

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis del monitoreo microsísmico y su influencia
en el comportamiento del macizo rocoso en la
Unidad Minera Americana Alpayana S. A. - 2021**

Davis Jamis Zanabria Mejía

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme sonreír ante todos mis logros que son el resultado del esfuerzo día a día, cuando caigo y me pone a prueba, aprendo de los errores y me doy cuenta de que estos errores son ser mejor como persona, y crecer de diversas maneras.

Esta tesis ha sido una dicha en todo sentido y te agradezco madre por estar siempre presente no solo en esta etapa de mi vida, sino en todo momento desde el inicio de mi carrera, aconsejándome, y buscando lo mejor para mi persona, mamá Zenayda decirte que todo esto es gracias a ti. Gracias a mi familia, abuelos, tíos, primos, en especial a ti papá Víctor, tío Esaud, hermanos Darwin y Yuselly, gracias por su apoyo incondicional, por su cariño y su amor, por ser siempre mis principales motivadores y los formadores de lo que ahora soy como persona.

Finalmente, agradecer a la unidad minera Americana Alpayana, por permitirme desarrollar esta tesis, a la Universidad Continental por convertirme en un profesional en la carrera que tanto me apasiona, gracias a cada docente que hizo parte de este proceso integral de formación.

DEDICATORIA

A mis amados abuelos Florentino Mejía y Rosa Gómez, que Dios los tiene en su gloria, que siempre estaban junto a mí orientándome y aconsejándome para lograr mis metas, y sé que se encuentran muy orgullosos de su nieto y desde donde estén me dan sus bendiciones.

A mi amada madre Zenayda Mejía Gómez quien me dio su amor, comprensión, apoyo, afecto y fortaleza para que este trabajo sea terminado y llegar a cumplir una de mis metas propuestas.

ÍNDICE

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Índice.....	iv
Lista de tablas	vii
Lista de figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
CAPÍTULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento del problema.....	12
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general.....	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Justificación e importancia	14
1.4.1. Justificación metodológica	14
1.5. Hipótesis de la investigación	14
1.5.1. Hipótesis general	14
1.5.2. Hipótesis específicas	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO	15
3.1. Antecedentes del problema.....	15
3.2. Generalidades de la unidad minera Alpayana.....	17
3.2.1. Ubicación y accesibilidad	17
3.2.2. Geología local	18
3.2.3. Geología económica	21

3.3. Operación minera.....	22
3.3.1. Método de explotación (<i>Sub level stoping</i>) – zona Cuerpos	22
3.4. Bases teóricas.....	25
3.4.1. Monitoreo microsísmico y su aplicación a la minería	25
3.5. Definición de términos básicos.....	31
CAPÍTULO III.....	32
METODOLOGÍA	32
5.1. Método, tipo y nivel de investigación.....	32
5.1.1. Tipo de la investigación.....	32
5.1.2. Nivel de investigación	32
5.2. Diseño de la investigación.....	32
5.3. Población y muestra	32
5.3.1. Población	33
5.3.2. Muestra	33
5.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
5.4.1. Técnicas.....	33
5.4.2. Instrumentos	33
CAPÍTULO IV.....	34
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	34
7.1. Análisis y tratamiento de la información	34
7.1.1. Funcionamiento del sistema microsísmico.....	34
7.1.2. Monitoreo microsísmico	36
7.1.3. Forma de las ondas	41
7.1.4. Modelo de velocidad	45
7.2. Análisis de la solución	48
7.2.1. Sismicidad inducida y rangos del momento de magnitud	48
7.2.2. Parámetros de monitoreo sísmico.....	48
7.2.3. Peligro microsísmico	53
7.2.4. Rango del momento de magnitud (M_w)	55
7.2.5. Causas del estallido de roca	59
7.2.6. Controles aplicables frente a un evento microsísmico	61
7.2.7. Análisis de monitoreo microsísmico mediante el software Seis Vis	62

7.2.8. Análisis de la liberación de energía vs. Sostenimiento	68
7.2.9. Plan de contingencia según los niveles de riesgo.....	68
Conclusiones.....	73
Recomendaciones.....	74
Lista de referencias	75
Anexos	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rutas y vías de acceso	17
Tabla 2. Valores de correlación entre la energía liberada y la VPP	51
Tabla 3: Estimación del peligro sísmico, probabilidad de ocurrencia por día	54
Tabla 4. Ocurrencias de eventos microsísmicos	54
Tabla 5. Correlación entre el momento magnitud y la distancia	57
Tabla 6. Eventos de julio	63
Tabla 7. Eventos de agosto	63
Tabla 8. Eventos microsísmicos de la falla Casapalca	66
Tabla 9. Análisis de la liberación de energía vs. Sostenimiento	68
Tabla 10. Plan de contingencia según los niveles de riesgo (Mw)	70
Tabla 11. Rango de magnitud Momento según grado de stress de la roca (Mw)	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera Americana Alpayana.	18
Figura 2. Acceso a la unidad minera Americana Alpayana.	18
Figura 3: Plano geológico, unidad minera Americana Alpayana.	20
Figura 4. Malla de perforación del V. C. R.	24
Figura 5. Malla de perforación de sección 4 x 4 m.	25
Figura 6. Valores de “b” para 2 conjuntos de datos diferentes.	27
Figura 7. Frecuencia de eventos por hora de la mina “Kidd Creek”.	28
Figura 8. Sistema microsísmico.	36
Figura 9. Distancia entre la onda P y S.	40
Figura 10. Sismograma de eventos microsísmicos.	41
Figura 11. Desplazamiento de la onda primaria.	42
Figura 12. Desplazamiento de la onda secundaria.	42
Figura 13. Frecuencia de las ondas de sobretiempo por distancia.	43
Figura 14. Umbral de desencadenamiento (A-C) con señales de ruido (D).	45
Figura 15: Segmentación de ondas transversales.	47
Figura 16: Correlación entre la energía sísmica liberada y la velocidad pico partícula.....	50
Figura 17: Determinación de la velocidad pico partícula y la distancia.	52
Figura 18: Representación del nivel de daño y la VPP con respecto a la magnitud del evento.....	52
Figura 19. Propagación del evento microsísmico a lo largo del macizo rocoso. ..	58
Figura 20. Etapas de las fracturas con respecto a los a esfuerzos axiales.	59
Figura 21: Magnitud momento vs. Tiempo.	64
Figura 22. Monitoreo microsísmico - Zona Baja Cuerpos.	65
Figura 23. Número de eventos vs. Momento de magnitud.	65
Figura 24. Monitoreo microsísmico de la falla Casapalca.	66
Figura 25. Sección longitudinal de los eventos de la falla Casapalca.	67
Figura 26. Energía vs. Momento sísmico.	67

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, lleva por título “*Análisis del monitoreo microsísmico y su influencia en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021*”, el cual lleva como problema general: ¿Cuál es la influencia del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en Alpayana S. A. - 2021?, planteándose como objetivo principal determinar la influencia del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021.

La metodología que se aplica al estudio se determinó por el método científico, tipo aplicativo, nivel descriptivo, relacionando el diseño de investigación que es longitudinal de tipo no experimental. La población de esta investigación corresponde a la zona de cuerpos Alpayana y se tomó como muestra a las labores de forma aleatoria en la zona baja de cuerpos.

Como conclusión se formula que el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso permite implementar un sistema de alerta temprana que se acomoda a las características y necesidades de la mina, para el reconocimiento de las zonas vulnerables y así poder tomar medidas preventivas correspondientes.

Palabras claves: geófonos, monitoreo microsísmico, sismicidad inducida

ABSTRACT

The present research work is entitled "*Analysis of microseismic monitoring and its influence on the behavior of the rocky mass in the American mining unit Alpayana SA - 2021*", which leads as a general problem: what is the influence of the monitoring analysis microseismic in the behavior of the rock mass in Alpayana SA - 2021?, considering as the main objective to determine the influence of the analysis of microseismic monitoring in the behavior of the rock mass in *mining unit Americana Alpayana SA - 2021*.

The methodology applied to the study is determined by the scientific method, applicative type, descriptive level, relating the research design is longitudinal of a non-experimental type. The population of this research corresponds to the corps zone, Alpayana, and we will take random work in the lower corps zone as a sample.

As a conclusion, it is formulated that analysis of the microseismic monitoring in the behavior of the rocky massif, allows us to implement an early warning system that adapts to the characteristics and needs of the mine, for the recognition of vulnerable areas and thus be able to take corresponding preventive measures

Keywords: geophones, induced seismicity, microseismic monitoring

INTRODUCCIÓN

La unidad minera Alpayana, empresa americana, viene ejecutando un proyecto de implementación de sensores microsísmicos para el mejoramiento de los estándares operacionales y de seguridad, aplicando un monitoreo microsísmico diario.

El presente estudio de investigación plantea que para el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso de la zona baja de Alpayana, se implemente un paladín adicional de 6 geófonos, 3 uniaxiales y 3 triaxiales, para poder tener más alcance a la profundización, para poder determinar parámetros en las zonas con mayor sismicidad inducida y tener un control en la detención de eventos con desencadenantes, y así no confundir un sonido o ruido eléctrico con un evento, de acuerdo a ello, cumplir con los umbrales designados para el plan de activación de respuesta y qué hacer en casos de eventos microsísmicos bajos y altos según los niveles de riesgo.

Capítulo I: se aprecia el planteamiento del problema y los objetivos, con la justificación de las variables y su operacionalización.

Capítulo II: hace referencia a los antecedentes del estudio, la geología, seguido de las bases teóricas y definición de términos básicos del proyecto.

Capítulo III: se describe la metodología aplicada al estudio, la población, muestra y técnicas de recolección de datos.

Capítulo IV: se muestra el análisis y el diseño de la investigación, determinando parámetros de prueba para el estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

En el presente, la minería necesita llevar un control de monitoreo microsísmico en sus labores de preparación, desarrollo y explotación, debido a la ocurrencia de incidentes y accidentes en la mina, sin duda la minería es un trabajo de alto riesgo que el hombre realiza. Según los registros, alrededor del 37% de los accidentes mortales en la mediana y gran minería en Perú son la consecuencia del desprendimiento de rocas.

Por ese motivo, se realizó el trabajo de investigación en la unidad minera Americana Alpayana S. A., para disminuir estos accidentes y reducir las pérdidas por daños a la infraestructura minera, es necesario implementar un sistema de aviso que permite el reconocimiento de zonas frágiles para tomar medidas preventivas que corresponden. Un equipo potente en este escenario es el monitoreo microsísmico que permite monitorear los eventos microsísmicos instantáneos de baja intensidad en el macizo rocoso, generando información en tiempo real de la magnitud, ubicación y extensión.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en Alpayana S. A. - 2021?

1.2.2. Problemas específicos

¿Qué puede manifestar el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021?

¿Cuáles son los rangos del momento de magnitud del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021?

¿Cuáles son los controles aplicables en el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

Describir lo que puede manifestar el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. – 2021.

Identificar los rangos del momento de magnitud del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. – 2021.

Identificar los controles aplicables en el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. – 2021.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación metodológica

Esta investigación es justificada metodológicamente ya que se hace uso de metodologías propias para la adquisición de datos, procesamiento y resúmenes que pueden servir de base para otras investigaciones similares.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

El análisis del monitoreo microsísmico influirá positivamente en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. - 2021.

1.5.2. Hipótesis específicas

Se describirá lo que puede manifestar el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. – 2021.

Se identificarán los rangos del momento de magnitud del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. – 2021.

Se identificarán los controles aplicables en el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso en la unidad minera Americana Alpayana S. A. – 2021.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes del problema

A continuación, se presentan los antecedentes en consideración para la presente investigación:

En la tesis *“Diseño de sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de rocas”*, cuyo objetivo principal es “diseñar el sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de roca”. Se concluyó que “para poder mitigar los estallidos de roca se deberá conocer la probabilidad de riesgo de liberación de energía de la masa rocosa, mediante la teoría del PES, Wang, Sing H, y otros” (1).

En la tesis *“Evaluación geomecánica de la masa rocosa en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 en la compañía minera Casapalca”*, cuyo objetivo principal es “evaluar la masa rocosa en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados ubicados entre el nivel 10 y nivel 8 de la compañía minera Casapalca S. A”. Se concluyó que “en la región del distrito minero de Casapalca se encuentran presentes rocas sedimentarias y volcánicas desde el Cretáceo Inferior hasta el Terciario, agrupadas en diferentes unidades litológicas. Las rocas que contienen la mineralización están formadas por una secuencia plegada de sedimentos cretáceos continentales, en los extremos Este y Oeste de la mina, conocidos como formación Casapalca, con dos miembros litológicos: el miembro inferior “Capas Rojas Casapalca” (2).

En la tesis “*Análisis de vibraciones producidas por voladura para reducir daños al macizo rocoso en BP. 1200 E – U. P. Andaychagua – Volcan Compañía Minera S. A. A.*”, cuyo objetivo principal es “determinar en qué medida las vibraciones producidas por la voladura permiten reducir los daños al macizo rocoso en el *by pass* 1200E – unidad de producción Andaychagua de Volcan Compañía Minera S. A. A”. Se concluyó que “en el análisis de las vibraciones producidas por la voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el *by pass* 1200E – unidad de producción Andaychagua – Volcan Compañía Minera S. A. A. – 2018” (3).

En la tesis “*Reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el by pass 179. compañía minera Kolpa S. A.*”, cuyo objetivo principal es “experimentar el proceso de reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el *by pass* 179, compañía minera Kolpa S. A”. Se concluyó que “el daño en el macizo rocoso se redujo y controló mediante el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones de las voladuras en el *by pass* 179 de la compañía minera Kolpa S. A.” (4).

En la tesis “*Evaluación del potencial microsísmico asociada a una falla principal en minería por hundimiento*”, cuyo objetivo principal es “evaluar el potencial microsísmico ocasionado por la activación de una falla principal al entrar en contacto con la zona de *abutment stress* de una panel *Caving* mediante la implementación de un modelo numérico en 3DEC. Esto se desarrolla en el marco de un modelo conceptual”. Se concluyó que, “al desarrollar cualquier método de explotación minera ante la presencia de una falla principal, existe el riesgo de que esta última se active generando daños. Es por lo que tiene un peso importante al momento de realizar los desarrollos y planificar la estrategia de extracción. En minería por hundimiento con especial énfasis en el panel *Caving*, la redistribución de esfuerzos que se genera a partir de la propagación de la cavidad produce un efecto en la falla principal, provocando una activación según la distancia a la que esta última se encuentra” (5).

En la tesis “*Metodología para la evaluación del desempeño de indicadores sísmicos en sismicidad inducida por la minería*”, cuyo objetivo principal es “desarrollar y aplicar una metodología de análisis que permita evaluar de manera estándar el comportamiento y desempeño de indicadores sísmicos con la finalidad de minimizar las interferencias operacionales ocasionadas por la sismicidad inducida por la minería”. Se concluyó que “en este trabajo se desarrolló una metodología que permite evaluar el desempeño de indicadores sísmicos asociados a la microsismicidad generada por labores mineras” (6).

3.2. Generalidades de la unidad minera Alpayana

3.2.1. Ubicación y accesibilidad

La unidad minera Americana se encuentra ubicada en el paraje Piedra Parada, zona El Carmen, Chicla, departamento de Lima, ubicada geográficamente en la zona central del lado oeste de la cordillera de los Andes, entre las coordenadas UTM 366761.70E 8710455.60N. El campamento Casapalca se encuentra a una altitud de 4350 m s. n. m., y la entrada principal de Gubbins se encuentra a una altitud de 4200 metros. La carretera asfaltada sigue la ruta Lima – Casapalca, con una longitud total de unos 129 km y un tiempo de viaje de 4 horas. La carretera asfaltada de Huancayo – La Oroya – Casapalca tiene un recorrido de 100 kilómetros en 3 h 47 min.

Tabla 1. Rutas y vías de acceso

Tramo		Vía	Distancia (km)	Tiempo (h)
Lima	Casapalca	Terrestre asfaltado	129 km	4 h
Huancayo	Casapalca	Terrestre asfaltado	100 km	3 h 47 min
Casapalca	Piedra Parada	Trocha carrozable	3 km	15 min



Figura 1. Ubicación de la unidad minera Americana Alpayana. Tomada de Google Earth

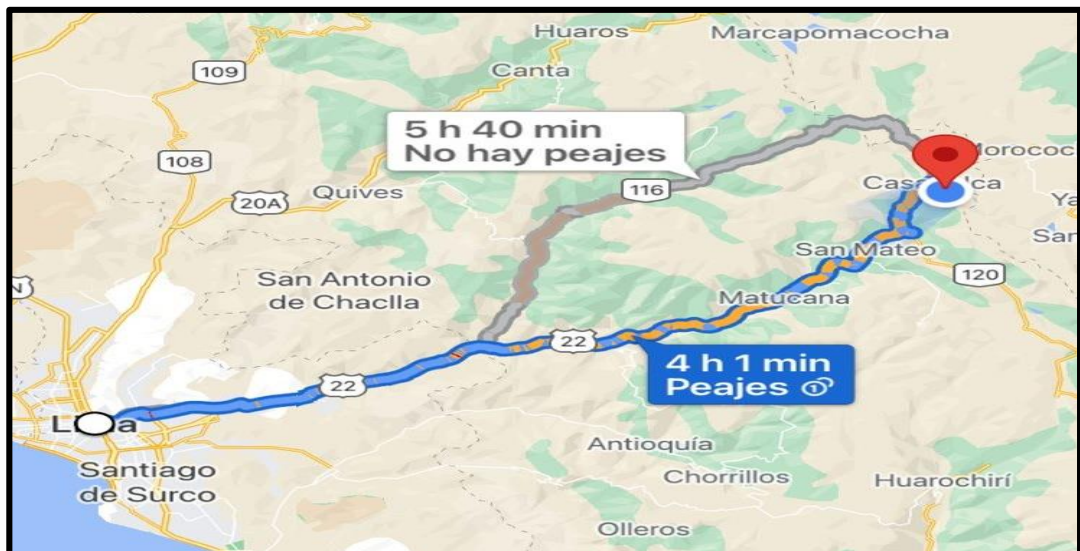


Figura 2. Acceso a la unidad minera Americana Alpayana. Tomada de Google maps

3.2.2. Geología local

En el distrito minero de Casapalca afloran ampliamente rocas sedimentarias y rocas volcánicas que datan del Cretáceo superior y Terciario, representadas por areniscas, lutitas y conglomerados de la formación Casapalca, sucesión de rocas volcánicas de la formación Carlos Francisco, capas de caliza de la formación Bellavista y secuencia volcánica de la formación Río Blanco. La tectónica andina presenta pliegues, destacando el anticlinal y sinclinal Casapalca, que fue perturbado por varios

sistemas de fracturas y fallas de carácter local y regional, como las fallas Carmen y Americana.

Las rocas intrusivas en la zona de Casapalca son representadas por *stocks* de composición intermedia, conocidos como intrusivos Taruca que afloran en el sector sureste.

La mineralización Casapalca se encuentra en vetas y cuerpos. Las vetas han sido reconocidas en longitudes de hasta 5 km, en altura se han trabajado hasta 1,300 metros de profundidad. Los cuerpos mineralizados son de dos tipos, cuerpos mineralizados por reemplazamiento o *skarn* y diseminaciones con vetillas que ocurren por relleno de fisuras.

Las vetas fueron formadas por fase hidrotermal rellenando fracturas, existen diversidad de condiciones estructurales habitualmente como consecuencia de la unión de fracturas tensionales y de cizallamiento preminerales. Los cuerpos de Casapalca son yacimientos formados por sustitución metasomática y por relleno de cavidades, en rocas de las formaciones Casapalca y Carlos Francisco; la epidota mineral calcosilicatado común de *skarn* evidencia proceso de reemplazamiento en la formación Casapalca, como la mayoría de *skarns* presenta zoneamiento distintivo desde la zona de cuerpos hacia la roca regional circundante, la aureola de epidota a silicificación y hasta arenisca rojiza se presenta desde los cuerpos mineralizados hacia la zona externa. Los cuerpos formados por relleno de cavidades están asociados a vetas y fracturas de los sistemas de vetas y fallas. La mineralogía consiste principalmente de minerales metálicos como la esfalerita, galena y calcopirita asociados a minerales de mena como calcita, cuarzo, rodocrosita y pirita; tetraedrita-freibergita, greenockita y bournonita se encuentran en proporciones subordinadas.

La alteración de las rocas de caja es de bajo grado, la alteración propilítica consiste mayormente de epidotización, cloritización, calcitización, silicificación, piritización y calcitización.

