



Aplicación de cable bolting en zonas de sismicidad inducida para mejorar la estabilidad del macizo rocoso fracturado, Lima, 2020

Application of cable bolting in zones of induced seismicity to improve the stability of the fractured rock mass, Lima, 2020

Aplicação de aparafusamento de cabos em zonas de sismicidade induzida para melhorar a estabilidade do maciço rochoso fraturado, Lima, 2020

ARTÍCULO GENERAL

Hector Jesus Diaz Jora

<https://orcid.org/0009-0003-6143-5905>

diazjorahector@gmail.com

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Peru

Recibido 15 de Junio 2022 | Arbitrado y aceptado 30 de Setiembre 2022 | Publicado el 05 de Mayo 2023

RESUMEN

La investigación trata sobre el uso del cable Bolting para estabilizar el macizo rocoso fracturado en el Tj.265 Nv.18 de la Empresa Minera Casapalca, cuyo propósito principal fue mejorar la estabilidad de macizo rocoso fracturado gracias a la aplicación de la tecnología de reforzamiento con cable Bolting en zonas de sismicidad inducida, mitigando de esta manera los incidentes y accidentes por desprendimiento de rocas y en consecuencia se perfecciona el proceso productivo y se disminuye los costos por pérdidas, siendo de beneficio para la empresa.

La investigación es aplicada de nivel explicativo, con una muestra seleccionada intencionalmente por el investigador, por encontrarse realizando trabajos de explotación en el Tj.265 durante la ejecución de este estudio.

Con los resultados que se obtuvo, se infiere que al implementar el cable bolting en zonas de sismicidad inducida refuerza la estabilidad del macizo rocoso fracturado, puesto que la estimación empírica de desprendimiento de las cajas ELOS mínimo de 2.0 m y un volumen de 15 m³ concluyendo que el diseño del tajeo propuesto es estable con sostenimiento adecuado.

Palabras clave: Cable bolting, sismicidad inducida, estabilidad, macizo rocoso fracturado

ABSTRACT

The investigation deals with the use of the Bolting cable to stabilize the fractured rock mass in the Tj.265 Nv.18 of the Casapalca Mining Company, whose main purpose was to improve the stability of the fractured rock mass thanks to the application of reinforcement technology with Bolting cable in areas of induced seismicity, thus mitigating incidents and accidents due to rockfalls and consequently improving the production process and reducing costs due to losses, being of benefit to the company.

The research is applied at an explanatory level, with a sample intentionally selected by the researcher, because he was carrying out exploitation works in the Tj.265 during the execution of this study.

With the results obtained, it is inferred that by implementing cable bolting in areas of induced seismicity, it reinforces the stability of the fractured rock mass, since the empirical estimate of detachment of the ELOS boxes is a minimum of 2.0 m and a volume of 15 m³ concluding that the proposed stope design is stable with adequate support.

Keywords: Cable bolting, induced seismicity, stability, fractured rock mass.

RESUMO

A investigação trata do uso do cabo Bolting para estabilizar o maciço rochoso fraturado no Tj.265 Nv.18 da Casapalca Mining Company, cujo objetivo principal era melhorar a estabilidade do maciço rochoso fraturado graças à aplicação de tecnologia de reforço com cabo Bolting em áreas de sismicidade induzida, mitigando assim incidentes e acidentes por desmoronamentos e consequentemente melhorando o processo produtivo e reduzindo custos por perdas, sendo um benefício para a empresa.

A pesquisa é aplicada em nível explicativo, com amostra intencionalmente selecionada pelo pesquisador, por estar realizando trabalhos de exploração no Tj.265 durante a execução deste estudo.

Com os resultados obtidos, infere-se que a implementação de atirantamento em zonas de sismicidade induzida reforça a estabilidade do maciço rochoso fraturado, uma vez que a estimativa empírica de desprendimento das caixas ELOS é de um mínimo de 2,0 m e um volume de 15 m³ concluindo que o projeto de stope proposto é estável com suporte adequado.

Palavras-chave: Cable bolting, sismicidade induzida, estabilidade, maciço rochoso fraturado.

INTRODUCCIÓN

En la minería el proceso de extracción de mineral es realizado a través de una serie de operaciones, incluye las excavaciones que se realizan para la obtención del mineral, que inducen el hundimiento del sistema, así las voladuras realizadas generan una serie de cambios en el macizo rocoso, que finalmente pueden producir interrupciones en las operaciones de extracción de mineral.

Es así que el fracturamiento del macizo rocoso y la sismicidad inducida genera alteraciones dinámicas, induciendo un desequilibrio provocando deformaciones que superan la resistencia del rocoso macizo, produciendo rupturas que liberan gran cantidad de energía emitiendo ondas propagadas por el macizo rocoso.

En el minado desarrollado en la minera Casapalca, se está aplicando el método sub level stoping con taladros largos, el cual ha presentado fallas y discontinuidades; para mejorar el rendimiento de este método se ha estado usando pernos helicoidales de 2.10 m para el refuerzo sin embargo este reforzamiento no tiene la efectividad esperada en el proceso de minado causando todavía alto desprendimiento de rocas. En consecuencia se ha producido una deficiente voladura que presenta fallas y discontinuidades y genera condiciones desfavorables de estabilidad en el macizo presentándose desprendimiento de rocas en el proceso de minado.

Es necesario considerar también que la sismicidad inducida en el macizo rocoso luego de los procesos de voladura, hasta el momento no han sido evaluados adecuadamente, por lo tanto, no se ha tomado medidas de prevención adecuadas frente a las eventualidades producidas por este fenómeno. En consecuencia, se suscitaron accidentes que involucraron tanto al personal como a los equipos, afectando la producción y elevando los costos de operación, por las pérdidas y retraso en el proceso productivo.

Otro de los desafíos que presenta la empresa trata sobre la profundización, sabemos que, a mayor profundidad se incrementan los cambios en el macizo rocoso, presentándose en consecuencia mayores estallidos de roca, estos fenómenos forman parte de la sismicidad inducida presente en el proceso de extracción de mineral.

Al respecto Shnorhokian (1), investigador de la Universidad de McGill, Canadá, quien estudio sobre la sismicidad inducida y modelamiento numérico en minas, indica

que la presencia de sismicidad inducida es más frecuente según sea mayor la profundidad de excavación, ya que esta sismicidad aumenta con la profundización de labores subterráneas, debido a los esfuerzos que esto conllevan.

A pesar de los avances tecnológicos, una serie de elementos se interponen al tomar de decisiones para hacer frente a los peligros en la minería subterránea, por tanto, el uso de indicadores sísmicos podría ser de gran ayuda si se utilizan en condiciones óptimas y de mejoramiento continuo.

Algunos resultados demuestran lo siguiente: Estudios realizados por Hudyma en 73 minas en Australia y Canadá (2), reveló que un 20% de las minas subterráneas han experimentado eventos sísmicos y 15 % reportaron estallidos de roca con daños a la infraestructura

En Chile, estudios realizados por Vallejos y otros (3) en la mina RENO, reportaron que el 30% del tiempo de labores fue paralizado por encontrarse en estado de alerta, tiempo que fue totalmente improductivo.

En el Perú, se están presentando mayores casos de sismicidad inducida debido a la profundización en las labores de extracción de mineral. A pesar de esto, estudios respecto a la sismicidad inducida son muy limitados. Estudios realizados por Cuba (4) en la Mina Uchucchacua de Oyón, Lima; reportaron resultados sobre sismicidad inducida, entre los años 2000 al 2008 experimentaron eventos de estallidos de roca provocando daños personales como al proceso productivo de la empresa.

Al realizar estudios sobre la sismicidad inducida, se puede predecir eventos de riesgo o peligro por lo que se puede establecer procedimientos para alertar de estos eventos, al ubicar magnitudes relevantes; y planificar el reinicio de labores, garantizando la seguridad de los trabajadores adecuando nuevos protocolos.

Según Vallejos y McKinnon (2010) la alerta se aplica luego de la ocurrencia de un evento sísmico de magnitud relevante. Para la ocurrencia de un evento sísmico, se presentan aumentos de niveles de actividad sísmica que con el tiempo se normalizan los niveles de sismicidad, comportamiento similar a los terremotos tectónicos y sus réplicas.

