



# CTSCAFE PARA CIUDADANOS.....

<http://www.ctscafe.pe>

ISSN 2521-8093



**REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA**



<http://www.ctscafe.pe>

Volumen VIII- N° 24 Noviembre 2024

ISSN 2521-8093



# 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



Mg. Nelson Ramos Parra  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo Electrónico: ramosparranel@gmail.com



Mg. Felicita Barbaran Espinoza  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo Electrónico: felicita.barbaran@unmsm.edu.pe



Mg. José Freddy Atuncar Yrribari  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo Electrónico: jatuncary@unmsm.edu.pe

22

Recibido: 01 Septiembre 2024

Aceptado: 02 Noviembre 2024

**Resumen:** La presente investigación planteó como objetivo general, elaborar la propuesta geotécnica en 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 No experimental. La muestra del estudio estuvo conformada por 331 puntos de monitoreo, a quienes se le aplicó el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS Versión 25). Los resultados productos del análisis realizado, indican que el factor de seguridad es 1,483 confirmando 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 claves:** Propuesta geotécnica/ Factor de seguridad/ Estabilidad del talud

**Abstract:** The present investigation investigates the geotechnical proposal for the stability of the slope in the north-west section of the Raúl Rojas open pit, of the Paragsha Mining Unit, Cerro de Pasco, whose stated objective indicates: How does the geotechnical proposal for the stability of the slope influence the north-west section of the open pit Raúl Rojas, of the Paragsha Mining Unit, Cerro de Pasco?, the main problem Explain how the geotechnical proposal influences the stability of the slope in the north-west section of the open pit Raúl Rojas, of the

Unit Paragsha Mining, Cerro de Pasco, the main hypothesis raised The geotechnical proposal positively influences the stability of the slope in the north-west section of the Raúl Rojas open pit, of the Paragsha Mining Unit, Cerro de Pasco. The methodology presents a quantitative paradigm, specifically pre-experimental experimental design Type of study: Applied. Study setting: Paragsha mining unit, Cerro de Pasco Subject characteristics: Sample collections, Heterogeneity 50.00%, Margin of error 5.00%, Confidence level 95.00%, Methodological trajectory; Deductive Hypothetical. We can reach the conclusion that Slope Stability (Before) and Slope Stability (After) present mean values of 23.38 and 36.02, which shows that the Geotechnical Proposal has positively influenced. The bilateral Sigma value is 0.00, which is less than 0.05, therefore the study hypothesis is validated and the null hypothesis is rejected. Therefore we can affirm "The geotechnical proposal positively influences the stability of the slope in the north-west section of the Raúl Rojas open pit, of the Paragsha Mining Unit, Cerro de Pasco"

**Keywords:** Geotechnical proposal/ Safety factor/ Slope stability

**Résumé :** L'objectif général de cette enquête était de préparer la proposition géotechnique dans la section nord-ouest de la mine à ciel ouvert Raúl Rojas, de l'unité minière Paragsha, Cerro de Pasco. La recherche est basée sur une approche quantitative, le paradigme utilisé est positiviste, la méthodologie est scientifique, le type de recherche est appliqué et la conception de la recherche est non expérimentale. L'échantillon de l'étude était composé de 331 points de surveillance, auxquels le progiciel statistique pour les sciences sociales (SPSS version 25) a été appliqué. Les résultats de l'analyse effectuée indiquent que le facteur de sécurité est de 1,483, confirmant que la proposition géotechnique influence positivement la stabilité de la pente dans la section nord-ouest de la mine à ciel ouvert Raúl Rojas, de l'unité minière Paragsha, Cerro de Pasco.

**Mots-clés:** Proposition géotechnique/ Coefficient de sécurité/ Stabilité des pentes

## 1. Introducción

### 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 claves 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. 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.

## 1.2. 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.

### **1.3. Investigaciones geológicas y geotécnicas**

#### **1.3.1. Ubicación y accesibilidad**

26

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.

#### **1.3.2. 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.

### 1.3.3. 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.

### 1.3.4. 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 fluvio-glacial, 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.

### 1.3.5. 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.

28

### **1.3.6. 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.

### **1.3.7. 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.

### **1.3.8. Rocas intrusivas**

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

La primera unidad aflora en la porción W del cuello volcánico y son rocas ígneas porfiríticas 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 porfirítica, 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.

### **1.3.9. 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 oblicuas 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 oblicuas 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.

30

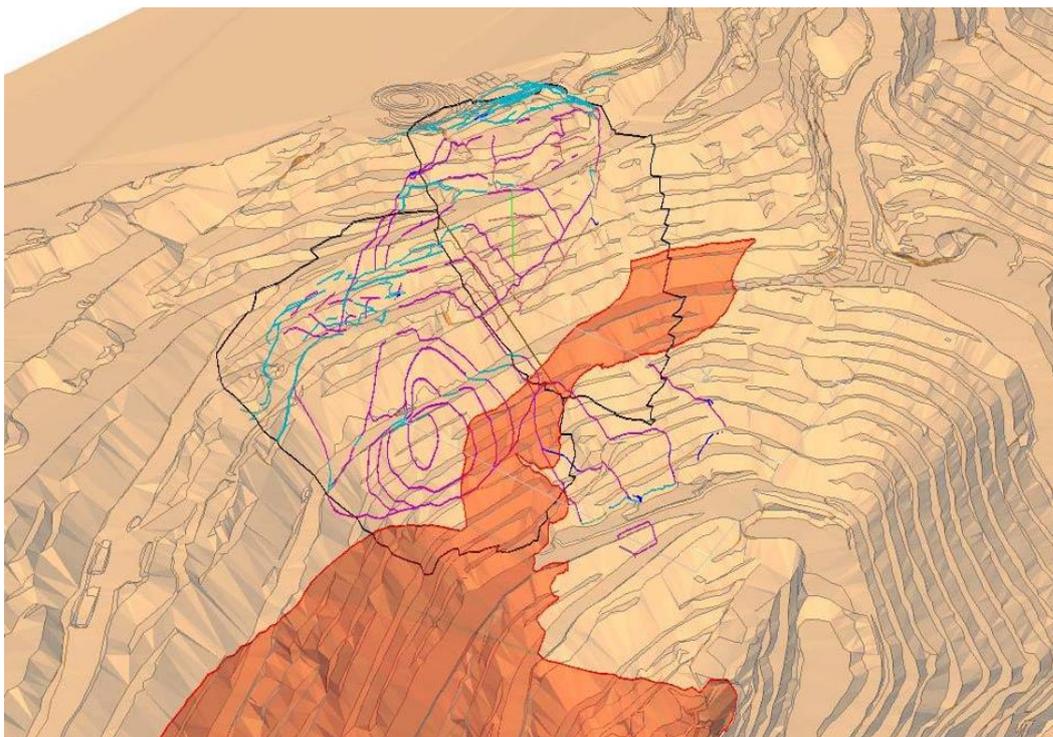
La inestabilidad en la pared Oeste del tajo abierto Raúl Rojas en parte estaba influenciada por la actividad continua y vibración de la Planta Concentradora se remonta cuando Centromin Perú aún era propietaria de la Unidad de Cerro de Pasco. Se produjeron agrietamientos y estos progresivamente fueron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