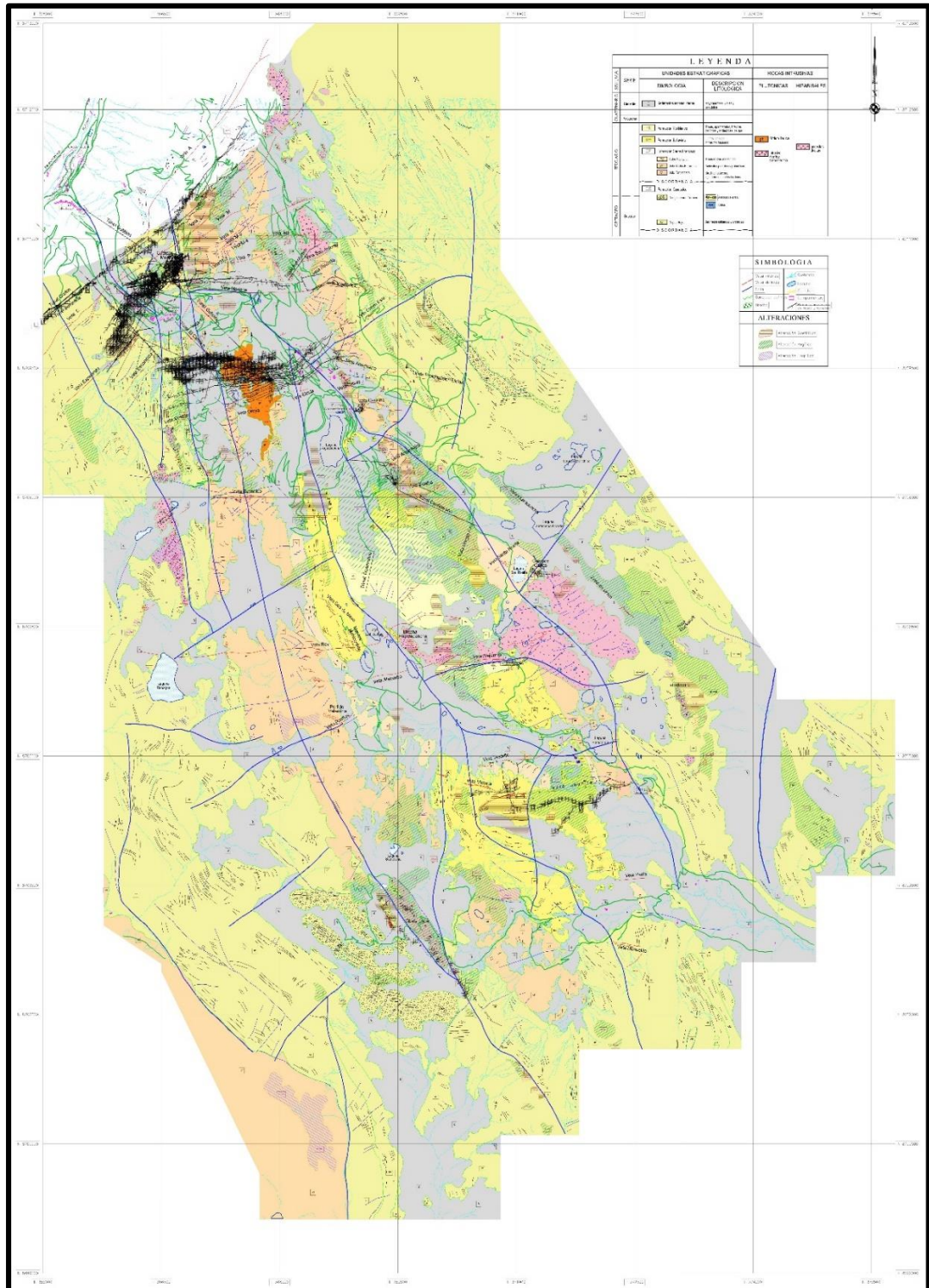


Figura 3: Plano geológico, unidad minera Americana Alpayana. Tomada del Departamento de Geología, Alpayana

3.2.3. Geología económica

En Casapalca se presenta un yacimiento polimetálico cuyas reservas minerales se encuentran en cuerpos y en vetas, con mineralogía simple, los principales minerales son: galena, esfalerita, calcopirita, tetraedrita / freibergita, rodocrosita, pirita, cuarzo y calcita.

En la zona cuerpos, son de 3 tipos:

- ✓ *Stockworks* y disseminaciones adyacentes a las vetas
- ✓ Sulfuros disseminados concordantes en horizontes de conglomerados
- ✓ Vetillas y disseminaciones en areniscas

Los cuerpos mineralizados son yacimientos tipo *skarn*, depósitos de reemplazamiento metasomático, tienen formas irregulares, y están emplazadas en la formación Casapalca. Los cuerpos mineralizados son depósitos formados por relleno de cavidades y por reemplazamiento metasomático, en areniscas y conglomerados de la formación Casapalca, tienen forma irregular. El mayor volumen de cuerpos mineralizados se encuentra en areniscas asociadas a la epidotización y silicificación del miembro Capas Rojas Casapalca de la formación Casapalca; en los horizontes de conglomerados del miembro Carmen, los cuerpos son de menor volumen, relativamente angostos y concordantes con la estratificación. La epidota, mineral calcosilicatado que evidencia la introducción metasomática de Si, Al, Fe y Mg en areniscas y conglomerados calcáreos de la formación Casapalca indican que se trata de un yacimiento tipo *skarn* de Zn. La alteración presenta zoneamiento de epidota a silicificación desde los cuerpos hacia fuera, hasta arenisca rojiza (capas rojas).

3.3. Operación minera

3.3.1. Método de explotación (*Sub level stoping*) – zona Cuerpos

El acondicionamiento de este método contempla galerías de perforación (GP), galería de base o *Undercat* y transporte para la evacuación del mineral y preparación de chimeneas VCR para generar una cara libre.

La perforación se realiza con taladros largos, se utiliza tiros que van entre 15 - 25 m, el transporte y evacuación del mineral se realiza desde la galería *Undercat*, es decir una zanja recolectora que recibe el mineral arrancado que cae por gravedad a este lugar.

La aplicación de este método varía para vetas angostas y cuerpos macizos, las características del macizo rocoso deben ser buenas, poseer paredes, techos firmes y estables.

El macizo rocoso debe ser competente y el ángulo de buzamiento mayor a 60°, habitualmente se aplica en yacimientos verticales, que tengan formas y dimensiones regulares.

3.3.1.1. Carguío del mineral

El mineral arrancado cae por la gravedad y es recolectado por las ventanas abarcando toda la base del caserón.

3.3.1.2. Preparación

Las labores de preparación comprenden los subniveles con sus respectivas comunicaciones con el nivel base, las ventanas receptoras y el primer corte para crear una cara libre, para los taladros negativos.

Este corte se efectúa como si se tratara de explotar una veta estrecha por SLS. En cada subnivel se corre una galería perpendicular al eje longitudinal y a todo el ancho del futuro caserón.

Corresponden, por lo tanto, a los subniveles de perforación en un SLS estrecho, una chimenea central una estas galerías que sirve a su vez de primer corte para este pequeño SLS.

Este trabajo se efectúa simultáneamente con los subniveles de perforación y con el nivel base.

3.3.1.3. Chimenea V. C. R.

Las chimeneas del tipo V. C. R. (*vertical crater retreat*) de sección 2,5 x 2,5 m², son construidas para crear la cara libre de un determinado cuerpo en producción como se muestra en la figura 4.

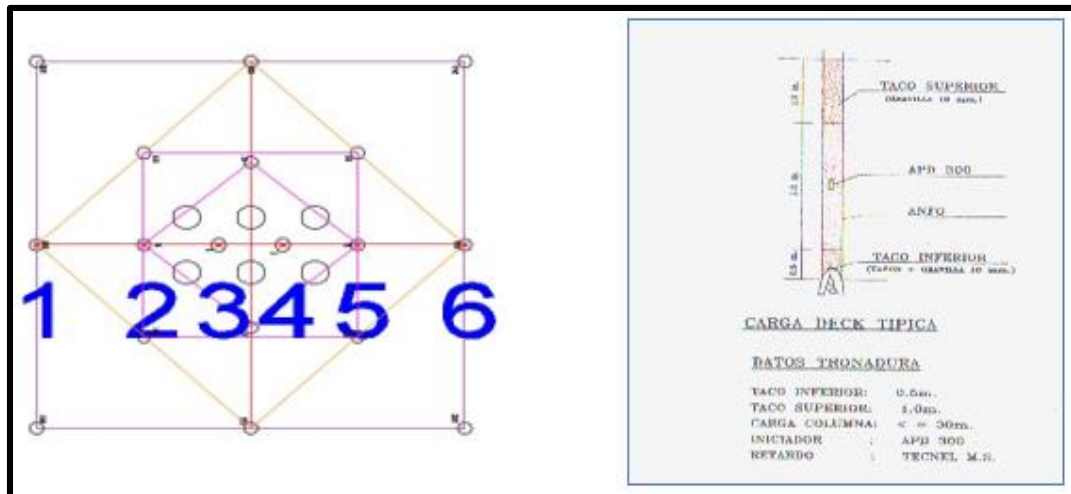


Figura 4. Malla de perforación del V. C. R. Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería, Alpayana

Las características de las operaciones de perforación y voladura utilizadas para construir el V. C. R. son las siguientes:

- ✓ Iniciador
- ✓ Retardo: detonadores no eléctricos Ms
- ✓ Taco superior: 1.0 m

3.3.1.4. Carguío y transporte

Las operaciones de carga y transporte pasan por L.H.D. 6 yardas cúbicas y 4.10 yardas cúbicas. Estos pueden transportar minerales desde las galerías o ventanas hasta los ores pass. A nivel de transporte. Después de este nivel inferior, los minerales se cargan inmediatamente en camiones y se transportan a los ores pass, y luego se extraen con locomotoras de 12 t a tolvas de superficies, y luego transportado por un camión volquete de 30 toneladas hasta plantar.

A) Explosivos y accesorios

- ✓ ANFO
- ✓ Emulsión
- ✓ *Pentacord*

- ✓ Faneles
- ✓ Carmex
- ✓ Emulsión-emulnor 3000

B) Cantidad de explosivos usados según los diagramas

Esta complementa a la voladura primaria, su objetivo es reducir los sobretamaños que se producen después de un disparo, la voladura secundaria representa el 28% de la voladura primaria.

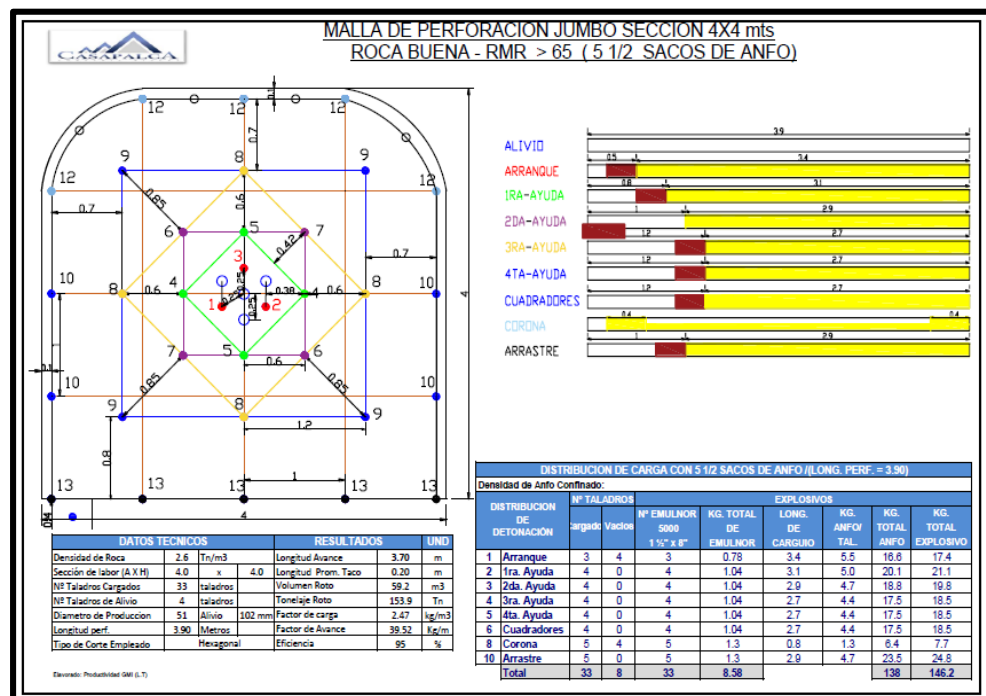


Figura 5. Malla de perforación de sección 4 x 4 m. Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería, Alpayana

3.4. Bases teóricas

3.4.1. Monitoreo microsísmico y su aplicación a la minería

3.4.1.1. Sismicidad inducida

En el marco teórico de un trabajo de investigación, respecto a la sismicidad inducida se dice que:

La sismicidad inducida es una respuesta del macizo rocoso a la minería aplicada, que genera un peligro para los trabajadores, además de poder generar interferencias en el proceso productivo minero. Este problema se ha intensificado con la progresión de la actividad minera a profundidades cada vez mayores (7). Por ejemplo, en Australia, las minas más profundas se encuentran entre los 1000 a 1650 metros de profundidad; en Canadá, aproximadamente, entre 1500 a 2500 metros; y en Sudáfrica, se encuentran las minas más profundas del mundo, alcanzan entre los 3000 y 3800 metros (8).

En la actualidad, ya es posible instalar sistemas de monitoreo sísmico, que consiste en un arreglo de sensores tipo sismógrafos (geófonos y acelerómetros), un sistema de adquisición y procesamiento de datos. El objetivo del monitoreo microsísmico es determinar 3 parámetros que ocurren constantemente en la mina, cuándo ocurrió, dónde ocurrió y qué tan grande fue el evento microsísmico. Estos eventos son causados por la expulsión violenta del macizo rocoso dentro de las labores mineras, que se les denomina estallidos de roca, donde las consecuencias incluyen incidentes y accidentes de los trabajadores, daños al equipo y pérdidas de la producción.

El análisis de la sismicidad inducida proviene del uso de estos parámetros que fueron utilizados para lograr entender el comportamiento de la masa rocosa durante las excavaciones mineras.

Algunas investigaciones usan los datos de sismicidad inducida para el análisis que permita cuantificar y mejorar de manera continua el peligro sísmico. Autores como; Hudyma (2003) y Hudyma & Potvin (2009) dicen algunas: estimar el valor de "b" de la ley de Gutenberg - Richter (9) como se muestra en la figura 6, según el gráfico tiempo -

magnitud que es una herramienta donde indica el mecanismo de los eventos, relacionado a la variación en el campo de esfuerzo, producto por la voladura o si son independientes, la proporción de la energía de las ondas P y S, se relacionan al mecanismo de ruptura de eventos.

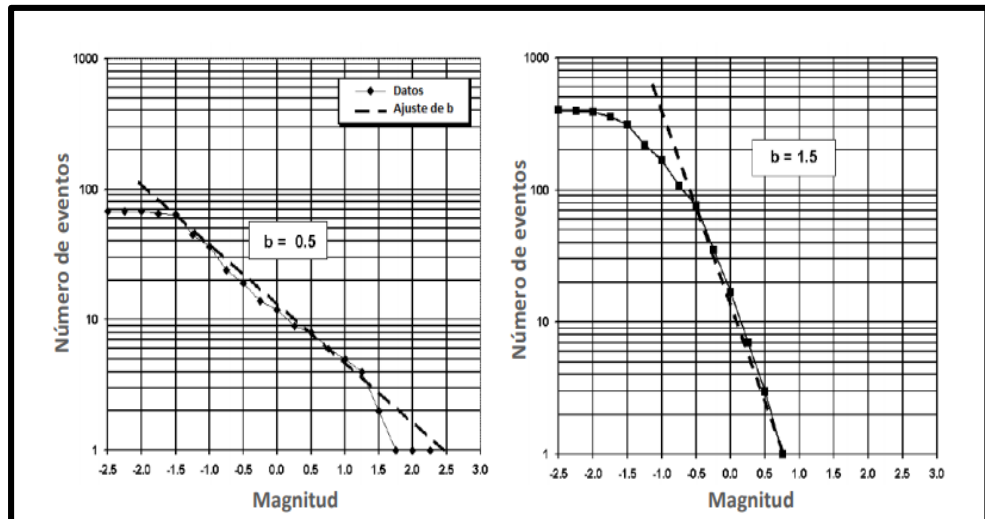


Figura 6. Valores de “b” para 2 conjuntos de datos diferentes. Tomada de la ley de Gutenberg & Richter, 1941

La imagen de la izquierda muestra un mayor número de eventos de mayor magnitud. Por lo tanto, un calor b menor indicará un mayor riesgo de un evento de mayor magnitud, en lugar de un valor b mayor, en cuyo caso esta probabilidad se reducirá.

El comportamiento en el tiempo de la sismicidad inducida según Vallejos & McKinnon, luego que ocurrió el evento microsísmico resaltante. En este evento se concluye que decaen los números de eventos en el tiempo que es descrito por la ley de Omori (10), donde se refiere a la tasa de ocurrencia de las réplicas de un sismo en función al tiempo que transcurrió luego que pasara el primer evento, como se observa en la figura 7.

La sismicidad inducida permite determinar el punto de máxima curvatura (TMC), donde corresponde al tiempo de la tasa de eventos

microsísmicos que comienzan a disminuir y que son utilizados como un valor preliminar de entrada. En este análisis no se considera la magnitud de los eventos, únicamente su frecuencia en el tiempo.

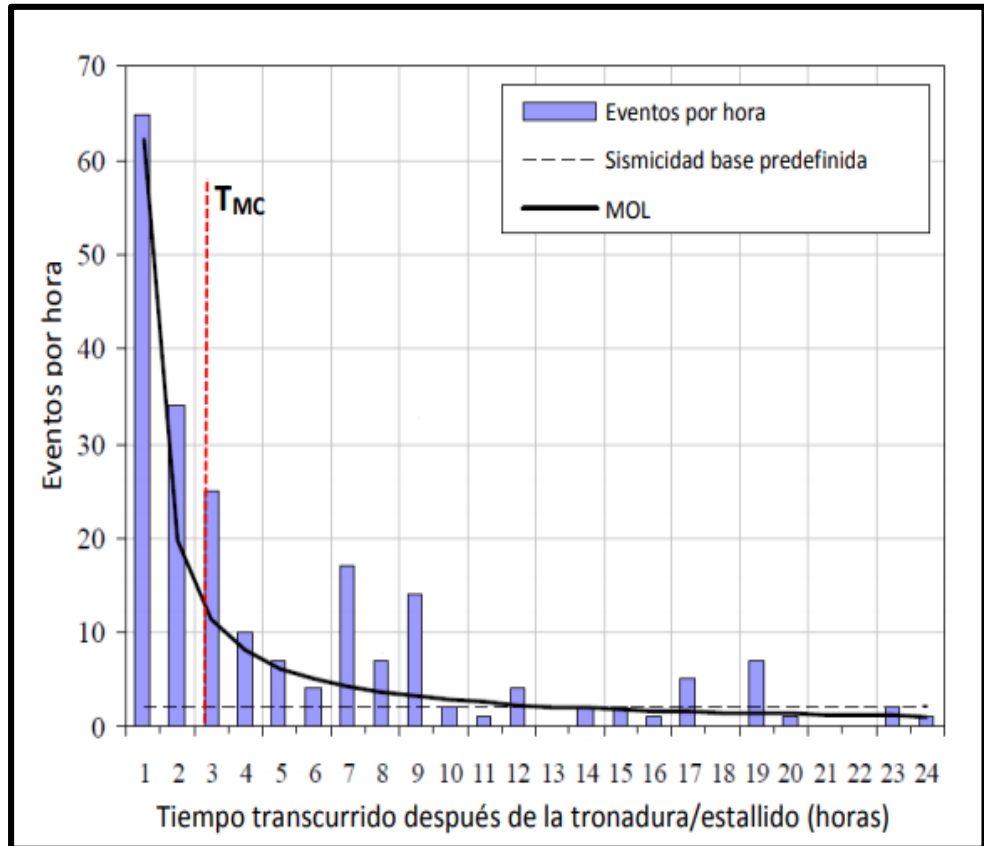


Figura 7. Frecuencia de eventos por hora de la mina "Kidd Creek". Tomada del valor TMC, Vallejos & McKinnon

Después del evento de magnitud Nuttli, la frecuencia del evento por hora (fase Lg de magnitud corporal, Mb) en la mina Kidd Creek, $M_n = 1.6$; también se conoce como magnitud regional. La curva negra muestra el ajuste del método de modificación de Omori (MOK). La línea negra corresponde al nivel básico de actividad sísmica antes de este evento de magnitud 1.6, mientras la línea entrecortada roja indica el valor de TMC.

Cabe resaltar que en estas investigaciones mencionadas no se efectúa ningún tipo de evaluación del desempeño de los indicadores utilizados (11).

3.4.1.2. Vibraciones

La vibración es un fenómeno de transmisión de energía, que se refleja en la propagación del movimiento de las ondas a través de cualquier medio. El explosivo de contenido en un taladro genera de manera casi inmediata a alta temperatura (3500 °K) y alta presión (150 000 atm) para producir gran cantidad de gas. La aplicación instantánea de estas altísimas presiones sobre la pared del agujero simula un impacto o golpe brusco, resultando en una deformación axial y tangencial de cada punto del bloque en diferentes direcciones, provocando la rotura del bloque en sus inmediaciones. Como era de esperar, los explosivos funcionan con cierta eficiencia, lo que demuestra que no toda la energía explosiva se utiliza para provocar la fragmentación, si no que una parte se libera al medio ambiente propagándose hacia la masa rocosa, la capa freática y el aire; desplazándose a diferentes velocidades. La amplitud del movimiento ondulatorio se reduce a medida que dicho movimiento se aleja del punto principal de detonación (12).

3.4.1.3. Tipos de onda

Con respecto a las ondas que generan las vibraciones por efecto de la voladura busca ser explicado por algunas ecuaciones de ondas elásticas, por ende, aunque a la fecha es el modelo reducido que mejor explica el análisis de este fenómeno, según los cálculos no son totalmente confiables debido a algunos problemas como por ejemplo la atenuación, la dispersión, la superposición y el cambio de longitud de la onda estos suelen manifestarse. Teóricamente, se puede separar en 2 grupos, los tipos de ondas elásticas y ondas internas, que se expanden por el interior del macizo rocoso (6). Dentro

de esta agrupación se encuentra las ondas longitudinales, ondas de compresión u ondas principales (P), dichas ondas provocan la vibración de las partículas en la misma dirección de la propagación de la onda; y las ondas transversales, de cizalladura o secundarias S, caracterizadas por provocar la vibración de partículas en una dirección transversal a la dirección de la expansión de la onda. Dentro de esta agrupación están las ondas Rayleigh (R), que origina vibraciones elípticas en el plano donde se expande y tienen como efecto la compresión, la dilatación y el cizallamiento, las ondas Love (L), su velocidad es similar a las ondas (R) y de la misma manera originan vibraciones elípticas. Cada una de estas ondas tienen una forma diferente, las ondas primarias (P) se expanden por tracciones y compresiones continuas del medio, en el momento que alcanzan una superficie despejada o cambian del medio donde se encontraba, influidas por esta discontinuidad, sufren el fenómeno de reflexión y refracción originándose las ondas secundarias (S). Por ejemplo, es bastante común el cambio de medio, sobre todo en el tema de la voladura en la minería, sería el de pasar de un estrato geológico a otro muy diferente. Estas ondas primarias (P) y secundarias (S) se expanden en todas las direcciones. Estas interfaces del terreno la onda de volumen da lugar a las ondas de superficiales, que se expanden en ese límite. Por esta razón, las ondas superficiales tienen 2 orígenes, detonación del explosivo y el rebote de las ondas internas al estar sobre la superficie. Una de las características principales de las ondas superficiales es poseer frecuencias más bajas que las de volumen, siendo la onda (R) la más común y con mayor energía transportada, por lo que representa un mayor peligro para las estructuras (12).

