

Minado Mecanizado en Vetas Angostas, Mina HUARON

Categoría: Operaciones Mineras

Autor: John Olivera Agama

Cargo: Ingeniero de Planeamiento Mina Senior

Empresa: Pan American Silver Huaron S.A.

Autor, Av. La Floresta 497, San Borja, Lima, Perú (joliveraa@pe.panamericansilver.com)

1. Introducción

Pan American Silver Huarón es una mina subterránea mecanizada productora de concentrados de cobre, plomo y zinc con altos contenidos de plata.

La Minera se encuentra ubicada en el departamento de Pasco, zona centro del Perú, Geográficamente se localiza en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes a una altura de 4,540 msnm.

Huarón es un yacimiento Hidrotermal Filoniano, con una distribución zonal con distinta mineralización, se conocen alrededor de un centenar de vetas con longitudes entre 100 a 1,000 m, y potencias entre 0.40 m a 5 m.

En el año 2013, Huarón inició un agresivo plan para incrementar la producción, el objetivo principal mejorar los indicadores de seguridad y productividad. Se realizó exploraciones buscando nuevas estructuras y cuerpos de mineral, teniendo resultados el año 2014, Se realizó el estudio y posteriormente el plan de implementación, donde se propuso reemplazar el minado por corte y relleno ascendente convencional con winches de arrastre eléctricos y máquina Jack Leg por el método de minado Sub Level Stopping, específicamente la variante por el método AVOCA. Este proceso duró hasta el 2015, año en que se mecanizó al 100 % la mina y se inició con el minado de en vetas angostas.

Teniendo como objetivo principal continuar con la mejora y con la experiencia ya obtenida en todo el proceso de implementación del método de minado AVOCA, se plantea reducir la sobre dilución, para lo cual se buscó una metodología de minado que mejor se adapte al minado de Vetas Angostas que es el caso de Mina Huarón.

Se determinó de **los resultados de minados de la variante del Sub Level Stopping, se genera el método AVOCA, una combinación con el Cut and Fill Stopping tradicional y en los avances el uso de detonadores electrónicos con el objetivo de realizar un método de segregación en los sub niveles (2.8m ancho x 3.8m altura) que se adapta al minado en Vetas Angostas**, con una mejora que es el uso de Micro - Equipos Trackless (Equipos de bajo perfil menores a 2.0 m de ancho) en cada proceso de la operación unitaria. Con este método de minado y los equipos diseñados para labores angostas se mantiene y controla un límite máximo de abertura, en la preparación y en el minado.

2. Resumen

Huaron es un yacimiento Hidrotermal, con una distribución zonal de mineralización de alta temperatura en su zona central (sulfuros con cobre) y hacia los bordes mineralizados de Plomo y Zinc con altos contenidos de plata. Las características geológicas, morfológicas y geomecánicas de las estructuras mineralizadas en la mina Huaron, desde los años 2020 al 2022 se ha tenido un incremento en producción de vetas angostas de (0.4m a 1.8m), subió de 27% a 42%, con buzamiento de 75° a 89° y RMR entre 25 a 35, para ello se requería un método de minado distinto y adaptable a los que usualmente se venía realizando en mina Huaron, como el minado por corte y relleno ascendente convencional con winches eléctricos de arrastre y máquina Jack Leg hasta el 2015, año en que se mecanizó e inició el método de minado Sub Level Stoping tradicional, con secciones de preparación de 3.5 m de ancho por 3.8 m de alto, se adecuó las secciones a los equipos que se disponía en el mercado, en las preparaciones se incrementó la sobre dilución hasta 20 %, generando aberturas e inestabilidad en el minado y los problemas de seguridad para nuestro personal y equipos, además del sobre costo que esto implica, obteniendo márgenes similares cuando era convencional.

Nuestro objetivo principal, es mejorar la preparación y el minado mecanizado de las Operaciones, de los resultados de minados de la variante del Sub Level Stoping, se genera el método AVOCA, una combinación con el Cut and Fill Stoping tradicional y en los avances el uso de detonadores electrónicos con el objetivo de realizar un método de segregación en los sub niveles (2.8m ancho x 3.8m altura) que se adapta al minado en Vetas Angostas, con una mejora que es el uso de Micro - Equipos Trackless (Equipos de bajo perfil menores a 2.0 m de ancho) en cada proceso de la operación unitaria. Con este método de minado y los equipos diseñados para labores angostas se mantiene y controla un límite máximo de abertura, en la preparación y en el minado.

