

Andrés Alfonso Ugarte Sebastiani¹ y Josué Vílchez Espejo²

¹ Autor: Cía. Minera Coimolache S.A., Entre Chugur y Hualgayoc, Cajamarca, Perú
(andres.ugarte@buenaventura.pe - 975599593)

² Coautor 1: Cía. Minera Coimolache S.A., Entre Chugur y Hualgayoc, Cajamarca, Perú
(josue.vilchez@buenaventura.pe - 983339094)

RESUMEN

Uno de los principales desafíos que enfrenta Minera Coimolache S.A. en la explotación del tajo TANTAHUATAY EXTENSIÓN NOR OESTE es la presencia de lagunas y casa cercanas a las áreas de producción por lo que se plantea implementar una serie de controles para minimizar el desplazamiento y/o caída de material volado hacia las estructuras mencionadas además de controlar que las vibraciones y fly rock se encuentren dentro del rango permisible sin afectar a resultados de producción como la fragmentación.

Para proyectos de similares características como el del proyecto en estudio se utilizaron parámetros BXE de 5.3x6.1m en taladros de producción mientras que en los taladros de cresta se utilizaron en Cresta 1: 4.6X1.5m y Cresta 2: 4.6x4.0m con densidad de emulsión de 1.15 gr/cc y un factor de potencia teórico de 0.24 kg/m dando como resultado un desplazamiento horizontal de material en cresta de 60m y un P80 de 4.49 in. En el proyecto en estudio se zonificó la malla de producción, usando como criterio la cercanía a la cresta cuidando así la fragmentación y variando la carga, utilizando los parámetros BXE en PRODUCCIÓN 1: 4.3X4.9m, PRODUCCIÓN 2: 4.0X4.6m y PRODUCCIÓN 3: 4.0X3.5m, mientras que en cresta se tuvo un BXE en CRESTA 1: 4.6X1.5 y CRESTA 2: 4.6X4.0m con una densidad de emulsión de 1.15 gr/cc y un factor de potencia teórico de 0.34 kg/m dando como resultado un desplazamiento horizontal de material en cresta de 10m y un P80 de 4.46 in.

Para lograr la reducción en el desplazamiento horizontal de material en cresta se variaron los parámetros de BXE en sectores de la malla, se controló la carga en las 3 filas de cresta siendo estas de 50kg, 75 kg y 100kg siendo la carga más reducida la primera fila de la cresta y se emplearon tiempos progresivos crecientes para las filas de

cresta con lo cual se realizaron estimaciones y análisis con el software I-Blast 8.1 generando el perfil crítico y desplazamiento horizontal con apoyo de la topografía real generados por fotogrametría.

Los resultados iniciales muestran que los cuerpos de agua presentes en la periferia de la zona operativa no han sufrido afectaciones en su calidad de agua producto de impactos por material de voladura.

Se ha evitado multas ambientales superiores a 100 UIT por afectación de cuerpos de agua y hemos logrado ampliar la huella operativa del tajo en 1.4 MM de toneladas con un beneficio de 15.9K Oz de AU.

Este trabajo presenta los resultados en el control de desplazamiento en las zonas críticas de cresta en los límites del tajo TANTAHUATAY EXTENSIÓN NOR OESTE comparando los parámetros de un proyecto en estudio con los utilizados en proyectos anteriores.

1. Introducción

Cía. Minera Coimolache S.A. es una operación minera a tajo abierto ubicada entre los distritos de Hualgayoc y Chugur en el departamento de Cajamarca, cuya actividad de negocio es la explotación y procesamiento de minerales de oro y plata.

Coimolache cuenta con 4 tajos operativos (Tantahuatay 2, Ciénaga Norte, Mirador Norte y Tantahuatay Extensión Nor Oeste), de los cuales el tajo Extensión, cuyo inicio fue en 2023, es la zona operativa que aportará el 100% de las onzas planificadas para el año 2025 y se tiene proyectado un aporte continuo hasta el 2028 en conjunto con las ampliaciones de los otros tajos mencionados y nuevos proyectos que se encuentran en evaluación.

Dentro de los desafíos operativos presentes en el tajo Tantahuatay Extensión Nor Oeste (THY-EXTNW), es la presencia y la cercanía de 3 lagunas naturales en la periferia de la zona operativa denominadas Auroras, las mismas que forman parte de una cultura ambiental y consideradas de carácter importante en el manejo de agua del Chugur, sin mencionar el aspecto paisajístico y socio cultural que significa para los pobladores del distrito.

Las lagunas tienen una distancia promedio de 100m hacia el área operativa, lo cual sumado a la topografía vertical de las paredes externas naturales y en forma de cornisa del tajo generan un reto en perforación y voladura para evitar el desplazamiento de material volado hacia los cuerpos de agua.

Los diseños de perforación y voladura, y las técnicas empleadas para la determinación de los parámetros de estos, buscan obtener la fragmentación óptima con el uso del menor recurso posible, aprovechando al máximo el poder rompedor del explosivo y una secuencia de salida adecuada empleando detonadores electrónicos programados con tiempos cortos entre taladros.

En las evaluaciones preventivas de los efectos de voladura se pudo determinar un desplazamiento de 60m hacia la cresta, lo que sumado a la topografía del terreno proyectaba una probabilidad media de rodadura de material hasta las lagunas Auroras y por consecuencia un impacto a la calidad del agua y las repercusiones ambientales y de multas que esto conlleva.

Ante esta proyección se originó la necesidad de cambiar los métodos empleados en perforación y voladura, buscando cumplir con los objetivos de producción y sin impactar a los cuerpos de agua circundantes.

2. Objetivos

- Contribuir al desarrollo sustentable de la operación asegurando la fragmentación del mineral presente en los límites de la operación y cumpliendo con la normativa vigente.
- Presentar las técnicas de voladuras empleadas para evitar la caída de rocas e impacto a cuerpos de agua dentro del radio de proyección.

3. Compilación de Datos y Desarrollo del Trabajo

El proyecto en estudio es el P3884-009THYNW en cual se encuentra en el límite suroeste del tajo Tantahuatay NW, rodeado de estructuras como pozas, canales, tuberías y lagunas (Las Auroras). Este, al estar en una zona crítica, requiere de mayor y más estrictos controles y análisis para evitar la caída de material volado hacia las estructuras mencionadas.



Imagen 1: Zona objetivo de aplicación – Tajo THY-EXTNW

Análisis de perforación del banco superior.

Antes de definir el diseño de malla y diseño de carga se evalúa la litología y tiempos de perforación del banco superior con la finalidad de determinar una malla adecuada para el banco en estudio.