3.5. Definición de términos básicos

- ✓ **Geomecánica:** implica el estudio geológico, a fin de controlar la estabilidad de la roca y el comportamiento del suelo y roca, permitiendo evitar y disminuir los incidentes y accidentes.

- ✓ **Macizo Rocoso:** son conjuntos de discontinuidades, con características heterogéneas, comportamiento discontinuo y generalmente anisotrópicos.

- ✓ **Geófonos:** son sensores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en señales eléctricas. Casi todos los geófonos empleados para la prospección sísmica en la superficie terrestre son del tipo electromagnético.

- ✓ **Sismicidad inducida:** se refiere a los eventos sísmicos que resultan de la actividad humana.

- ✓ **Evento microsísmico:** son causados cuando las actividades humanas como minería o la producción de petróleo y gas cambian la distribución de tensiones o el volumen de una masa rocosa. Cuando la roca intenta redistribuir las tensiones dentro de la masa rocosa, esta puede deslizarse o cortarse junto con zonas preexistentes de debilidades como fallas o redes de fracturas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

5.1. Método, tipo y nivel de investigación

5.1.1. Tipo de la investigación

La presente investigación tiene un propósito aplicativo, ya que se analiza el monitoreo microsísmico, con el cual los ingenieros podrán ajustar el diseño en cada una de las zonas de influencia según su comportamiento del macizo rocoso, de esa forma lograr un control del sostenimiento adecuado.

5.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación consiste en un estudio de alcance descriptivo, puesto que el propósito del presente proyecto de investigación es especificar la influencia de las vibraciones, los indicadores y tipos de onda del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso.

5.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es del tipo no experimental, el tipo de diseño que se utilizó es el diseño longitudinal, por la esencia de la investigación, debido a que este tipo de investigación se orienta a explicar fenómenos, situaciones y eventos detallando cómo son y en el modo en que se manifiestan para luego analizarlos.

5.3. Población y muestra

5.3.1. Población

La población de esta investigación corresponde a la zona Cuerpos, Alpayana S. A.

5.3.2. Muestra

Probabilística, las muestras a las cuales se hizo seguimiento son labores de forma aleatoria en la zona baja Cuerpos, Alpayana S. A.

5.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

5.4.1. Técnicas

- ✓ Recopilación de datos de campo
- ✓ Observación e interpretación
- ✓ Análisis del monitoreo microsísmico
- ✓ Estación de registro de datos
- ✓ Revisión bibliográfica

5.4.2. Instrumentos

- ✓ Geófono uniaxial
- ✓ Geófono triaxial
- ✓ Paladines
- ✓ Brújula
- ✓ Software Seis Vis
- ✓ Laptop

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1. Análisis y tratamiento de la información

El estudio realizado puede manifestar cómo funciona un sistema microsísmico y el entendimiento del monitoreo microsísmico.

7.1.1. Funcionamiento del sistema microsísmico

El sistema microsísmico está hecho de componentes únicos, tales como:

7.1.1.1. Sensores

Existen 2 tipos:

- ✓ Geófonos triaxiales
- ✓ Geófonos uniaxiales

7.1.1.2. Gabinete

Aloja un equipo esencial de adquisición y comunicaciones, incorpora el Paladín que sirve como pieza fundamental del sistema microsísmico.

7.1.1.3. Comunicación Ethernet

Fibra para transferencia de datos y de ondas.

7.1.1.4. Ordenador de procesamiento

Multinúcleo y procesador rápido, con una potente tarjeta de video.

Los eventos microsísmicos liberan energía sísmica, y estas son detectadas por los sensores sísmicos incluyendo geófonos. Los cables de cobre transmiten señales analógicas hacia el grabador sísmico digital Paladín dentro de una caja de conexiones.

Cada Paladín es un registrador sísmico digital habilitado en red, equipado con su propia dirección IP para ser identificado fácilmente, monitoreo remoto y calibración. Una vez que Paladín registra y digitaliza la señal, se trasmite a la computadora de adquisición a través de comunicación Ethernet u otras redes (es decir, fibra óptica, radio). En el caso de una mina subterránea, la computadora de adquisición generalmente se instala en una oficina en la superficie. El procesamiento puede incluir el reconocimiento de eventos, la evaluación de ubicación y la magnitud, y el uso de módulos de pantalla interactiva 3D habilitados para ver la visualización de los parámetros de la fuente de una vista de 3D de la mina.

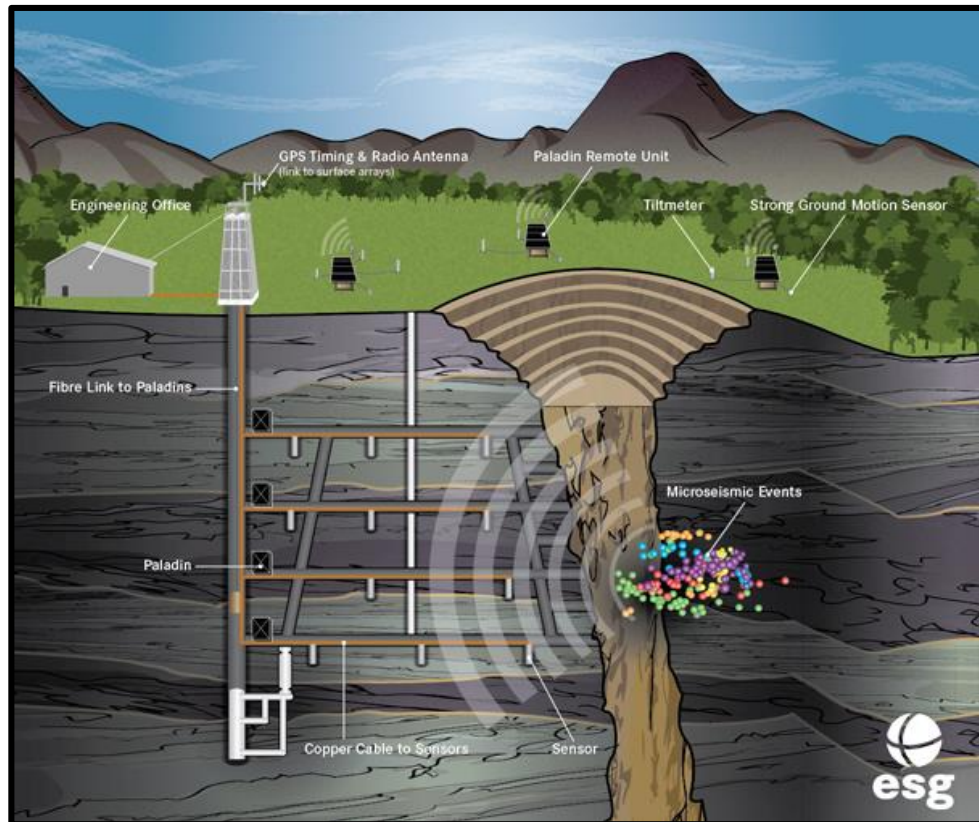


Figura 8. Sistema microsísmico. Tomada de ESG Solutions

7.1.2. Monitoreo microsísmico

Analiza los sismos de pequeña escala que ocurren bajo tierra debido a actividades humanas o la minería. La ciencia microsísmica se originó a partir de los terremotos ($M_w < 0$). Estos eventos son demasiado bajos por lo que no se puede sentir en la superficie, pero estos eventos son detectados por los geófonos. A diferencia de las técnicas 3D tradicionales que miden los reflejos acústicos de las fuentes de energía, el monitoreo es un método pasivo, significando que se puede escuchar la liberación de energía que se ha producido bajo tierra. La sismicidad pasiva se denomina “Actividad Sísmica Inducida” (13).

7.1.2.1. Evento microsísmico

Los grandes eventos son causados por la liberación de energía debido a la rotura de roca en una falla. Por el contrario, en la minería cambian constantemente la distribución de esfuerzos y el volumen de la masa rocosa y se producirán eventos microsísmicos. Cuando la

roca intenta redistribuir la tensión en el cuerpo, se deslizará o se cortará junto con áreas débiles preexistentes (como fallas o sistemas de fracturamientos).

7.1.2.2. ¿Qué muestra el monitoreo microsísmico?

El monitoreo tiene como objetivo responder 3 preguntas básicas:

- ✓ ¿Cuándo ocurrió?
- ✓ ¿Dónde ocurrió?
- ✓ ¿De qué magnitud fue?

El monitoreo microsísmico determina la magnitud del evento y ubicación. Cuando se observa actividad microsísmica a lo largo de los años, los encargados del monitoreo pueden comenzar a ver patrones de actividad sísmica relacionados con la actividad de producción (13).

El análisis microsísmico avanzado del monitoreo microsísmico revela información más detallada en cuanto a la microsismicidad en la zona y cómo responde a la roca, aumentando así la eficiencia y optimizando en el rendimiento. Esta pequeña falla hace que se libere energía en forma de ondas sísmicas, lo que se denomina evento microsísmico.

7.1.2.3. Magnitud momento

Los resultados más frecuentes del monitoreo son la localización del evento y su magnitud.

La “magnitud de Richter”, se desarrolló en 1935 para explicar la intensidad de eventos de tamaño mediano (entre 3 y 7) en California. La escala Richter utiliza la amplitud de las ondas registradas por el sismómetro a una distancia conocida de la fuente para calcular la intensidad del evento. Desafortunadamente, la escala

Richter y algunas otras escalas de magnitud que se han propuesto tienen algunas desventajas. La magnitud máxima de la escala Richter es de 7 o menos, lo cual significa que cualquier evento importante siempre tendrá una magnitud de 7 o menor. Adicionando, la escala Richter solo describe la amplitud máxima y no da ninguna información de la energía totalmente liberada por el evento (9).

Hanks y Kanamori introdujeron la magnitud del momento (M_w) en 1979 y desde esa fecha se ha convertido en el parámetro más común para describir las dimensiones de las microestructuras. El tamaño del momento es una medida del tamaño del evento dependiendo de la energía que libera, la magnitud momento se refiere a la cantidad de movimientos de cada roca (es decir, a la distancia de la fractura o falla) y al área de la superficie de la falla o fractura. Dado que el momento en que la amplitud puede describir las propiedades físicas del evento, el valor calculado se puede comparar fácilmente con los valores de amplitud de otros eventos. El tamaño de la magnitud momento es una escala más precisa para describir el tamaño del evento.

Dado que la escala de magnitud es logarítmica, un aumento en una escala de magnitud por una unidad de magnitud equivale al aumento de 10 veces la amplitud registrada por el geófono y un aumento de apropiadamente 30 veces la energía (14).

7.1.2.4. Ubicación de eventos microsísmicos

Cuando ocurre un evento microsísmico debido a actividades industriales como la minería, se puede decir que ha ocurrido un evento microsísmico. La ubicación exacta donde ocurren las nuevas grietas de la roca o desencadenan las grietas existentes se denomina ubicación o fuente del evento.

El tiempo requerido para la propagación de la onda P y la onda S desde la fuente del evento hasta el sensor depende de la velocidad y la distancia del medio a través del cual se propagan ($t=d/v$). Utilizando registros de sonido, tiempos de llegada de explosiones, se estima la velocidad con la que la energía liberada por un evento emite a través de diferentes capas de roca y crea un modelo de velocidad para el área.

El lugar del evento es determinado por:

- ✓ La distancia entre el evento y el sensor es determinada por las ondas P y S.
- ✓ La orientación es determinada a partir del análisis de hodogramas.

7.1.2.4.1. Distancia

En un grupo de sensores, se conoce el espacio entre los sensores. La diferencia de tiempo entre la onda P y S que llega a cada sensor en la matriz se denomina tiempo de espera de distancia. El tiempo de espera de distancia proporciona información sobre la distancia de eventos de la matriz de sensores. Los geofísicos también pueden usar el hecho de que las ondas P (primarias) viajan más rápido que las ondas S (secundarias) para ayudar a determinar la ubicación de los eventos. Un sensor lejos de la fuente sísmica tendrá una brecha mayor entre la llegada de las ondas P y S que un sensor más cercano a la fuente sísmica.

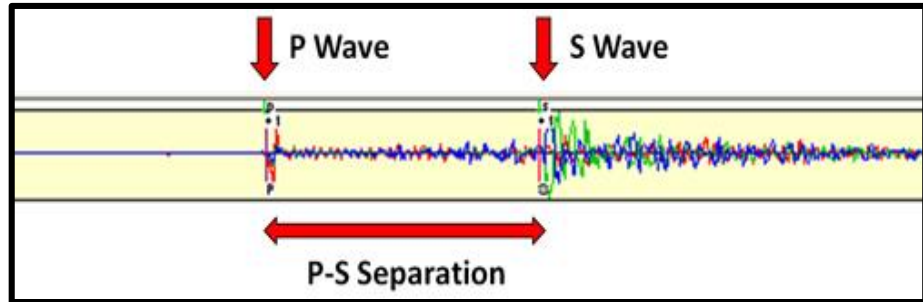


Figura 9. Distancia entre la onda P y S. Tomada de ESG Solutions

7.1.2.4.2. Orientación

Desde esta perspectiva, calcular la distancia a la ubicación del evento le permite definir el radio de la esfera donde se encuentra la fuente. Para perfeccionar la ubicación de este evento, es necesario su orientación azimut e inmersión. La información de dirección se puede sacar de un análisis de hodograma de señal.

7.1.2.4.3. Ubicación de eventos

La ubicación de eventos se realiza utilizando un potente y los geofísicos, geomecánicos, están capacitados para acoplar y determinar ubicaciones a lo largo del sismograma que representa la llegada de las ondas P y S.

Para calcular la ubicación de un evento es importante:

- ✓ Realizar el monitoreo del lugar con un número adecuado de geófonos y tener una excelente cobertura del área.
- ✓ Conocer la ubicación y dirección exacta de todos los geófonos de monitoreo.
- ✓ Ratificar que todos los eventos estén sincronizados con el tiempo real.
- ✓ Tener una matriz de velocidad exacta.

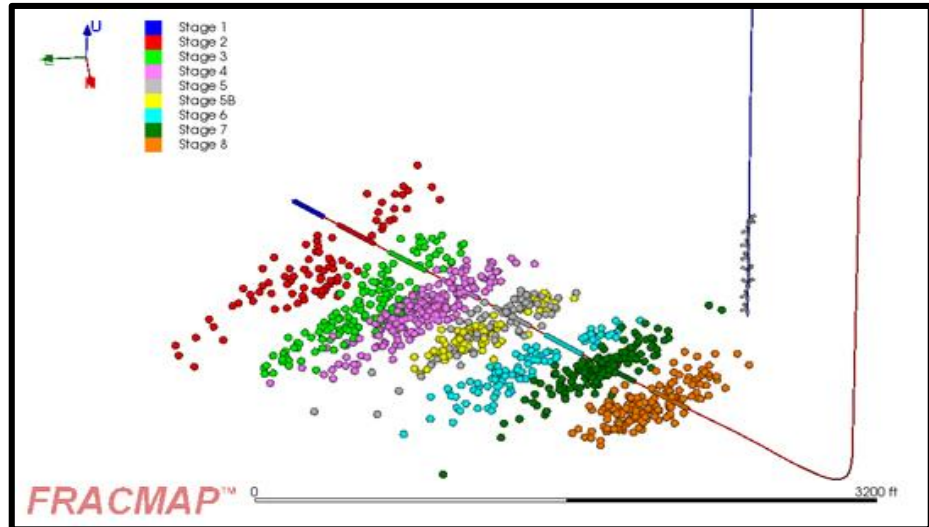


Figura 10. Sismograma de eventos microsísmicos. Tomada de FRACMAP, mapa de fracturación hidráulica

7.1.3. Forma de las ondas

Cuando un evento ocurre en un lugar profundo, la energía se liberará en las rocas circundantes y se extenderá hacia afuera en forma de ondas sísmicas. Estas ondas sísmicas se mueven causando deformaciones elásticas, es decir, pueden aplicar una fuerza para extender o deformar el medio a través del cual pasan (es decir, la roca), pero una vez que la fuerza, el medio vuelve a su estado original, se eliminó. Las ondas imponen el esfuerzo longitudinal (es decir, compresión o expansión) y el esfuerzo de corte (fuerza aplicada paralela a la superficie). Esta tensión provoca deformaciones elásticas y el material se deforma temporalmente. Cuando las ondas pasen sobre un cierto punto de la tierra, la tensión se liberará y todo volverá a la normalidad.

El tipo de esfuerzo y deformación causado al suelo depende del tipo de propagación de la onda sísmica. Las ondas que viajan solo a través de la tierra se llaman ondas internas y su comportamiento es diferente de las ondas que viajan a la superficie (como la superficie del agua o las ondas destructivas de un terremoto importante). Las ondas internas son el tipo de ondas que son de interés para los geomecánicos o geofísicos.

Hay 2 tipos de ondas internas:

- ✓ **Ondas P:** la onda principal P, es una onda sísmica que se mueve rápidamente. Las ondas P pueden desplazarse a través de rocas sólidas y líquidos, como el agua o las capas que fluyen en la tierra. La onda P empuja y lanza las rocas que se mueven por el medio. Las partículas del medio tienen vibraciones paralelas a la dirección de la onda.

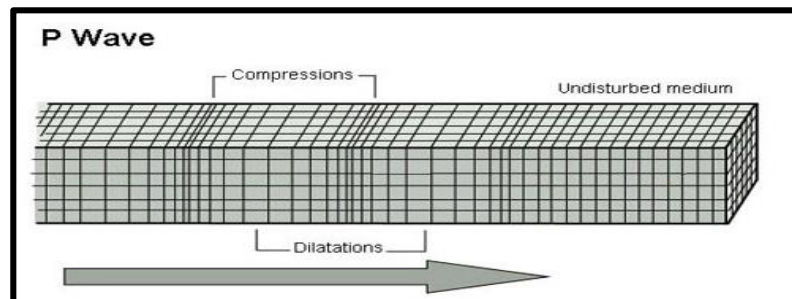


Figura 11. Desplazamiento de la onda primaria. Tomada de Geologiaweb, ondas sísmicas

- ✓ **Ondas S:** la onda secundaria S se mueve mucho más lento que las ondas P y solo pueden moverse a través de rocas sólidas. La onda S mueve la roca de arriba abajo o de lado a lado. Las partículas del medio tienen vibraciones ortogonales en la dirección de las ondas.

Cuanto mayor sea el intervalo entre la llegada de la onda P (primaria) y la onda S (secundaria), mayor será la distancia entre el geófono y el origen de eventos.

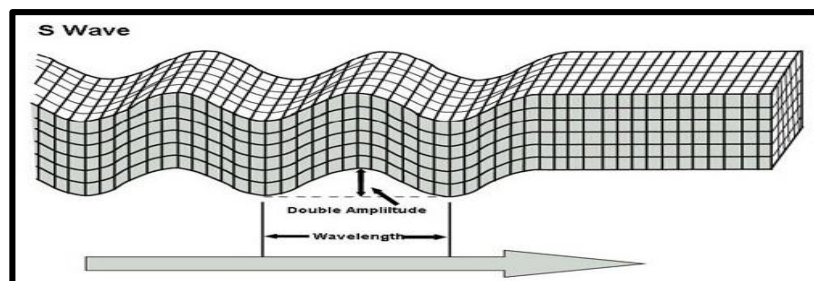


Figura 12. Desplazamiento de la onda secundaria. Tomada de Geologiaweb, ondas sísmicas

7.1.3.1. Sobretiempo por distancia

El tiempo de espera de distancia es un término que describe el efecto de la distancia entre el origen del evento y el receptor en el momento de la llegada del registro. La hora de llegada de las ondas suele ser detectada por primera vez por el geófono más cercano al evento. El resto de los receptores tendrán un retardo, que representa la distancia adicional entre el origen del evento y el receptor más lejano.

En el siguiente ejemplo, la hora de llegada es registrada en cada sensor individual que son graficados con respecto al tiempo. La fuente se produce más cerca del sensor central y hay un pequeño retraso en el momento de la llegada, que se observa en los sensores más alejados de la fuente. También preste atención a cómo detectar claramente la llegada de la onda P antes de la llegada de la onda S.