Considerando estos aspectos, debemos por tanto darle la debida importancia a la investigación, ésta se justifica en el uso de cable bolting en zonas de sismicidad inducida

con la finalidad de aumentar la estabilidad del macizo rocoso fracturado puesto que es un tema de investigación importante y que tiene implicaciones significativas para la seguridad y la productividad de la operación minera.

En la actualidad, la actividad sísmica inducida por la minería es un problema común en muchas operaciones mineras en todo el mundo. La actividad sísmica puede provocar la fracturación de las rocas y la deformación del macizo rocoso, lo que llega a ser de peligro para los trabajadores y la estabilidad de la mina. La aplicación de técnicas de soporte, como la instalación de pernos de cable, ha demostrado ser efectiva en la certeza de macizos rocosos fracturados en minas subterráneas en todo el mundo.

En la Empresa Minera Casapalca, la operación minera subterránea está ubicada en una zona con alta sismicidad inducida en Perú. La estabilidad del macizo rocoso fracturado en esta mina es crítica para las operaciones mineras. La aplicación de cable bolting ha sido utilizada en otras minas subterráneas con éxito, y su aplicación en Casapalca podría mejorar la estabilidad del macizo rocoso fracturado y reducir los riesgos asociados con la actividad sísmica.

Por lo tanto, investigar la aplicación de cable bolting en zonas de sismicidad inducida en la minera Casapalca es una tarea importante que tiene el potencial de mejorar significativamente la seguridad y la productividad de la operación minera. El resultado llegado en este estudio debe ser usado por la empresa minera para implementar medidas de seguridad adecuadas y mejorar la estabilidad del macizo rocoso fracturado. Además, los resultados similares de esta investigación pueden ser otras útiles para operaciones mineras a nivel global que enfrenta desafíos.

Ante esta situación la presente investigación es conveniente y necesaria por la propuesta del análisis de sismicidad inducida y el uso del cable bolting de 9 – 25 m, que tiene por finalidad estabilizar el macizo rocoso fracturado en el tajo minimizando el desprendimiento de rocas durante el proceso de minado y con esto finalmente mejorar la seguridad en la zona de labores.

Esta propuesta mejorará, tanto la seguridad como el proceso productivo gracias a la aplicación de la tecnología, mitigando de esta manera los incidentes y accidentes por

desprendimiento de rocas y en consecuencia la disminución de costos por pérdidas, siendo de beneficio para la empresa

Este estudio se ha limitado al Tj.265 Nv.18 de la Empresa Minera Casapalca, y describir los resultados obtenidos de la aplicación de Cable bolting en zonas de sismicidad inducida para mejorar la estabilidad del macizo rocoso fracturado.

Para dar un panorama de la investigación, se consideró una revisión teórica de las variables tomadas en esta investigación, que son el uso del cable bolting, sismicidad inducida y estabilidad del macizo rocoso fracturado.

En este sentido el concepto de cable bolting refiere a la técnica de sostenimiento de macizos rocosos que consiste en la instalación de pernos de cable de acero en el interior de la roca para mejorar su estabilidad. El proceso de cable bolting implica la perforación de agujeros en la roca y la inserción de un cable de acero en cada agujero. Los extremos del cable se fijan en su lugar con anclas o platinas de anclaje que se adhieren a la roca mediante mortero o resinas epoxi. El cable es tensado para proporcionar una fuerza de apoyo adicional a la roca y reducir su deformación. El empernado de cables es una técnica de sostenimiento muy efectiva y se utiliza en la mayoría de las operaciones mineras subterráneas. Además de mejorar la estabilidad del macizo rocoso fracturado, el cable bolting puede ayudar a prevenir la caída de rocas y reducir el riesgo de lesiones para los trabajadores en la mina.

Otro de los aspectos que se revisan es la sismicidad inducida, se refiere a la actividad sísmica causada o desencadenada por actividades humanas, como la minería subterránea. Estas actividades pueden causar un cambio en las tensiones en la corteza terrestre y en el subsuelo, lo que puede provocar la ruptura de fallas geológicas existentes y la generación de terremotos o movimientos sísmicos. En el contexto minero, la sismicidad inducida puede ser un problema importante que afecta la estabilidad de la mina y la seguridad de los colaboradores. La actividad minera puede producir vibraciones y fracturas en la roca que pueden desencadenar la actividad sísmica. La sismicidad inducida puede ser monitoreada y controlada mediante el uso de técnicas de monitoreo sísmico para llegar a implementar disposiciones en fin de prevenir y mitigar adecuadamente las causas de esta sismicidad inducida. (2)

Finalmente, sobre la estabilidad del macizo rocoso fracturado, es un concepto clave en la minería subterránea y se describe como la capacidad del macizo rocoso para soportar cargas y las fuerzas que actúan sobre él sin sufrir fallas o colapsos. En una mina subterránea, el macizo rocoso puede estar fracturado debido a las operaciones de excavación y las fuerzas tectónicas naturales. Las fracturas pueden debilitar la estructura del macizo rocoso y reducir su capacidad para soportar cargas, lo que puede aumentar el riesgo de colapso o falla. Para garantizar la estabilidad del macizo rocoso fracturado en una mina subterránea, se utilizan técnicas de sostenimiento y monitoreo. Las técnicas de sostenimiento incluyen la instalación de pernos de cable, mallas de acero, concreto proyectado y otros materiales para proporcionar un soporte adicional al macizo rocoso. El monitoreo del macizo rocoso fracturado puede realizarse mediante la medición de la deformación, la detección de vibraciones y la observación visual para detectar signos de fracturas o desplazamientos. La implementación de técnicas adecuadas de sostenimiento y monitoreo puede ayudar a reducir el riesgo de colapso y mejorar la eficiencia de la operación minera.

Frente a esta situación, la presente investigación propone el análisis de la sismicidad inducida y a su vez la aplicación del cable bolting; esta investigación tiene la finalidad de prevenir efectos producto de la sismicidad inducida y reforzar el macizo rocoso sometido a sismicidad inducida en el tajo, buscando con esto lograr la minimización de riesgos y peligros producidos por el proceso de minado, mejorando de este modo la producción y disminuyendo los costos por pérdidas.

De acuerdo a la literatura anteriormente revisada, la investigación se enfoca en: Aplicar el cable bolting en zonas de sismicidad inducida para reforzar la estabilidad del macizo rocoso fracturado en la Empresa Minera Casapalca, Lima, 2020 determinar los factores que afectan la rentabilidad y la atención al adulto en el servicio de cuidados intensivos en un Hospital de Lima, 2022.

Por lo tanto la intención de la investigación se centra en probar si: La implementación del cable bolting en zonas de sismicidad inducida reforzará la estabilidad del macizo rocoso fracturado en la Empresa Minera Casapalca, durante el periodo del 2020.

METODOLOGÍA

En el presente estudio, se manejó bajo el método científico como método general y el hipotético deductivo como método específico. Así mismo por la naturaleza de la investigación se encuentra dentro del tipo de investigación aplicada.

De acuerdo a la profundidad en que se aborda este estudio, corresponde a un nivel de investigación explicativa, puesto que se centrará en la ocurrencia de la aplicación de cable bolting en el macizo rocoso fracturado para lograr mejorar la estabilidad del macizo rocoso

El diseño propuesto para este estudio es el pre experimental de corte transversal, cuyo esquema es el siguiente:

$M O_1 - X - O_2$

La población considerada en este estudio es la Mina Casapalca y la muestra es el Tj.265 Nv.18 ubicada en el Cuerpo Casapalca

Se realizó la recopilación de datos con fichas de observación estructuradas basado en la experiencia del investigador, con los que se llegará a conocer la realidad mediante la percepción directa, en este caso se realizarán evaluaciones de la sismicidad inducida durante y después de los procesos de extracción de mineral mediante el método de cable bolting para determinar la estabilidad de macizo rocoso, así mismo se realizará un comparación con operaciones sin el uso de cable bolting.

El proceso de tratamiento de datos en este estudio tiene varias etapas como a continuación detallamos:

- ✓ Identificación de familia de discontinuidades y fallas por método de mapeo geomecánico.- Se identificarán los rumbos y buzamientos de las estructuras geológicas.
- ✓ Digitalización del Mapeo geomecánico en los planos topográficos.- Una vez digitalizado las estructuras geológicas en los planos topográficos se procede a dibujar planos en sección para un mejor reconocimiento de los buzamientos de las estructuras.