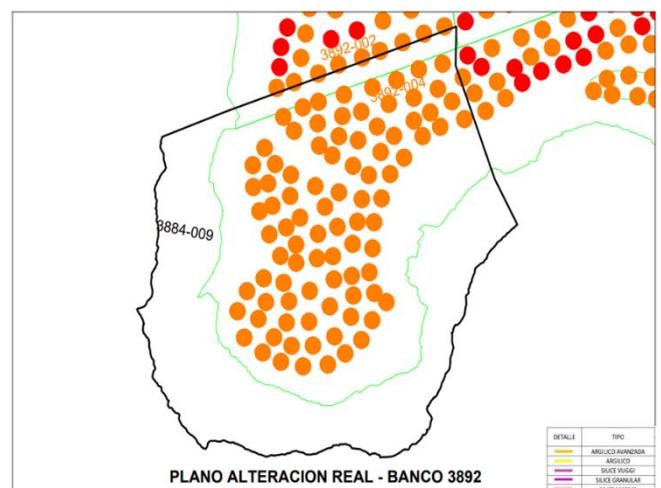


Imagen 2: Plano de alteraciones del proyecto.

Definición de parámetros de perforación y voladura.

Luego de analizar la información procedente del banco superior se decidió sectorizar el polígono y

definir diferentes tipos de mallas para cada sector considerando factores como litología proyectada del banco superior, cercanía a la cresta y factor de potencia.

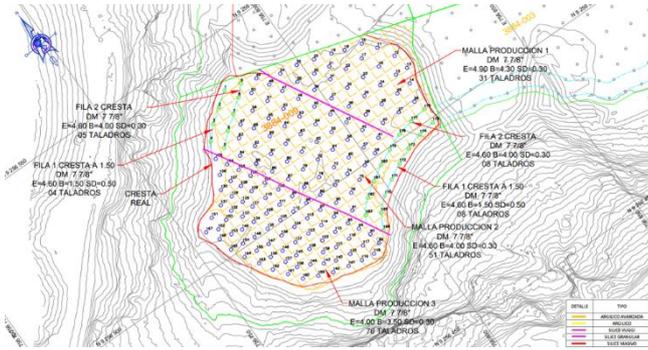


Imagen 3: Diseño de malla planteado

El diseño de malla fue modificado con respecto al estándar que se maneja para voladuras de producción (Anexo 1 – Tabla de parámetros de perforación y voladura estándar), ya que se requería un mayor cuidado, otro desplazamiento y mantener los resultados de fragmentación.

El diseño de carga se determinó tomando en cuenta el SD (SCALED DEPTH) y el factor de potencia acorde a con la alteración de la roca preexistente en el terreno, con los cual se busca minimizar el fly rock y una fragmentación según el target de 4 pulgadas.

Fórmula para Fly Rocks por McKenzie.

McKenzie adapta el enfoque de Lundborg, usando el Scaled Depth of Burial (SDOB) = profundidad de enterramiento ajustada por el tamaño del fragmento (m/kg^{1/3}).

McKenzie formula el rango máximo (R_{max}) como función de SDOB y un factor de fragmento (Fs):

$$R_{m\acute{a}x} = 11 \times SD^{2.167} \times Fs^{0.667}$$

Aunque son ampliamente utilizados, ambos modelos suelen sobreestimar la velocidad inicial y el alcance de flyrock.

Recomiendan complementarlos con simulaciones aerodinámicas que consideren la resistencia del aire.

Aplicación del SDOB para reducir flyrock

La literatura de Chiappetta sugiere usar SDOB entre 0.4 y 1.2 m/kg^{1/3} para mitigar el flyrock accidentado; menores que esto induce mayor riesgo.

Los criterios de Chiappetta para tener en cuenta la proyección de rocas son los siguientes:

- Confinamiento inadecuado de la carga: Insuficiente altura de taco o material de taco de mala calidad.
- Burden insuficiente: La distancia entre el barrenos y la cara libre de la roca es demasiado pequeña.
- Sobrecarga de explosivos: Exceso de carga en el barrenos.
- Condiciones geológicas adversas: Presencia de fracturas o debilidades en la roca que permiten el escape de gases.

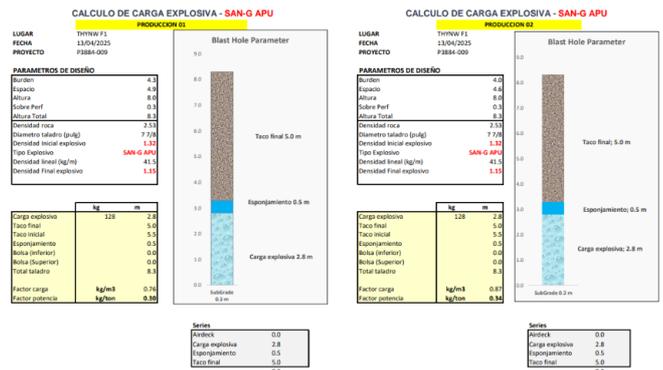
El análisis de Chiappetta busca minimizar el riesgo de "fly rocks" a través de un diseño de voladura optimizado, el uso de técnicas de voladura controlada (como el "air deck" o la distribución de carga), y la implementación de monitoreo y control en campo para asegurar la seguridad de las operaciones mineras y de construcción. Ha enfatizado que las "fly rocks" son un peligro mucho mayor que las vibraciones del terreno, dado su potencial para causar daños, lesiones e incluso muertes.

McKenzie coincide con este criterio, considerando el rango SDOB ≈ 0.596 como óptimo.

Uso práctico de fórmulas en campo

- Medir SDOB tras volar barrenos de prueba.
- Calcular Fs, relacionado al tamaño típico de fragmento expulsado.
- Ajustar diseño de carga y profundidad para mantener SDOB en el rango seguro.
- Predecir R_{max} con la fórmula de McKenzie y comparar con radios de seguridad y observaciones reales.

Para ese estudio se redujo la carga en las filas de cresta en 50 kg, 75kg y 100kg de emulsión gasificable para tener mayor control de desplazamiento horizontal del material volado, siendo la carga anteriormente utilizada de 120 kg.



CALCULO DE CARGA EXPLOSIVA - SAN-G APU

LUGAR: TINYAN F1
FECHA: 11/04/2025
PROYECTO: F3884-009

PARAMETROS DE DISEÑO

Burden	4.3
Espesor	4.4
Altura	8.0
Subtaco	0.3
Altura Total	8.3
Densidad roca	2.33
Diámetro taladro (in)	7.5
Densidad inicial explosivo	1.37
Tipo Explosivo	SAN-G 404
Densidad lineal (kg/m)	41.5
Densidad Final explosivo	5.13

Carga explosiva

kg	m
Taco final	120
Taco inicial	5.0
Espesamiento	0.5
Bomba (inferior)	0.0
Bomba (superior)	0.0
Total taladro	8.3
Factor carga	kg/m ³ 0.74
Factor potencia	kg/ton 0.36

Series

Factor	0.0
Carga explosiva	2.8
Espesamiento	0.5
Taco final	8.3

CALCULO DE CARGA EXPLOSIVA - SAN-G APU

LUGAR: TINYAN F1
FECHA: 11/04/2025
PROYECTO: F3884-009

PARAMETROS DE DISEÑO

Burden	4.0
Espesor	4.4
Altura	8.0
Subtaco	0.3
Altura Total	8.3
Densidad roca	2.33
Diámetro taladro (in)	7.5
Densidad inicial explosivo	1.37
Tipo Explosivo	SAN-G 404
Densidad lineal (kg/m)	41.5
Densidad Final explosivo	5.13