**Figura N°1:** Vista de la pared NO, con las estructuras. Principales (contactos litológicos, fallas y agrietamientos)



Fuente: Informe de Estabilidad Botadero Inpit

**Figura N°2:** 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).

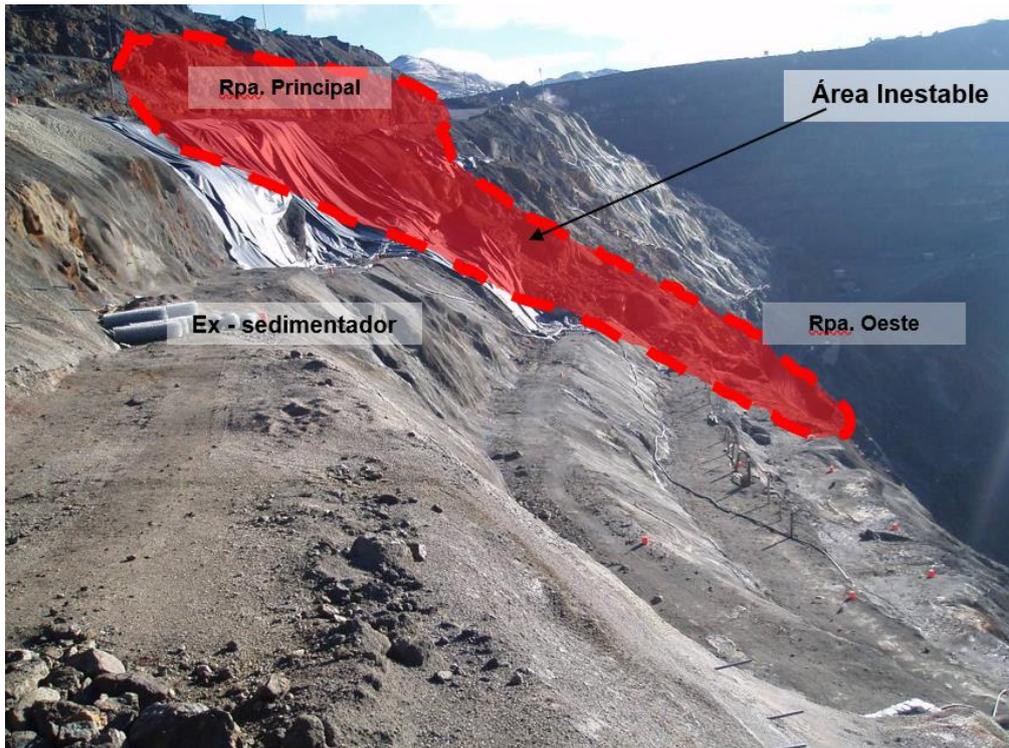
Esta zona de riesgo se encuentra por encima de la rampa Oeste y debajo de la Rampa principal, en los años de 2006 y 2007 se trabajó hicieron trabajos de estabilización en el sector del Ex - sedimentador, se realizaron banquetes, colocación de mallas y Shotcrete. Dejando pendiente el sector del PM-71Noroeste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

**Figura N°3:** Vista mirando al Noroeste, señalizando la zona inestable.



**Fuente:** Informe de Estabilidad Botadero Inpit

**Figura N°4:** Vista mirando al Norte, señalizando la zona inestable



**Fuente:** Informe de Estabilidad Botadero Inpit

**Figura N°5:** 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

## **2. Material y métodos**

### **2.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **2.1.1. 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.

#### **2.1.2. Diseño de la investigación:**

No experimental y de enfoque cuantitativo.

Procesamiento y análisis de los datos recopilados para evaluar la estabilidad actual del talud.

### **2.2. Unidad de análisis**

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

**34**

### **2.3. 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.

### **2.4. Tamaño de muestra**

Se considera 331 puntos del tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la unidad minera Paragsha, Cerro de Pasco.

**Figura N°6:** Diagrama de la fórmula para cálculo de una muestra

**Cómo calcular el tamaño de muestra para una población finita**

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

- |   |  |
|---|--|
| <b>n</b> = Tamaño de muestra buscado                                    | <b>e</b> = Error de estimación máximo aceptado                         |
| <b>N</b> = Tamaño de la Población o Universo                            | <b>p</b> = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)      |
| <b>z</b> = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC) | <b>q</b> = (1 - p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado |

Fuente: Elaboración propia

**Figura N°7:** Diagrama del cálculo de una muestra online

**Calculadora de muestra**

Nivel de confianza:  95%  99%

Margen de Error:

Población:

Tamaño de Muestra:

Fuente: Elaboración propia

**2.5. Selección de muestra**

El reconocimiento del marco geológico regional:

- a) 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.

## **2.6. Técnicas de recolección de datos**

### **2.6.1. Técnicas de recolección de datos**

#### **Observación directa**

Toda inspección visual es considerada importante, porque permite en 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.

# **36**

## **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 N°8:** Caseta de monitoreo robotizado – GeoMos



Fuente: Informe de monitoreo geomecánica – Tajo Abierto (2009)

**Figura N°9:** Registro de monitoreo robotizado - GeoMos

DATE	HANGING WALL			Diff mE		Diff mN		Vertical Movement (mm)		Vert Velocity (mm/day)	Horizontal Movement (mm)		Hor Velocity (mm/day)	Distance (mm)		Velocity (mm/day)		Bearing		Dip		
	mE	mN	mS	Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative		Incremental	Cumulative		Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	Incremental	Cumulative	
08-06-2009 12:00																						
09-06-2009 12:00																						
10-06-2009 12:00	8896.500	8844.504	4237.808	0.011	18.95	-0.001	-0.778	6.0	-995.7	1.7	11.0	173.5	-3.2	12.8	2253.1	1.5	-2.1	3.53	95	113	29	-29
12-06-2009 12:00	8896.507	8844.501	4237.800	0.007	18.42	-0.000	-0.779	-8.0	-1059.7	1.7	7.6	2010.5	-5.2	11.0	2263.5	7.5	-11.0	3.54	115	115	-46	-29
13-06-2009 12:00	8896.530	8844.482	4237.869	0.006	18.48	-0.009	-0.788	-11.0	-1070.7	1.7	10.8	2016.3	-3.2	11.4	2276.7	12.1	-15.4	3.6	146	113	-45	-28
14-06-2009 12:00	8896.589	8844.607	4237.877	-0.005	18.43	0.015	-0.773	8.0	-1062.7	1.7	16.8	1986.8	-3.2	10.7	2263.7	15.0	-17.7	3.63	142	113	27	-29
16-06-2009 12:00	8896.538	8844.493	4237.865	0.011	18.54	-0.014	-0.789	-12.0	-1079.7	1.7	17.8	2094.3	-3.2	21.5	2283.1	19.4	-21.5	3.66	142	113	-54	-29
16-06-2009 12:00	8896.600	8844.493	4237.878	0.001	18.55	-0.000	-0.790	13.0	-1071.7	1.7	3.2	2096.4	-3.2	33.3	2278.9	-4.2	-13.4	3.65	132	113	76	-29
17-06-2009 12:00																						
18-06-2009 12:00	8896.596	8844.502	4237.877	-0.004	18.51	0.012	-0.778	-1.0	-1063.7	1.7	12.8	2088.1	-3.2	12.7	2271.9	5.9	-5.3	3.62	142	113	-5	-28
20-06-2009 12:00																						
22-06-2009 12:00																						
23-06-2009 12:00																						
24-06-2009 12:00	8896.606	8844.498	4237.870	0.000	18.61	-0.004	-0.782	-7.0	-1069.7	1.7	10.8	2018.8	-3.2	12.8	2284.7	2.8	-2.1	3.61	112	113	-33	-28
25-06-2009 12:00																						
26-06-2009 12:00																						
27-06-2009 12:00																						
28-06-2009 12:00																						
29-06-2009 12:00																						
30-06-2009 12:00	8896.600	8844.493	4237.857	0.024	18.65	-0.015	-0.790	-13.0	-1082.7	1.7	28.3	2046.8	-3.2	31.1	2315.5	10.8	-4.4	3.62	122	113	-25	-29
01-07-2009 12:00																						
02-07-2009 12:00																						
03-07-2009 12:00	8896.641	8844.474	4237.852	0.011	18.96	-0.009	-0.800	-5.0	-1087.7	1.7	4.2	2016.4	-3.2	15.1	2329.9	4.4	-7.5	3.63	129	113	-19	-28
04-07-2009 12:00	8896.636	8844.479	4237.865	-0.005	18.91	0.005	-0.801	13.0	-1074.7	1.7	7.1	2075.9	-3.2	4.8	2318.0	11.9	-4.8	3.61	115	113	61	-28
05-07-2009 12:00	8896.611	8844.479	4237.857	0.005	18.96	0.000	-0.801	-8.0	-1082.7	1.7	5.0	2075.2	-3.2	9.4	2329.8	7.8	-9.4	3.61	90	113	-58	-29
06-07-2009 12:00																						
07-07-2009 12:00																						
08-07-2009 12:00	8896.644	8844.475	4237.876	0.003	18.99	0.000	-0.801	-1.0	-1083.7	1.7	3.0	2061.2	-3.2	3.2	2328.8	3.9	-0.8	3.59	90	113	-38	-28
09-07-2009 12:00	8896.649	8844.477	4237.858	0.005	19.04	-0.002	-0.800	2.0	-991.7	1.7	5.4	2016.8	-3.2	6.7	2332.6	3.8	-5.7	3.58	112	113	20	-28
10-07-2009 12:00																						
11-07-2009 12:00																						
12-07-2009 12:00																						
13-07-2009 12:00																						
14-07-2009 12:00																						
15-07-2009 12:00																						
16-07-2009 12:00																						
17-07-2009 12:00																						
18-07-2009 12:00																						
19-07-2009 12:00																						
20-07-2009 12:00																						
21-07-2009 12:00																						