Con la implementación se planifica reducir la sobre dilución y mantener Anchos de Minado que sean económicamente factibles, rentables y seguros. Por ello se realizó la adquisición de micro equipos Trackless para Vetas Angostas, como son: Mini jumbo "Muki" frontonero, Empernador Small Bolter, Mini Robot lanzador de Shotcrete, Mini Mixer. Para la perforación de taladros largos, el Jumbo Mini Raptor y para la limpieza, Scooptram a control remoto de 2.2 yd³. Todos los equipos con anchos menores a 2.0 m.

Se realizó adicional el diseño geomecánico para el dimensionamiento de aberturas y paneles, obteniéndose un banco ideal entre 10m a 12m con paneles de minado de 20m. en promedio. En el proceso de la Operación Unitaria (Perforación, Voladura, Sostenimiento, Limpieza y Relleno) y Parámetros de Control del minado (Seguridad, desviación, fragmentación, dilución, factor de potencia, voladura secundaria, recuperación).

Las pruebas dieron resultados positivos por ello se intensificó su uso, logrando la mecanización de mini equipos para todo el proceso de minado en vetas angostas. Se redujo los accidentes por caída de rocas a cero, se mejoró los indicadores de seguridad de la Unidad en los últimos años, incremento de Producción de los tajos de 2,000 Ton/mes a 4,000 Ton/mes, reducción de la sobre dilución de 20% a 10% con ello la reducción del costo de minado de 67 \$/Ton de convencional a 35 \$/Ton en mecanizado.

3. Objetivos

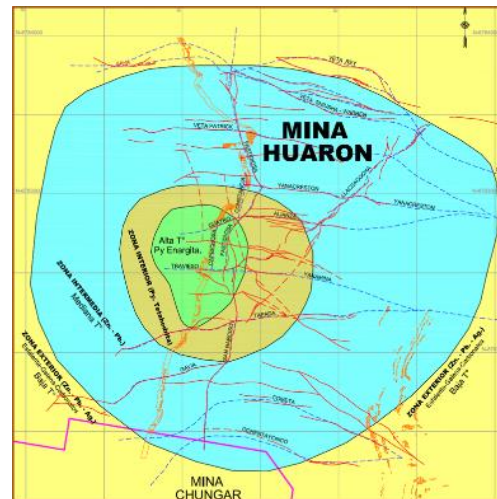
- Maximizar la productividad y recuperando las reservas de mineral, en vetas angostas con el ancho minable que sean económicamente factibles, rentables y seguros, reducción de la sobre dilución y el costo de minado.
- Demostrar los beneficios de la Implementación del método de minado Sub Level Stoping con relleno permanente, denominada también como minado AVOCA, este método nos permite tener un límite de abertura máxima y en avanzada viene el relleno constante que se realiza por tramos disparados y permite una buena recuperación y selectividad de las reservas

En los avances se realiza la recuperación del mineral económico en las vetas angostas por segregación en la voladura y el uso de los Micro - equipos Trackless para el minado en estructuras menores a 0.40m.

4. Geología.

Huarón es un yacimiento Hidrotermal Filoniano, con una distribución zonal con distinta mineralización, se conocen alrededor de un centenar de vetas con longitudes entre 100 a 1,800 m, y potencias entre 0.30 m a 6 m

La roca encajonante lo constituyen sedimentos continentales del Cretáceo Superior al Terciario Inferior "Capas Rojas de la Formación Casapalca" que contienen margas, lutitas, areniscas, conglomerados, sedimentos calcáreos, chert y otros; los cuales fueron plegados y fallados por actividad tectónica del Eoceno-Plioceno.



5. Diseño Geomecánica para el Dimensionamiento de Aberturas.

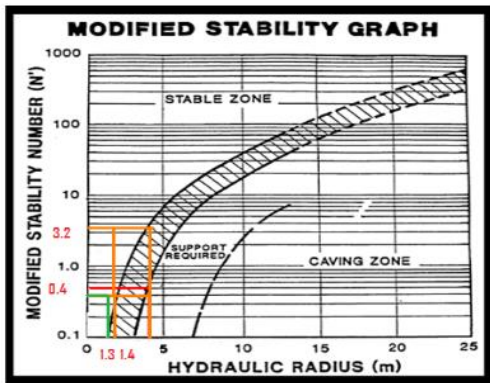
El diseño para el dimensionamiento de las aberturas se determina utilizando técnicas geomecánicas, para el caso se aplica el "Método Gráfico de Estabilidad".