- ✓ Aplicación del cable bolting, realizado el análisis estructural de las secciones se iniciará a colocar cable bolting.
- ✓ Ensayo en laboratorios de las muestras de roca mineral y desmonte
- ✓ Pruebas de pull test
- ✓ Análisis de estabilidad con el uso del Software RockScience (Phases 2.8). - Se realizará este análisis considerando la aplicación del cable bolting, con la finalidad de demostrar el mejoramiento del macizo rocoso fracturado.
- ✓ Análisis del sostenimiento dinámico Cable Bolting frente a eventos microsismicos con el uso del equipo de monitoreo Microsismico ESG SOLUTIONS. - Se realizará este análisis considerando la aplicación del cable bolting, con la finalidad de demostrar la absorción de energía del sostenimiento aplicado en el macizo rocoso fracturado.
- ✓ De acuerdo con los resultados procederemos a plantear nuestras conclusiones y recomendaciones de la investigación.

RESULTADOS

Análisis geomecánico / microsísmico

La mina se ubica en una zona con elevado tectonismo, característico de los andes peruanos. Actualmente se está realizando el minado del Tj.265 NV.18, en el cuerpo Casapalca, se evidencia reacomodos que son contrastados con el equipo de monitoreo microsísmico; en vista que un punto importante es el tiempo en el que se demora rellenar los tajos ya minados, que induce a eventos microsísmico en fallas activas, se realizó en consecuencia una la evaluación geomecánica y los controles que es necesario implementar como parte de la preparación del tajo antes de realizar la explotación.

Modelo Geomecánico

El modelo geomecánico, da como resultado que la Litología corresponde a las características de la Arenisca Epidotizada, mientras que la geometría pertenece al bloque roca

Realizado los ensayos y análisis en laboratorio mina se ha determinado que la resistencia a la compresión uniaxial es como sigue: Caja techo: 148 Mpa; Caja piso: 140

Mpa; Estructura mineralizado: 100 Mpa. No difieren los ensayos en laboratorio ni en mina.

El valor de RMR determinado con la tabla de The Rock Mass Rating System un RMR (89) igual a 50; según tabla de Ajuste por orientación de discontinuidades se tiene un RMR ajustado de 55. Esta corrección -5, es realizada debido al rumbo y buzamiento de discontinuidades que se tiene parcialmente favorable al Cuerpo Casapalca, presencia de fallas y vetillas con carbonato

Índice de calidad de la roca "Q"

Considerando el tectonismo andino, de acuerdo a la tabla de Factor de reducción de esfuerzos $SRF = 10$, lo que significa que estamos en la zona de esfuerzo elevado hasta estallido de rocas moderado. Por lo tanto el valor del índice de calidad de roca es, $Q=11.25$. Finalmente el valor promedio del Q es de 10.85 usando la correlación de BIENIAWSKI 89 y el RMR ajustado de 50 correspondiente finalmente a una ROCA REGULAR TIPO IIIB, tendiendo a una ROCA TIPO IIIA.

Análisis de estabilidad

El estudio abarca la recolección de información geomecánica y geotécnica de toda la longitud del Cuerpo Casapalca a 950 metros de profundidad es aplicable para el estudio con minado de taladros largos y sus variantes. Los resultados se tomaran de acuerdo a la metodología de Mathews, por lo que se determinará 2 factores: número de estabilidad modificado (N) y radio hidráulico (S).

Dimensionamiento usando el método gráfico de estabilidad

Para el estudio la altura calculada favorablemente es 42 m y $w = 95$

Se determinó el parámetro N para posteriormente hallar el radio hidráulico (S). Siendo los resultados:

	C. Techo	C. Piso	Corona
Factor de esfuerzo (A):	0.52	0.48	0.31
Factor por orientación, juntas críticas (B):	1.23	1.3	0.3
Factor Gravitacional (C):	5.56	5.75	2.00
Indice Q':	15.00	15.00	15.00
Entonces:	N'	52.87	53.93
		2.77	

Radio hidraulico o Factor de forma:

Dimension de la Abertura.	C. Techo	C.Piso	Corona
Longitud (L)	95	95	95
Altura de Minado (h)	42	42	17
Área de exposición m2	3990.00	3990.00	1615.00
Radio Hidraulico "S"	14.56	14.56	7.21

Método del equivalente lineal de sobre rotura/desprendimiento (ELOS)

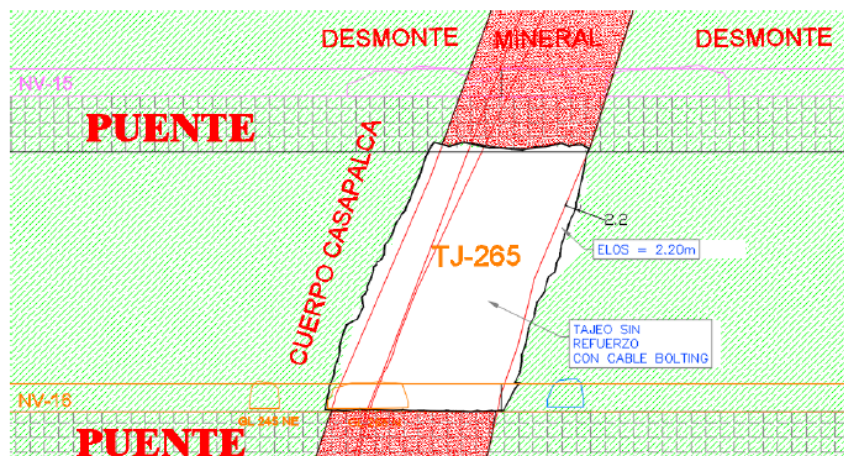
En función a los cálculos realizados del número de estabilidad N y el radio hidráulico, se propone estimar empíricamente el desprendimiento de las paredes de las cajas, usando el cálculo ELOS.

Estimación empírica de desprendimiento de las cajas ELOS en el Nv.18 Tj.265, se tiene que $N = 53.6$ promedio y $RH = 14.6$ promedio.

Considerando los valores de N y RH, se estima un ELOS de 0.6 m (posible descaje de las cajas), y bajo la estimación empírica de desprendimiento de las cajas ELOS (Clark, 1998), el volumen de desprendimiento tiene un valor de 8.76 m³.

Levantamiento topográfico del Nv.16 Tj.265 Vs Nv.18 Tj.265 Post Explotación

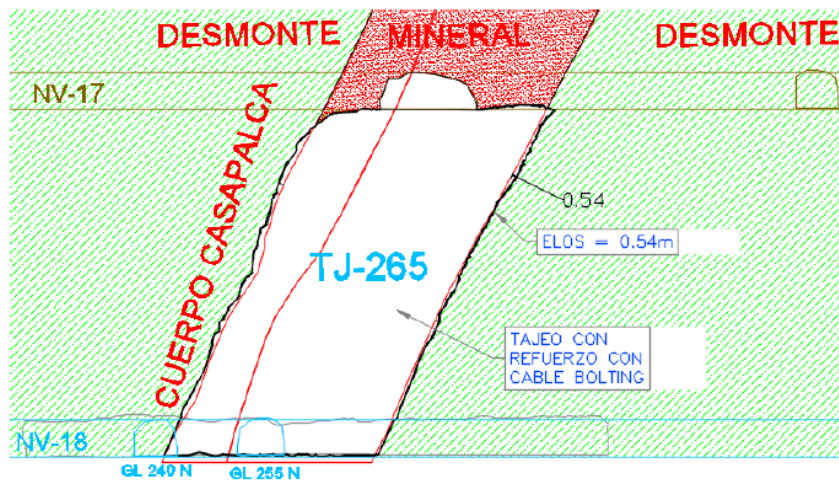
Nv.16 Tj.265 – Sin cable bolting.



ANALISIS DE DILUCIÓN T.J. 265 NV.16				
MINERAL PROGRAMADO (Ton.)	MINERAL EXTRAIDO (Ton.)	SOBREROTURA (t)	DILUCIÓN	Contenido metálico (Oz equiv)
140,885	162,356	21,471	15%	329,671
Lev Ag (Oz /tc)	Lev Pb %	Lev Cu %	Lev Zn %	Oz equ (Oz /tc)
0.64	0.32	0.17	2.14	2.34

En el plano, realizado la explotación final del Tj.265 Nv.16 sin reforzar con cable bolting y hecho el levantamiento topográfico, se visualiza que se ha tenido un descaje ELOS = 2.20, Vol =16.50 m³.