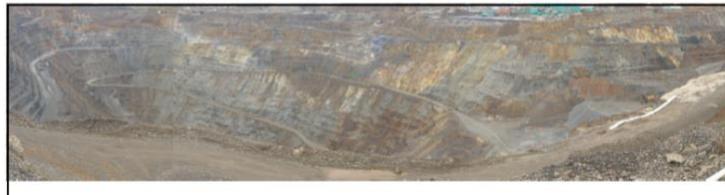
Fuente: Informe de monitoreo geomecánica – Tajo abierto (2009) – Base de datos Excel

**Figura N°10:** Análisis interno colapso - Nelson Ramos - 25.11.2009

**GroundProbe™ Slope Stability Analysis**

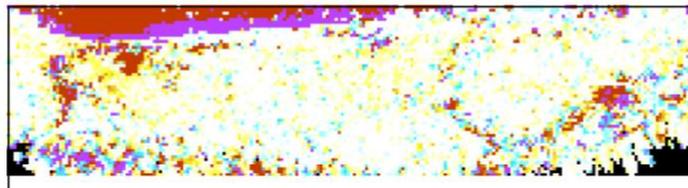
Wall: SSR083\_091121\_Cerro de

Analysis Name:	Nel.Ramos-estimacion	Reference Time:	06:02 25/11/2009
Analysis Date:	diciembre 09, 2009	Display Time:	20:54 25/11/2009
Analysis User:	gp1		
Velocity calculation period:	60		
Reference Start Time:	00:01 26/11/2009		
Reference End Time:	12:00 28/11/2009		
CUSUM Constant:	10,0		

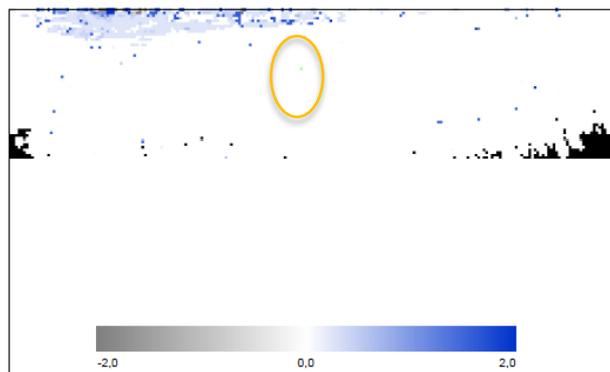


Wall: SSR083\_091121\_Cerro de

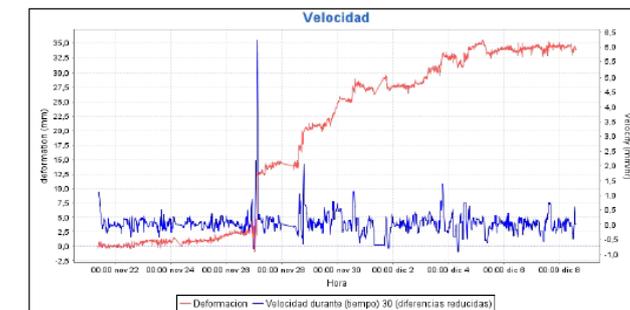
**Deformación**



**Amenaza**

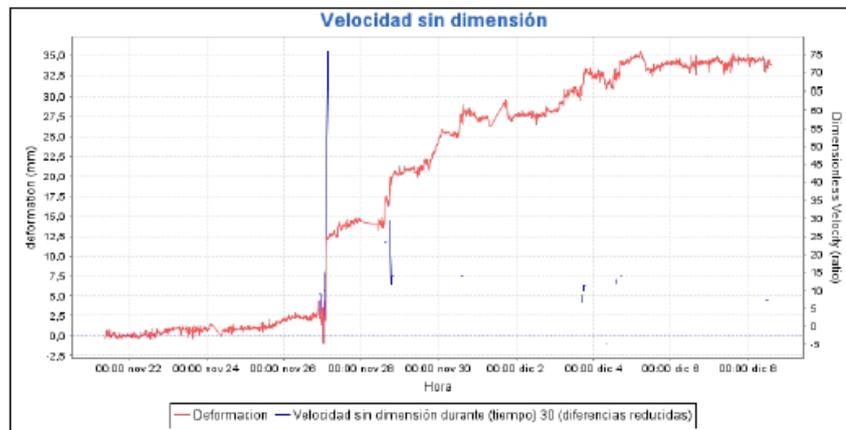
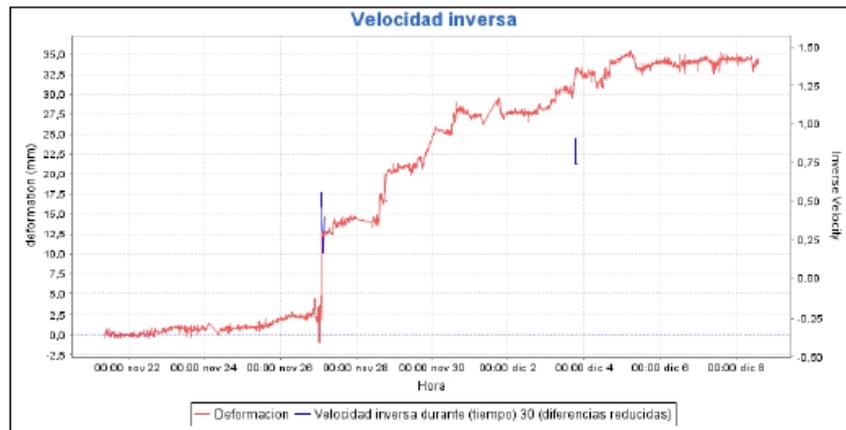


**Velocidad**



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

**Figura N°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 crítica 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 N°12:** Material de colapso en Rampa principal del Nv. 800



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

40

**Figura N°13:** Material de colapso en Rampa principal del Nv. 800



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

## 2.6.2 Instrumentos

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

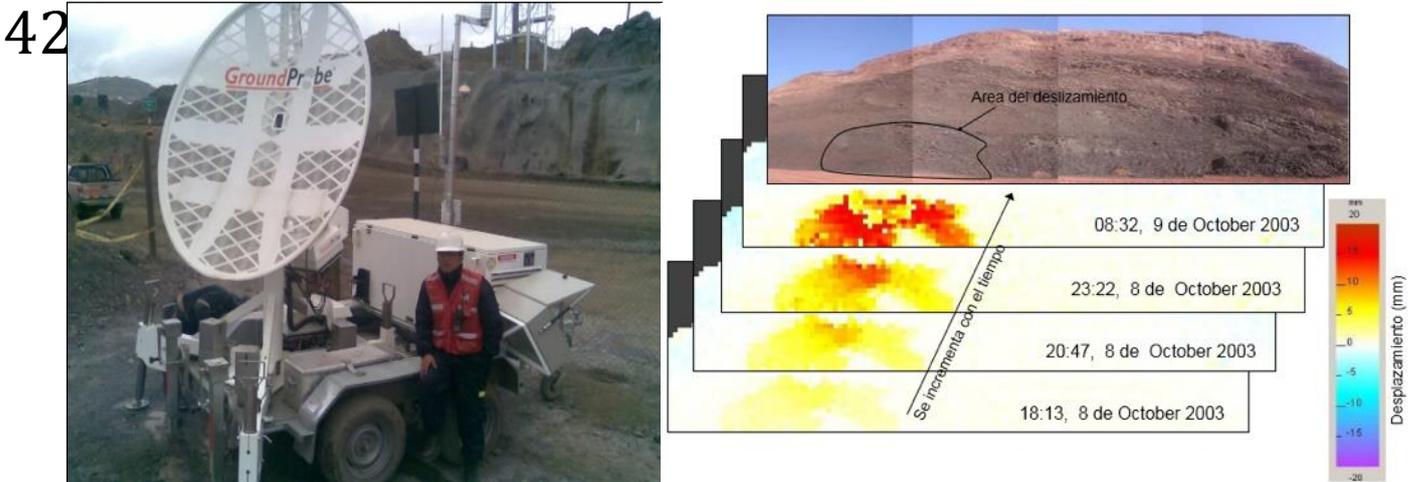
objetivo. La interferometría, una técnica de procesamiento de señal, evalúa la información de fase inherente a la señal de radar reflejada para lograr el nivel deseado de precisión.