El "Método Gráfico de Estabilidad" fue desarrollado por Potvin (1988), Potvin, Milne (1992) y Nickson (1992), siguiendo los trabajos iniciados por Mathews (1981).

En forma resumida, el procedimiento de diseño para el dimensionamiento de aberturas se calcula aplicando un método que está basado en el cálculo de dos factores: N' y S. El primero es el número de estabilidad modificado y representa la capacidad del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado. El segundo es el factor de forma o radio hidráulico que toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo. se realizó el modelamiento de elementos finitos para evaluar el factor de

resistencia y desplazamiento, también conocido como el factor de seguridad.

Gráfico de estabilidad de Mathews.



5.1. Número de estabilidad.

El número de estabilidad N' se define como:

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

Donde:

Q' : es el índice de calidad tunelera Q modificado

A : es el factor de esfuerzo en la roca

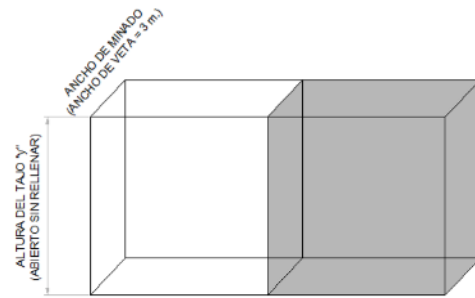
B : es el factor de ajuste por orientación de las juntas

C : es el factor de ajuste gravitacional

5.2. Radio hidráulico.

El factor de forma o radio hidráulico S , para la superficie del tajeo bajo consideración, se obtiene dividiendo el “área de la sección transversal de la superficie analizada” entre el “perímetro de la superficie analizada”.

$$RH = \frac{\text{ÁREA}}{\text{PERIMETRO}} \quad RH = \frac{3y}{2y + 6}$$



Finalmente, para el caso de la Mina Huarón se tiene que para una altura de tajo de 18.6 m. tenemos una longitud de tajo sin sostener (apertura máxima sin sostener) de 15 m. pues con estas dimensiones tenemos un $RH = 4.2$, lo que nos indica que es estable.

Calculo de Q'

$$Q' = \frac{RQD \cdot J_r}{J_n \cdot J_a}$$

Tipo Roca:	Mineral
RQD:	30
J_n :	9
J_r :	2
J_a :	8
Q' :	0.83

Calculo de A

σ_c =	25
σ_1 =	8
σ_c / σ_1 =	2.98
A =	0.21

Calculo de B

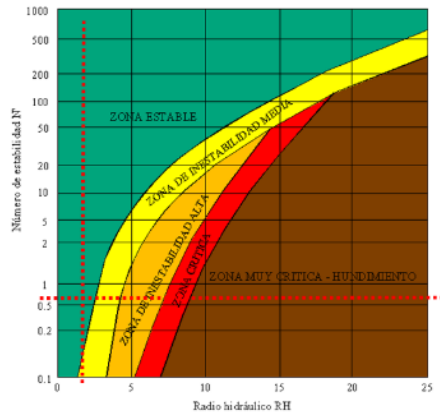
B =	0.3
-------	-----

Calculo de C

θ =	80
C =	6.78

Calculo de N'

N' =	0.4
--------	-----

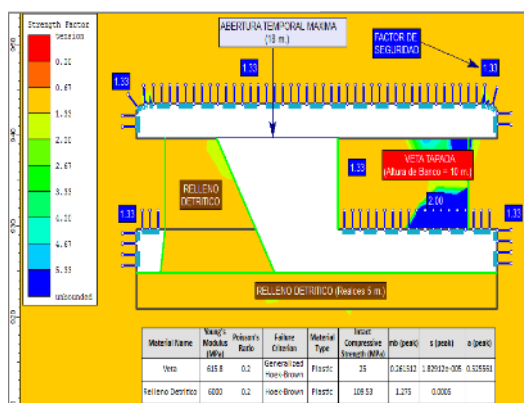


Luego de determinar la bancada óptima que es entre 10m. A 12 m. se tiene una altura total entre 17.5m. a 20 m. donde notamos un F.S. = 1.33; mayor a 1, por lo que la excavación será estable y nos permite una longitud abierta hasta de 20m.