Carga explosiva

kg	m
Taco final	120
Taco inicial	5.0
Espesamiento	0.5
Bomba (inferior)	0.0
Bomba (superior)	0.0
Total taladro	8.3
Factor carga	kg/m ³ 0.87
Factor potencia	kg/ton 0.34

Series

Factor	0.0
Carga explosiva	2.8
Espesamiento	0.5
Taco final	8.3

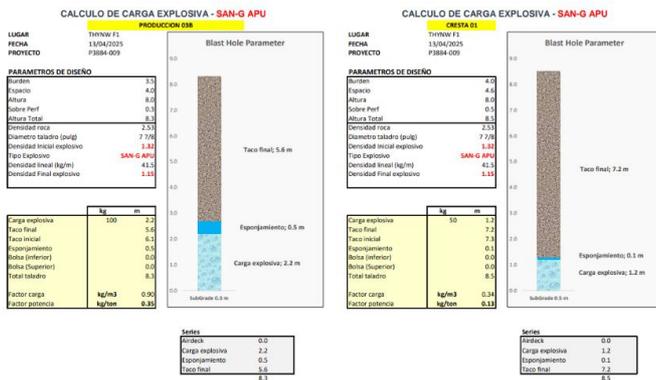


Imagen 4: Diseño de carga

DISEÑO DE CARGA	CRESTA 1	CRESTA 2	CRESTA 3	PROD ARG AVAN	
PARAMETROS					
Burden	m	3.5	4.0	4.0	4.3
Espaciamiento	m	4.0	4.6	4.6	4.9
Altura de Banco	m	8.0	8.0	8.0	8.0
Sobreperforación	m	0.5	0.3	0.3	0.3
Altura Total	m	8.5	8.3	8.3	8.3
Diámetro de Tal.	pulg	7 7/8	7 7/8	7 7/8	7 7/8
Densidad Inicial	gr/cc	1.32	1.32	1.32	1.32
Densidad Final	gr/cc	1.15	1.15	1.15	1.15
Densidad Lineal Inicial	Kg/m	41.5	41.5	41.5	41.5
Densidad Lineal Final	Kg/m	36.2	36.2	36.2	36.2
Taco					
Taco	m	7.3	6.4	5.6	5.0
Espojamiento	m	0.1	0.3	0.5	0.5
Longitud de Carga Inicial	m	1.1	1.6	2.2	2.8
Longitud de Carga Final	m	1.2	1.9	2.7	3.3
Aire Deck	m	0.0	0.0	0.0	0.0
Densidad de la Roca					
Densidad de la Roca	Ton/m3	2.5	2.5	2.5	2.5
Cantidad de Explosivo	Kg	50	75	101	128
Volumen	m3	112	147	147	169
Ton/Tal	Ton	280	368	368	421
Factor de Carga	Kg/m3	0.44	0.51	0.69	0.76
Factor de Potencia	Kg/t	0.18	0.20	0.27	0.30
SD					
SD		1.90	1.69	1.51	1.38

Cuadro 1: Diseño de carga planificado

Aplicación de software I-Blast

I-Blast es un software especializado en el diseño, simulación y optimización de voladuras para minería superficial. Fue desarrollado para ayudar a ingenieros de minas a planificar voladuras más eficientes, seguras y económicas, mejorando la fragmentación y reduciendo efectos colaterales como vibraciones, sobrevuelo de rocas (flyrock) y ruido.

Este software tiene dentro de sus principales funcionalidades lo siguiente:

Función	Descripción
Diseño de mallas de perforación	Define burden, espaciamiento, altura de banco, subperforación y distribución de barrenos.
Diseño de cargas explosivas	Permite seleccionar el tipo de explosivo, columna de carga, carga de columna, booster, y cálculo de carga específica (kg/m ³).
Simulación de voladura	Simula la secuencia de disparo y permite ver visualizaciones en 2D/3D del comportamiento de la voladura.
Cálculo de fragmentación	Utiliza modelos empíricos como el de Kuz-Ram para estimar distribución granulométrica post-voladura.
Predicción de vibraciones (PPV)	Calcula la velocidad pico de partícula en función de la carga y distancia, usando fórmulas como USBM o Langefors.
Estimación de Flyrock	Calcula alcance máximo de proyecciones según SDOB (Scaled Depth of Burial).
Informes automatizados	Genera reportes técnicos con todos los parámetros de diseño y resultados estimados.

Cuadro 2: Principales funciones de software I-Blast.

Del mismo modo el software integra los siguientes modelos teóricos:

- Kuz-Ram (para fragmentación)
- Langefors–Kihlström (diseño de carga y burden)
- USBM y RISE (para vibraciones)
- McKenzie y Lundborg (estimación de flyrock)

Diseño de secuencia de iniciación

Para el diseño de la secuencia de iniciación hacemos uso del software I-BLAST en el cual se aplican los tiempos entre filas y taladros ya definidos para este tajo, además de configurar retardos para un mayor control de desplazamiento horizontal de material en cresta. También se evalúa no tener acoples con la finalidad de no superar el límite de vibraciones que rigen la normativa actual.

Para este diseño se utilizaron tiempos entre filas de 122ms, tiempos entre taladros de 5 ms, además de tiempos progresivos crecientes para las filas de cresta.

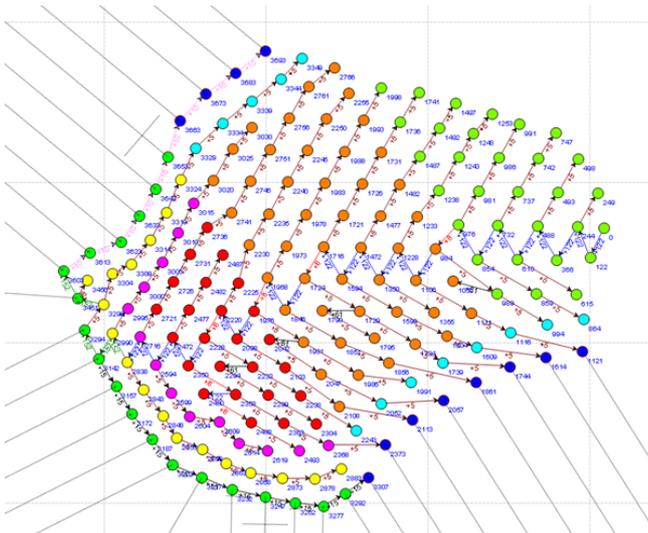


Imagen 5: Diseño de secuencia de salida

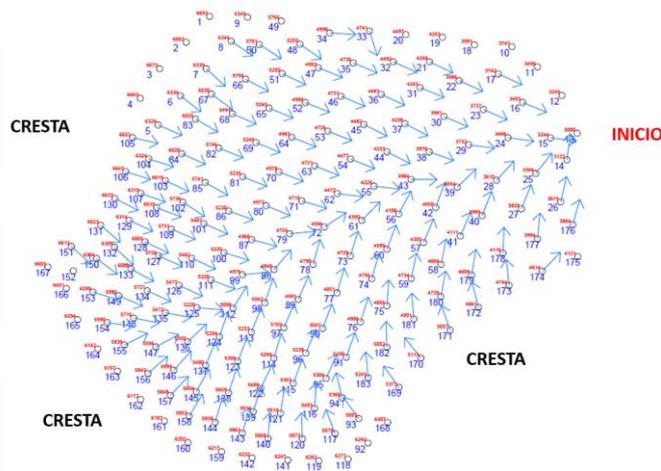


Imagen 6: Dirección de desplazamiento de material

Estimación de resultados de voladura

A. Alcance de Fly Rocks

Con ayuda de la formula propuesta por McKenzie se calculó el rango máximo de proyección de roca basado en la menor longitud de taco que se tiene en el diseño de carga el cual arrojó un valor de 144 m de alcance máximo.