Nv.18 Tj.265 – Aplicado cable bolting



ANALISIS DE DILUCIÓN T.J. 265 NV.18				
MINERAL PROGRAMADO (Ton.)	MINERAL EXTRAIDO (Ton.)	SOBREROTURA (t)	DILUCIÓN	Contenido metálico (Oz equiv)
142,013	151,018	9,004	6%	332,312
Lev Ag (Oz /tc)	Lev Pb %	Lev Cu %	Lev Zn %	Oz equ (Oz /tc)
0.65	0.32	0.18	2.1	2.34

En el plano, realizado la explotación del Tj.265 Nv.18 aplicando el refuerzo con cable bolting y hecho el levantamiento topográfico, se visualiza que se ha tenido un descaje ELOS = 0.54 m volumen = 4.05 m³

Realizado el comparativo del Cajeo ELOS en el Nv.16 Tj.265 Cuerpo Casapalca sin reforzamiento con cable bolting es 2.2 m que es superior al cálculo empírico 2.0 m; sin embargo, en el Nv.18 Tj.265 Cuerpo Casapalca, el cajeo Elos es 0.54 m lo que indica

que se ha controlado positivamente. Estos datos han sido probados de acuerdo con levantamiento topográfico.

A partir del análisis del ELOS, se determina **que el diseño del tajeo propuesto es estable con sostenimiento**, esto indica que adicional del sostenimiento primario realizado para el desarrollo de cruceros y galerías, es necesario complementar el reforzamiento para las aberturas en la caja techo, piso y corona, elementos de reforzamiento activo de longitudes mayores (cable bolting).

Modelo estructural

Para realizar este análisis empírico se cuenta con el análisis cinemático de las cajas, análisis de cuñas, modelamiento, análisis de esfuerzo y análisis microsísmico del sector.

En función al levantamiento estructural realizado en campo se realizó los trabajos de gabinete, el cual consiste a partir de los diagramas de rosetas y estereogramas, identificar los sets principales, esta interpretación se desarrolló con el Software Geomecánico DIPS.

Análisis cinemático de las cajas

Del análisis realizado se determinó que el mecanismo predominante asociado a la caja techo es de cuñas con una probabilidad de ocurrencia del 63 %, como se ve en la imagen

Análisis de cuñas

Para evaluar el comportamiento de las cuñas máximas que se generan en el minado se usó el software Unwedge

En función al análisis estructural de los sets principales se determinaron cuñas ligados a la caja techo en el Tj.265 NV.18, lo cual presentan características que suman para tener desprendimiento de rocas.

Análisis de cuñas sin reforzamiento

Del análisis en el UNWEDGE, se determinó la cuña máxima con las siguientes dimensiones y factor de seguridad.

FoS	PESO (Ton)	*APICE (m)
1.06	100.02	23.28

Los parámetros de las discontinuidades se obtuvieron del informe Técnico “ESTUDIO GEOMECÁNICO INTEGRAL Y CONTROL DE SISMICIDAD INDUCIDA POR EL MINADO EN MINA ALPAYANA”.

Como se observa en el cuadro el factor de seguridad (FoS) es 1.06, con probabilidad de tener desprendimiento de rocas por efectos de eventos microsismicos, por lo cual se determina que no cumple con el criterio de aceptabilidad de la unidad y en un minado con el método sub level stoping con taladros largos en zonas de sismicidad inducida, se presentaría liberación de energía, volcamiento de cuñas y bloques de roca.

Análisis de cuñas con reforzamiento

FoS	PESO (Ton)	*APICE (m)
1.65	100.02	23.28

En función al ápice de la cuña máxima se consideró la instalación de cable bolting de hasta 25.00m, con la finalidad de brindar una capacidad de soporte activo al área expuesta obteniendo un FoS de 1.65, resultado que está por encima del equilibrio de estabilidad.

Análisis de estabilidad por modelamiento numérico

Para la evaluación de cable bolting se ha realizado el análisis bajo 2 escenarios:

ESCENARIO 1 – EXPLOTACION SIN APLICACIÓN DE CABLE BOLTING:

En este primer escenario **NO se consideró el uso de cable bolting** en las etapas de minado del Nv.18 Tj.265

ETAPA DE PREPARACION:

En la etapa de preparación en el NV.18 (XC. 235 W, GL. 240 N, GL. 255 N), NV.17 (GL. 270 N, BP. 290 S), el sostenimiento de las labores se realiza con pernos helicoidales

de 7 pies y shotcrete de 2"; las labores presentan estabilidad por encima del equilibrio límite de estabilidad $FS > 1.58$.

PRIMERA ETAPA DE EXPLOTACION DEL NV.18 TJ.265.

1ERA ETAPA: NV.18 AL 17 TJ.265 - P/V (+) 16 mts. En esta primera etapa se ha realizado perforación voladura vertical, limpieza de mineral con equipo telemando. Las aureolas de tensión se concentran principalmente en la caja techo y corona del tajeo $FS = 1.26 - 2.21$. Se encuentra parcialmente estable propenso a tener desprendimiento de rocas por movimientos microsismicos.

SEGUNDA ETAPA DE EXPLOTACION DEL NV.18 TJ.265.

2DA ETAPA: NV.17 AL 18 TJ.265 - P/V (-) 16 mts. En esta segunda etapa se ha realizado perforación voladura vertical, limpieza de mineral con equipo scooptram con telemando. Las aureolas de tensión se concentran principalmente en la caja techo y corona del tajeo $FS = 0.95 - 1.58$. La caja techo se encuentra parcialmente estable y la corona propensa a tener desprendimiento de rocas por movimientos microsísmico por presentar un $FS = 0.95$, por debajo del equilibrio límite de estabilidad.

TERCERA ETAPA RELLENO DEL NV.18 TJ.265.

3RA ETAPA: RELLENO FINAL NV.18 AL 17 TJ.265. Culminado la explotación de 37 mts de altura, se procede a realizar el relleno detrítico por labores del NV. 17 GL. 270 N, BP. 290 N. es evidente que los esfuerzos en cajas y corona se redistribuyes en todo el perímetro de la excavación $FS > 1.84$, lo que indica que el área explotada se encuentra estable.

ESCENARIO 2 – EXPLOTACION APLICANDO CABLE BOLTING:

En el segundo escenario **SI se consideró el uso de cable bolting** en las etapas de minado del Nv.18 Tj.265

ETAPA DE PREPARACION:

En la etapa de preparación en el NV.18 (XC. 235 W, GL. 240 N, GL. 255 N), NV.17 (GL. 270 N, BP. 290 S), el sostenimiento de las labores se realiza con pernos helicoidales de 7 pies y shotcrete de 2". El TJ.265 del NV.18 al 17 se ha reforzado con cables bolting

de 10, 15, 20 y 25 mts; las labores circundantes mejora considerablemente su estabilidad estando por encima del equilibrio límite de estabilidad $FS > 1.89$.

PRIMERA ETAPA DE EXPLOTACION DEL NV.18 TJ.265.

Culminado el refuerzo con cable bolting, instalados desde el NV.18 (+) y NV.17 (-), se procede a la perforación y voladura del TJ.265.

1ERA ETAPA: NV.18 AL 17 TJ.265 - P/V (+) 16 mts.

En esta primera etapa se ha realizado perforación voladura vertical, limpieza de mineral con equipo telemando. Las aureolas de tensión se redistribuyen en todo el perímetro del tajeo; caja techo, caja piso y corona del tajeo $FS = 1.89 - 2.21$. Se encuentra muy estable escasa probabilidad desprendimiento de rocas por movimientos microsísmico.

SEGUNDA ETAPA DE EXPLOTACION DEL NV.18 TJ.265.

2DA ETAPA: NV.17 AL 18 TJ.265 - P/V (-) 16 mts. En la segunda etapa se ha realizado perforación voladura vertical, limpieza de mineral con equipo scooptram con telemando. Las aureolas de tensión se direccionan en todo el perímetro del tajeo; caja techo, caja piso y corona del tajeo $FS = 1.89 - 2.21$. Se encuentra muy estable con poca probabilidad desprendimiento de rocas por movimientos microsísmico.

TERCERA ETAPA RELLENO DEL NV.18 TJ.265.