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 N°14:** Equipo de escáner para monitoreo geotécnico – RADAR



Fuente: Informe de monitoreo geomecánica

**Figura N°15:** Reporte de escaneo del radar

Fuente: Informe de monitoreo geomecánica

## Fichas de datos

43

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 N°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.

44

**Figura N°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 N°18:** Prismas de desplazamiento continuo – Ex/Sedimentador

Ex - Sedimentadores		Despl. acumulado Ago. a Ene. [mm]	Datos Estadísticos de desplazamientos acumulados de Agosto 2009 a Enero 2010 - en [mm]
Prisma			
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		

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 N°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		
PM 25	175,47		
PM 26	200,58		
PM 27	232,80		
PM 28	275,67		
PM 29	339,14		

Promedio	233,37
Superior	339,14
Inferior	175,47

**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 N°20:** Prismas de desplazamiento continuo – Rampa principal

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

46

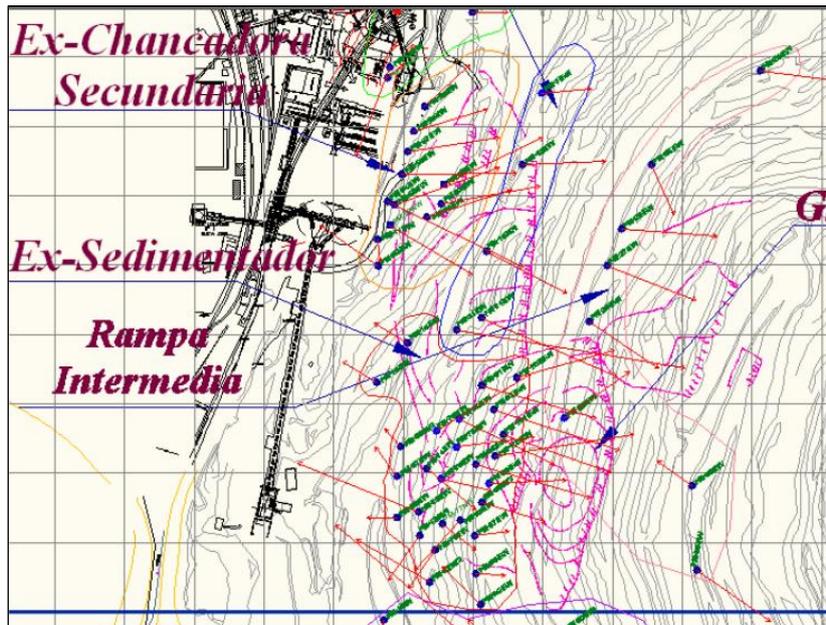
**Fuente:** Análisis crítico actualizado de desplazamientos de pared oeste del tajo abierto Raúl Rojas – Sociedad Geoconsultora LTDA - La Concepción 81, Of. 910, Providencia, Santiago, CHILE.

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 azimut y dip de estos. Esto se aprecia en las Figuras 20 y 21.

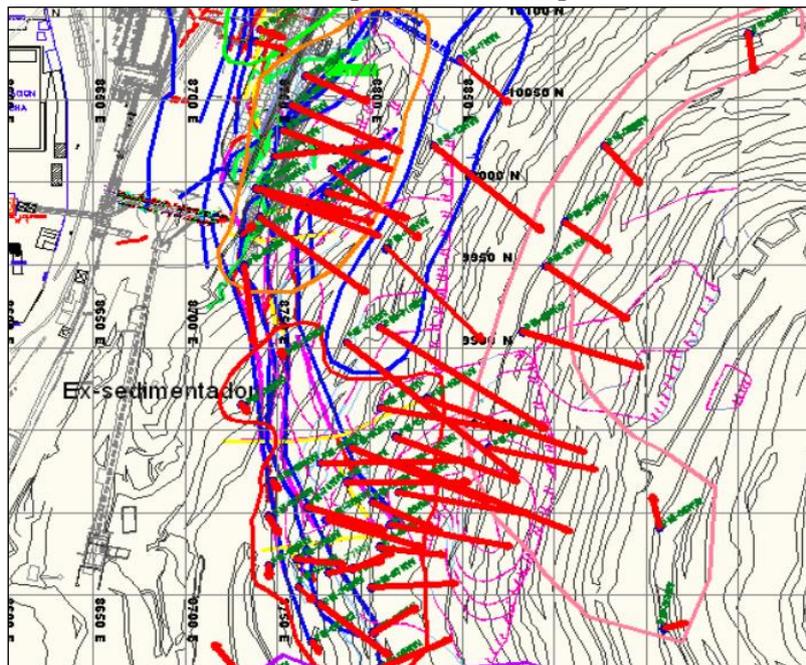
**Figura N°21:** Vectores de desplazamiento antes de las correcciones



**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 N°22:** Vectores de desplazamiento después de las correcciones.

47



**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.

## 2.7. Análisis de datos de campo

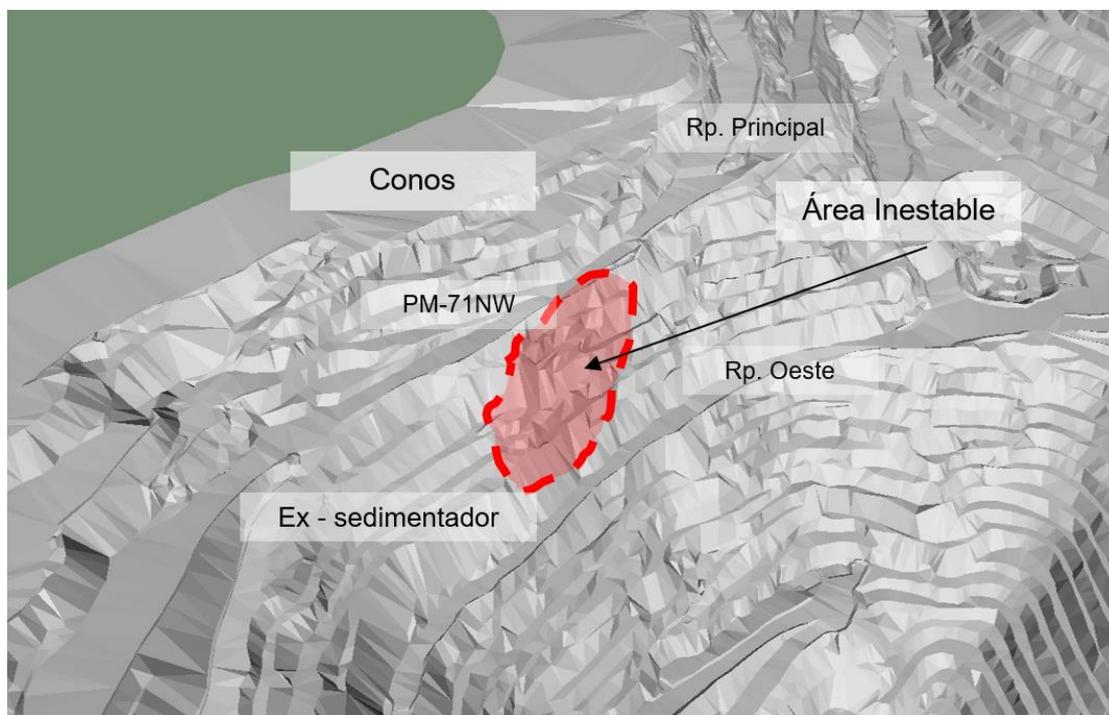
La muestra del estudio estuvo conformada por 331 puntos de monitoreo, para su tratamiento estadístico se utilizó el software SPSS versión 25.