Con esta altura de banco óptima se obtendrá mejoras en el minado como:

Reducción de la Dilución, aumentar la recuperación de mineral, disminuir el volumen a Acarrear y Transportar. Por consiguiente, reducir los costos operativos.

Figura de Sección longitudinal de la Veta Tapada para una altura de banco de 10m. Y altura total de 18 m. (Salida PHASE2).



6. Plan de Minado

Para la elección del método de minado que mejor se adapte a la explotación del

yacimiento de la mina Huarón se usó herramientas como son el uso de software para el cálculo de límites máximos de aberturas y modelos geomecánicos, así como para definir el secuenciamiento de la mina, es importante saber cómo se llevará a cabo la secuencia de minado.

Además, se desarrolló el diseño para el dimensionamiento de las aberturas utilizando técnicas geomecánicas, para el caso se aplicó el “Método Gráfico de Estabilidad” (trabajos iniciados por Mathews en 1981).

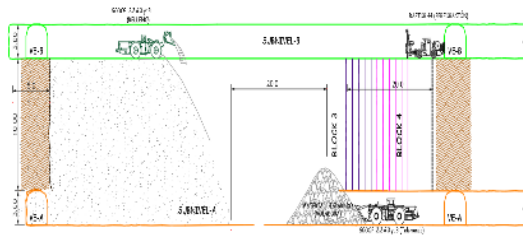
Estos modelos geomecánicos facilitan la evaluación de distintos escenarios, se realizó el modelamiento de elementos finitos para evaluar el factor de resistencia y desplazamiento, también conocido como el factor de seguridad.

6.1. Método de Minado Sub Level Stopping “AVOCA”

6.1.1. Aspectos Técnicos Generales.

El método de minado Sub Level Stopping con relleno permanente denominado también como el método de minado AVOCA se aplica en depósitos sub verticales (mayores a 60°).

Este método es bastante versátil, con un rango de aplicación amplio especialmente en condiciones de rocas incompetentes para yacimientos que poseen cajas de calidad Regular a Mala, es decir, $RMR \leq 41$ de la clase IIIB y $RMR > 25$ de la clase IVA, donde es imposible construir Aberturas de las dimensiones del típico Sub Level Stopping.



Potencia de vetas entre 0.60 a 3.0 metros. Permite una buena recuperación y selectividad de las reservas. Los sectores estériles pueden quedar como pilares. La dilución es baja utilizando controles adecuados.

En cuanto a la gestión de riesgos es un método que permite un adecuado control de estabilidad por consiguiente de mayor seguridad para nuestros trabajadores.

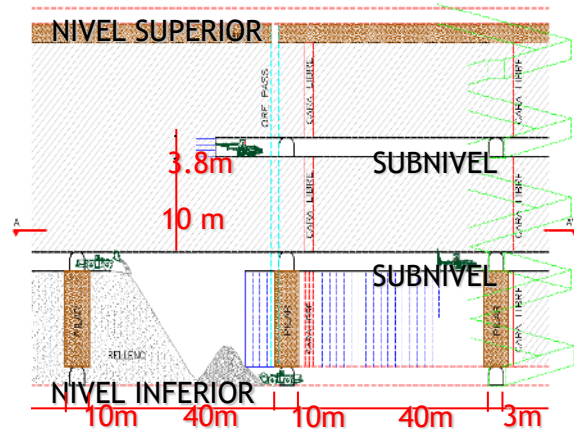
El éxito de minado se sustenta en la demanda del relleno, por ende, la recuperación y el restablecimiento del equilibrio tensional de la masa rocosa.

Fotografía de un tajo minado por este método



6.1.2. Estrategia de Minado: Desarrollos, Preparaciones y Explotación (Perforación, Voladura, Sostenimiento, Limpieza, Relleno).