PROYECCIONES FLYROCK POR MACKENZIE - TAL PRODUCCIÓN			
L:	Profundidad Taladro	8	m
Φ:	Diámetro perforación	200	mm
P exp:	Densidad explosivo	1.15	g/cc
Material:	Tipo material taco	Stemming	
St:	Taco	5.1	m
Lc:	Largo columna explosiva	3.3	m
m:	Proporción de la Longitud de la Carga con Respecto al Diámetro del taladro	10.000	
Fs:	Factor de forma roca	1.2	
SDBm:	Forma Métrica de la Profundidad de Entierro.	1.47	Kg/m 1/3
Range Max		144	m
Factor de seguridad	1	144	m
	1.5	216	m
	2	288	m

Cuadro 3: Estimación de alcance de Fly Rocks

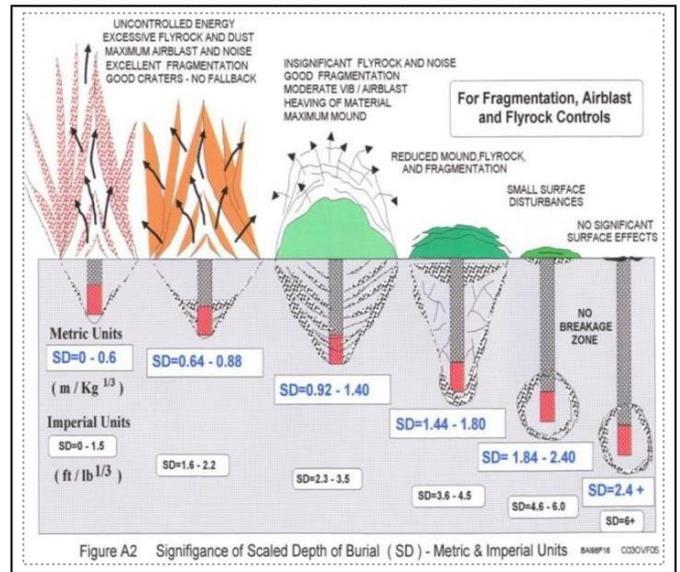


Imagen 7 : Escala gráfica de SD

B. Vibraciones

La evaluación de vibraciones se realiza mediante el modelo de Devine la cual es una fórmula empírica que relaciona la velocidad pico de partícula (PPV), que es la medida estándar de la intensidad de la vibración del terreno, con la carga de explosivo detonada por retardo (o carga operante) y la distancia desde el punto de voladura.

El modelo de Devine se basa en la idea de que la atenuación de las vibraciones en el campo lejano puede ser aproximada por una ley de potencia. Es una herramienta fundamental para la predicción y el control de vibraciones en operaciones de voladura, permitiendo a los ingenieros estimar los niveles de vibración esperados en estructuras o áreas sensibles y diseñar voladuras que cumplan con los límites de seguridad establecidos. La determinación de los valores de K y α para un sitio específico se realiza a través de un análisis de regresión a partir de mediciones de vibración en campo.

$$PPV = K \cdot \left(\frac{Q_e}{R^2} \right)^n$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidad
PPV	Velocidad pico de partícula	mm/s
K	Constante del medio (empírica)	-
Q _e	Carga efectiva por retardo	kg
R	Distancia al punto de monitoreo	m
n	Exponente de atenuación (empírico, usualmente 1 a 2)	-

Cuadro 4: parámetros de fórmula de campo lejano



Imagen 8: Ábaco de vibraciones THY-EXTNW

Haciendo uso de los parámetros antes definidos se procede a realizar una estimación de vibraciones por el modelo de campo lejano correspondiente al tajo TANTAHUATAY NW arrojando un valor teórico de 8 mm/s a una distancia de 258 m entre el proyecto y el punto de monitoreo, el cual se encuentra debajo del límite máximo permitido de 25.4 mm/s (GUÍA AMBIENTAL PARA LA PERFORACIÓN Y VOLADURAS EN OPERACIONES MINERAS (MEM - PERU 1995))

Min dist desde tronadura (m) =	258.0
Max Expl por retardo (kg) =	128
Velocidad Peak de partícula (mm/s) PPV	8.0 mm/s

Cuadro 5: Estimación de vibraciones

Análisis de perfil crítico

Para este análisis se requirió del uso de la topografía real del proyecto en estudio, y la generación de un modelo 3D a partir de una nube de puntos el cual se obtuvo por el método de fotogrametría.

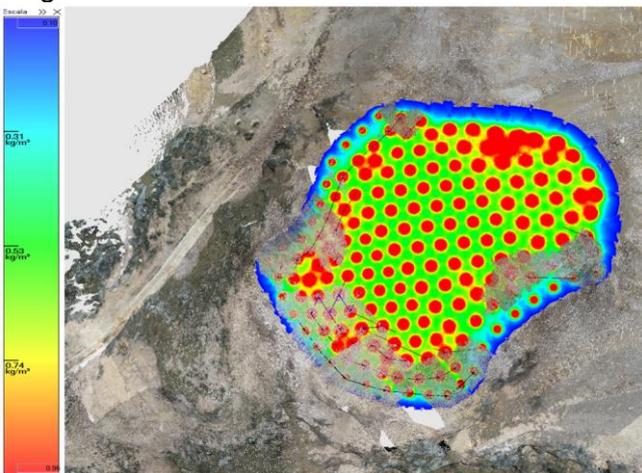


Imagen 9: Distribución de energía

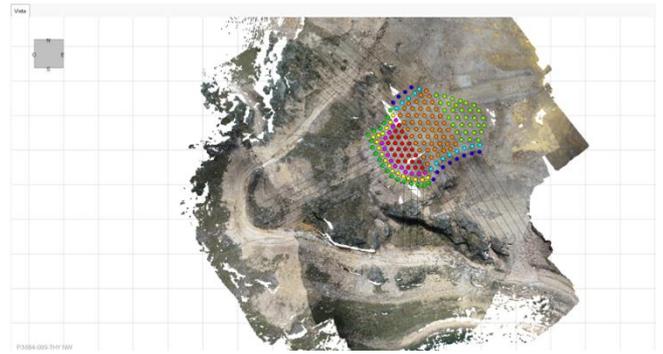


Imagen 10: Modelo 3D del área en estudio generado en el software I BLAST

Con el modelo 3D del área en estudio generado, se procede a configurar el perfil crítico y el análisis de desplazamiento horizontal de las zonas de interés.