3RA ETAPA: RELLENO FINAL NV.18 AL 17 TJ.265. Culminado la explotación de 37 mts de altura, se procede a realizar el relleno detrítico por labores del NV. 17 GL. 270 N, BP. 290 N. es evidente que los esfuerzos en cajas y corona se redistribuyes en todo el perímetro de la excavación $FS > 3.16$, lo que indica que el área explotada se estabiliza.

Análisis de la sismicidad inducida

Se instaló un sistema microsísmico compuesto por geófonos uniaxiales y triaxiales, grabadores digitales Paladín y el paquete de software Hyperion. Una vez que se puso en servicio, el sistema comenzó a proporcionar información vital sobre la respuesta de la

masa rocosa a las operaciones mineras, lo que permite a los usuarios en la mina comprender mejor la respuesta sísmica a las operaciones mineras.

Análisis micro sísmico del sector Nv.18 Tj.265 Cuerpo Casapalca

La forma, velocidad y tiempo es como estas ondas se propagan en el macizo que dependerá principalmente de la litología (porosidad, compactación, textura, edad geológica, otros) y la densidad de la roca.

Para la red de monitoreo se emplearon un total de 22 geófonos (10 triaxiales y 12 uniaxiales) de 15HZ de frecuencia.

La caracterización de los eventos microsísmicos la configuración aplicable a la mina Zona cuerpos (Tj.265), se realiza de acuerdo al análisis litológico de rocas sedimentarias que son el input para el muestreo de los eventos microsísmicos:

Densidad de Arenisca epidotizada: 2.7 gr/cc

Velocidad de la onda P: 4860 m/s

Velocidad de la onda S: 2890 m/s

La ubicación de la fuente (hipocentro) se realiza mediante la triangulación de 3 geófonos, desde su momento inicial del evento hasta la recepción de esta señal a cada uno de los geófonos donde según su ubicación la señal, como el arribo de la onda P y S será mayor a medida que el evento este más distante del geófono.

Análisis comparativo antes de la aplicación cable bolting en el Tj.265 nivel 16 y nivel 18

ESCENARIO 1: Antes de la instalación del cable bolting en el Nv.18 Tj.265.

Reporte de eventos microsísmicos desde setiembre 2021 a enero 2022, desde el nivel 15 al 18 antes de la instalación del cable bolting, se tuvo 49 Eventos de los cuales el 69% de los eventos fueron originados en la zona del nivel 16 y el 31% en la zona del nivel 18. Realizado el análisis es evidente que en el nivel 16 es más recurrente los eventos a diferencia que el nivel 18, lo que indica que el Tj.265 Nv.16 como efecto de eventos a presentado desprendimiento de rocas (Elos = 2.20).

La información microsísmica registrada comprende:

Clasificación	Eventos	Rango
Muy Bajo	29	Mw < 0
Bajo	10	Mw < 0 - 0.25 >
Medio B	5	Mw < 0.25 - 0.75 >
Medio A	3	Mw < 0.75 - 1.0 >
Alto	2	Mw >= 1.0
Total	49	

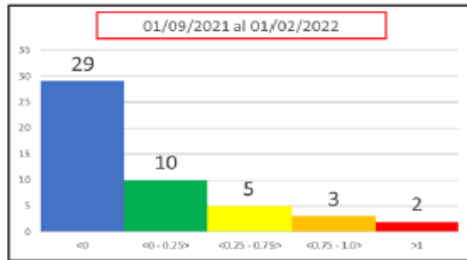
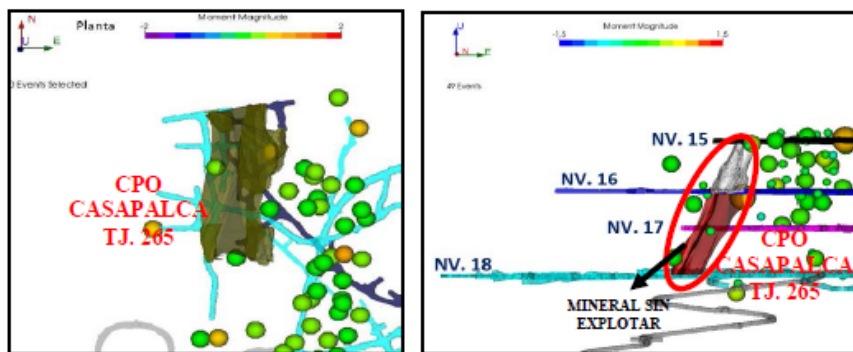
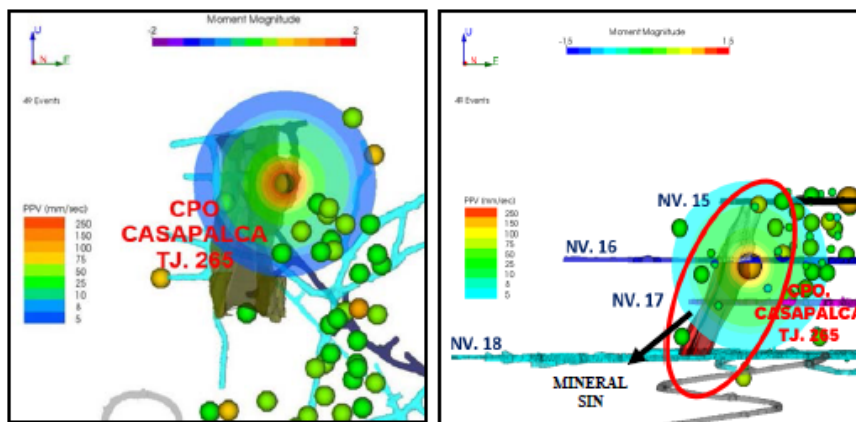


Gráfico de frecuencia de eventos microsísmicos



Comparativo de ocurrencia de eventos microsísmicos antes de la instalación de cable bolting en el Nv.16 Tj.265 (Minado) y Nv.18 Tj.265 (Sin minar).



Comparativo de ocurrencia de eventos microsísmicos altos antes de la instalación de cable bolting en el Nv.16 Tj.265 (Minado) y Nv.18 Tj.265 (Sin minar).

Evento máximo registrado del Nivel 15 al 18

Análisis comparativo posterior a la aplicación cable bolting en el TJ.265 Nivel 16 y Nivel 18

ESCENARIO 2:

Posterior a la instalación del cable bolting en el Nv.18 TJ.265

Reporte de eventos microsísmicos desde febrero 2022 a octubre 2022, desde el nivel 15 al 18 posterior a la instalación del cable bolting, se tuvo 27 Eventos de los cuales el 74% de los eventos fueron originados en la zona del nivel 16 y el 26% en la zona del nivel 18. Realizado el análisis es evidente, que en el nivel 16 es más recurrente los eventos a diferencia que el nivel 18, que esta reforzado con cable bolting; lo que indica que el Tj.265 del nivel 18 reforzado con cable bolting, presenta escasos eventos microsísmicos así mismo el cable bolt ha retenido la energía liberada, haciendo que el desprendimiento de rocas sea en menor escala ($E_{los} = 0.54$).

La información microsísmica registrada comprende:

Clasificación	Eventos	Rango
Muy Bajo	17	$M_w < 0$
Bajo	10	$M_w < 0 - 0.25 >$
Medio B	0	$M_w < 0.25 - 0.75 >$
Medio A	0	$M_w < 0.75 - 1.0 >$
Alto	0	$M_w \geq 1.0$
Total	27	

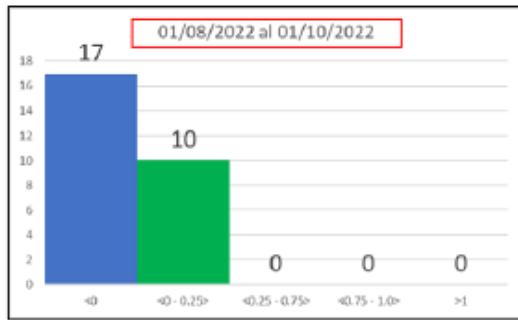
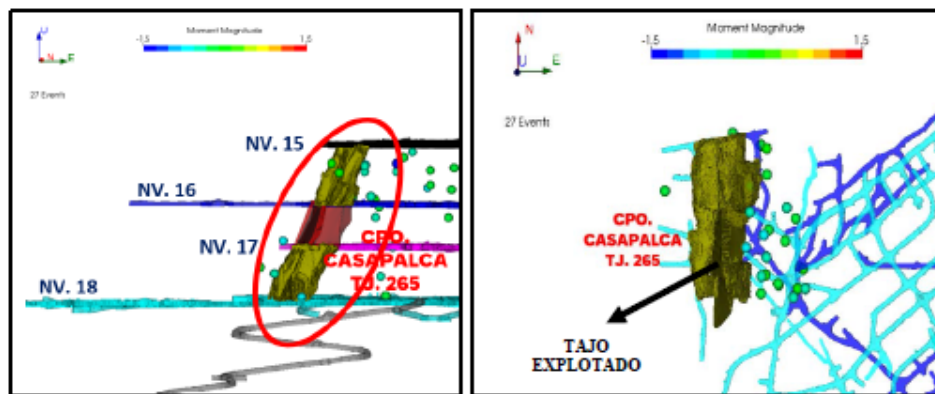


Gráfico de frecuencia de eventos microsísmicos



Comparativo de ocurrencia de eventos microsísmicos posterior de la instalación de cable bolting en el Nv.16 Tj.265 (minado y rellenado) y Nv.18 Tj.265 (minado y rellenado).