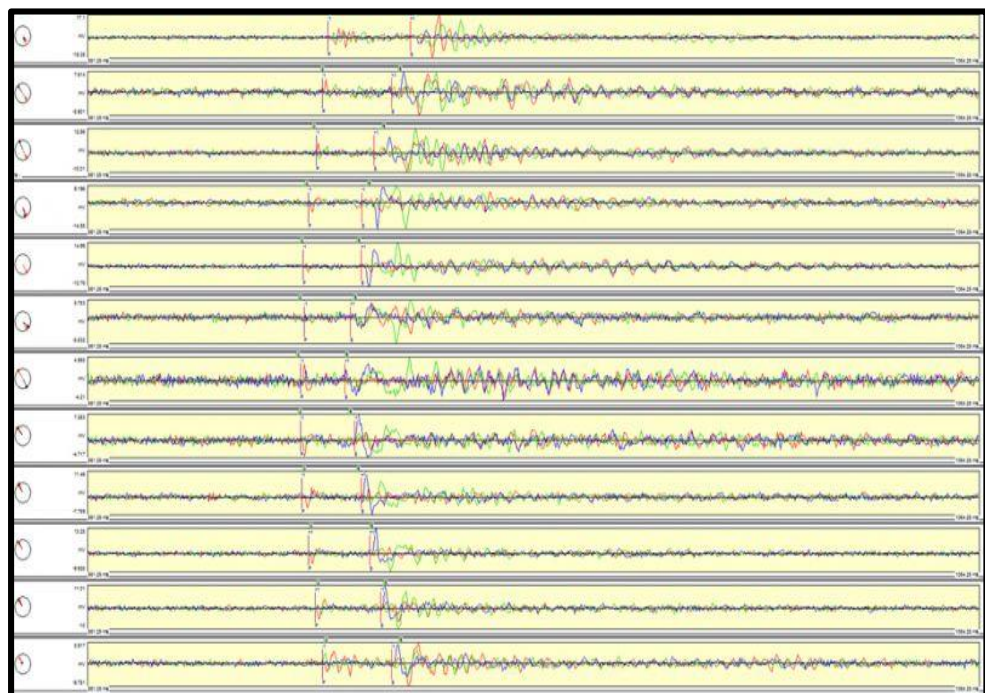


Figura 13. Frecuencia de las ondas de sobretiempo por distancia. Tomada del software Wave Vis

7.1.3.2. Detención de eventos y desencadenantes

Las ondas P y S son causadas por el evento microsísmico que llegan a un receptor cercano, la señal grabada registra un aumento en la amplitud del nivel de fondo, esto depende de la condición de la señal, es complicado ver los picos de amplitud de la marca asociada con la llegada de las ondas P (primaria) y S (secundaria). Cuando se evidencia un evento microsísmico verdadero, se menciona que está desencadenando.

El software utiliza ciertos parámetros para detectar señales de eventos reales y distinguirlas del ruido. Alpayana utiliza 2 parámetros para manifestar eventos microsísmicos: radio de desencadenamiento STA/LTA y umbral de desencadenamiento. Dichos parámetros muestran un excelente rendimiento y, cuando se usan con filtros para eliminar el ruido, pueden garantizar que se capture el máximo número de eventos.

7.1.3.2.1. Umbral de desencadenamiento

El umbral utiliza límites definidos para detectar eventos usando un valor límite descrito por el usuario. La amplitud de la señal de cada canal de la matriz del geófono se comparará con el límite y el canal que exceda el límite se identificará como un evento potencial.

El umbral se puede configurar para responder las condiciones de ruido cambiantes. Si el nivel de ruido fluctúa, el umbral aún capturaré el evento en lugar de ser activado falsamente por la señal de ruido.

7.1.3.2.2. Desencadenamiento STA/LTA

El parámetro de radio STA (*Short Term Average*) /LTA (*Long Term Average*) compara la energía promedio a corto

plazo con la energía promedio a largo plazo. Si el valor promedio capturado en el STA es mayor que el nivel de fondo en el LTA, esto hará que el radio STA/LTA sea mayor que uno. Cuando el radio entre 2 valores promedios es superior a un determinado límite, se activará un canal (13).

Como se evidencia en la figura 14 C, el evento se reconoce cuando la señal de amplitud relacionada con la onda P se captura en el STA, en tanto que el LTA se mantiene bajo la influencia del nivel de fondo.

El beneficio del método STA/LTA es que, si la amplitud no aumenta significativamente, no se desencadenará una señal de mayor amplitud, como se evidencia en la figura 14 D; en este caso, los valores STA y LTA serán muy altos, lo que da como resultado que el radio STA/LTA sea cercano a uno.

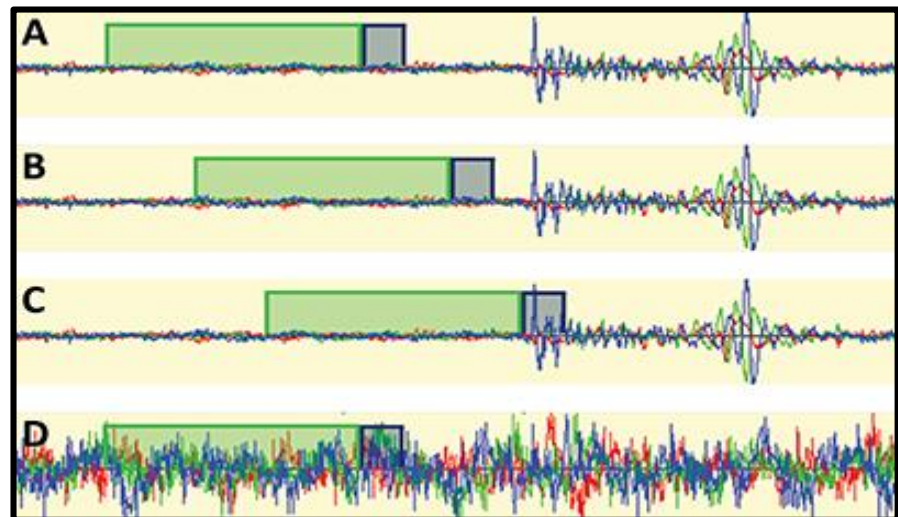


Figura 14. Umbral de desencadenamiento (A-C) con señales de ruido (D). Tomada del software Wave Vis

7.1.4. Modelo de velocidad

Un modelo significativo del análisis microsísmico es crear un modelo de velocidad preciso para la zona monitoreada. Con el tiempo, las rocas sedimentarias se forman por la sedimentación. Las formaciones rocosas

están formadas por diferentes materiales o condiciones, naturalmente cada formación rocosa tiene distintas propiedades. El modelo de velocidad muestra las velocidades esperadas de las formaciones rocosas y las ondas sísmicas P y S, incluidos los efectos anisotrópicos que pasan a través de cada capa en el área de monitoreo.

Al considerar la localización de un evento, es importante construir y validar el modelo de velocidad correctamente. El reporte como el tiempo de llegada de la onda P (primaria) y la onda S (secundaria) – distancia, y el análisis del hodograma, se utilizan junto con el modelo de velocidad para ubicar con precisión el evento. La desviación del modelo de velocidad real y supuestos conducirán a errores de posicionamiento de eventos sísmicos. Se pueden utilizar varias técnicas de inversión para corregir el modelo de velocidad y la ubicación del evento. Esto permite que el procesador considere cambios de velocidad, como falta de homogeneidad, efectos de la trayectoria en la posición de los pozos de observación y procesamiento.

7.1.4.1. Anisotropía sísmica

La anisotropía se determina como una propiedad dependiente de la dirección, en la geofísica la anisotropía sísmica es un método reconocido, que se refiere al cambio de velocidad de onda en la dirección de propagación. La onda S ingresa al medio anisotrópico, se divide en componentes horizontales y verticales, por lo que los componentes horizontal y vertical de la onda abandonan el material en diferentes puntos en el tiempo.

El fenómeno llamado “Separación de ondas S” o “Separación de ondas de corte” se observa especialmente en yacimientos anisotrópicos. Donde la onda transversal pasa a través de una zona anisotrópica, se divide en 2 ondas ortogonales, una de las cuales viaja más rápido que la otra. La onda S es la que llega primero al geófono. La figura 15 muestra la segmentación de ondas transversales, en esta

señal la onda S es giratoria y muestra 2 llegadas claras (verdes y azules) (13).

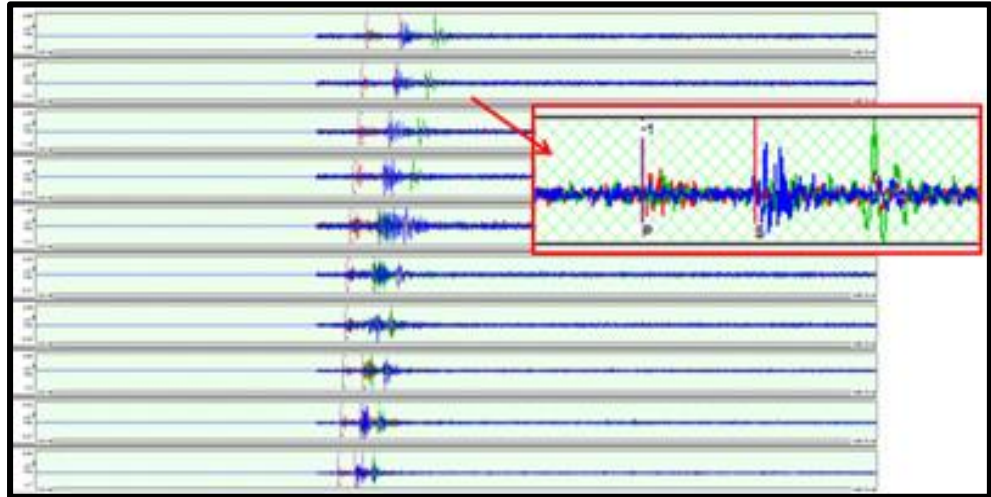


Figura 15: Segmentación de ondas transversales. Tomada del software Wave Vis

7.1.4.2. Enfoque a la anisotropía

Se ha desarrollado una diversidad de parámetros para acercarse a los efectos de la anisotropía sísmica en el mapeo del monitoreo microsísmico.

7.1.4.2.1. Red de geófonos

Al incorporar el procesamiento de adquisición de datos del monitoreo microsísmico o en el análisis de viabilidad de campo antes de la adquisición de datos, se puede recomendar el mejor posicionamiento y configuración de los geófonos para minimizar el efecto de la anisotropía sísmica.

7.1.4.2.2. Localización de la fuente anisotrópica

Si se tiene una información minuciosa sobre la velocidad de la roca o los parámetros de anisotropía, esta información se puede incorporar directamente al algoritmo de localización de la fuente.

7.1.4.2.3. Optimización de enjambre de partículas

Por lo general, no es posible obtener información minuciosa sobre la tasa de anisotropía. Puesto que, se utilizan las rutinas de optimización de la cantidad de partículas PSO (*Particle Swarm Optimization*) para acomodar el modelo de velocidad y mejorar la localización del evento microsísmico.

El algoritmo PSO mejora la localización al alterar el modelo de velocidad, generando así la confianza en los resultados. Los modelos de velocidad son calibrados por el algoritmo PSO, aplicando eventos de control con localizaciones conocidas tales como las perforaciones.

7.2. Análisis de la solución

El análisis de datos del monitoreo microsísmico manifiesta los rangos del momento de magnitud, para determinar los controles aplicables de los eventos microsísmicos.

7.2.1. Sismicidad inducida y rangos del momento de magnitud

La sismicidad inducida son eventos microsísmicos que resultan de la actividad humana, también está adjunto a la fractura o al deslizamiento de la roca, que es afectado por la minería. En el Perú no se tiene normado cuándo una mina debe ser considerada mina profunda, los altos esfuerzos de roca por el minado profundo y los estallidos en las labores mineras que operan son un problema, un volumen alto de extracción donde se involucra la energía liberada en roca.

7.2.2. Parámetros de monitoreo sísmico

7.2.2.1. Magnitud

El método más común utilizado para medir el tamaño de un evento microsísmico es la magnitud. Sin este parámetro de evento, es imposible evaluar el riesgo sísmico y el diseño del soporte. De igual

forma, existen escalas como la magnitud del momento (M_w), magnitud del local (M_l) y la magnitud Nuttli (M_n) (15).

7.2.2.1.1. Magnitud local (M_l)

Se presenta en la medida de mayor extensión de onda señalado por el geófono, tomando una distancia aproximada de 100 kilómetros desde el foco donde ocurrió el evento (epicentro). La amplitud incrementa en una unidad y la amplitud aumenta 10 veces.

7.2.2.1.2. Magnitud Nuttli (M_n)

Utilizado principalmente en Canadá. La amplitud es una medida del movimiento más alto registrado en una distancia de frecuencia de 1 – 10 Hz. Este tipo de magnitud se puede convertir y relacionar con otras escalas.

7.2.2.1.3. Magnitud momento (M_w)

Recientemente ha sido desarrollado para resolver problemas de otras escalas, ya que puede registrar, movimientos a gran escala y está relacionado con momentos sísmicos, que son métodos que representan la energía radiante. En consecuencia, para representar correctamente el evento microsísmico, es indispensable considerar otros métodos, como la caída estática. La correlación entre la magnitud del momento y el momento sísmico se muestra en la siguiente fórmula (15).

$$M_w = \frac{2}{3} \log(M_0) - 10.7$$

7.2.2.2. Energía liberada

La energía liberada por un evento sísmico y detectada por un geófono de tres ejes. Puede expresarse de la siguiente manera (16).

7.2.2.3. Velocidad pico partícula (VPP)

La vibración de la velocidad máxima de las partículas se encuentra en la onda S. La medición del sensor de tres ejes muestra que la velocidad máxima de las partículas en la onda P es el 45% de la velocidad máxima de las partículas en la onda S. los parámetros del monitoreo sísmico dependen de la magnitud momento y la distancia al evento de origen (16).

De manera similar, en la figura 16, la relación entre la velocidad máxima de las partículas y la energía que libera se traza de distintos espesores de roca, que serán movidas o expulsadas en la dirección de excavación por el evento sísmico.

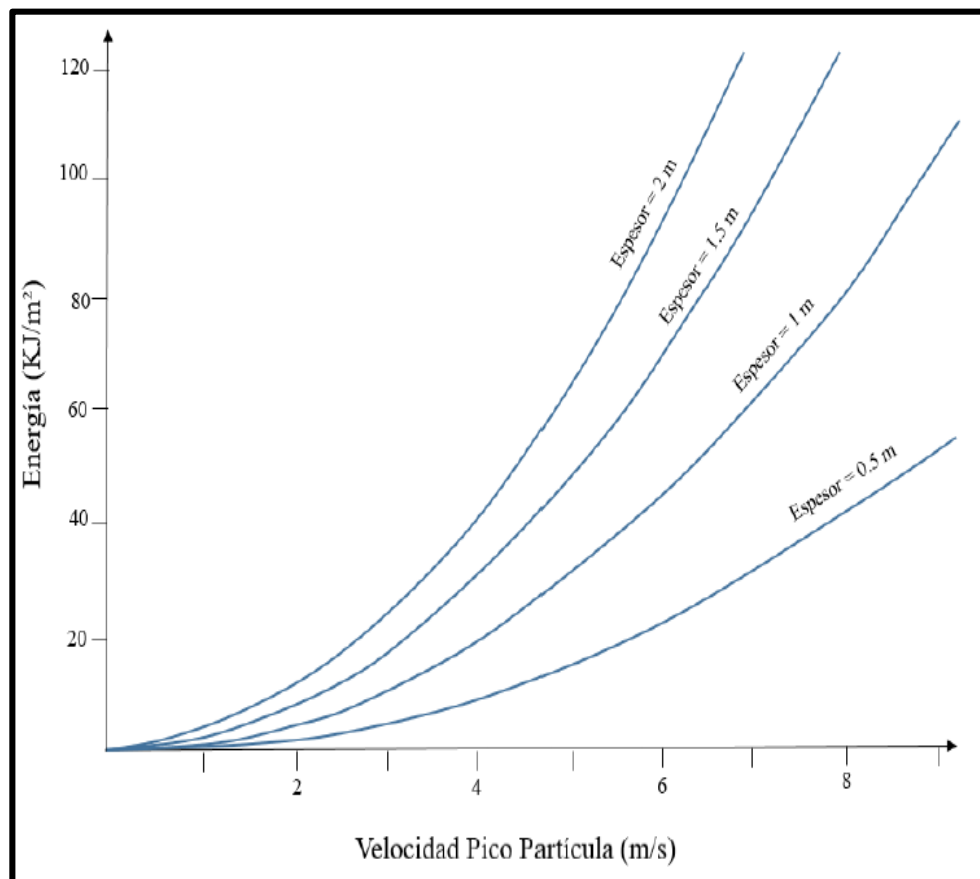


Figura 16: Correlación entre la energía sísmica liberada y la velocidad pico partícula. Tomada del Software Seis Vis, Ortlepp

Para este caso, la energía que el sistema de soporte necesita absorber será equivalente a la magnitud momento esperado e inversamente equivalente a la distancia. Por esta razón, se aprecia razonablemente la localización de los proyectos afectados por estos eventos, como el trabajo de producción y desarrollo; así como la localización y el tamaño del evento microsísmico.

Tabla 2. Valores de correlación entre la energía liberada y la VPP

Mecanismo de origen	Roca sin proyección	Roca con proyección					
		Roca con proyección		Proyección de roca (transferencia de energía sísmica)			
Energía sísmica liberada (KJ/m ²)	No crítico	No crítico	2 a 10	5 a 25	3 a 10	10 a 20	20 a 50
VPP (m/s)	< 1.5	1.5 - 3	1.5 - 3	> 3	> 3	> 3	> 3

Nota: tomada de Rockburst Support Handbook

7.2.2.4. Relación de la magnitud, la VPP y la distancia del evento microsísmico

Esta relación es muy importante porque puede ayudar a determinar el grado de movimiento de los macizos rocosos, los cuales son afectados por las ondas microsísmicas, dependen de la distancia y la magnitud. De hecho, el desplazamiento de la roca en el foco donde ocurrió el evento será muy alto a diferencia de los lugares alejados del foco, se describe esta relación a través de la ley de proporcionalidad, según la experiencia de daño que se produce en las labores mineras. Luego de que se obtiene la ley de proporcionalidad en diversas minas, es posible predecir el desplazamiento de las rocas causado por la excavación a cierta distancia del origen del evento microsísmico. El desplazamiento de la roca se manifiesta en m/s o mm/s. La figura 17 muestra lo que se describe en este párrafo (17).

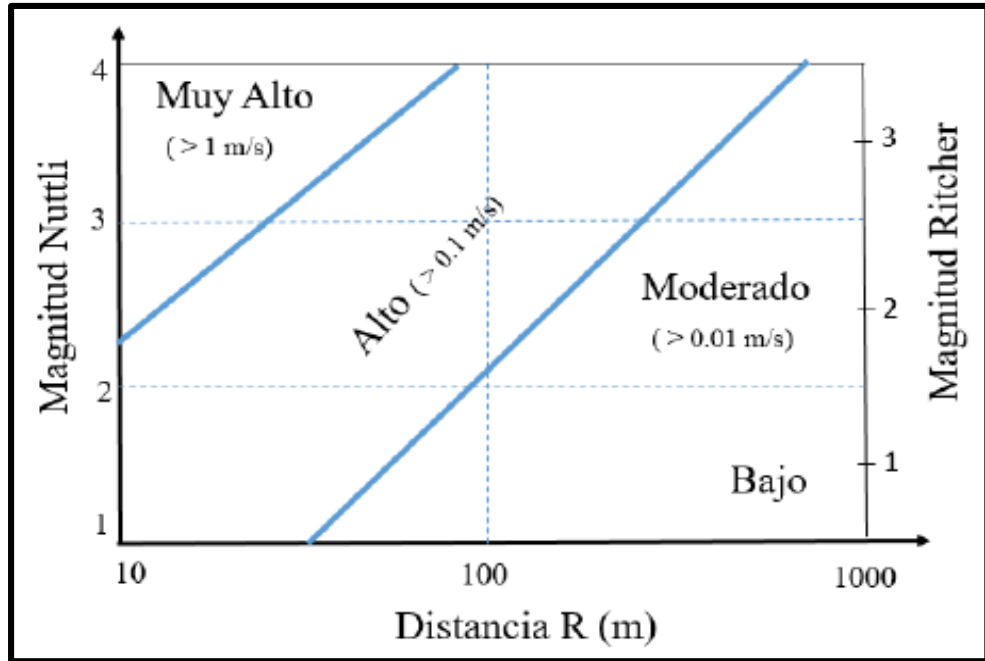


Figura 17: Determinación de la velocidad pico partícula y la distancia. Tomada de Mining in burst – prone ground

De manera similar, considerando el historial sísmico de una mina determinada, se pueden almacenar miles de eventos microsísmicos para estudiar el impacto en la excavación, según el grado de evento. Las minas canadienses han registrados 400 eventos microsísmicos de $M=2$ o más en un período de tiempo dado, y concluyeron que hay más eventos de pequeña magnitud allí. Por lo tanto, la amplitud y frecuencia de este evento se divide en 3 grupos: daño menor, daño moderado y daño severo (16).