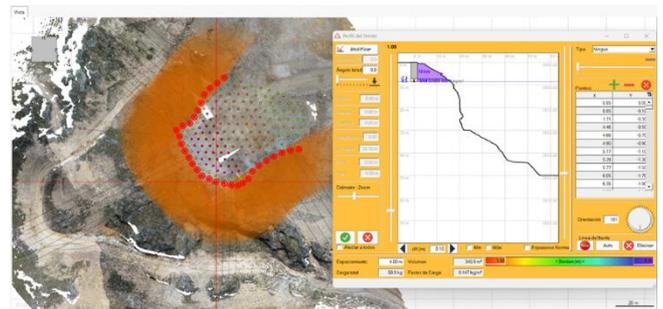


Imagen 11: Perfil crítico de la zona evaluada con el software I BLAST

Con el perfil crítico ya definido se procede al análisis del desplazamiento horizontal, el cual arrojó un desplazamiento horizontal de material de 32m.

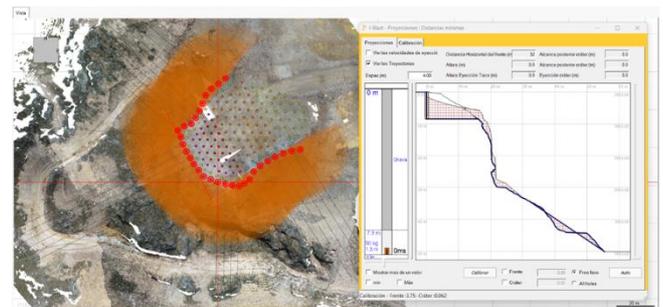


Imagen 12: Desplazamiento horizontal de material con el software I BLAST

Como conclusión de los análisis previos de los diseños planteados se pudo prever un desplazamiento adecuado para evitar la proyección de rocas hacia las lagunas Auroras.

Así mismo se muestra una imagen de la probabilidad de caída de rocas sin considerar controles operativos y con los cambios planteados. Reduciendo la probabilidad de 28% a 5%

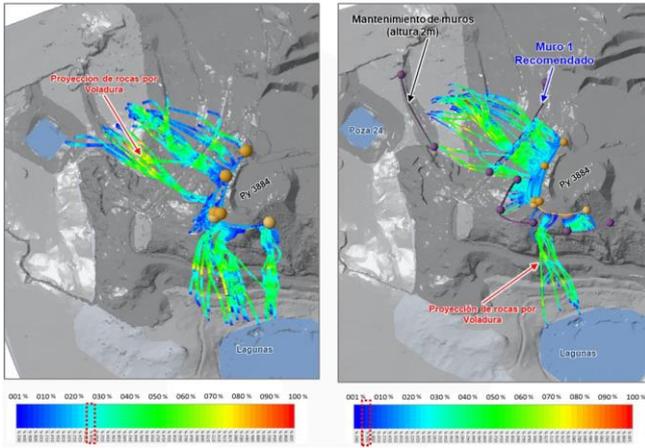


Imagen 13: Probabilidad de caída de rocas hacia lagunas.

4. Presentación y discusión de resultados

Resultados de proyecto analizado.

La presente evaluación tiene como finalidad analizar los resultados obtenidos a partir de los registros en campo y comparar los valores esperados versus los reales, considerando parámetros como fragmentación, PPV, desplazamiento del material y alcance de Fly Rock.

A. P80

Para la medición del P80 en campo se utilizó un dispositivo llamado PORTAMETRICS donde las fotos son procesadas en tiempo real. En este análisis podemos notar que el P80 no presenta variación significativa respecto a proyectos de similares características pese a los controles implementados.

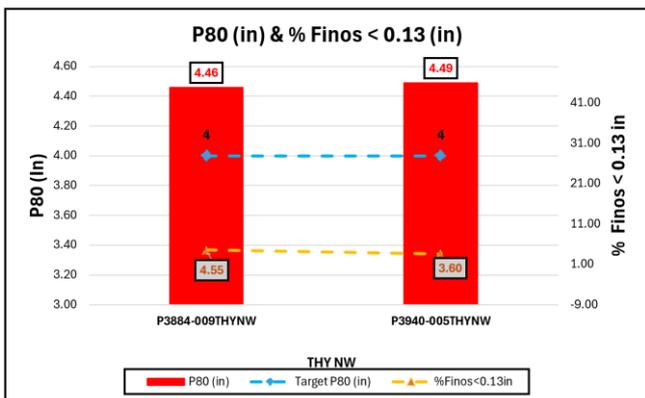


Imagen 14: Resultados de fragmentación Py.009-3884 THY-EXTNW

B. Vibraciones

El sismógrafo que tomó los registros fue colocado a 258 m del proyecto, registrando un valor de PPV: 6.89 mm/s, Este valor se encuentra muy por debajo

de los límites máximos permisibles que establece la normativa peruana.

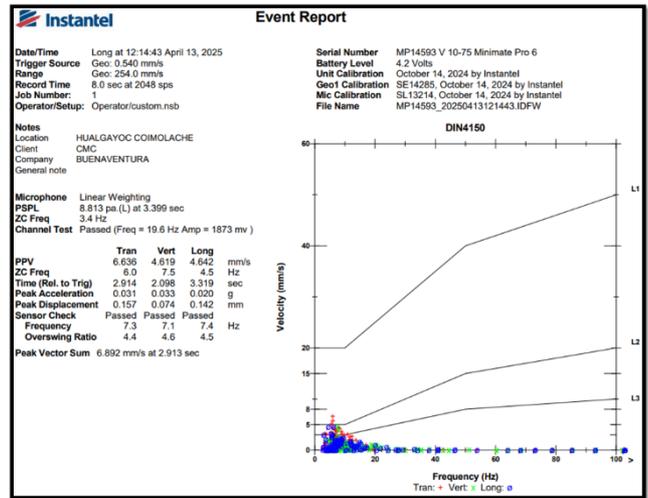


Imagen 15: Registro de vibraciones de la voladura Py.009-3884 THY-EXTNW

C. Fly Rocks y desplazamiento de material

Ejecutada la voladura se evidencia que no hubo proyección de rocas, esto debido a un buen control operativo durante el carguío, un buen material para el tapado y buenas prácticas operativas. Así mismo el desplazamiento del material estuvo por debajo de lo simulado y **no se tuvo afectación con material a la calidad de la laguna.**



Imagen 16: Post voladura – zona de cuidado en laguna Aurora.

El estudio mostró los resultados en un proyecto de voladura en cresta, durante el 2025 las técnicas empleadas se aplicaron en todas las zonas de cresta con riesgo de proyección o impacto a los cuerpos de agua.

Resultados 2025 en proyectos de voladura hacia cresta.

Durante el presente año se tuvieron 17 proyectos de voladura con proyección directa hacia las lagunas Auras.