### 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.

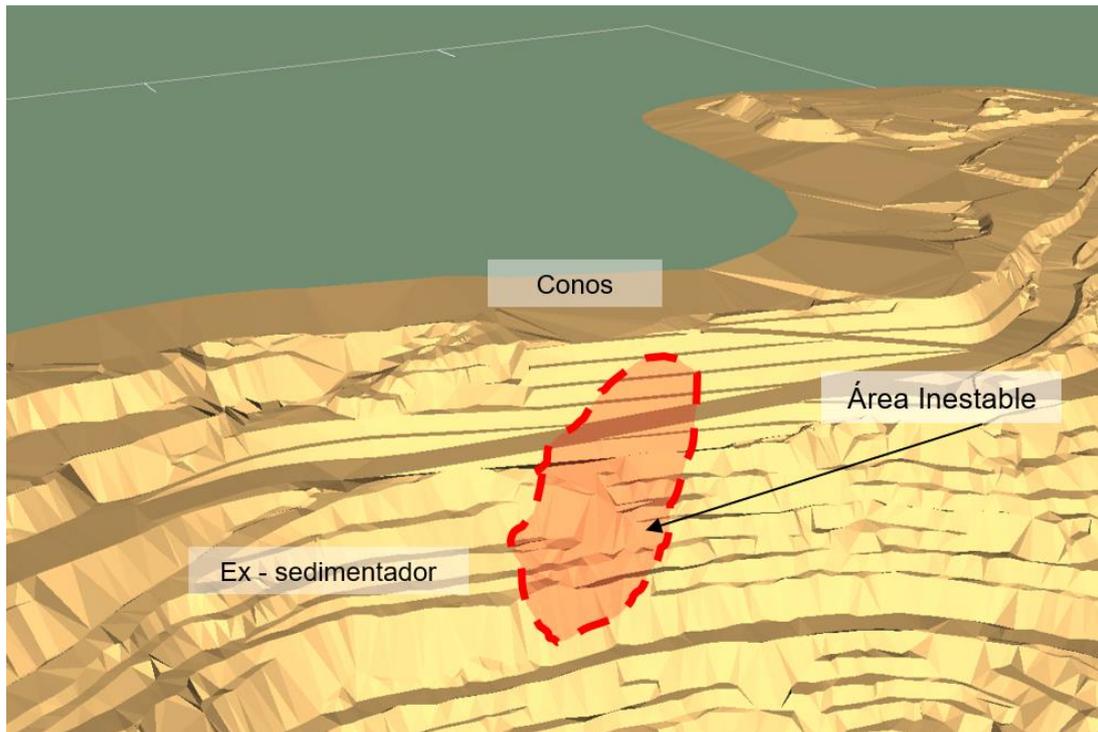
Haciendo el botadero In-Pit se mantendría más estable orientados a la rampa principal incluso se podría obtener un posible mayor ancho hasta 19 m, y de la rampa principal, en el tramo PM-71NO se continuaría con los trabajos de estabilización y controlaríamos el riesgo existente tratando de impermeabilizar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

**Figura N°23:** Vista en DM muestra la topografía actual y zona de riesgo



**Fuente:** Área de inestabilidad pared Noroeste del tajo abierto Raúl Rojas

**Figura N°24:** 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.

**Tabla N°1:** Propiedades de mecánica de rocas – Litología de la zona de análisis

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).

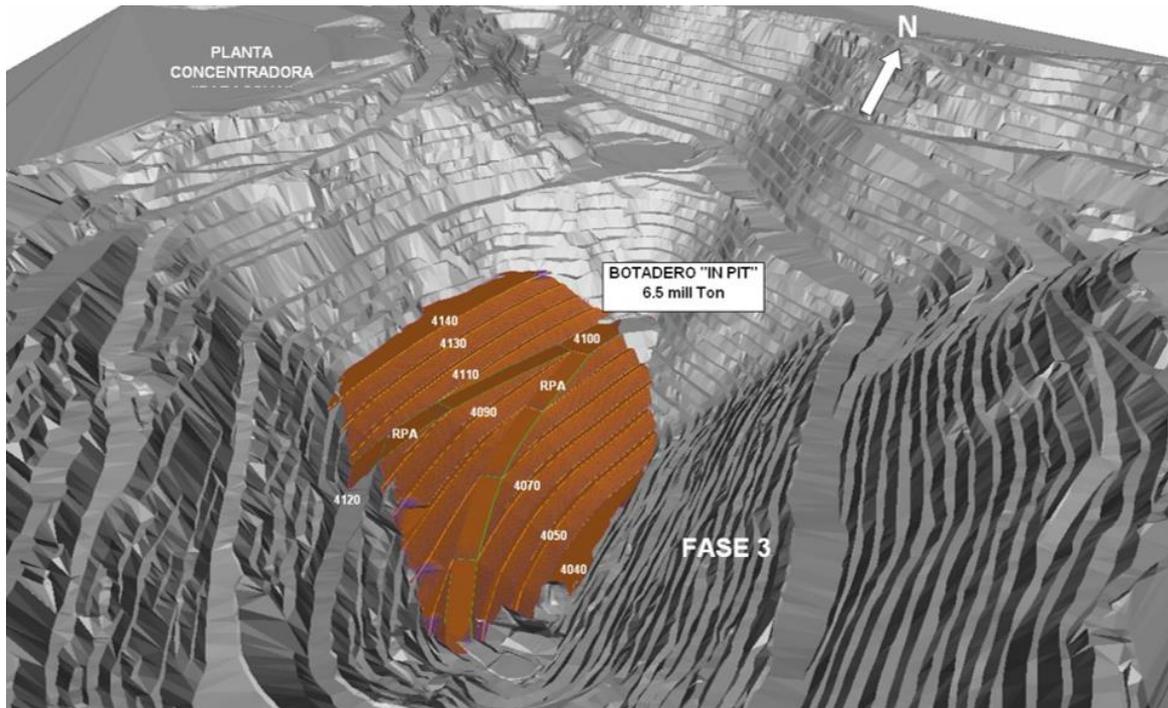
**Figura N°25:** Vista del fondo del tajo mostrando los diversos bancos.



**Fuente:** Construcción de botadero en el fondo del tajo Abierto

50

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 el interior de la mina, así mismo se debe considerar un puente en relación al tajo abierto y mina subterránea.

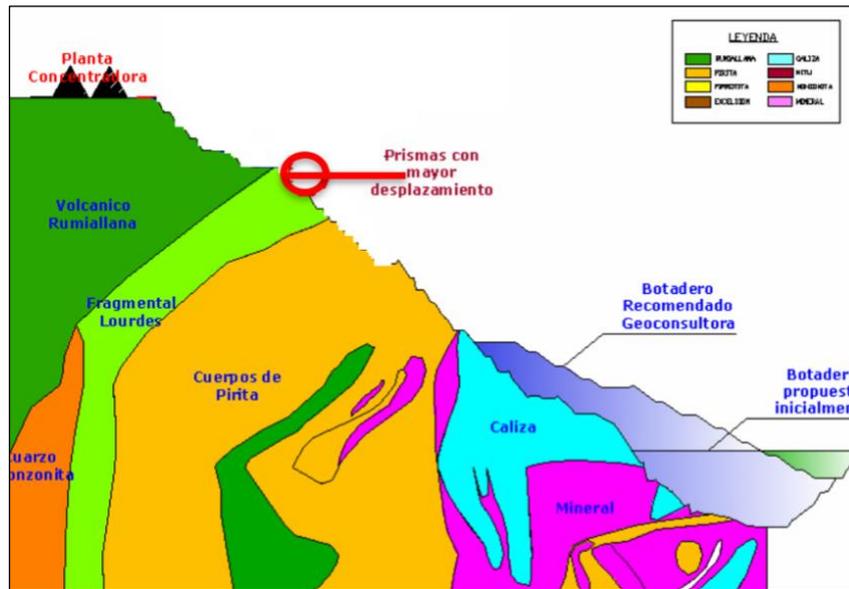
**Figura N°26:** Vista del botadero In-Pit fondo del tajo abierto según diseño final

**Fuente:** Construcción de botadero en el fondo del tajo abierto

51

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 N°27:** Sección In-Pit mostrando el prisma de mayor desplazamiento.