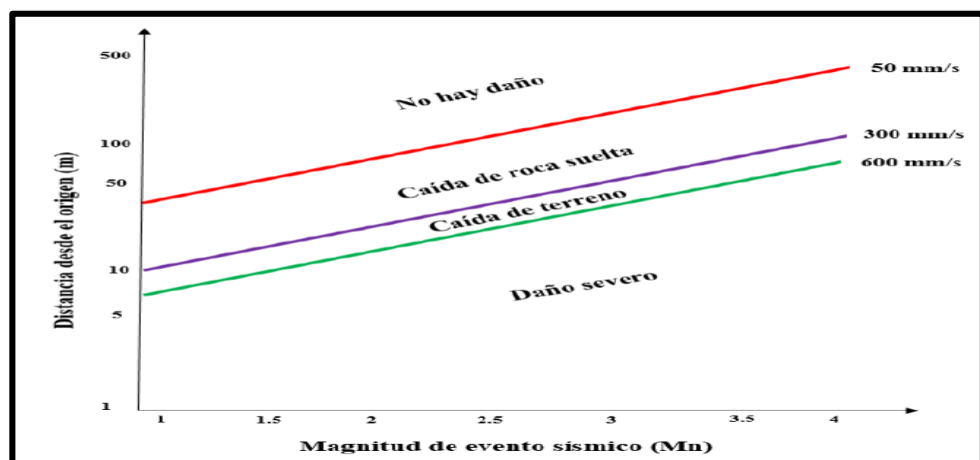


Figura 18: Representación del nivel de daño y la VPP con respecto a la magnitud del evento. Tomada del Control of rockburst damage, Hedley, 1992

7.2.3. Peligro microsísmico

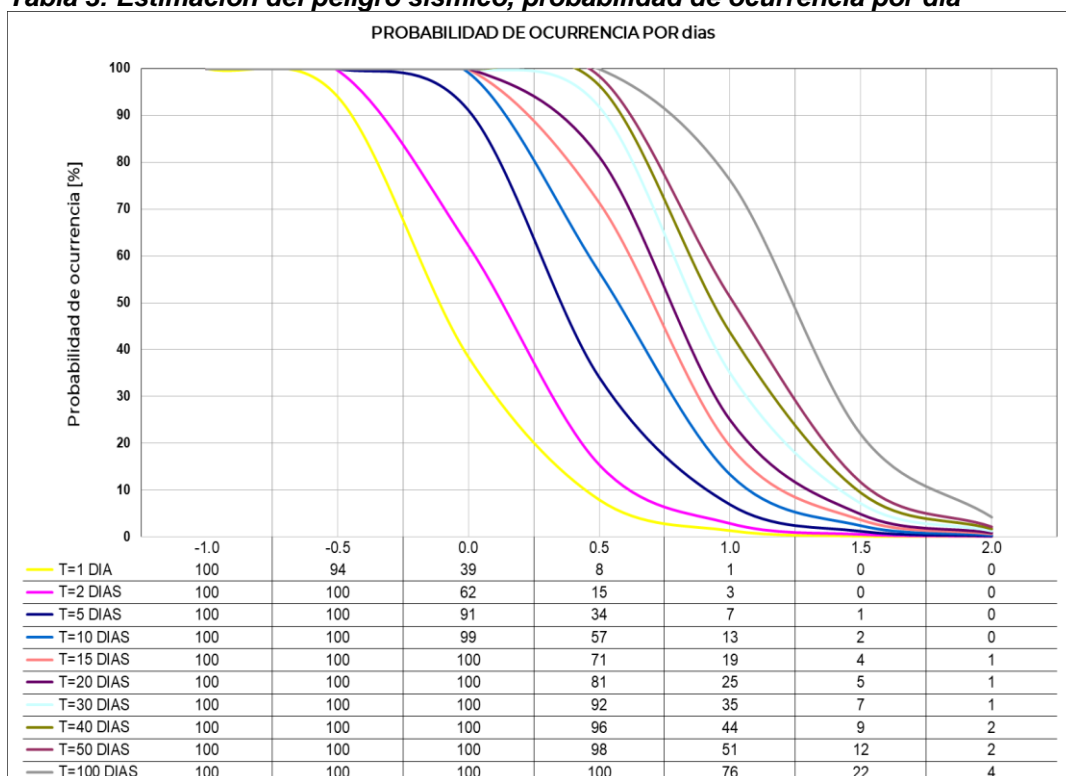
El peligro microsísmico se define como una propiedad de eventos sísmicos, que producen daños y pérdidas, esta propiedad presenta muchas incertidumbres como el tamaño, localización y vibraciones que se pueden producir en eventos futuros, por lo cual el peligro sísmico se expresa como probabilidades de un nivel de vibración para un tiempo determinado.

El peligro microsísmico en Alpayana tiene 2 componentes, el primero es netamente tectónico o natural, el segundo es debido a eventos sísmicos inducidos por la actividad minera.

La importancia del grado de sismicidad inducida de la mina es que se requiere determinar y evaluar el peligro sísmico que existe, se ha estimado que, a partir del momento de magnitud del evento, permite medir el grado o nivel de la sismicidad y así establecer un rango de peligro microsísmico.

De acuerdo a esta ecuación, se determina la razón de eventos microsísmicos diarios que ocurren bajo ciertas magnitudes, por lo que se puede conocer el rango del riesgo microsísmico, lo que limita el nivel de actividad sísmica de la mina en determinada circunstancia nula hasta una extrema (ver tabla 3). Las minas que tienen más de 10 eventos microsísmicos con una magnitud mayor o igual a 1 por día, habrá un nivel de peligro microsísmico muy alto. De esta forma, se puede conocer la ratio calculado diariamente, y también se puede explicar en términos comunes de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3: Estimación del peligro sísmico, probabilidad de ocurrencia por día



Nota: tomada del Departamento de Geomecánica, Alpayana

En función al gráfico se determina lo siguiente, existe un 80% de probabilidad de recurrencia cada 100 días y se espera que exista un evento de Mw. 1.0

Tabla 4. Ocurrencias de eventos microsísmicos

Ocurrencias de eventos sísmicos	Descripción
> 1	Más de un evento microsísmico por día
> 0.3	Unos cuantos eventos microsísmicos por semana
> 0.1	Eventos microsísmicos ocurren aproximadamente una vez a la semana
> 0.03	Eventos microsísmicos ocurren aproximadamente una vez al mes
> 0.01	Unos cuantos eventos microsísmicos por año
> 0.003	Eventos microsísmicos ocurren aproximadamente una vez al año
> 0.001	Un evento microsísmico ocurre cada pocos años
< 0.001	Un evento microsísmico puede haber pasado alguna vez
0	Eventos microsísmicos de esta magnitud nunca han ocurrido

Nota: tomada de Australian Centre for Geomechanics

7.2.4. Rango del momento de magnitud (Mw)

El rango del momento de magnitud es el intervalo entre el valor mínimo y el máximo de cada evento microsísmico, que permite una idea de propagación de datos, el rango también es conocido como amplitud.

7.2.4.1. Clasificación

Para los incidentes de varias minas se han desarrollado estándares para clasificarlos según el número, la escala y la duración del daño. Por esta razón, considerando estos factores, según la actividad sísmica son los eventos microsísmicos menores y mayores.

7.2.4.1.1. Eventos microsísmicos mayores

Se entiende como alta emisión acústica, diferente a la voladura. Debido a la gran cantidad de movimiento del volumen de roca durante este tipo de eventos, las ondas de aire se sienten en las interconexiones excavadas. El daño causado en el interior de la mina se debe a dos factores; el impacto de la explosión y el impacto de las ondas sísmicas, por ejemplo, si el incidente ocurre en una estructura de alto estrés como un pilar, una gran cantidad de rocas se romperá en pequeños fragmentos en un espacio reducido, creando una atmósfera polvorienta y causando serios daños a los soportes de proyectos continuos. Para este tipo de eventos, los geófonos detectan a una distancia de más de 10 kilómetros.

7.2.4.1.2. Eventos microsísmicos menores

El volumen de desplazamiento en un evento de este tipo suele ser inferior a $0,5 \text{ m}^3$, y cuando el evento microsísmico ocurre cerca de una grieta, el desplazamiento es de entre 1 y 2 metros cúbicos. Del mismo modo, no habrá choque de aire o choque de ondas como en un evento a largo plazo. Habitualmente, las emisiones sonoras no se detectan a

distancias superiores a 50 metros y no se escuchan en la superficie.

7.2.4.2. Tipos

La mina clasificó estos eventos según los componentes que los causaron. Dichos eventos se denominan como estallido de roca, estallido del pilar y estallido por desplazamiento de falla (18).

7.2.4.2.1. Estallido de roca – “Strainburst”

Son ocasionados por altas concentraciones de tensión en los hastiales de la labor. Generalmente la magnitud de estos eventos es menor a 2, y la masa rocosa afectada es muy alto. Esto habitualmente ocurre en minas explosivas y a menudo ocurre durante la perforación frontal y los ciclos de soporte. Debido a la voladura, la roca no puede adaptarse a los cambios de tensión instantáneos, por lo que se producirán daños a pequeña escala. Esto ocurre en la condición estructural geológica y el daño resultante es controlado por estas estructuras.

7.2.4.2.2. Estallido del pilar “Pillar burst”

Este tipo ocurre cuando la fuerza ejercida sobre el pilar es mayor que la resistencia. Cuando el pilar falla, se libera una gran cantidad de energía almacenada, lo que hace que la parte superior caiga y cierre el hastial de trabajo. La activación de fallas comienza desde el punto más débil de la zona de estrés. En circunstancias normales, la magnitud del estallido del pilar es superior a 3,5 y el daño puede alcanzar miles de toneladas.

7.2.4.2.3. Estallido por desplazamiento de la falla “Fault – slip burst”

Ocurre cuando el esfuerzo cortante de toda la estructura geológica excede el esfuerzo normal. Esto suele ocurrir cuando se excavan grandes áreas. Para este caso, la energía se propagará del comienzo del punto de origen del evento microsísmico hasta el punto de excavación más cercano, donde se libera el chorro de roca.

7.2.4.3. Correlación entre el momento magnitud y la distancia

La tabla 5 muestra la relación de la ocurrencia de la magnitud momento, y la energía que libera por el evento microsísmico y el trayecto desde el geófono (llamado radio). Con este fin, la siguiente tabla fue desarrollada con base en la historia de eventos de los eventos sísmicos que ocurrieron en Alpayana. Según la tabla, cuando la magnitud del evento aumenta, el radio (distancia desde el geófono) disminuye y ocurre un evento de terremoto crítico. Se ve que los eventos microsísmicos se clasifican según las condiciones microsísmicas, sean críticas o no críticas.

Tabla 5. Correlación entre el momento magnitud y la distancia

		Rango de Magnitud Momento (Mw)				
		< 0	<0 a 0.25>	<0.25 a 0.75>	<1 a 1.5>	<1.5 a 2>
Rango de las distancias desde los geófonos (m)	0 - 5	-	-	-	-	-
	> 5 - 10	-	-	-	-	-
	> 10 - 15	-	-	-	-	0.00
	> 15 - 20	-	-	-	0.00	1.70
	> 20 - 25	-	-	0.70	1.00	1.50
	> 25 - 30	-	-	0.70	1.35	1.55
	> 30 - 35	0.00	0.00	0.80	1.15	-
	> 40 - 45	0.00	0.00	0.85	-	-
	> 50	0.00	0.00	0.60	-	-

Nota: tomada del Departamento de Geomecánica, Alpayana

Dado el número de eventos microsísmicos que se consolida en magnitudes menores a 0.75 Mw, se espera que la distancia desde la fuente del evento varíe en el rango de 20 a 30 metros. De esta manera, se puede liberar la energía de liberación clave. Lo cual en las excavaciones mineras ocurren estos eventos, puede ocurrir un evento tipo *strainburst* (estallido de roca), porque el trabajo estará bajo condiciones de altos esfuerzos.

7.2.4.4. Daño del evento microsísmico

Para hacer que la roca comience y se rompa, se lleva a cabo un proceso en el macizo rocoso. Esto implica 3 pasos importantes. Primero, la roca se rompe cerca de la labor; luego la roca quebrada se mueve hacia la superficie libre; finalmente, el material roto separado del muro de la obra es descargado violentamente. Este paso está relacionado con el mecanismo que lo produce, primero, la roca sin protuberancias); segundo, el movimiento microsísmico causado por el desplazamiento (los abultamientos de la roca), tercero, la transferencia de energía sísmica. Causando que las rocas se liberen violentamente. El estallido por deslizamiento de la falla está relacionado con la carga dinámica, es decir, está relacionado con la liberación de energía, que se extiende desde el punto de origen del evento microsísmico hasta el punto de excavación más cercano, es decir, el punto de expulsión de la roca, figura 19 (17).

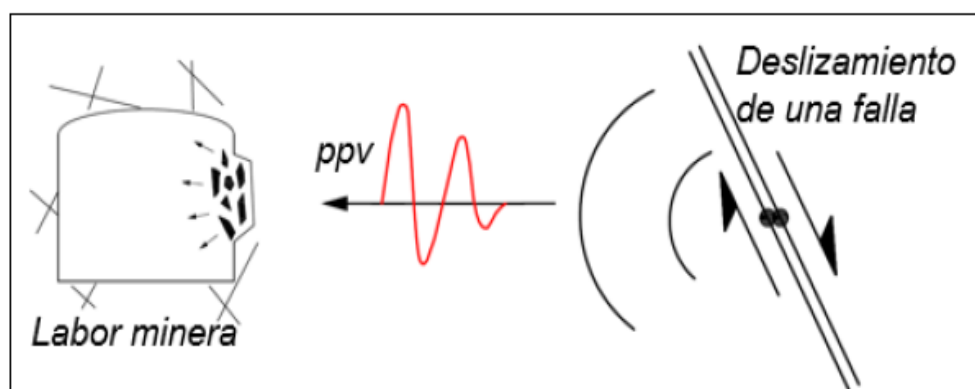


Figura 19. Propagación del evento microsísmico a lo largo del macizo rocoso. Tomada de Hoek and Martin, 2014

En este caso de ruptura por deformación y ruptura de columna, el evento microsísmico ocurrió en la misma ubicación, muy próximo de la periferia de la labor o muro de la columna. El daño de la masa rocosa ocurre en 4 etapas, figura 20. Primero, las grietas existentes se cierran; segundo, hay una pauta lineal tensión-deformación; tercero, se forman y expanden nuevas grietas de manera estable; cuarta etapa, las grietas empiezan a fusionarse y expandirse de manera voluble (19).

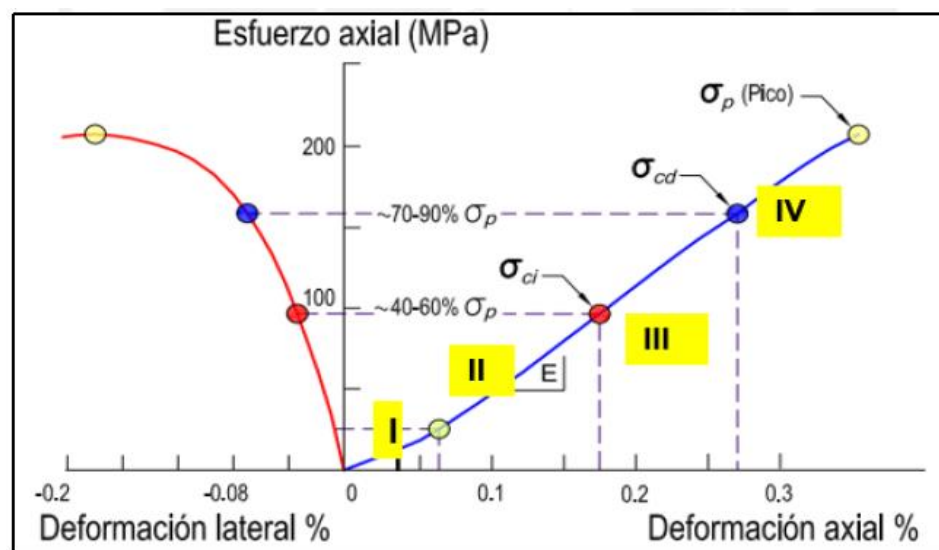


Figura 20. Etapas de las fracturas con respecto a los a esfuerzos axiales. Tomada de Hoek and Martin

7.2.5. Causas del estallido de roca

Las consecuencias de los daños causados por estallidos de roca contienen importantes factores que influyen en los eventos sísmicos, según Cai and Kaiser, los factores son:

7.2.5.1. Factores geológicos

En los esfuerzos *in situ* las estructuras geológicas se modifican, que son efecto de sismicidad inducida, estas fallas impulsan a la acumulación de esfuerzos y facilitan el relajamiento del macizo rocoso, cambiando la estabilidad de la infraestructura. La roca frágil tiende a reunir energía de tensión, esto puede generar una falla

violenta frente a un pequeño evento, porque la energía recibida no es lo suficientemente dúctil para soportar, esto quiere decir, que para tener una falla las características del macizo rocoso tienen que ser de resistencia alta, alta elasticidad y ser frágil; en cambio, una roca más dúctil y blanda puede obtener más energía (14).

7.2.5.2. Factores geotécnicos

Con la profundización de los trabajos de excavación, ha aumentado el trabajo *in situ*. Dado que existe una gran diferencia entre la tensión principal máxima y la tensión principal mínima generada en la parte profunda, se generan tensiones tangenciales elevadas en y cerca del borde de trabajo. Asimismo, el nivel de tensiones, junto con el comportamiento de resistencia y deformación del macizo rocoso, controla la energía de tensión que obtienen en la roca y que también pueden liberar. Las rocas son muy resistentes y rígidas generando grandes esfuerzos y almacenan grandes cantidades de energía. Para este caso, es indispensable comprender el criterio de falla por esfuerzo inducido para la determinación de la probabilidad que un área sea explotada (19).

7.2.5.3. Factores de mina

En la operación minera cambian las tensiones *in situ* de los macizos rocosos, y estas tensiones crean áreas de baja y alta tensión. Las actividades mineras han cambiado el sistema rígido de la mina. Cuando la tasa de minería es mayor al 80%, se dejarán pilares o residuos sujetos a alta tensión concentrada, lo que conducirá a una disminución del sistema rígido del macizo rocoso y un aumento en almacenamiento y liberación de energía. Por lo tanto, la probabilidad de que se produzcan explosiones aumentará en estas condiciones. De manera similar, la secuencia de extracción tiene un mayor impacto, para los cambios de tensión del macizo rocoso y los procesos de fallas (geología). Detener la minería es un procedimiento

que se utiliza en los métodos de minería cuando hay una falla para reducir la posibilidad de que se produzcan explosiones de rocas. Vale la pena mencionar que los cambios en los métodos de minería han dado lugar a cambios fundamentales en la gravedad y el potencial.

7.2.5.4. Factores sísmicos

Como se sabe, las explosiones de tensión producirán terremotos y eventos potencialmente destructivos cerca de la excavación, mientras que las grandes explosiones de rocas están relacionadas con eventos microsísmicos de movimiento de las fallas. Adicional, es cierto que si el evento microsísmico es grande, la perturbación en el sector afectado será más amplia; si el evento microsísmico está cerca del frente, la perturbación y el desplazamiento de la masa rocosa serán grandes. Por lo tanto, los eventos grandes, como deslizamientos de tierra de fallas, aumentan el área de potencial explosión y daño severo; sin embargo, el daño es proporcional a la gravedad del suceso y hay ciertas circunstancias que afectan la gravedad del daño por explosión.

7.2.6. Controles aplicables frente a un evento microsísmico

Los controles aplicables se realizaron después de la evaluación de riesgos, por lo cual se está en la capacidad de determinar si los controles que existen son adecuados, estableciendo la reducción del riesgo.

7.2.6.1. Sistema de monitoreo microsísmico

- ✓ Pantalla de visualización en tiempo real
- ✓ Monitoreo diario de los softwares:
 - SEIS VIS
 - WAVE VIS
 - HNASS

7.2.6.2. Sostenimientos y relleno

- ✓ Aplicación e instalación de cable bolting en los tajos.
- ✓ Sostenimiento del frente con malla electrosoldada de sacrificio.
- ✓ Sostenimiento del frente con shotcrete de sacrificio.
- ✓ Relleno detrítico e hidráulico.

7.2.6.3. Taladros de alivio

Los taladros de alivio ayudan a que el macizo rocoso libere su energía acumulada para una mejor estabilidad.

7.2.6.4. Voladura de pre acondicionamiento

- ✓ Voladura de *desestresing*
- ✓ Frente disparado con voladura de preacondicionamiento
- ✓ Voladura controlada, para evitar daños al macizo rocoso.

7.2.7. Análisis de monitoreo microsísmico mediante el software Seis Vis

El siguiente análisis contempla los eventos de magnitud momento más altos de la zona baja cuerpos y la interpretación sísmica desde el primero de junio hasta el primero de setiembre, teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

- ✓ Tajos vacíos que actualmente requiere relleno
- ✓ Análisis de la falla principal (falla Casapalca)
- ✓ Eventos microsísmicos más altos

Tabla 6. Eventos de julio

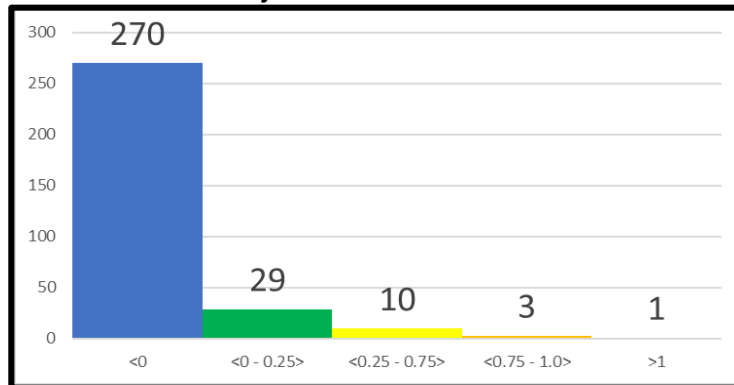
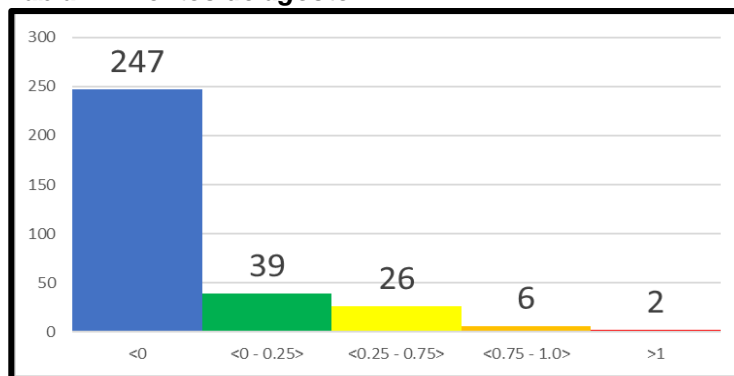


Tabla 7. Eventos de agosto



En el mes de julio se identificó un evento de momento magnitud alto, y en agosto se identificaron 2 eventos de riesgo alto, ambos ubicados en la falla Casapalca Nv. 14 - T.J. 400, con radio de influencia de 20 m.