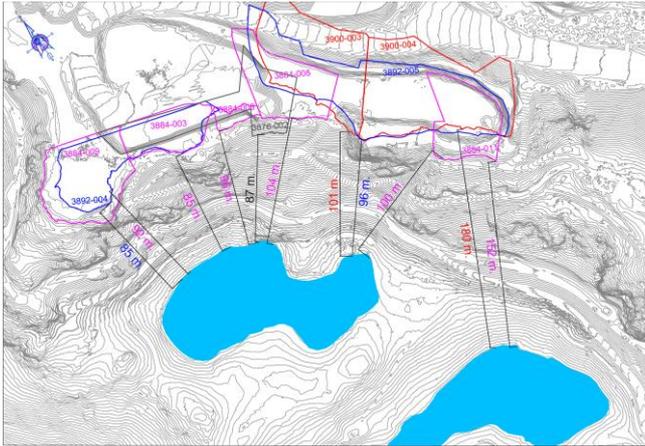


Imagen 17: Proyectos de voladura con influencia en lagunas zona sur.

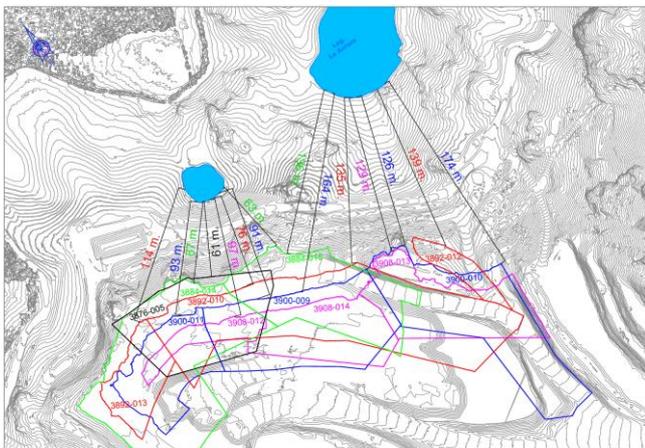


Imagen 18: Proyectos de voladura con influencia en lagunas zona norte.

Como se puede ver en el siguiente cuadro resumen los proyectos de voladura no impactaron los cuerpos de agua, mantuvieron una fragmentación esperada y no existieron desviaciones en la medición de vibraciones.

Fecha	Proyecto	P80	PPV	Impacto lagunas
13/01/2025	P3900-004THYNW	4.0	4.3	0%
16/01/2025	P3900-003THYNW	4.5	6.2	0%
23/01/2025	P3892-004THYNW	4.3	4.9	0%
5/02/2025	P3892-005THYNW	5.1	4.5	0%
9/03/2025	P3884-005THYNW	4.5	8.6	0%
9/03/2025	P3884-006THYNW	4.5	8.6	0%
13/04/2025	P3884-009THYNW	4.8	6.9	0%
15/04/2025	P3884-011THYNW	5.0	6.8	0%
26/03/2025	P3908-012THYNW	4.1	3.1	0%
28/03/2025	P3908-014THYNW	4.5	10.5	0%
22/04/2025	P3900-009THYNW	4.6	19.3	0%
26/04/2025	P3900-010THYNW	3.9	9.0	0%
5/05/2025	P3900-011THYNW	4.1	20.5	0%
18/05/2025	P3892-010THYNW	4.6	20.1	0%
5/06/2025	P3892-013THYNW	5.4	15.4	0%
24/06/2025	P3884-014THYNW	4.4	22.6	0%
26/06/2025	P3884-015THYNW	4.5	21.7	0%

Cuadro 6: Resultados de voladuras en cresta – 2025

Evaluación de calidad de agua en lagunas Auroras

Las evaluaciones de calidad de agua se realizan de forma trimestral y en los resultados se muestran la línea base y los valores a posteriori 2024-2025

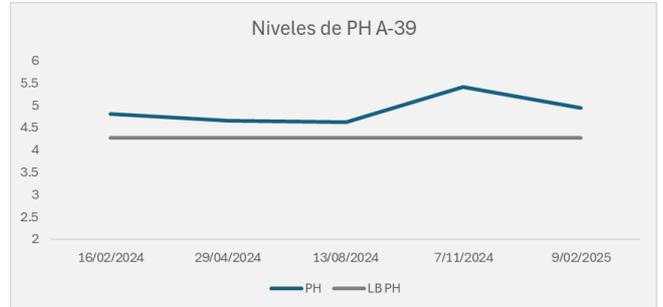


Imagen 19: Niveles de PH en laguna A-39

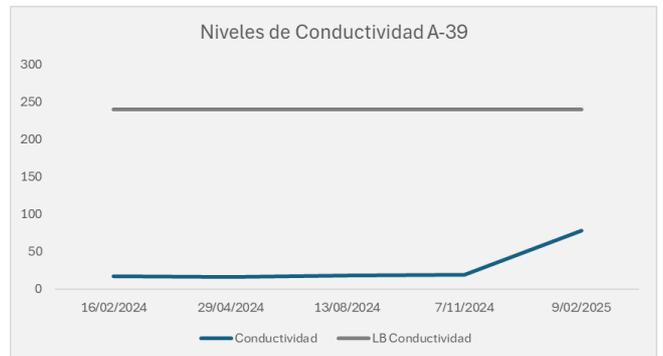


Imagen 20: Niveles de conductividad en laguna A-39

Parámetro	Estación A-39					ECA 4
	16/02/2024	26/04/2024	11/08/2024	5/11/2024	11/02/2025	
Aceites y Grasas	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	5
Ciámetro Libre	-	-	<0.0008	<0.0008	<0.0008	0.0052
Color	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	20
Clorofila A	-	-	<0.003	<0.003	<0.003	0.008
DBOS	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	5
Fenoles	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	2.56
Fósforo Total	-	0.019	<0.010	<0.010	<0.010	0.035
Nitratos (NO3-)	0.636	0.578	0.591	0.745	1.774	13
Amoniaco Total	-	-	0.045	0.042	0.079	1
Oxígeno Disuelto	6.94	7.06	6.53	6.58	7.01	5
Sólidos Suspendedos Totales	-	-	<3	3	<3	25
Sulfuros	-	-	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
Temperatura	11.2	13.5	13.1	12.8	12.4	3
Arsénico Total	0.00056	0.00117	0.00161	0.00146	0.00194	0.15
Antimonio Total	<0.00013	<0.00013	<0.00013	<0.00013	0.01835	0.64
Bario Total	0.033	0.0268	0.038	0.0306	0.0415	0.7
Cadmio Disuelto	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	0.00025
Cobre Total	0.00369	0.0047	0.00671	0.00405	<0.00009	0.1
Cromo (VI)	-	-	<0.003	<0.003	<0.003	0.011
Mercurio Total	<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009	0.0001
Níquel Total	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.052
Talio Total	<0.00006	0.00009	0.00014	<0.00006	0.0004	0.0008
Zinc Total	0.0108	0.0116	0.046	0.0155	0.0538	0.12

Cuadro 7: Demás parámetros en laguna A-39

Con los resultados mostrados podemos garantizar la mitigación de impacto en la calidad de agua producto de caídas de rocas o desplazamiento de material en los cuerpos de agua ubicados en la periferia del área operativa.