Fuente: Informe de estabilidad de Botadero In-Pit

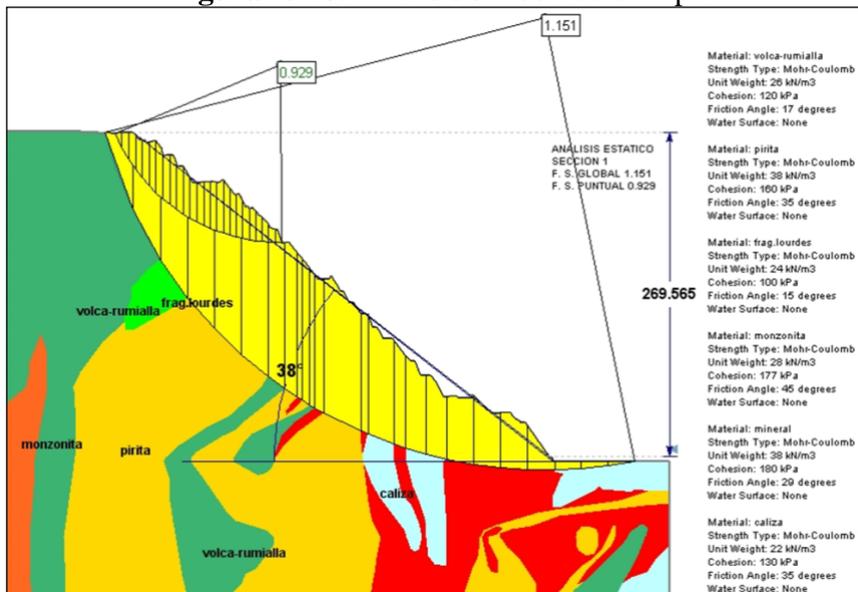
**Análisis sin botadero IN-PIT y con botadero IN-PIT**

**Análisis geotécnico sin botadero**

52

- 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 N°28:** Análisis sin botadero In-pit

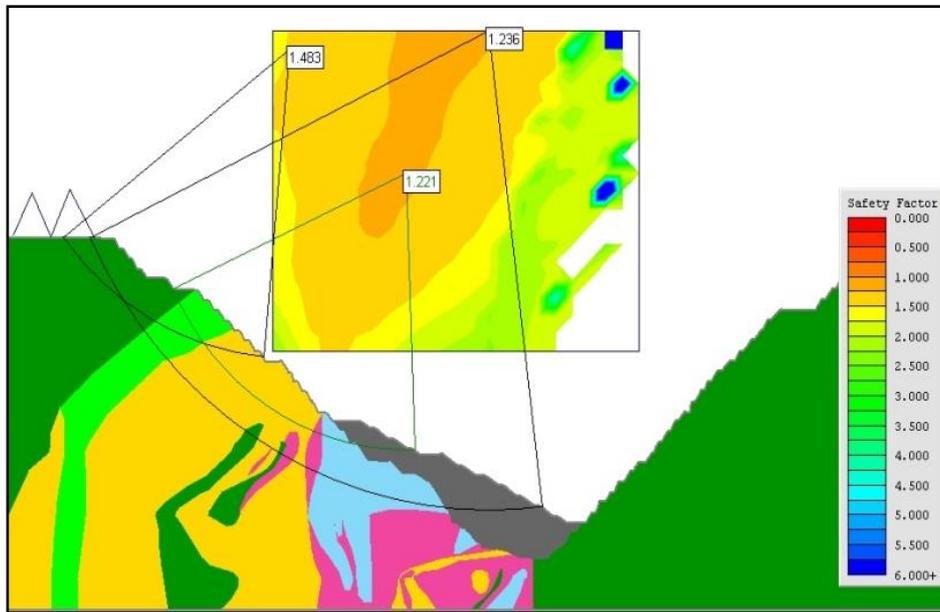


Fuente: Informe de estabilidad de botadero InPit

### 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 N°29:** Análisis con botadero In-Pit



**Fuente:** Informe de estabilidad de botadero InPit

### 3. Discusión y resultados

#### Resultados

#### Fiabilidad

#### Escala: All variables

**TablaN°2:** Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	331	100,0
	Excluido <sup>a</sup>	0	,0
	Total	331	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

**Fuente:** Elaboración propia

Podemos observar en la Tabla 2 que hay 331 casos válidos de la muestra de 331, no hay casos excluidos para el proceso de la presente investigación.

**Tabla N°3:** Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,796	331

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 podemos interpretar que hay una fiabilidad de 0.796 o 79,6% de los datos a trabajar de la investigación planteada.

### Pruebas Npar

**Tabla N°4:** Análisis de la normalidad para datos no paramétricos.

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Estabilidad Talud (Antes)	Estabilidad Talud (Antes)	Seguridad (Antes)	Seguridad (Despues)	Geotecnicos (Ante)	Geotecnicos (Despues)	Estructurales (Antes)	Estructurales (Despues)	Monitores (Antes)	Monitores (Despues)
N		331	331	331	331	331	331	331	331	331	331
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	1,44	1,58	1,25	1,39	1,22	1,39	1,49	1,58	1,27	1,41
	Desv. Desviación	,497	,495	,436	,488	,415	,488	,501	,495	,447	,493
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,371	,381	,466	,399	,482	,399	,348	,381	,456	,385
	Positivo	,371	,301	,466	,399	,482	,399	,348	,301	,456	,385
	Negativo	-,311	-,381	-,280	-,282	-,298	-,282	-,334	-,381	-,269	-,297
Estadístico de prueba		,371	,381	,466	,399	,482	,399	,348	,381	,456	,385
Sig. asintótica(bilateral)		,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 4 podemos comprobar que no presenta normalidad sus datos, basados en que los valores de sigma son menores a 0,06, por lo tanto, son datos no paramétricos.

### Frecuencias

**Tabla N°5:** Análisis de los datos para la estadística no paramétrica

**Estadísticos**

		Estabilidad Talud (Antes)	Estabilidad Talud (Antes)	Seguridad (Antes)	Seguridad (Despues)	Geotecnicos (Ante)	Geotecnicos (Despues)	Estructurales (Antes)	Estructurales (Despues)	Monitores (Antes)	Monitores (Despues)
N	Válido	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Analizando la Tabla 5, todos los datos a procesar serán válidos y no hay datos perdidos para el presente proceso.

**Tabla de frecuencia**

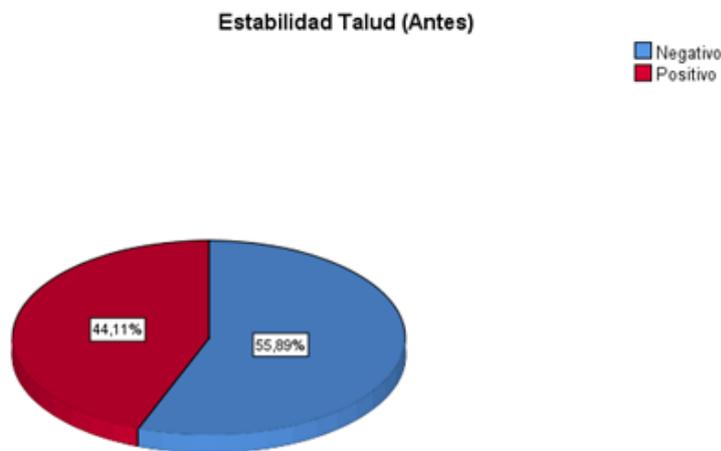
**Tabla N°6:** Tabla de frecuencias - Estabilidad talud (Antes)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	185	55,9	55,9	55,9
	Positivo	146	44,1	44,1	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 6 y el Diagrama 1, podemos indicar que hay 185 casos Negativos (55,9%) y para Positivo hay 146 casos (44,1%) de un total de 331 casos (100%).

**Diagrama N°1:** Gráfica pie - Estabilidad talud (Antes)



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°7:** Tabla de frecuencias - Estabilidad talud (Después)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	140	42,3	42,3	42,3
	Positivo	191	57,7	57,7	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

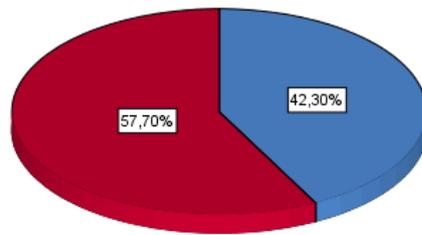
Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 7 y en el Diagrama N°2: podemos indicar que hay 140 casos Negativos (42,3%) y para Positivo hay 191 casos (57,7%) de un total de 331 casos (100%).