Entre las 2 primeras semanas de agosto se identificaron 2 tajos vacíos que tuvieron eventos microsísmicos de magnitud alta con una liberación de energía promedio de 25 KJ, con un radio de influencia de 35 m, los eventos microsísmicos identificados tuvieron réplicas, para evitar activaciones se recomienda la instalación de cable *bolting*, y continuar con el relleno.

En la figura 21 se muestra la Magnitud momento vs. Tiempo, donde se puede evidenciar que el evento microsísmico más alto es de $M_w = 1.69$, en un escenario crítico a una distancia de 30 m al tajo se obtiene una energía liberada de 9.52 KJ/m^2 , el cual necesita complementar el sostenimiento con cable *bolting* para obtener un factor de seguridad de 1.46.

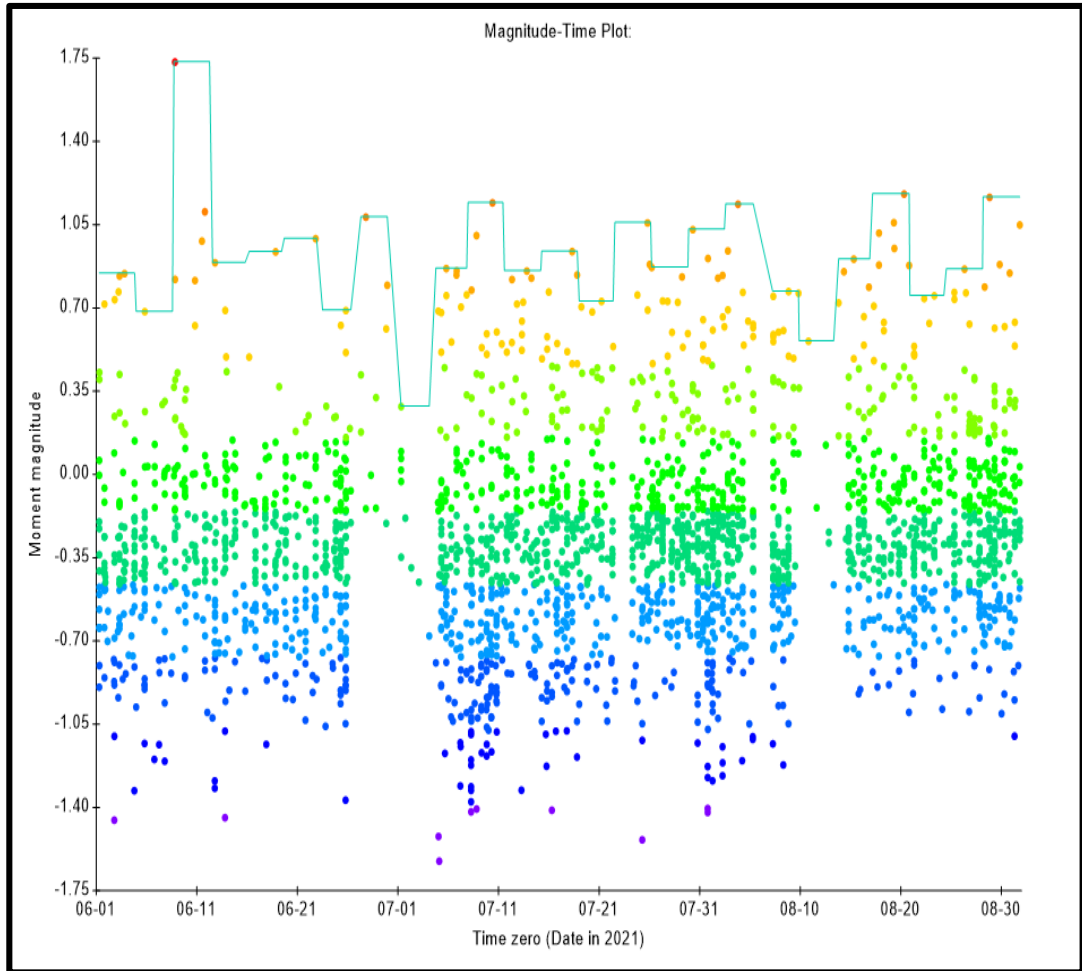


Figura 21: Magnitud momento vs. Tiempo. Tomada del software Seis Vis

Se analizaron 733 eventos desde el 1-7-21 hasta el 1-9-21, teniendo en cuenta el riesgo sísmico en la zona de análisis, la probabilidad de que se presenten eventos mayores a 1.56 es de alto a media, donde la mayor liberación de energía se concentra en el sector del cuerpo Casapalca como muestra la figura 22, al determinar el peligro sísmico del T.J. 400 – Nv. 400, se obtuvo que existe un 80% de probabilidad de recurrencia, cada 100 días se estima que existirá un evento de $M_w = 1.35$, potencial alto (ver figura 23).

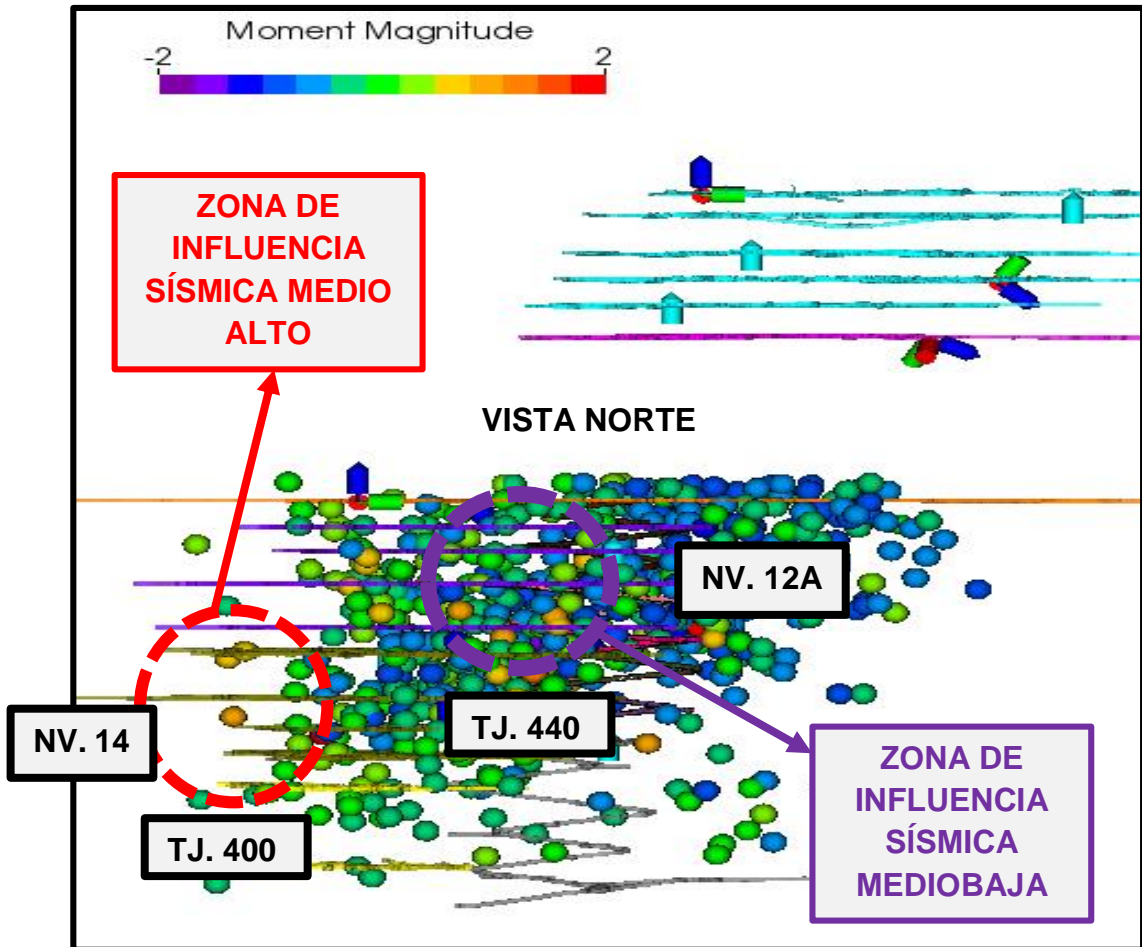


Figura 22. Monitoreo microsísmico - Zona Baja Cuerpos. Tomada del software Seis Vis

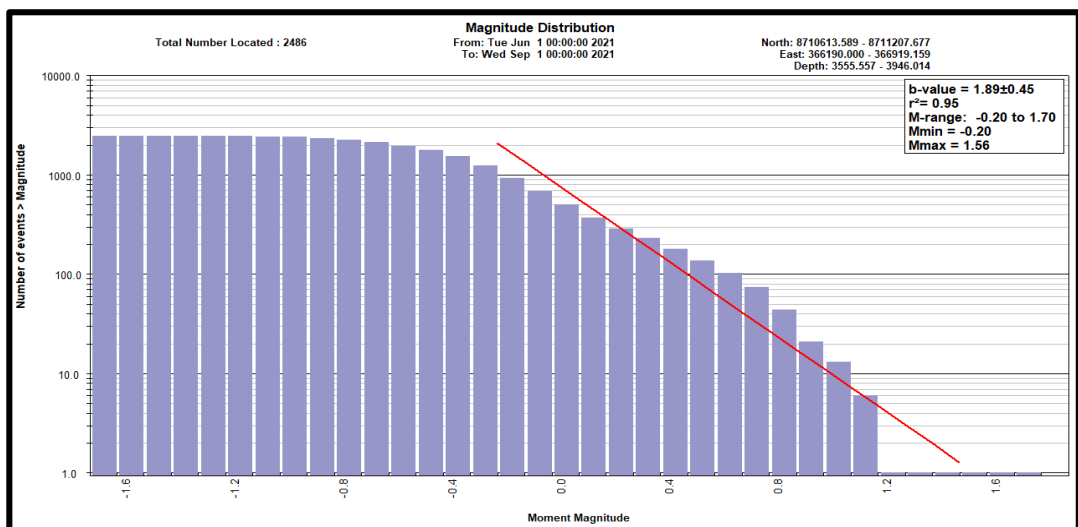


Figura 23. Número de eventos vs. Momento de magnitud. Tomada del software Seis Vis

7.2.7.1. Análisis de la falla Casapalca

Para el análisis de la falla Casapalca se procesaron los eventos desde enero hasta setiembre (ver tabla 8), donde se identificó que el 27 de marzo la falla presentó una activación entre el nivel 13 al 14 a 25 m de la rampa principal, con una magnitud momento de $M_w = 1.63$ (ver figura 24).

Tabla 8. Eventos microsísmicos de la falla Casapalca

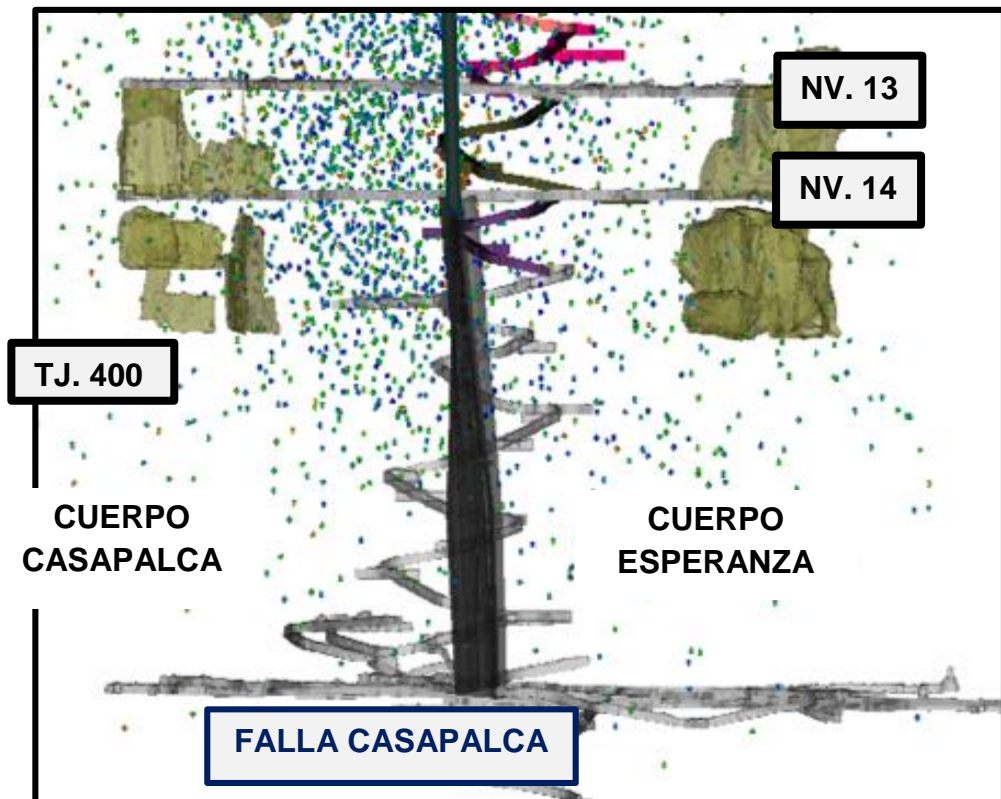
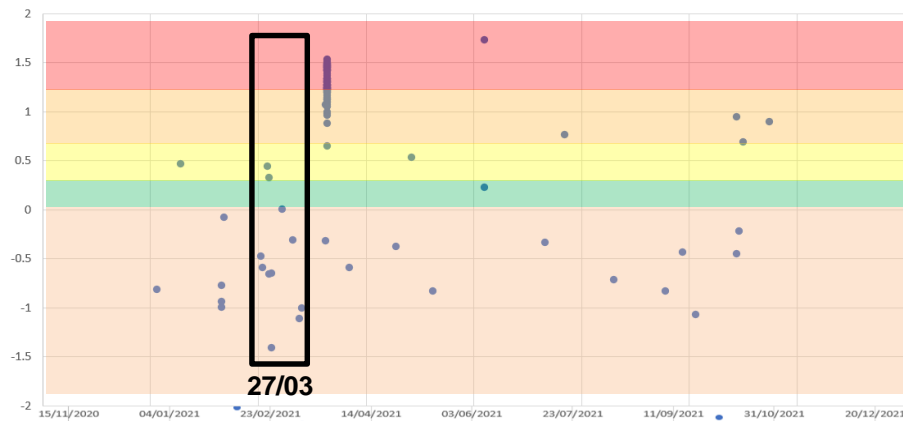


Figura 24. Monitoreo microsísmico de la falla Casapalca. Tomada del software Seis Vis

En la figura 25, se evidencia la activación de la falla Casapalca, los eventos microsísmicos se alienaron con un trend 70 y plunge 60°, estos eventos microsísmicos estuvieron a 264 m del T.J. 400, se realizó la evaluación de peligro sísmico y se determinó que la magnitud momento $M_w = 1.35$, se estima que la recurrencia es del 98% que ocurra cada 30 días.

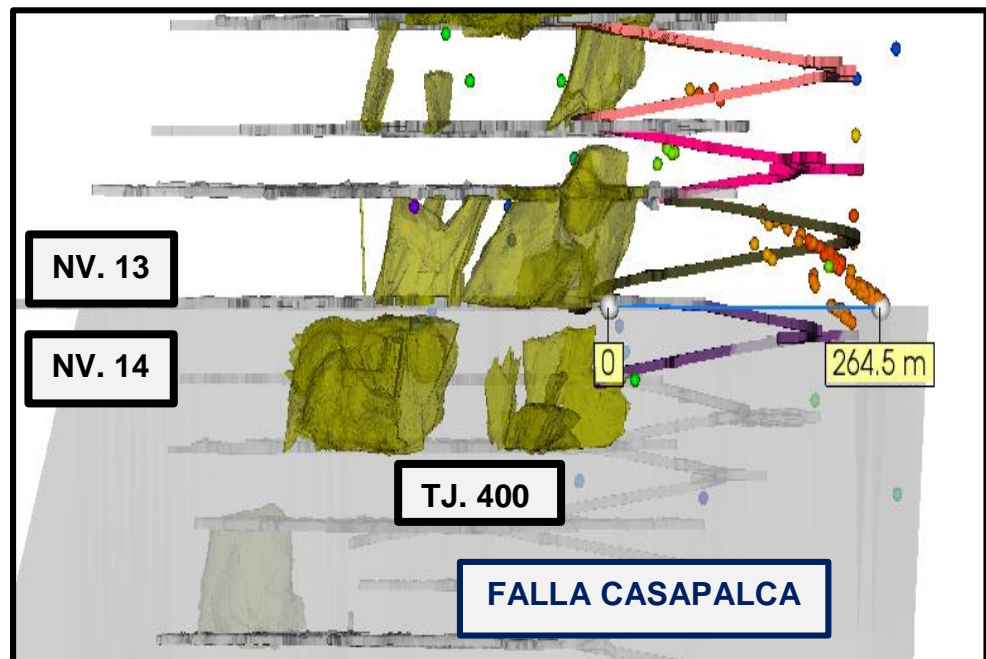


Figura 25. Sección longitudinal de los eventos de la falla Casapalca. Tomada del software Seis Vis

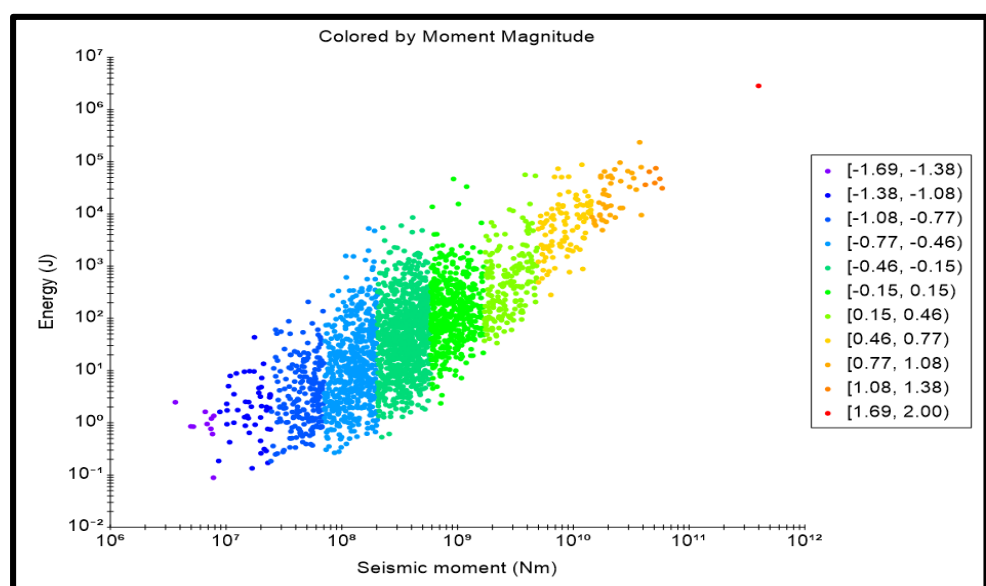


Figura 26. Energía vs. Momento sísmico. Tomada del software Seis Vis

7.2.8. Análisis de la liberación de energía vs. Sostenimiento

A partir del escenario crítico de $M_w = 1.35$ y distancia de 6 metros, se obtiene una energía liberada de 9.52 KJ/m^2 , se compara con la energía de soporte actual en una etapa de minado y se obtiene FoS de 0.59, el cual no cumple el criterio de aceptabilidad de la mina.

Tabla 9. Análisis de la liberación de energía vs. Sostenimiento

Mw	R	MN	PPV	Ec (kJ/m ²)
1.35	6	1.9	2.71	9.52

Ec: liberación de energía (KJ/m²)

Mw: magnitud Momento

R: distancia entre el hipocentro y el sensor

MN: magnitud Nuttli

PPV: velocidad pico partícula (m/s)

Elementos de sostenimiento	Energía (kJ/m ²)
Shotcrete 2"	1.7
Perno helicoidal	4.0
Energía total del sostenimiento	5.7
Factor de seguridad	0.59

Se le suma el cable *bolting* el cual tiene una energía de soporte de 8 kJ/m^2 y se determina el FoS en una etapa de minado y se obtiene 1.44, cumpliendo el criterio de aceptabilidad.

Elementos de Sostenimiento	Energía (kJ/m ²)
Shotcrete 2"	1.7
Perno helicoidal	4.0
Cable <i>bolting</i> 20 m	8.0
Energía total del sostenimiento	13.7
Factor de seguridad	1.44

7.2.9. Plan de contingencia según los niveles de riesgo

Para el plan de activación se tiene en cuenta el proceso de creación de microgrietas en macizos rocosos que son invisibles a simple vista, son generados por ondas de vibración, que suelen ser de baja intensidad que las

personas no pueden sentirlos hasta que las rocas caen, se derrumban o colapsan debido a la inestabilidad geológica.

Se han logrado avances significativos en la última década, en la tecnología de geófonos (sismógrafos) y en la tecnología de transmisión y procesamiento de datos. El análisis de datos sísmicos implica una ilustración en que los eventos liberan energía y en el estudio o análisis de la frecuencia de estos eventos. Se usa en minería y los mapeos pueden identificar áreas frágiles en túneles y pilares de minas subterráneas.

El monitoreo microsísmico revela eventos microsísmicos de baja intensidad ubicada en un espacio confinado. Posteriormente, el parámetro permite informar sobre las zonas vulnerables de la mina y el comportamiento estructural minera frente a actividades productivas como perforación, excavación o voladura, así como otras áreas identificadas como riesgos, rampas principales, tajos, etc. Esta información permite tomar medidas específicas para mejorar la seguridad, eficiencia y mejores prácticas de la operación, de lo cual se ejecutará el plan de activación de respuesta según los niveles de riesgo.

