317. (Major G., Ross-Brown D. & Kim H.J.,1978)

Romana M. (1985) - New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Int. Symp. on the Role of Rock Mechanics. Zacatecas. 49-53. (Romana M.,1985)

Starosolzky O. & Melder O.M. (1989). Hydrology of disasters. World Meteorological Organisation Technical Conference, Geneva , November 1988. James and James, London , 319 pp. (Starosolzky O. & Melder O.M.,1989).

Almaguer, C. Y. 2005: Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 108 p.

Almaguer, C. Y. y Guardado, L. R. 2005: Caracterización ingeniero geológica del perfil de meteorización de rocas ultra-básicas serpentizado en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 21(3).

Ayala, F. J. 2006: Manual de Ingeniería de taludes IGE. España: Instituto Geológico y Minero de España. 3-19.

Cuni-Calzada, J. 2015: Aprovechamiento integral de las areniscas intemperizadas del yacimiento castellano. Tesis de maestría. Universidad de Pinar del Río Hermano Saiz Montes de Ocas. Cuba. 97 p.

Díaz-Carmona, A. y Estrada-Núñez, N. 2011: Estimación de recursos y reservas del yacimiento polimetálico Castellanos. Pinar del Río, Cuba.

Empresa Minera del Caribe (EMINCAR S.A). 2017: Proyecto de la Concesión de Explotación y Procesamiento Castellanos. Pinar del Río, Cuba.

López-Jimeno, C. 2000: Manual de ingeniería de túneles. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. NC 46-2012: Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. CENAIIS, Cuba

ANEXOS

BASE DE DATOS

DTESIS.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda											
	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	TANT	Numérico	4	0	Estabilidad Talud...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
2	TDES	Numérico	4	0	Estabilidad Talud...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
3	SANT	Numérico	4	0	Seguridad (Antes)	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
4	SDES	Numérico	4	0	Seguridad (Desp...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
5	GANE	Numérico	4	0	Geotecnicos (An...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
6	GDES	Numérico	4	0	Geotecnicos (De...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
7	EANT	Numérico	4	0	Estructurales (A...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
8	EDES	Numérico	4	0	Estructurales (D...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
9	MANT	Numérico	4	0	Monitores (Antes)	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
10	MDES	Numérico	4	0	Monitores (Desp...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
11	TANTG	Numérico	4	0	Estabilidad Talud...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
12	TDESG	Numérico	4	0	Estabilidad Talud...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
13	SANTG	Numérico	4	0	Seguridad (Antes)	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
14	SDESG	Numérico	4	0	Seguridad (Desp...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
15	GANEG	Numérico	4	0	Geotecnicos (An...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
16	GDESG	Numérico	4	0	Geotecnicos (De...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
17	EANTG	Numérico	4	0	Estructurales (A...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
18	EDESG	Numérico	4	0	Estructurales (D...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
19	MANTG	Numérico	4	0	Monitores (Antes)	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
20	MDESG	Numérico	4	0	Monitores (Desp...	{1, Negativo}...	Ninguna	8	Derecha	Nominal	Entrada
21											
22											

1

Vista de datos **Vista de variables**

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:ON