**Diagrama N°2:** Grafica pie - Estabilidad talud (Después)

Estabilidad Talud (Despues)





56

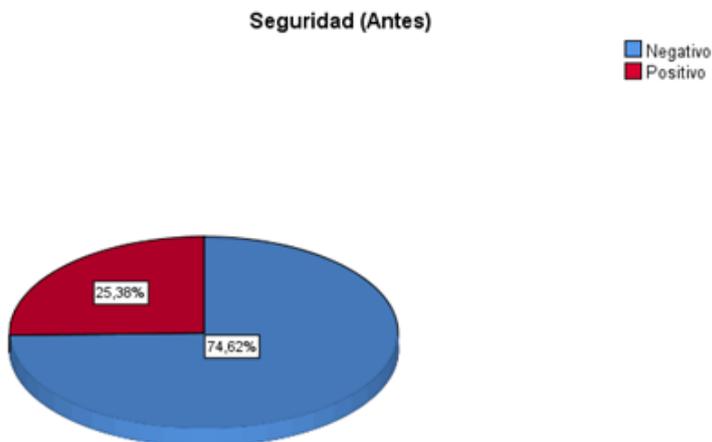
**Tabla N°8:** Tabla de frecuencias – Características geotécnicas (Antes)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	247	74,6	74,6	74,6
	Positivo	84	25,4	25,4	100,0
Total		331	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 8 y el Diagrama N°3, podemos indicar que hay 247 casos Negativos (74,6%) y para Positivo hay 84 casos (25,4%) de un total de 331 casos (100%)

**Diagrama N°3:** Diagrama pie - Tabla de frecuencias - Características geotécnicas (Antes)



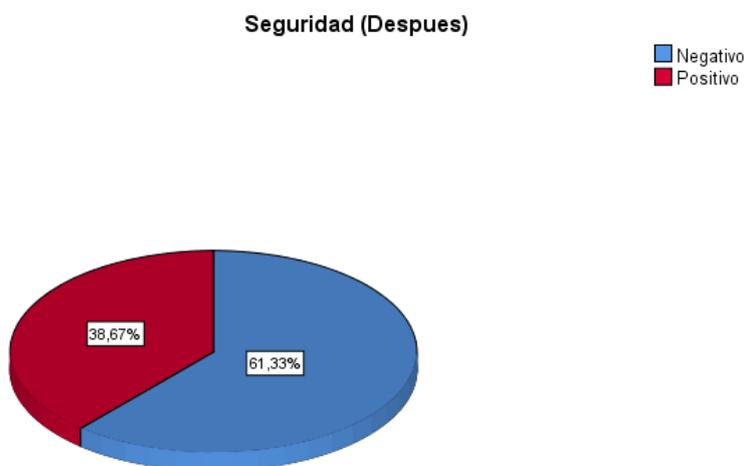
**Tabla N°9:** Tabla de frecuencias - Características geotécnicas (Después)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	203	61,3	61,3	61,3
	Positivo	128	38,7	38,7	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 9 y el Diagrama N°3, podemos indicar que hay 203 casos Negativos (61,3%) y para Positivo hay 128 casos (38,7%) de un total de 331 casos (100%)

**Diagrama N°4:** Diagrama de pie - Características geotécnicas (Después)



**Tabla N°10:** Tabla de frecuencias – Geometría del talud (Antes)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	258	77,9	77,9	77,9
	Positivo	73	22,1	22,1	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

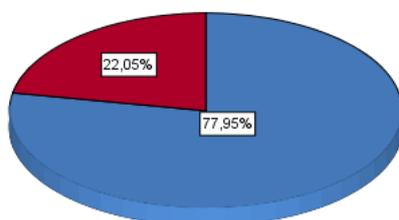
Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 10 y el Diagrama N°4, podemos indicar que hay 258 casos Negativos (77,9%) y para Positivo hay 73 casos (22,1%) de un total de 331 casos (100%).

**Diagrama N°5:** Diagrama de pie - Geometría del talud (Antes)

Geotecnicos (Ante)

■ Negativo  
 ■ Positivo



**Tabla N°11:** Tabla de frecuencias - Geometría del talud (Después)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	203	61,3	61,3	61,3
	Positivo	128	38,7	38,7	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

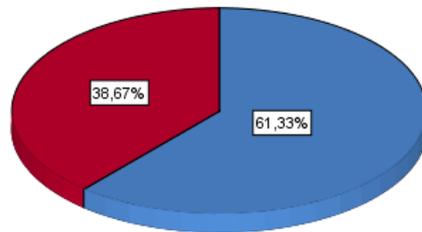
Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 11 y el Diagrama N°5, podemos indicar que hay 203 casos Negativos (61,3%) y para Positivo hay 128 casos (38,7%) de un total de 331 casos (100%).

**Diagrama N°6:** Diagrama pie - Geometría del talud (Después)

Geotecnicos (Despues)

■ Negativo  
■ Positivo



**Tabla N°12:** Tabla de frecuencias – Diseño del talud (Antes)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	170	51,4	51,4	51,4
	Positivo	161	48,6	48,6	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

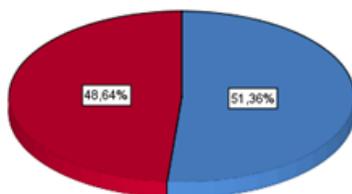
Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 12 y el Diagrama N°6, podemos indicar que hay 170 casos Negativos (51,4%) y para Positivo hay 161 casos (48,6%) de un total de 331 casos (100%).

**Diagrama N°7:** Grafica pie - Diseño del talud (Antes)

Estructurales (Antes)

■ Negativo  
■ Positivo



**Tabla N°13:** Tabla de frecuencias. Diseño del talud (Después)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	140	42,3	42,3	42,3
	Positivo	191	57,7	57,7	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

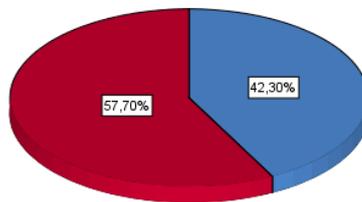
Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 13 y el Diagrama N°6, podemos indicar que hay 140 casos Negativos (42,3%) y para Positivo hay 191 casos (67,7%) de un total de 331 casos (100%)

**Diagrama N°8:** Diagrama pie - Diseño del talud (Después)

Estructurales (Despues)

■ Negativo  
■ Positivo



60

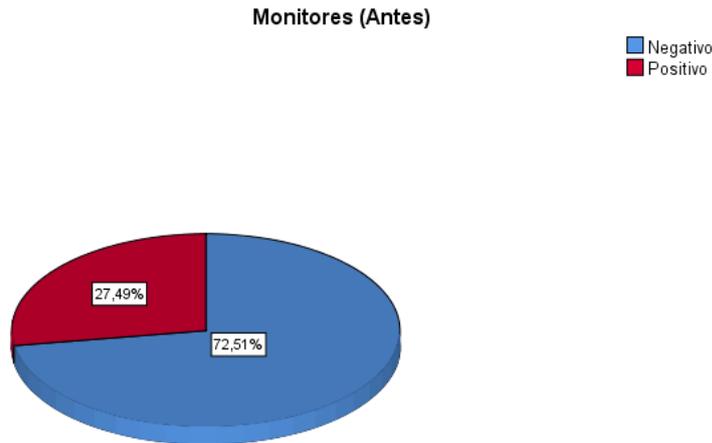
**Tabla N°14:** Tabla de frecuencias – Factor de seguridad (Antes)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	240	72,5	72,5	72,5
	Positivo	91	27,5	27,5	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 14 y el Diagrama N°7, podemos indicar que hay 240 casos Negativos (72,5%) y para Positivo hay 91 casos (27,5%) de un total de 331 casos (100%)

**Diagrama N°9:** Grafico pie - Factor de seguridad (Antes)



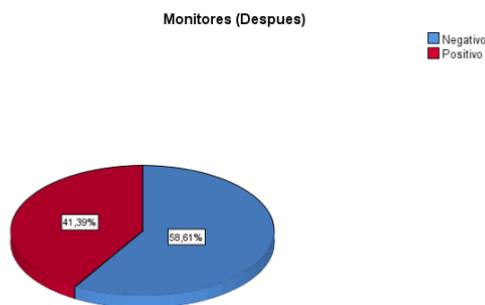
**Tabla N°15:** Tabla de frecuencias - Factor de seguridad (Después)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Negativo	194	58,6	58,6	58,6
	Positivo	137	41,4	41,4	100,0
	Total	331	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Interpretando la Tabla 16 y el Diagrama N°8, podemos indicar que hay 194 casos Negativos (58,6%) y para Positivo hay 137 casos (41,4%) de un total de 331 casos (100%)

**Diagrama N°10:** Grafica pie - Factor de seguridad (Después)



**Prueba T Hipótesis general**

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.

**Regla Teórica para toma de decisiones**

Se aceptará la hipótesis planteada.