Tabla 10. Plan de contingencia según los niveles de riesgo (Mw)

Ítem	Condición		Monitoreo	Acción	Nivel de alerta
	Sonido	Características de la roca			
1	Imperceptible	Relajamiento sin proyección, acumulación de esfuerzos	No se evidencia anomalía por la estación de monitoreo. Mw <-2 a 0>	Se desarrollará la actividad minera con monitoreo constante.	Muy bajo Mw<-2 a 0>
2	Sonido leve	Daños al macizo rocoso sin proyección de roca	Aumento anómalo del número de eventos sísmicos registrados por la estación de monitoreo. Mw < 0 a 0.25>	El área de geomecánica investiga si hay presencia de acumulación de número de eventos (iguales o mayores, eventos fuera de horario de disparo), de no tener eventos mayores se registra el evento y las actividades de las labores se desarrolla con normalidad.	Bajo Mw<0 a 0.25>
3	Sonido fuerte con movimiento	Reventazón con proyección de roca (empuje de roca con desprendimiento de salto)	Si en una zona de laboreo, en los últimos 3 días presenta una acumulación de 20 eventos. Mw < 0.25 a 0.75>	<p>Geomecánica: se determina si el evento ocurrió en sectores continuos a la operación o existen factores geomecánicos. Se realiza el monitoreo durante las siguientes horas por posibles réplicas y se establece la inspección de la zona.</p> <p>Operaciones: si el área de geomecánica determina que el evento corresponde a un área activa de trabajo se comunicará con mina y seguridad teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si existe acumulación de 20 eventos en la zona de influencia en un periodo de 3 días se retirará al personal por 1 hora, y se retomará el área de trabajo, en caso de no presentar desprendimiento o proyección del macizo rocoso. -En caso de observarse daños a la labor, se paralizan los trabajos y se bloquea por 6 horas, sucedido el evento, posteriormente se realizará la inspección. 	Medio B Mw<0.25 a 0.75>
			Si en una zona de laboreo, en los últimos 3 días presenta una acumulación de 10 eventos. Mw < 0.75 a 1>		

4	Sonido intenso con movimiento	Estadillo con proyección de roca generado	Evento sísmico capaz de sentirse a más de 1 km de hipocentro con proyección de roca y daño al sostenimiento. Mw <1 a 2>	<p>-Si existe acumulación de 10 eventos en la zona de influencia en un periodo de 3 días se retirará al personal por 3 horas, y se retomará el área de trabajo, en caso de no presentar desprendimiento o proyección del macizo rocoso.</p> <p>-En caso de observarse daños a la labor, se paralizan los trabajos y se bloquea por 12 horas, sucedido el evento, posteriormente se realizará la inspección.</p> <p>Geomecánica: se determina si la zona del evento es un área activa de trabajo en un radio de 100 metros o existen factores geomecánicos que hayan influenciado. Se realiza el monitoreo durante las siguientes horas por posibles replicas (revisar la frecuencia durante las 36 horas) y se establece la inspección de la zona de influencia.</p> <p>Operaciones: si el área de Geomecánica determina que el evento corresponde a un área activa de trabajo se comunicará con mina y seguridad para retirar al personal fuera del peligro sísmico y bloqueo de la labor por 36 horas.</p> <p>En caso de no observar daños a la labor, después de 24 horas se realizará la inspección multidisciplinaria y se retomarán los trabajos.</p>	Alto Mw <1 a 2>
---	-------------------------------	---	---	---	--

Nota: tomada del Departamento de Geomecánica, Alpayana

Tabla 11. Rango de la magnitud momento según el grado de stress de la roca (Mw)

Magnitud Momento (Mw)	Grado de stress	Sostenimiento adecuado	Descripción	
<-2 a 0>	Muy bajo	Roca no estresada y de baja a moderada resistencia a la compresión de roca.	Sostenimiento de acuerdo a la calidad de roca.	Eventos en condiciones de sismicidad no críticas
<0 a 0.25>	Bajo	Roca poco estresada, el aumento está en función a las excavaciones futuras.	Pernos barra helicoidal.	Eventos en condiciones de sismicidad no críticas
<0.25 a 0.75>	Medio B	Roca estresada, relajamiento moderado en función a las aberturas de los tajos.	Pernos helicoidales + malla 2". Prioridad 3 para relleno de tajos.	Eventos en condiciones de sismicidad críticas
<0.75 a 1>	Medio A	Muy estresado, relajamiento severo en función al tiempo.	Perno helicoidal + malla 2" + shotcrete 2". Prioridad 2 para relleno de tajos.	Eventos en condiciones de sismicidad críticas
<1 a 2>	Muy alto	Núcleo de la zona estresada, relajamiento intenso de la roca.	Pernos helicoidales + malla 2" + shotcrete 3". Prioridad 1 para relleno de tajos.	Eventos en condiciones de sismicidad críticas

Nota: tomada del Departamento de Geomecánica, Alpayana

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso permite implementar un sistema de alerta temprana que se acomode a las características y necesidades de la mina, para el reconocimiento de las zonas vulnerables y así poder tomar medidas preventivas correspondientes.
2. Según lo que puede manifestar el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso se concluye, dónde ocurrió, cuándo ocurrió, y la intensidad del evento, basándose en el funcionamiento del monitoreo microsísmico con el enfoque de la anisotropía, modelos de velocidad y la detención de eventos con desencadenantes.
3. De acuerdo a los rangos del momento de magnitud del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso se concluye que, los rangos permiten darle umbrales desde muy bajo hasta muy alto según el grado de stress (liberación de energía) de la roca $M_w = -2$ a 0.5 (eventos en condiciones de sismicidad no críticas), $M_w = > 0.5$ a 2 (eventos bajo condiciones de sismicidad críticas).
4. De acuerdo a los controles aplicables del análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso se concluye que, la causa de los estallidos de rocas se genera por la liberación de energía, lo cual no se puede predecir en qué momento se realizará dicha liberación.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para el análisis del monitoreo microsísmico en el comportamiento del macizo rocoso de la zona baja de Alpayana, se implemente un paladín adicional de 6 geófonos (3 uniaxiales y 3 triaxiales) para poder tener más alcance a la profundización y tener un mayor control del monitoreo microsísmico.
2. Se recomienda hacer seguimiento del monitoreo microsísmico para poder determinar parámetros en las zonas con mayor sismicidad inducida y tener un control en la detención de eventos con desencadenantes y así no confundir un sonido (ruido eléctrico) con un evento.
3. Se recomienda usar la escala de Nuttli para determinar el momento de magnitud y de acuerdo a ello cumplir con los umbrales designados para el plan de activación de respuesta (qué hacer en casos de eventos microsísmicos bajos y altos) según los niveles de riesgos.
4. Se recomienda usar los controles implementados de mitigación mediante el mecanismo de daño del evento microsísmico, estos controles son: sistema de monitoreo microsísmico (monitoreo diario), soporte preventivo con sostenimiento de sacrificio (malla electrosoldada y shotcrete), aplicación de cable *bolting* en los tajos, perforación de taladros de alivio, realizar voladuras controladas.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **VALENCIA CHÁVEZ, Elvis.** *Diseño de sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de rocas.* Lima : UNMSM, 2021.
2. **MEZA ALCANTARA, Jimmy Tadeo.** *Evaluación geomecánica de la masa rocosa en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 compañía minera casapalca.* Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, 2018.
3. **HUANCA GASPAS, Jonatan Arturo.** *Análisis de vibraciones producidas por voladura para reducir daños al macizo rocoso en BP. 1200 E – U.P. Andaychagua – Volcan Compañía Minera S.A.A.* Huancayo : UNCP, 2019.
4. **DUEÑAS GUTIERREZ, Jhol Wilfredo.** *Reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el Bypass 179. Compañía Minera Kolpa S.A.* Puno : Universidad Nacional del Antiplano, 2018.
5. **SILVA RODRÍGUEZ, Osvaldo Alfredo.** *Evaluación del potencial microsísmico asociado a una falla principal en minería por hundimiento.* Santiago : Universidad de Chile, 2016.
6. **ESTAY HUIDOBRO, Rodrigo Andrés.** *Metodología para la evaluación del desempeño de indicadores sísmicos en sismicidad inducida por la minería.* Santiago : Universidad de Chile, 2014.
7. **COOK, N.G.W.** Seismicity associated with mining. *Engineering Geology.* 1976, Vol. 2.
8. **POTVIN, Y., HADJIGEORGIOU, J. y STACEY, T.R.** Challenges in Deep and High Stress Mining. Australian Centre for Geomechanics. Australia : s.n., 2007.
9. **KAGAN, Y.Y.** *The Gutenberg-Richter law.* 2003.
10. **OMORI, F.** *On the aftershocks of earthquakes.* 1894.
11. **GERHARDUS MORTEL, Izak y ROSSI RIVERA, Paolo.** *The implementation and quantification of the Vallejos and McKinnon re-entry methodology.* Australia : Australian Centre for Geomechanics and The University of Western Australia, 2017.
12. **ORIHUELA CASTILLO, Stefanie y DAPELLO VIZCARRA, José.** *Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura .* Lima : s.n., 2009.

13. **ESG, SOLUTIONS.** *Microseismic Monitoring System User Guide.* Canada : Group Canada Inc., 2016.
14. **LAZO LAURA, Roy Arturo Orlando.** *Optimización del sistema de sostenimiento de las labores subterráneas para una mina con problemas de altos esfuerzos .* Lima : PUCP, 2020.
15. **KAISER.** *Seismic hazard and ground motion.* Ontario : Canadian Rockburst Support Handbook, 1996.
16. **HEDLEY, D.G.F.** *Control of Rockburst Damage.* Ontario : Rockburst Handbook for Ontario Hardrock Mines, 1992.
17. **CAMIRO, Minig Division.** *Ground Support.* Camiro : s.n., 1995.
18. **BLAKE, Wilson y HEDLEY, David.** *The Rockburst Phenomenom.* Ontario : s.n., 2003.
19. **HOEK, E y MARTIN, C.D.** *Review on Rockburst Theory and Types of Rock Support in Rockburst Prone Mines.* Canada : s.n., 2014.

ANEXOS

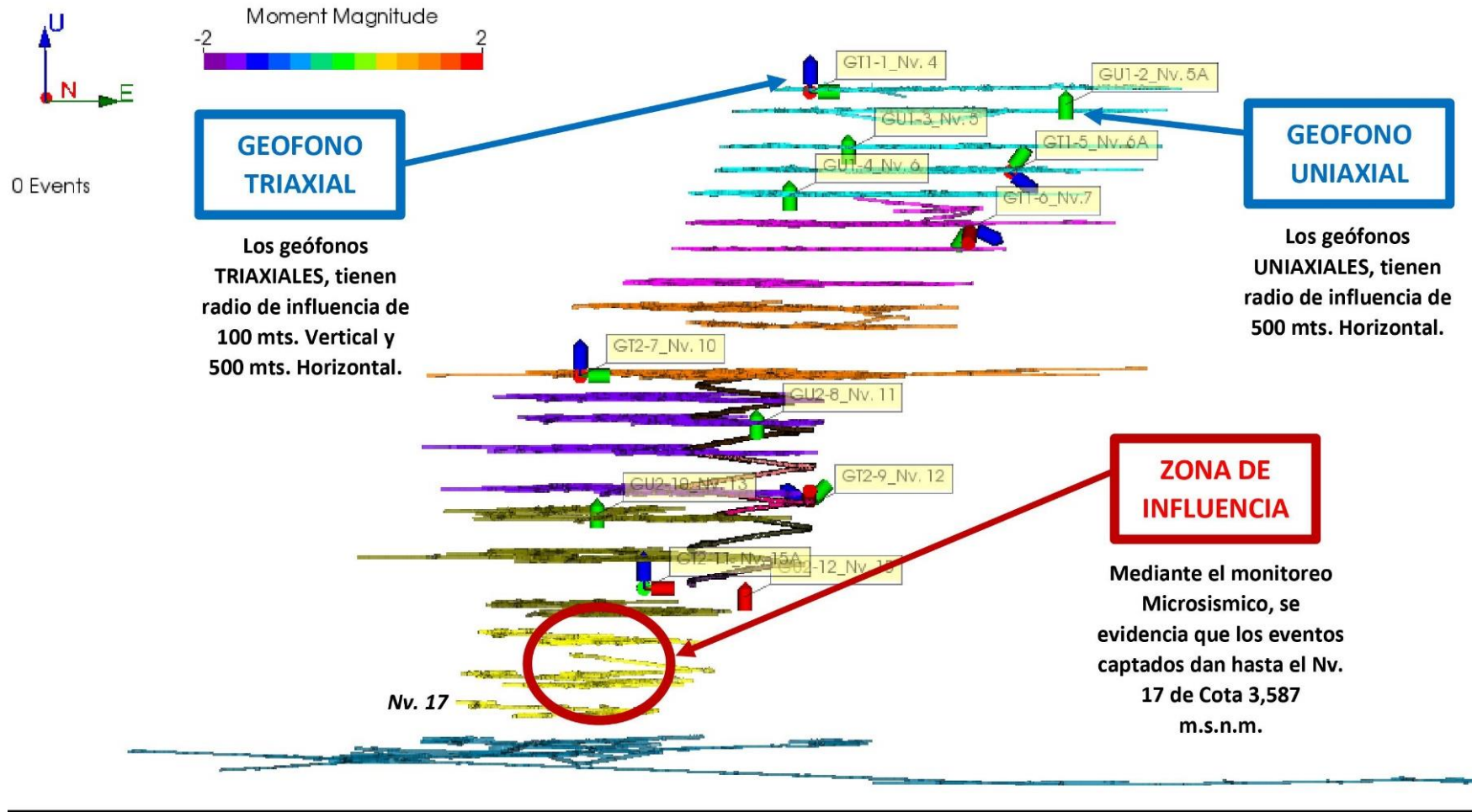
Anexo 1

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	
		Dimensiones	Indicadores
VI Monitoreo microsísmico	El monitoreo microsísmico es una herramienta muy útil en la prevención y control de inestabilidades potenciales en el macizo rocoso que podrían resultar en eventos sísmicos.	Herramienta muy útil en la prevención y control de inestabilidades potenciales en el macizo rocoso.	✓ Niveles de vibración ✓ Mapeo microsísmico: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuándo ocurrió? • ¿Dónde ocurrió? • ¿Qué tan grande fue?
VD Del macizo rocoso	Los macizos rocosos ocurren en la naturaleza afectados por planos de discontinuidades, un macizo rocoso es un medio <i>in situ</i> que contiene diferentes discontinuidades como diaclasas, fallas u otros rasgos estructurales.	Medio <i>in situ</i> que contiene diferentes discontinuidades.	✓ Controles aplicables ✓ Costos de la operación

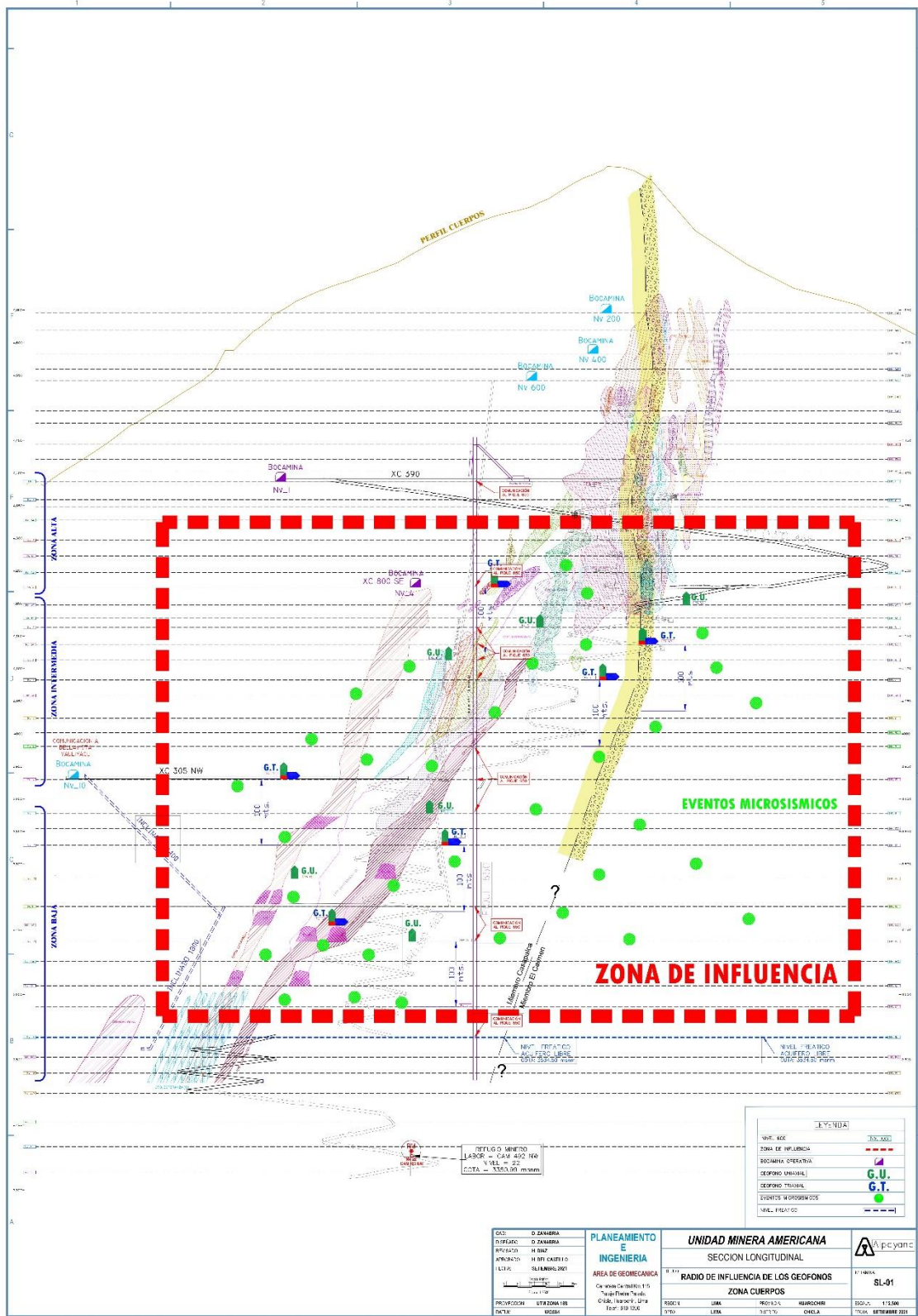
Anexo 2

Plano longitudinal del radio de influencia de los geófonos



Anexo 3

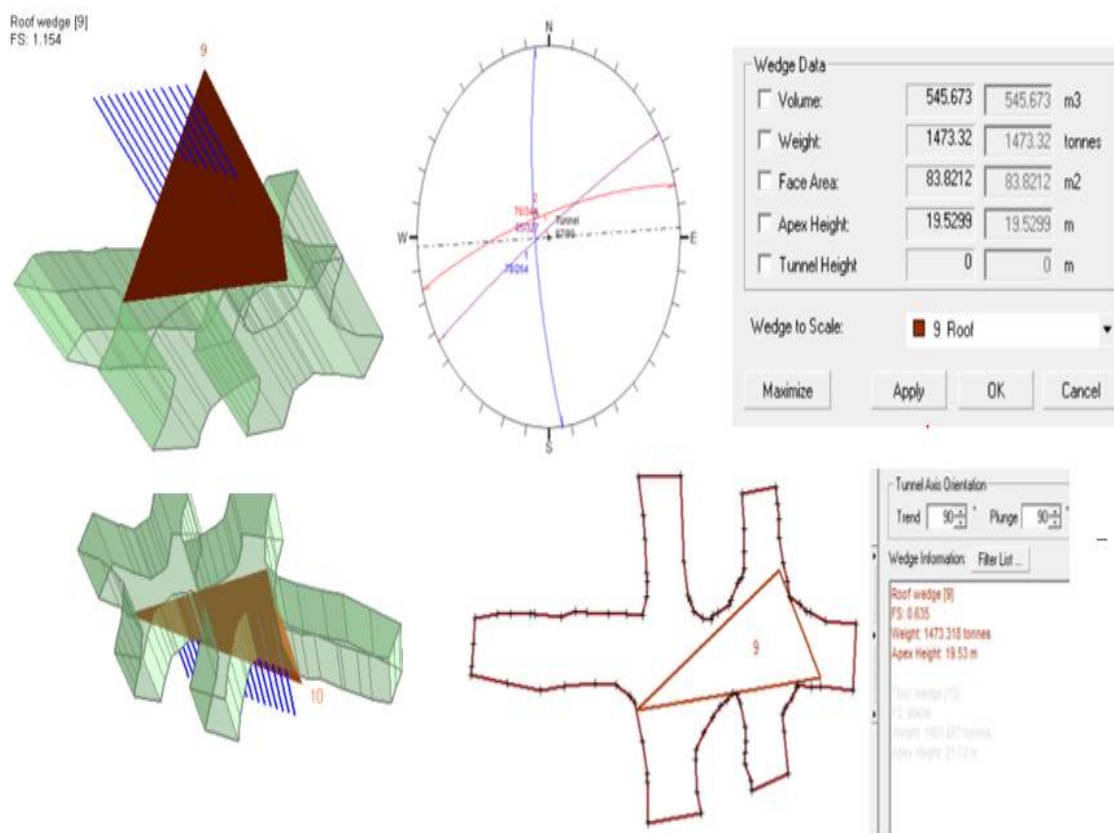
Plano longitudinal de los geófonos



GEO: O ZAMBORA DIFUSOR: O ZAMBORA APLICACION: H 8042 OPERACION: H 805 CAUTELIO LISTA: SILABRAB 2001 ESCALA: 1:1000 PROYECTOS: UTA ZONA 1B FECHA: 2024	PLANEAMIENTO E INGENIERIA AREA DE GEOMECANICA CA: Zona Cautelios 1B "del Frente Techo" "del Nivel 1000", "del Nivel 1100", "del Nivel 1200"	UNIDAD MINERA AMERICANA SECCION LONGITUDINAL RADIO DE INFLUENCIA DE LOS GEOFONOS ZONA CUERPOS 1500' L 1000' L 500' L 250' L	Apcyan SL-01 117.000 117.000
--	--	--	---------------------------------------