Site Name Alpayana	Event Time 2021-12-08/07:29:49.567
Work Area Main	Distance from Area: Inside area
Event Type Event	Source Parameters
Location 8710896 N	1.00 Moment Magnitude
366353 E	320624291 Moment (Nm)
3668 D	4.84e+04 Energy (J)
	3.14 Es:Ep ratio
	27.37 Source radius (m)

Evento máximo registrado del Nv.15 al 18

Resultados del comparativo

Antes de la instalación del cable bolting Nv.18:

ESCENARIO 1

En el escenario 1, se evidencia mayor recurrencia de eventos microsísmicos en ambos niveles 16 y 18 respectivamente; así mismo se muestra 02 eventos altos con MoMag superior a 1, cercanos al Nv.16. Este efecto es inducido por el minado sin refuerzo del Nv.16 Tj.265.

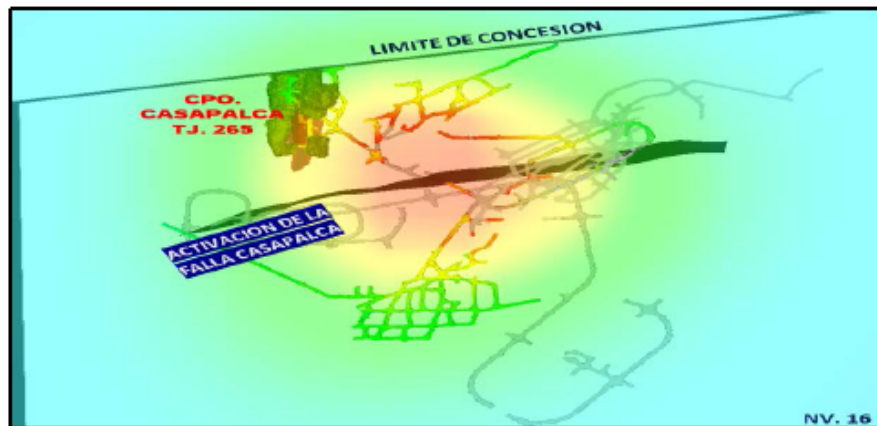


Figura 3: Plano de deformación microsísmica antes del relleno del Tj.265 Nv.16

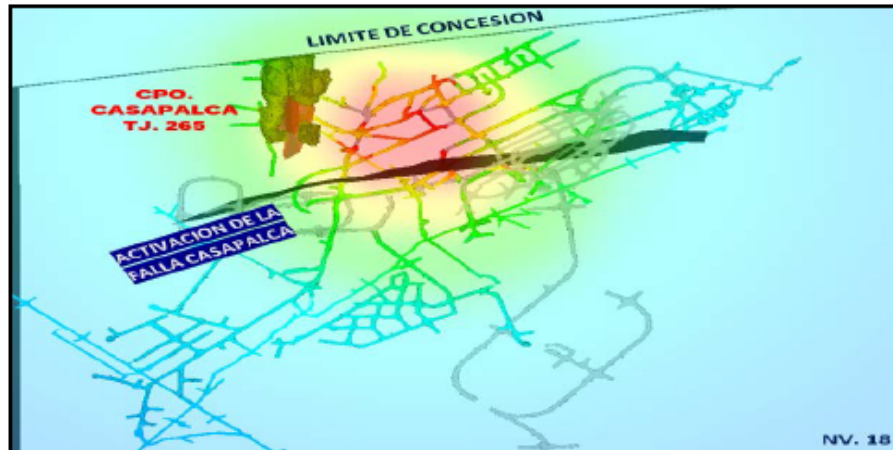


Figura 4: Plano de deformación microsísmica antes de la instalación de cable bolting Nv.18

Posterior a la instalación del cable bolting Nv.18:

ESCENARIO 2

En el escenario 2, se evidencia disminución de eventos microsísmicos en ambos niveles 16 y 18 respectivamente, en el Nv.16 sin instalación de cable bolting y con relleno podemos apreciar eventos microsísmicos de medianos y bajos, mientras que en el Nv.18 solo ha ocurrido eventos muy bajos esto debido a la instalación de cable bolting y relleno.

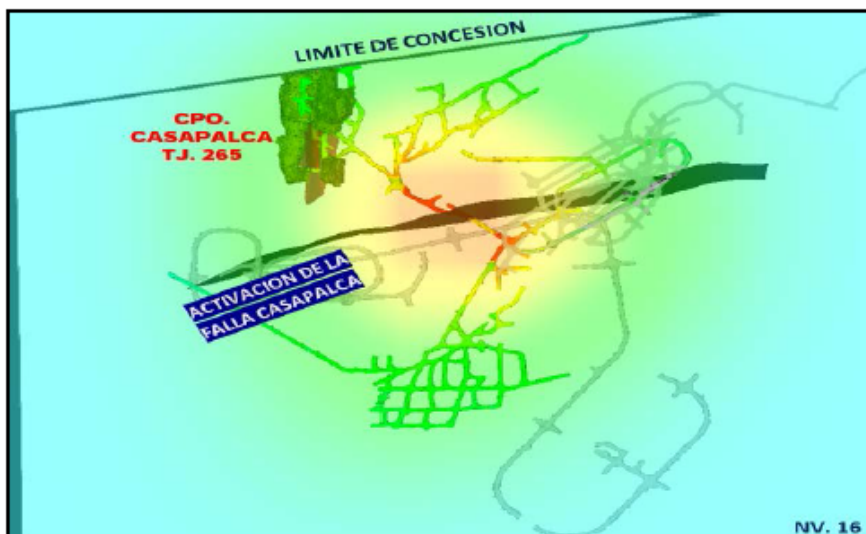


Figura 5: Plano de deformación microsísmica sin cable bolting después del relleno del Tj.265 Nv.16

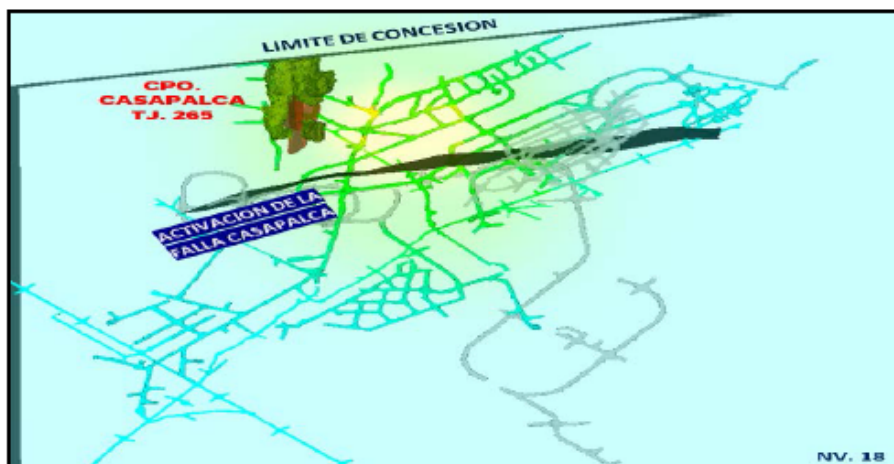


Figura 6: Plano de deformación microsísmica con cable bolting después del relleno del Tj.265 Nv.18

Entre el nivel 16 al 18 los eventos están asociados al Cuerpo Casapalca y la falla Casapalca. Así mismo en la comparativa se muestra que el Tj.265 Nv.16 presenta mayor deformación microsísmico a diferencia que el Tj.256 Nv.18.