Mineral extraído producto de voladuras en cresta.

La aplicación de las voladuras controladas en cresta permitió la fragmentación de 1,825,481 toneladas de mineral con una ley 0.34 g/t lo cual equivale a 20,024 onzas puestas en PAD para su procesamiento.

Proyecto	Toneladas	Ley	Onzas
P3900-004THYNW	139,975	0.42	1,902
P3900-003THYNW	113,763	0.42	1,548
P3892-004THYNW	56,018	0.51	918
P3892-005THYNW	186,361	0.42	2,526
P3884-005THYNW	60,379	0.53	1,034
P3884-006THYNW	3,713	0.51	60
P3884-009THYNW	88,167	0.27	753
P3884-011THYNW	56,066	0.31	560
P3908-012THYNW	10,890	0.46	159
P3908-014THYNW	69,982	0.48	1,082
P3900-009THYNW	148,474	0.36	1,735
P3900-010THYNW	162,240	0.26	1,336
P3900-011THYNW	65,756	0.39	821
P3892-010THYNW	267,973	0.26	2,211
P3892-013THYNW	48,676	0.24	377
P3884-014THYNW	203,979	0.26	1,715
P3884-015THYNW	143,069	0.28	1,288

Cuadro 8: Resultados operativos de extracción por voladuras en crestas

Oportunidad de expansión

Los controles aplicados en las voladuras cerca de cuerpos de agua nos permiten plantear una expansión de la huella operativa del tajo, hacia el límite ambiental.

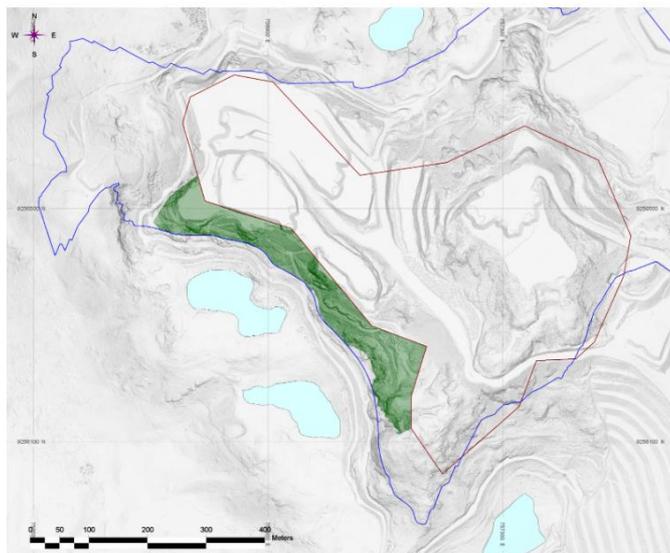


Imagen 21: Plan de ampliación de tajo THY-EXTNW

Con la ampliación planteada cual se tendrían un recurso adicional de 1.4MM de toneladas de mineral a una ley de 0.354 g/t con lo cual se busca aportar al PAD 15.9k onzas de oro.

Multas ambientales evitadas

En revisión de las escalas de multas en OEFA, cabe precisar que no existe montos exactos por una posible contaminación de lagunas, podemos revisar la escala de multas según el nivel de falta incurrida.

- Si consideramos un daño ambiental recuperable en cuerpos de agua, esto puede ser considerado como una infracción grave y punible entre 100 a 1000 UIT.
- Si consideramos un daño irreversible o desaparición parcial o total de una laguna producto de afectación de material de la operación, el ente fiscalizador puede considerar la falta como muy grave y la compañía puede ser acreedora de una multa de 1,000 a 30,000 UIT.

Plan de continuidad

Para mantener los resultados obtenidos, buscar optimizar los parámetros de perforación y voladura y asegurar los planes de expansión se tiene las siguientes acciones.

- Mantener la configuración actual de malla y carga explosiva, especialmente en zonas críticas como crestas o bordes expuestos, donde el control de desplazamiento es esencial para preservar zonas de riesgo de afectación medioambiental.
- Continuar el uso de análisis fotogramétrico o software de fragmentación, para validar resultados y ajustar el diseño si se detectan desviaciones futuras en la granulometría.
- Seguir aplicando criterios de diseño controlado para SDOB (Scaled Depth of Burial), ya que han demostrado ser efectivos en la minimización del flyrock, especialmente cerca de estructuras.
- Monitorear periódicamente la estabilidad de las zonas de cresta y el relieve natural de las zonas de riesgo, especialmente si se repiten voladuras en zonas similares, para evitar acumulación de daño estructural en la masa rocosa.
- Documentar y replicar los parámetros utilizados como referencia para voladuras futuras en condiciones geomecánicas

similares, generando una base de datos técnica confiable.

- La aplicación de voladuras controladas en las crestas

Con los resultados operativos mostrados, las multas que podemos evitar, el plan de continuidad y el proyecto de ampliación aseguramos un desarrollo sostenible del tajo Tantahuatay Extensión Nor Oeste.