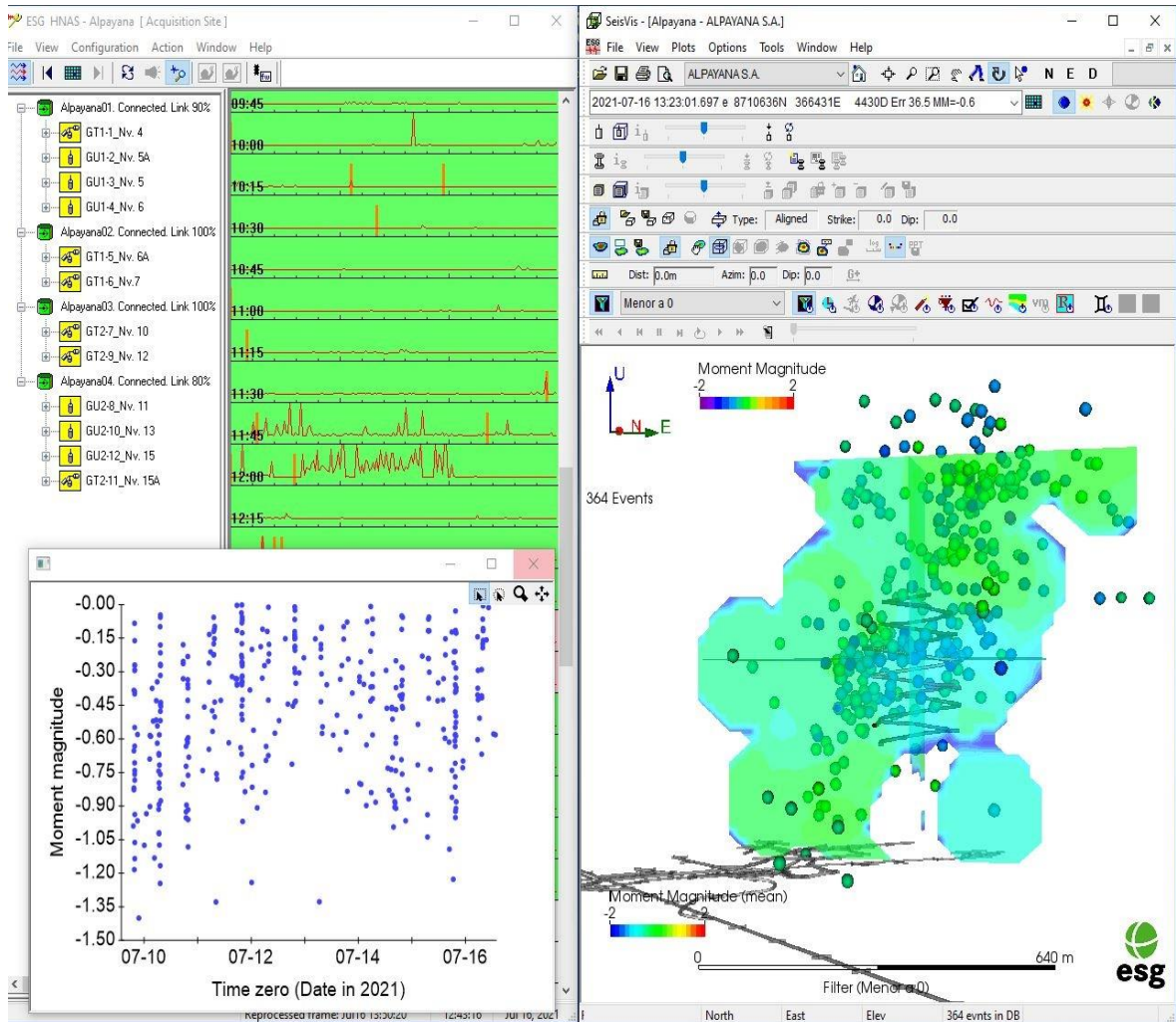
Anexo 4

Factor de seguridad mediante el software Unwedge



Anexo 5

Software Seis Vis, WAVV VIS & HNAS



Anexo 6

Información del proyecto – ubicación de los geófonos



Underground Sensor Installation Report

PROJECT INFORMATION

Client Name	ALPAYANA S.A.
Project Name	IMPLEMENTACION DE EQUIPO MICRO - SISMICO
Project Number	1
Project Coordinator/Manager	JOSE ANTONIO AMPUERO PEÑARANDA
Site Name and Location	CASAPALCA
Installation Personnel on Site	DAVIS ZANABRIA MEJIA, JESUS CHIROQUE NUÑEZ
Date on which Sensor Installation is Complete	29-Nov-20
Report Generated By	DAVIS IAMIS ZANABRIA MEJIA

LEGEND
Manually Populate
Drop-Down Menu
Auto-Populate

SITE INFORMATION

Coordinate System	Latitude/Longitude	
Datum	Other - Please Specify	PSAD56
Time Zone	PET	
Units	Metres	
Elevation Reference	Sea Level	
Number of Sensors Installed	12	

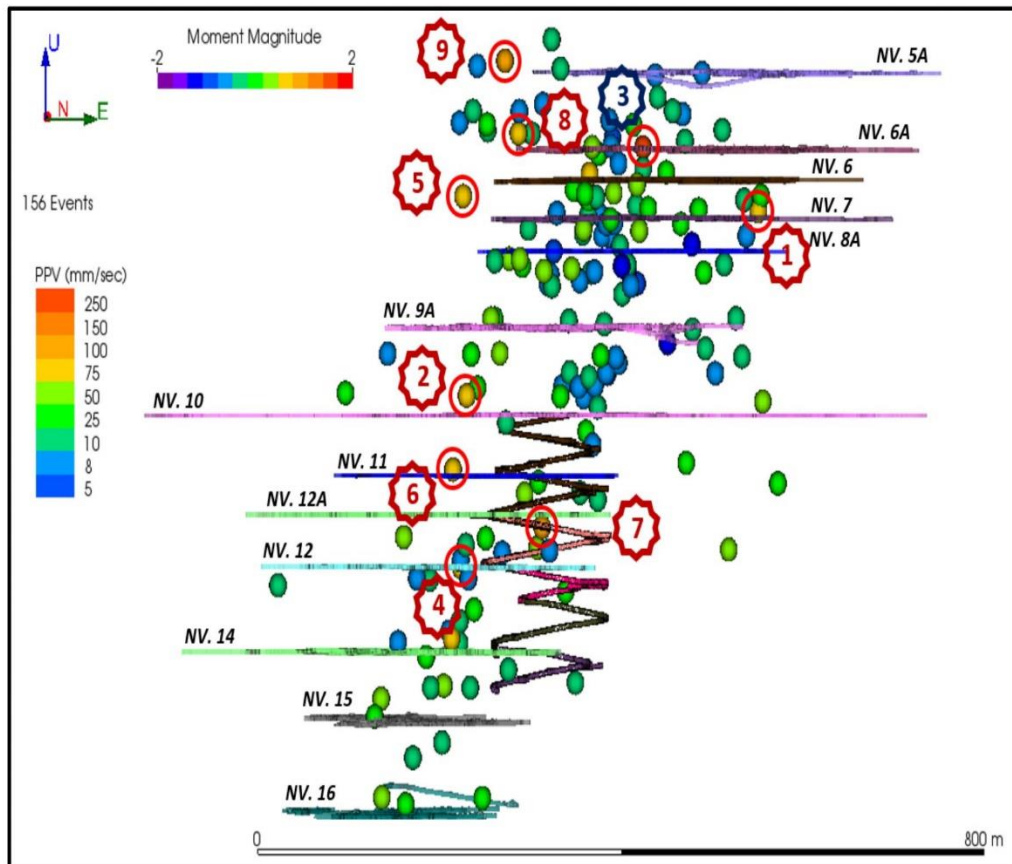
	GEOFONO TRIAXIAL
	GEOFONO UNIAXIAL

SENSOR INFORMATION

Sensor Name / Number	Collar Location			Sensor Location / Borehole Information			Sensor Information		
	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Inclination	Borehole Length	Type	Sensitivity	Serial Number
GT1-1_Nv.4	366,599.92	8,710,957.27	4,223.90	60°04'07"	46°52'56"	5 m	G3-1.1-2.0	43.3 V/m/s	050 - 000756
GU1-2_Nv.5A	366,867.512	8,710,884.593	4,211.079	319°41'59"	45°12'05"	5 m	G1-1.1-1.0	43.3 V/m/s	045 - 001964
GU1-3_Nv.5	366,636.277	8,710,845.785	4,165.445	61°48'31"	44°37'45"	5 m	G1-1.1-1.0	43.3 V/m/s	045 - 001962
GT1-5_Nv.6A	366,813.718	8,711,003.054	4,139.679	243°50'21"	46°50'30"	5 m	G3-1.1-2.0	43.3 V/m/s	050 - 000754
GU1-4_Nv.6	366,578.096	8,710,961.288	4,116.189	92°58'20"	47°04'41"	5 m	G1-1.1-1.0	43.3 V/m/s	045 - 001965
GT1-6_Nv.7	366,768.020	8,710,828.669	4,084.501	320°41'20"	45°18'44"	5 m	G3-1.1-2.0	43.3 V/m/s	050 - 000757
GT2-7_Nv.10	366,359.681	8,710,860.129	3,929.228	99°13'20"	45°52'06"	5 m	G3-1.1-2.0	43.3 V/m/s	050 - 000753
GU2-8_Nv.11	366,547.380	8,710,788.413	3,880.901	257°56'36"	48°22'09"	5 m	G1-1.1-1.0	43.3 V/m/s	045 - 001966
GT2-9_Nv.12	366,604.109	8,710,947.651	3,792.046	235°21'53"	42°34'16"	5 m	G3-1.1-2.0	43.3 V/m/s	050 - 000755
GU2-10_Nv.13	366,382.519	8,710,955.875	3,783.572	190°19'22"	44°38'05"	5 m	G1-1.1-1.0	43.3 V/m/s	045 - 001967
GT2-11_Nv.15A	366,430.593	8,710,792.509	3,709.981	220°5'23"	41°51'11"	5 m	G3-1.1-2.0	43.3 V/m/s	050 - 000758
GU2-12_Nv.15	366,539.1419	8,710,990.93	3,696.3893	241°15'59"	45°04'50"	5 m	G1-1.1-1.0	43.3 V/m/s	045 - 001963

Anexo 7

Monitoreo microsismico mediante el software Seis Vis



NÚMERO DE MEDICIONES: 9

RESUMEN DE ALERTAS RELEVANTES								
N°	Fecha	Hora	Tipo	MoMag	Nivel	Zona	Labor	Radio de Influencia
1	09/08	19:42:53	Voladura	0.54	7	Chiara Diseminado	XC. 478 SE	35.21 mts.
2	09/08	19:42:55	Voladura	0.76	10	Cuerpo Chiara 3ra	XC. 512 SW	26.65 mts.
3	09/08	20:47:20	Evento	1.41	6A	**	**	53.43 mts.
4	10/08	19:34:59	Voladura	0.56	14	Chiara Diseminado	GL. 435 NE	30.65 mts.
5	10/08	19:47:25	Voladura	0.51	7	*	*	21.97 mts.
6	13/08	19:28:24	Voladura	0.72	11	Cuerpo Chiara 3ra	XC. 440 NE	36.15 mts.
7	14/08	08:13:48	Voladura	0.85	12A	Chiara Diseminado	GL. 460 NE	31.88 mts.
8	14/08	17:45:10	Voladura	0.51	6A	Chiara Diseminado	GL. 500 NE	26.75 mts.
9	14/08	17:45:11	Voladura	0.78	5A	Chiara Diseminado	GL. 535 SW	35.09 mts.

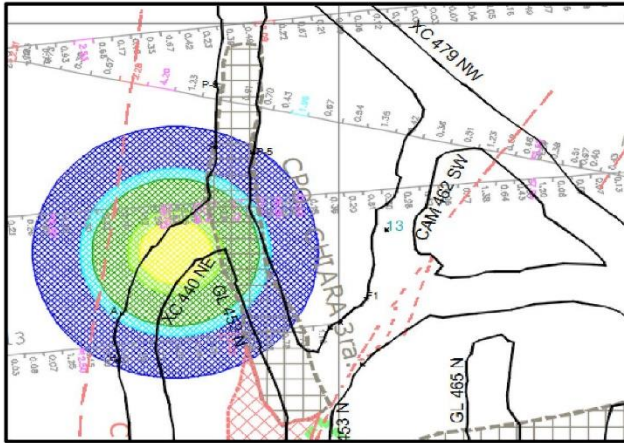
* Zona Alejada de las labores

** Fuera de la Concesión Minera Alpayana

Anexo 8

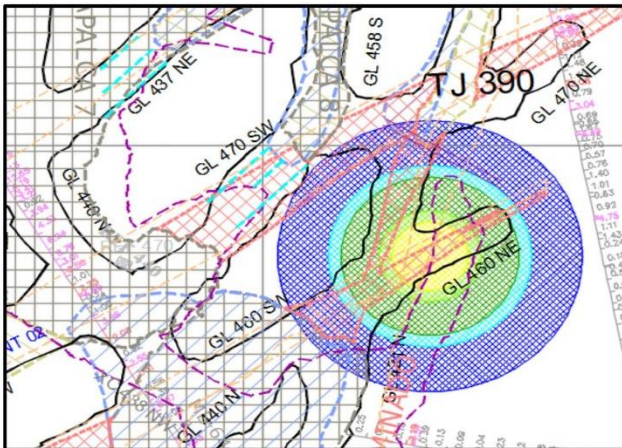
Ubicación de los eventos microsísmicos – vista planta

NV. 11 - XC. 440 NE



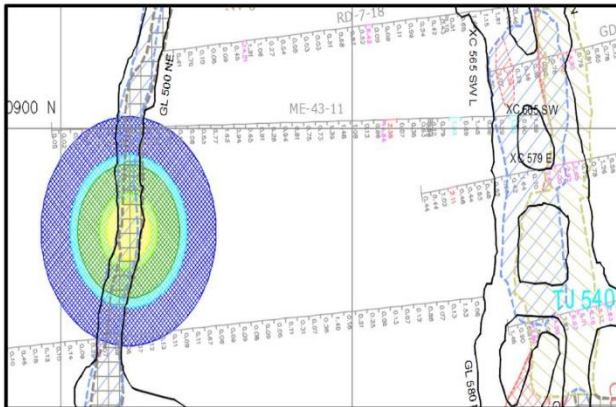
Selected Event Information / Action	
Site Name	Alpayana
Event Time	2021-08-13/19:28:24.42
Work Area	Main
Distance from Area	Inside area
Event Type	Blast
Location	8711009 N 366431 E 3984 D
Error	43
Sensors used	4
Source Loc.	4
Source Parameters	Uniaxials 2 Triaxials 2
Source Parameters	0.72 Moment Magnitude 120740730 Moment (Nm) 884 Energy (J) 3.37 Es:Ep ratio 36.15 Source radius (m) N/A Asperity radius (m) 123144 Static Stress Drop (Pa) 1560 Apparent Stress (Pa) N/A Dynamic Stress Drop (Pa) 0.013 Seismic Efficiency 0.06 Energy Index 3871091 Apparent Volume (m³)

NV. 14 - GL. 460 NE – TJ. 400



Selected Event Information / Action	
Site Name	Alpayana
Event Time	2021-08-14/08:13:48.729
Work Area	Main
Distance from Area	Inside area
Event Type	Blast
Location	8711011 N 366530 E 3838 D
Error	46
Sensors used	4
Source Loc.	4
Source Parameters	Uniaxials 2 Triaxials 2
Source Parameters	0.85 Moment Magnitude 189810585 Moment (Nm) 1.23e+04 Energy (J) 10.51 Es:Ep ratio 31.88 Source radius (m) N/A Asperity radius (m) 310979 Static Stress Drop (Pa) 14532 Apparent Stress (Pa) N/A Dynamic Stress Drop (Pa) 0.047 Seismic Efficiency 0.38 Energy Index 653079 Apparent Volume (m³)

NV. 6A - GL. 500 NE



Selected Event Information / Action	
Site Name	Alpayana
Event Time	2021-08-14/17:45:10.825
Work Area	Main
Distance from Area	Inside area
Event Type	Blast
Location	8710903 N 366504 E 4152 D
Error	20
Sensors used	5
Source Loc.	5
Source Parameters	Uniaxials 1 Triaxials 4
Source Parameters	0.51 Moment Magnitude 575800985 Moment (Nm) 1.71e+03 Energy (J) 5.67 Es:Ep ratio 26.75 Source radius (m) N/A Asperity radius (m) 110070 Static Stress Drop (Pa) 6341 Apparent Stress (Pa) N/A Dynamic Stress Drop (Pa) 0.058 Seismic Efficiency 0.44 Energy Index 454059 Apparent Volume (m³)

Anexo 9

Descripción de los eventos microsísmicos



Daily (Event:Blast)

DateTime	Type	Northing	Easting	Depth	Error	MoMag	SeiMo	Energy
Mon, Aug 09, 2021								
07:36:34.56	b	8710947	366603	3961	25.45	-0.8	6.3e+07	7.06
07:36:47.45	e	8710929	366589	3951	46.98	-0.7	8.5e+07	1.57
07:37:03.72	e	8710924	366583	3958	50.28	-0.4	2.7e+08	11.64
07:52:20.61	b	8710998	366582	4088	41.48	-0.2	5.0e+08	8.28
07:56:29.13	b	8710919	366431	3750	53.62	0.4	5.4e+09	1688.87
08:02:47.31	e	8710936	366377	3830	20.81	0.4	3.5e+09	131.27
08:04:56.79	b	8711074	366525	3821	30.89	0.2	2.0e+09	406.90
08:04:57.79	b	8711119	366556	3786	18.41	0.1	1.6e+09	171.47
08:04:58.82	b	8710960	366527	3874	28.42	0.1	1.4e+09	114.61
11:18:04.04	e	8711017	366587	3904	35.23	-0.6	1.2e+08	1.26
11:23:17.04	e	8710935	366626	4047	33.17	-0.4	2.5e+08	9.14
11:49:18.51	e	8711019	366478	4005	46.34	-0.1	8.3e+08	96.87
11:49:29.15	e	8710928	366593	3934	22.54	-0.4	2.6e+08	1.55
13:12:42.17	e	8710909	366360	3977	38.67	-0.6	1.2e+08	7.35
14:24:51.53	e	8710992	366582	4100	26.01	0.0	1.1e+09	39.68
15:00:30.74	e	8711063	366597	4072	29.41	-0.7	9.8e+07	2.74
15:35:40.77	e	8710935	366589	4042	38.82	-0.7	1.0e+08	1.82
15:35:43.98	e	8710952	366544	4059	31.74	-0.8	6.9e+07	0.65
15:54:06.14	e	8710870	366629	4031	15.10	-0.6	1.3e+08	4.94
19:19:34.63	e	8711335	366778	3939	22.51	0.3	2.8e+09	114.93
19:26:33.34	e	8710906	366313	3945	28.34	0.1	1.4e+09	19.32
19:42:50.00	b	8710851	366648	4092	29.75	0.1	1.5e+09	325.37
19:42:52.04	b	8710902	366636	4111	37.31	0.2	2.1e+09	414.61
19:42:53.13	b	8710798	366444	4101	32.67	0.5	6.4e+09	8408.39
19:42:55.64	b	8710791	366448	3943	34.37	0.8	1.4e+10	10143.76
19:42:56.72	b	8710832	366579	4103	46.10	-0.1	7.5e+08	202.51
19:52:41.52	b	8710936	366564	4044	29.43	0.2	2.1e+09	539.51
19:55:09.16	e	8710861	366552	4203	29.64	-0.4	2.4e+08	2.11
19:55:58.36	b	8710757	366507	4051	23.04	0.4	3.5e+09	126.19
19:55:59.44	b	8711254	366669	4125	39.93	0.1	1.5e+09	44.88
19:56:04.29	b	8711042	366508	4048	42.34	-0.1	6.1e+08	11.76
20:47:20.52	e	8711314	366643	4146	44.08	1.4	1.3e+11	106644.70
21:14:00.39	e	8711070	366738	3820	58.43	0.4	3.5e+09	223.30
21:59:51.31	e	8711097	366531	4178	35.20	-0.6	1.3e+08	2.42
22:10:39.31	e	8711098	366747	4006	37.34	-0.4	2.5e+08	1.40
22:27:18.13	e	8710785	366756	4070	26.68	-0.5	1.8e+08	2.14
						Total: 54		
Tue, Aug 10, 2021								
00:15:07.05	e	8711070	366605	4072	30.75	-0.6	1.4e+08	0.82
05:21:48.74	b	8711055	366733	4049	37.52	-0.4	2.9e+08	1.55
05:21:54.24	b	8711233	366711	4043	37.32	-0.0	8.8e+08	42.50
05:53:37.29	e	8710963	366659	4182	26.15	-0.3	3.4e+08	2.71
07:29:03.60	b	8710858	366638	4074	29.12	0.3	2.6e+09	648.17
11:53:34.46	e	8710808	366542	4226	37.73	-0.2	4.4e+08	18.02
17:16:07.04	b	8711072	366458	4208	54.69	-0.5	1.9e+08	1.35
19:34:59.12	b	8711014	366440	3806	50.13	0.6	6.9e+09	910.63
19:47:25.90	b	8710926	366770	4091	19.33	0.5	5.8e+09	3086.99
19:47:28.56	b	8710922	366773	4103	22.33	0.0	1.1e+09	114.09
						Total: 10		

Anexo 10

Fotografía del paladín – vista exterior & interior



Anexo 11

Fotografías de las zonas influenciadas por eventos microsísmicos



Anexo 12
Fotografías después del sostenimiento



Anexo 13

Fotografías de la instalación de los geófonos





Anexo 14

Pruebas de Tap Test en campo de los geófonos