Análisis de energía liberada y refuerzo de roca

Del registro de eventos se evalúa el riesgo potencial según el nivel de daño, proyección de roca, como afectación al sostenimiento de cada uno de los eventos clasificados como riesgo alto o de magnitud superior a 1 y/o de mayor liberación de energía cinética.

Para el cálculo de parámetros microsísmicos se emplearon los modelos de Kaiser (1996).

Daño por sismicidad: Modelo de Hedley 1992.- relaciona la magnitud local del evento con el radio de la fuente o radio de ruptura, considerando en el análisis la velocidad de vibración durante la liberación de energía (PPV).

Este modelo es concordante con el modelo de HOOK Y BRAY empleado para análisis de daños por voladura.

Riesgo	PPV (mm/s)	Nivel de Daño
BAJO	< 50	No hay Daño
MEDIO	50 < PPV < 300	Caída de Roca Suelta
ALTO	300 < PPV < 600	Caída de Terreno
MUY ALTO	PPV < 600	Daño Severo

El evento de mayor momento magnitud registrado del mes de setiembre 2021 a enero 2022 es:

Ubicación

Día	08/12/2021
Hora	07:29 a.m.
Nivel	16
Labor	TJ. 265

Evento Microsísmico

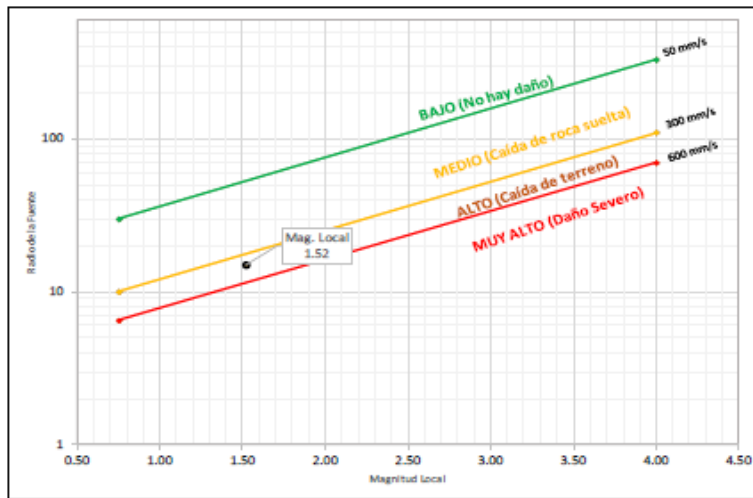
Momento Magnitud	1
Distancia de la fuente a la labor [m]	15
Densidad Roca [T/m ³]	2.7

Energía Liberada

Magnitud Local	1.52
PPV [mm/s]	339.61
Energía Cinética [KJ/m ²]	2.34
Riesgo	ALTO

El análisis de daño por sismicidad para el evento microsísmico con mayor momento magnitud, tenemos:

Nivel de Daño - Escala de Hedley 1992

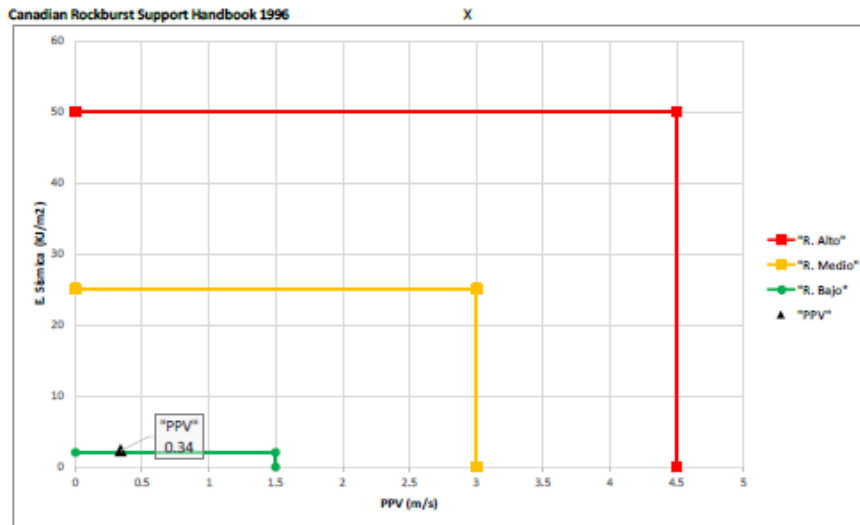


Según lo evaluado, la vibración por el evento microsísmico genera caída de terreno siendo un daño de nivel alto. Lo que indica que en el Tj.265 Nv.16 se ha tenido descaje de bancos.

Proyección de Roca por Sismicidad: Modelo de Kaiser; Canadian Rockburst Support Handbook 1996.- Estima la proyección de roca relacionando la energía cinética liberada y la velocidad pico partícula generada por el evento.

Riesgo	PPV(m/s)	E. Sísmica (KJ/m ²)	Consecuencia
Bajo	< 1.5	< 2	Abultamiento de Roca sin Proyección
Medio	1.5 < PPV < 3	2 < Ec < 25	Abultamiento de Roca con Proyección
Alto	> 3	3 < Ec < 50	Proyección de Roca por Sismicidad

El análisis de proyección de roca por sismicidad para el evento microsísmico con mayor momento magnitud, tenemos:



Según lo evaluado la energía liberada generaría abultamiento de roca con proyección, siendo de un nivel medio.

Evaluación del Sostenimiento Dinámico - Factor de seguridad: Según la Guía de criterios Geomecánicos OSINERMINING 2017, tenemos: “Factor de Seguridad = Capacidad de absorción del sostenimiento / Energía cinética liberada”

LABORES	PLAZO	RANGOS DE FACTOR DE SEGURIDAD	TIEMPO DE SOSTENIMIENTO
Permanentes	Estabilidad a largo plazo (LP)	> 1.5	> 1 Año
Temporales	Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3 - 1.5	3 Meses - 1 Año
	Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1 - 1.3	< 3 Meses
Inestable	Inestable	< 1.1	

La evaluación de sostenimiento dinámico para el evento microsísmico con mayor momento magnitud, tenemos:

Energía Cinética [KJ/m ²]		3.00
SOSTENIMIENTO	Capacidad de Absorción KJ/m ²	Factor de Seguridad
Shot 2" 1200J	1.67	0.56
Shot 3" 1200J	2.50	0.83
Shot 2" 800J	1.10	0.37
Shot 3" 800J	1.70	0.57
PH 7 - 19mm	3.00	1.00
C. Bolt_16mm	5.00	1.67
Split Set	7.00	2.33
Malla ES_N4	7.00	2.33
Malla ES_N6	5.00	1.67
Malla Tej_N9	3.00	1.00
Perno & Malla N4	10.00	3.33
Perno & Malla N6	8.00	2.67
Shot 2" & PH 19mm	4.10	1.37
Shot 2", Malla N4 & PH	11.10	3.70
Shot 2", Malla N6 & PH	9.10	3.03
Shot 2" & C. Bolt_16mm	6.10	2.03
Shot 3" & C. Bolt_16mm	6.70	2.23

Según la evaluación del sostenimiento dinámico, para el viento microsísmico el cable bolting cuenta con la capacidad de absorción de energía cinética liberada 5 KJ/m², FS=1.67. Teniendo en cuenta el evento más alto que se ha tenido en el Tj.265 Nv.16 (Energía Cinética = 2.34 KJ/m²) podemos asegurar que la instalación de cable bolting si tiene la capacidad de absorber la energía liberada.