**Tabla N°16:** Tabla de análisis estadístico - Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1 Estabilidad Talud (Antes)	23,38	331	3,023	,166
Estabilidad Talud (Después)	36,02	331	1,600	,088

Fuente: Elaboración propia

Podemos analizar en la Tabla 16 y Tabla 17 que Estabilidad talud (Antes) y Estabilidad talud (Después) presenta valores de media de 23,38 y 36,02, 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.

**Tabla N°17:** Los estadísticos de las Pruebas T se Student de muestras emparejadas.

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas							t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl			
				Inferior	Superior					
Estabilidad de Talud (Antes) - (Después)	-3,565	1,452	,080	-3,722	-3,408	-44,681	330	,000		

Fuente: Elaboración propia

## 62

### Prueba T Hipótesis específica 1

**Tabla N°18:** Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1 Características geotécnicas (Antes)	5,47	331	1,129	,062
Características geotécnicas (Después)	9,04	331	,795	,044

Fuente: Elaboración propia

Podemos analizar en la Tabla 18 y Tabla 19 que Características geotécnicas (Antes) y Características geotécnicas (Después) presenta valores de Media de 5,47 y 9,04, 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.

**Tabla N°19:** Los estadísticos de las Pruebas T se Student de muestras emparejadas.

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas							t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl			
				Inferior	Superior					
Características Geotecnicas (Antes) - (Después)	-3,565	1,452	,080	-3,722	-3,408	-44,681	330	,000		

Fuente: Elaboración propia

**Prueba T Hipótesis específica 2**

**Tabla N°20:** Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Geometría del talud (Ante)	1,22	331	,415	,023
	Geometría del talud (Después)	1,39	331	,488	,027

Fuente: Elaboración propia

Podemos analizar en la Tabla 20 y Tabla 21 que Geometría del talud (Antes) y Geometría del talud (Después) presenta valores de Media de 1,22 y 1,39, 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.

**Tabla N°21:** Cálculo estadístico de T Studente - Estadísticas de muestras emparejadas  
**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas							
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Geometria del talud (Ante) - (Despues)	-,166	,533	,029	-,224	-,108	-5,668	330	,000

Fuente: Elaboración propia

**Prueba T Hipótesis específica 3**

**Tabla N°22:** Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Evaluación del diseño del Talud (Antes)	1,49	331	,501	,028
	Evaluación del diseño del Talud (Después)	1,58	331	,495	,027

Fuente: Elaboración propia

Podemos analizar en la Tabla 22 y Tabla 23 que Evaluación del diseño del Talud (Antes) y Evaluación del diseño del Talud (Después) presenta valores de Media de 1,49 y 1,58, 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.

**Tabla N°23:** Estadístico para cálculo del T Student. Estadísticas de muestras emparejadas

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Evaluacion del diseño del talud	(Antes) - (Despues)	-,091	,725	,040	-,169	-,012	-2,276	330	,024

Fuente: Elaboración propia

### Prueba T Hipótesis especifica 4

**Tabla N°24:** Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1 Factor de seguridad (Antes)	1,27	331	,447	,025
Factor de seguridad (Después)	1,41	331	,493	,027

Fuente: Elaboración propia

Podemos analizar en la Tabla 24 y Tabla 25 que Factores de seguridad (Antes) y Factores de seguridad (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.

64

**Tabla N°25:** Datos estadísticos de T Student . Estadísticas de muestras emparejadas

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Factor de Seguridad	(Antes) - (Despues)	-,139	,566	,031	-,200	-,078	-4,469	330	,000

Fuente: Elaboración propia

### 4. 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.

- 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 ( $\phi$ ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico
- 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 ( $5^{\circ}\text{C}$  -  $10^{\circ}\text{C}$ ), 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.

- 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.
- 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.

## 5. Conclusiones

- 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 la estabilidad del talud en el tramo nor-oeste del tajo abierto Raúl Rojas, de la Unidad Minera Paragsha, Cerro de Pasco”
- 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”
- Podemos llegar a la conclusión de que Geotécnicos (Ante) 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”
- 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 m En tal sentido de comprueba 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”
- 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 de 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”

## 6. Recomendaciones

- Se recomienda realizar trabajos siempre en zonas seguras y fundamentalmente 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 crítica 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 en 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 crítica, por ende, las operaciones en dicha zona no implicarían estar comprometida y los diversos accesos al interior de la 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 lo que 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.

## 7. Literatura citada

- 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 serpentinizado 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.
- 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. 11<sup>th</sup> Int. Conf. Soil Mech. & Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 2, pp. 983-986
- 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
- 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. 9<sup>th</sup> 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 Joint Jointed Rocks", In Proc. 21<sup>st</sup> 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
- 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)
- Bernal, L., & Suescún, E.** (2016). *Manual de obras de bioingeniería en zonas de laderas*. Bogotá: Universidad Nacional.
- 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*, Voi. 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 Condi 1, pp. 389-397 Loading Conditions", In Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Congress on Rock Mechanics., ISRM, Belgrade, Vol
- Bromhead, E. N.** (1992), "The Stability of Slopes", Z<sup>o</sup> 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

- Casagrande A.** (1971). On liquefaction phenomena: report of a lecture. *Géotechnique*, 21, 197-202. (Casagrande A.,1971)
- 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. 1 Vol. 3, pp. 391-394 Surface", In Proc. IO" 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. 8<sup>th</sup> 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

- 
- 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.
- Costa Filho, L. M., Froes, A. S. & Romane, C.** (1982), "Análise 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. 2<sup>o</sup> 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
- 72 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
- 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.
- 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>
- Díaz-Carmona, A. y Estrada-Núñez, N.** (2011): Estimación de recursos y reservas del yacimiento polimetálico Castellanos. Pinar del Río, Cuba.
- Escobar, C., & Duque, G.** (2016). Geotecnia para el trópico Andino. Manizales: Universidad Nacional.
- Empresa Minera del Caribe (EMINCAR S.A).** (2017): Proyecto de la Concesión de Explotación y Procesamiento Castellanos. Pinar del Río, Cuba.

- 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.
- Goodman, R. E.** (1989), "Introduction to Rock Mechanics", 2<sup>nd</sup> 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
- 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).
- 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. 7<sup>th</sup> 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 Rock Slope 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
- Herrera, F.** (2000). *Análisis de Estabilidad de Taludes-Guía de Cálculo de Estabilidad de Taludes*. Editorial ...Madrid, p. 91-102. (Herrera, F., 2000).
- Hill, R.** (1950), "The Mathematical Theory of Plasticity", 1<sup>st</sup> ed., Oxford: Clarendon Press, 355 pp.
- Hobbs, D. W.** (1964), "The Strength and the Stress-Strain Characteristics of Granite 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. 99124
- Hoek, E.** (1983), "Strength of Jointed Rock Masses", *Geotechnique*, Vol. 33, No. 3, pp. 187223
- Hoek, E.** (1991), "When is a Design in Rock Engineering Acceptable?", In *Proc. f<sup>th</sup> 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, 3<sup>rd</sup> Ed., 358 pp.
- Hoek, E. & Brown, E. T.** (1980), "Empirical Strength Criterion for Rock Masses", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Yo\, 106, No. GT9, pp. 1013-1035
- Hoek, E. & Brown, E. T.** (1988), "The Hoek-Brown Criterion - a 1988 Update", In *Proc. 15<sup>th</sup> Canadian Rock Mech. Symp.*, University of Toronto, pp. 31-38
- Hoek, E. & Brown, E. T.** (1997), "Practical Estimates of Rock Mass Strength", *Int. J. RockMech. & Min. Sci.*, Vo\, 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. 1, 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 Extensión 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 Three-Dimensional Method of Slope Stability Analysis", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 26, pp. 679-686
- 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.
- 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. GeoEnglOOO: 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. LandsUdes: 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 LandsUdes*, Toronto, Vol. 1, pp. 1-16
- Laubscher, D. H.** (1977), "Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses Mining Application", *Trans. Inst. Min. Metall. (SectionA: 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
- 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)
- 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.
- 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)
- 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. CENAI, Cuba
- Schweickt, R.** (12 de agosto de (2003). Pasto Humidícola. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- 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. & Manzanos, 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. & Manzanos, 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

**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).

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

**REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA**



<http://www.ctscafe.pe>

Volumen VIII- N° 24 Noviembre 2024

*Contáctenos en nuestro correo electrónico  
[revistactscafe@ctscafe.pe](mailto:revistactscafe@ctscafe.pe)*

Página Web:  
<http://ctscafe.pe>

217