5. Conclusiones

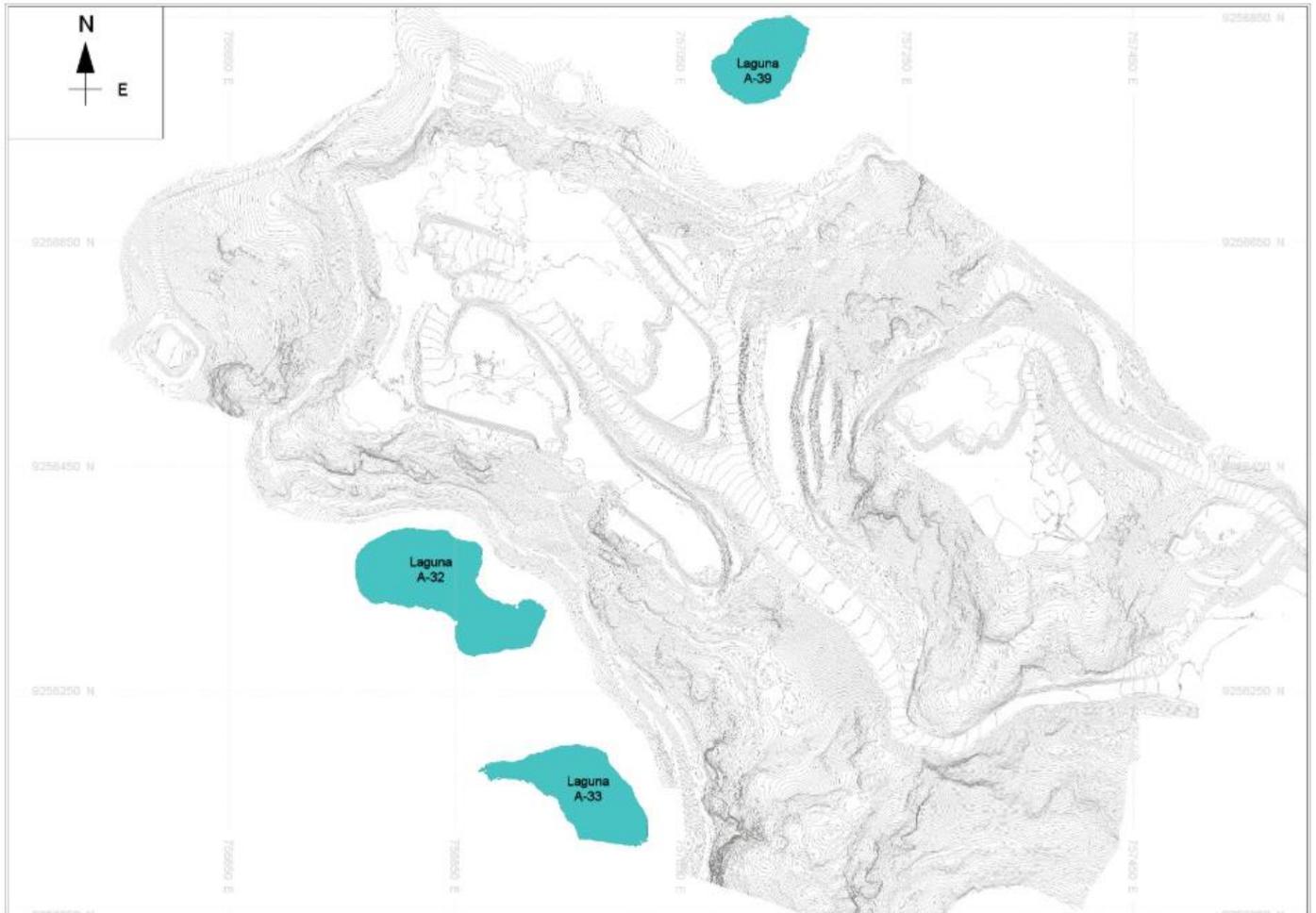
- Las técnicas de voladura aplicadas evitan la caída de rocas e impacto a los cuerpos de agua dentro del radio de proyección, lo cual se demuestra con la calidad de agua presente en los monitoreos trimestrales en las lagunas Auroras.
- Se pudo garantizar el desarrollo sustentable de la operación asegurando la fragmentación del mineral presente en los límites de la operación y cumpliendo con la normativa vigente ya que se pudo extraer y procesar 1,825,481 toneladas de mineral lo que equivale a 20,024 Oz de Au.
- Como conclusiones secundarias:
 - Las voladuras generaron una distribución granulométrica favorable, con valores de P80 dentro del rango operativo deseado de entre 4" y 5", favorable para carguío; lo que indica una correcta selección del diseño de malla y carga explosiva.
 - El desplazamiento del material fue mínimo y dentro de los límites previstos, evidenciando una adecuada relación burden/espaciamiento y una correcta iniciación desde la cara libre. El análisis de perfil crítico y desplazamiento horizontal realizado con el software IBlast, estuvo muy cercano a la realidad, y ha sido una herramienta valiosa para la determinación de cargas en cresta.
 - La proyección de fragmentos fue inexistente, lo que sugiere una buena sincronización de los retardos, adecuada profundidad de carga (SDOB) y correcta distribución de energía explosiva.
 - El material volado mostró buena estabilidad post voladura, sin riesgo de caída de material colgado, lo que valida que el diseño de malla fue óptimo.

6. Anexos

A. Estándar de mallas de perforación y voladura 2025

ÁNGULO	ROCA	ALTERACIÓN	DETALLE	E	X	B	HB (m)	TN	SP (m)	DEN. EXPL. FINAL (gr/cc)	Esponjamiento (m)	TACO FINAL (m)	Aire Deck (m)	CARGA LINEAL (Kg/m)	TOTAL KG.	FP (Kg/Tn)	SD	FLY ROCK (Fs = 1)	TIPO EXPLOSI VO
65°	COMPETENTE	V. CONTROLADA EN CRESTA	PRODUCCION Arg. Av.	5.2	X	4.5	8	468	0.5	1.1	0.5	6	0.5	41.5	68	0.15	1.60	106	SAN G APU
			CRESTA	4.6	X	4.0	8	368	0.5	1.1	0.5	6.4	-	41.5	73	0.20	1.70	94	
			PRODUCCION Sil. Mas	4.6	X	4.0	8	368	0.5	1.1	0.5	5	-	41.5	137	0.37	1.38	149	
			CRESTA	4	X	3.5	8	280	0.5	1.1	0.5	6	-	41.5	91	0.33	1.60	106	
	SUAVE	ARGÍLICO	PRODUCCION	7	X	6.1	8	854	0	0.9	0.5	5	0.5	41.5	91	0.11	1.38	129	SAN G APU
			PRODUCCION	7.3	X	6.3	8	920	0	0.9	0.5	4.8	0.5	41.5	100	0.11	1.33	138	
			BUFFER 02	5.5	X	4.8	8	528	-0.5	0.9	0.3	3	2.6	41.5	73	0.14	1.61	105	
			BUFFER 01	4.9	X	5.2	8	510	-0.5	0.9	0.2	2.5	3.9	41.5	41	0.08	1.70	82	
	COMPETENTE	ARGÍLICO AVANZADO	PRODUCCION	6.6	X	5.7	8	752	0.3	0.95	0.7	4.5	0.5	41.5	119	0.16	1.26	161	SAN G APU
			PRODUCCION	6.8	X	5.9	8	802	0.3	1.1	0.5	4.5	0.5	41.5	128	0.16	1.26	179	
			BUFFER 02	5.5	X	4.8	8	528	-0.5	1	0.3	4.8	-	41.5	110	0.21	1.33	149	
			BUFFER 01	4.9	X	5.2	8	510	-0.5	1	0.2	3	2.5	41.5	82	0.16	1.49	117	
	COMPETENTE	SÍLICE MASIVA	PRODUCCION	4.6	X	4.0	8	368	0.3	1.1	0.5	4.7	-	41.5	142	0.38	1.31	166	SAN G APU
			PRODUCCION	4.9	X	4.3	8	421	0.3	1.1	0.5	4.3	-	41.5	160	0.38	1.21	194	
			PRODUCCION	5.2	X	4.5	8	468	0.5	1.1	0.5	4.1	-	41.5	178	0.38	1.17	211	
			BUFFER 02	4.9	X	4.3	8	421	0	1.1	0.4	4.5	-	41.5	142	0.34	1.26	179	
			BUFFER 01	4.9	X	4.5	8	441	0	1.1	0.3	3	2.7	41.5	91	0.21	1.54	117	

B. Plano general de tajo Tantahuatay Extensión Nor Oeste



7. Referencias bibliográficas

OEFA - Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2024). Plataforma de administrados sancionados. Recuperado de <https://publico.oefa.gob.pe/administrados-sancionados/>

Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., & Carcedo, F. J. A. (2003). Manual de perforación y voladura de rocas (2a ed.). Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

Hustrulid, W. A., & Bullock, R. L. (Eds.). (2001). *Blasting principles for open pit mining* (Vol. 1). CRC Press.

Chiappetta, R. F. (1998). *Blasting safety and control of flyrock*.

Devine, J. F. (1966). *Effect of charge weight on vibration levels from quarry blasting*. U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 6774. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior. Manual de usuario software I-Blast.