Prueba de hipótesis

Finalmente, se realiza la prueba de hipótesis en comparación de los resultados obtenidos tanto el refuerzo con cable Bolting como sin él, de acuerdo a la hipótesis propuesta en este estudio, tenemos:

Ha: La implementación del cable bolting en zonas de sismicidad inducida refuerza la estabilidad del macizo rocoso fracturado en la Empresa Minera Casapalca, Lima, 2020

Ho: La implementación del cable bolting en zonas de sismicidad inducida no refuerza la estabilidad del macizo rocoso fracturado en la Empresa Minera Casapalca, Lima, 2020

Contrastación

	Valor	Decisión
Desprendimiento de las cajas ELOS	0.54 m	Puesto los valores son mínimos, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna
Volumen de desprendimiento	4.05 m ³	

Nota: Datos tomados del análisis de estabilidad

Conclusión estadística. La implementación del cable bolting en zonas de sismicidad inducida refuerza la estabilidad del macizo rocoso fracturado en la Empresa Minera Casapalca, Lima, 2020, puesto que la estimación empírica de desprendimiento de las cajas ELOS es 2.0 m y un volumen 15 m³, sin embargo, al realizar el levantamiento topográfico del tajeo luego de las voladuras se ha obtenido un ELOS 0.54 m y un volumen 4.05 m³. Concluyendo que el diseño del tajeo propuesto es estable con reforzamiento con cable bolting.

DISCUSION

La investigación trata sobre la aplicación del cable Bolting para estabilizar el macizo rocoso fracturado en el Tj.265 Nv.18 de la Empresa Minera Casapalca, cuyo propósito principal fue mejorar el proceso productivo gracias a la aplicación de la tecnología de refuerzo con cable Bolting, mitigando de esta manera los incidentes y accidentes por desprendimiento de rocas y en consecuencia la disminución de costos por pérdidas, siendo de beneficio para la empresa.

El estudio se realizó en el Tj.265, por facilidades del investigador durante la ejecución de este estudio.

Los resultados determinados en la investigación son los siguientes:

En función al RMR y Q de Barton, la roca ha sido clasificada como REGULAR IIIB, con un RMR de 65 y un índice de $Q = 0.71$; es necesario para evaluar la roca en profundización usar la clasificación del Q de Barton, debido a los esfuerzos que se tiene ya que esta clasificación considera el SRF.

A partir del dimensionamiento de la abertura del radio hidráulico Max ($L=50/H=20$) para el Tj.265, se concluye que el diseño del tajeo propuesto es estable con reforzamiento, esto indica que aparte del sostenimiento primario realizado para el desarrollo de cruceros

y galerías, es necesario complementar el reforzamiento para las aberturas en la caja techo, con elementos de refuerzos activos de longitudes mayores. Para ello es necesario complementar este estudio empírico con el análisis cinemático de las cajas, análisis de cuñas, modelamiento, análisis de esfuerzo y análisis microsísmicos del sector.

Considerando los valores de N y RH, se estima un ELOS mínimo de 2.0 m (posible descaje de las cajas) y un volumen de desprendimiento de 15 m³.

Se determinó 2 sets principales y un aleatorio de las estructuras menores. Del análisis realizado se determinó que el mecanismo predominante asociado a la caja techo es de cuñas con una probabilidad de ocurrencia del 63 %

En función al análisis estructural de los sets principales se determinaron cuñas ligadas a la caja techo en el Tj.265 del Nv.18 al Nv.17.

En función al ápice de la cuña máxima (23 metros) se consideró la instalación de cable bolting de hasta 25.00m, con la finalidad de brindar una capacidad de refuerzo activo al área expuesta obteniendo un FS=1.36, por tanto el área se mantiene estable.

En general, la aplicación de cable bolting usado en el escenario 2 es la forma más estable de llevar el minado a grandes aberturas para el TJ.265, como se indicó en el método gráfico de estabilidad, estas aberturas son estable siempre y cuando exista un refuerzo complementario y así brindar una capacidad de refuerzo a las cuñas identificadas. Como se observa en el modelo, las deformaciones plásticas generadas pueden liberar energía producto de los eventos microsísmicos e inducir a la inestabilidad de las cuñas. Por otro lado las deformaciones generadas en estos espacios vacíos con el uso de cable disminuye el descaje ELOS.

En las etapas del minado del TJ.265, se identifica desplazamientos acumulativos hasta 0.3 m asociado a la caja techo, producto de la inestabilidad de las cuñas identificadas en dicho sector, uno de los objetivos del cable es contener dichos desplazamiento y generar una resistencia al corte del mecanismo de falla identificado

De la evaluación realizada en el Tj.265 considerando escenarios críticos a partir de la distancia del evento hacia el tajo, se evidenció velocidades pico partículas del material entre 60 a 2706 mm/s y una energía liberada desde 0.0005 a 9.51 kJ/m², que en función

al cuadro de Hedley (Control of rockburst damage), habría presencia de roca suelta y caída de bloque.

Bajo el escenario crítico de una Mw de 1.35 y distancia de 6 metros, da el resultado de energía liberada en 9.52 kJ/m^2 , al comparar con la energía de soporte actual (Shotcrete de 2" y perno helicoidal de 7") durante la etapa de minado, el resultado de FoS es 0.59; este valor es por debajo del equilibrio límite de estabilidad ($F_s > 1.0$). Si sumamos el cable bolting, la energía de soporte resultantes es 8 kJ/m^2 , de esto determinamos el factor de seguridad (F_s) en una etapa de minado con un resultado de FoS 1.46, lográndose estar por encima del equilibrio límite de estabilidad.

Desde los niveles 12 hasta el 18 donde se tiene mayor cobertura de los geófonos, se identificó que la mayor recurrencia de eventos se tiene en los cuerpos casapalca.

En el caso del cuerpo casapalca la columna entre nivel 12 al 18 está altamente estresado y se evidencia que se prolonga en profundidad, por tal motivo es necesario preparar los tajos en profundización, una alternativa como se mencionó en todo el informe, es el uso de cable bolting para la estabilidad de cuñas, minimizar el descaje y brindar mayor energía de refuerzo en el minado.

Otro factor importante es la falla casapalca que de acuerdo con la data procesada se tiene mayor recurrencia entre el 12 al 16, esto inducido por tajos vacíos en los niveles ya mencionados ayuda a la ocurrencia de eventos microsísmicos.

El monitoreo microsísmico continuo actúa como un sistema de alerta temprana para potenciales peligrosos causados por las condiciones cambiantes de la roca. La información obtenida del sistema permitió a la mina desarrollar un protocolo de alerta, ayudando a proteger al personal y al equipo, y reduciendo el tiempo de inactividad.

El monitoreo microsísmico ha permitido a la mina mitigar riesgos en sus operaciones diarias. Por efectos de voladura del minado se viene activando la falla casapalca en forma cíclica, teniendo como efecto réplicas asociado a la falla.

Las conclusiones extraídas de los resultados son las siguientes: El método de instalación de cables de bolting tiene un impacto significativo en las ventajas que ofrece a las características del macizo rocoso. Es importante recordar que después de que se haya completado la instalación de un cable empernado, es imposible detectar una mala

instalación al mirarla. Se debe insertar el cable, se debe limpiar el orificio, se debe aplicar cemento y se debe aplicar tensión.

Las innovaciones y los nuevos enfoques utilizados para la minería profunda determinarán cuánto tiempo puede permanecer viable el sector minero. Los eventos microsísmicos son frecuentes en la industria minera. El monitoreo microsísmico puede localizar eventos sísmicos y usar otros parámetros para calcular su magnitud y delinear zonas de acumulación de daños. La información recopilada se utiliza para calcular el riesgo y optimizar el rendimiento de la infraestructura que se investiga.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Shnorhokian S. Métodos de explotación minera Canadá: McGill; 2009.
2. Hudyma M. Sismicidad inducida por minería en minas subterráneas mecanizadas de roca dura. Resultados de una encuesta mundial Australia: Australian Centre for Geomechanics; 2004.
3. Vallejos J, Estay R, Zepeda R, Jorquiera P. Una metodología para evaluar el desempeño de los indicadores de sismicidad en la mina El Teniente, Chile Ontario (Canadá): International conference & exhibition on mass mining, Massmin; 2012.
4. Cubas J. Avances para el control de estallido de rocas mediante el uso del monitoreo microsísmico - Mina Uchucchacua Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería; 2009.
5. Vallejos J, McKinnon S. La ley de Omori se aplica a la sismicidad inducida por la minería y al desarrollo del protocolo de reingreso Canadá: Pure and Applied Geophysics; 2010.
6. MINEM. Guía para la evaluación de la estabilidad de los pilares corona. Vol.XXIV Perú: Ministerio de Energía y Minas; 2007.

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2023 por **Hector Jesus Diaz Jora**

Este texto está protegido por la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](#).



Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.