Esquema General de Minado



A. Desarrollos, Preparaciones

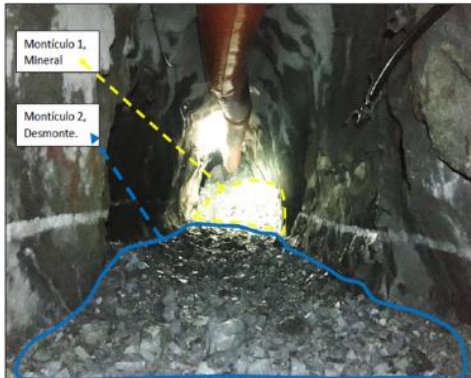
Para ingresar a la zona mineralizada e iniciar el minado, se desarrolla en el piso de la estructura (nivel principal) un By Pass paralelo a la veta de 120 m. de longitud, (Este By Pass se ubicará en un tipo de roca con clasificación (RMR 41-50 REGULAR III B, de sección de 3.5 x 3.8m, por donde se iniciará las ventanas transversales a la estructura mineralizada.

El nivel inferior será el de extracción de mineral el cuál consta de 2 a 3 Ventanas cada 40m. de 15 a 20 m. de longitud (3.5x3.8m.), By Pass (3.5x3.8m.), los cuales se avanzarán con equipos de tamaño normal (Scoop de 4.1 yd3 y Jumbo Boomer S1D) y subniveles de extracción de 2.80x3.8m. para Vetas menores de 1.80 m. todas se llevan a 2.80 m. de ancho como máximo, con Equipos pequeños.

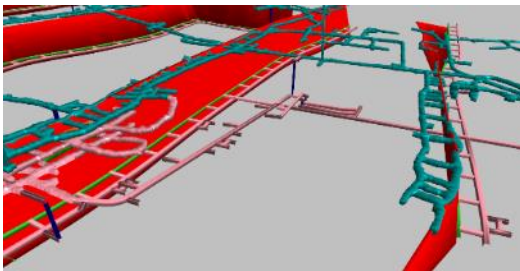
Para la perforación de frentes en mineral se utiliza el Jumbo Muki de 1.10 m. de ancho. Luego de realizar el disparo se realiza la limpieza con Scooptram de 2.2 yd3 de 1.60 m. de ancho, se realiza el lanzamiento de concreto (Shotcrete) con Mini Robot lanzador 1.80 m. de ancho y Mini mixer de 1.90m de ancho, la colocación de pernos se realiza con el empernador

Small Bolter de 1.30 m de ancho. El alto se mantiene a 3.8m.

En la preparación en los avances se utiliza los detonadores electrónicos con el objetivo de realizar un método de segregación en los subniveles (2.8m ancho x 3.8m altura) que se adapta al minado en Vetas Angostas.



Esquema General de Desarrollos y preparaciones



B. Explotación con taladros largos

Diseño de Mallas de Perforación

En el diseño de la malla de perforación, la variable más importante y crítica es determinar el Burden. Existen varios modelos matemáticos para su cálculo, estos modelos han sido desarrollados para taladros de gran diámetro, para el caso de Huarón se considera el Modelo de Langefors.

Las siguientes variables para lograr la voladura óptima se considera:

Variables no controlables

Naturaleza del macizo rocoso, Geología regional, local y estructural, hidrología, condiciones climatológicas y otros.

Variables Controlables

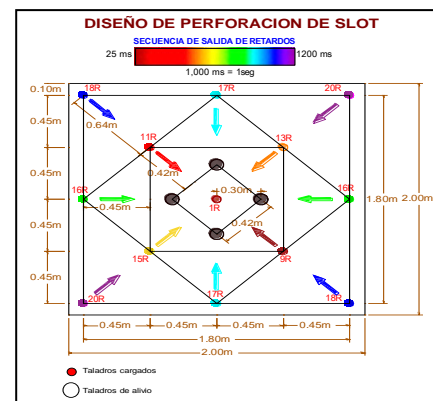
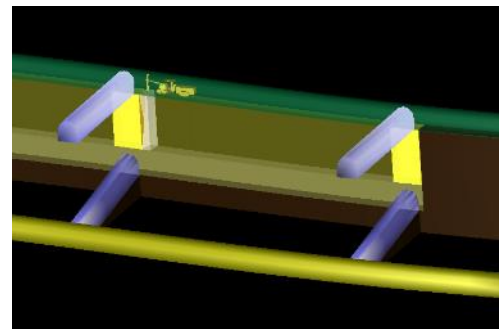
Geométricas (Burden, espaciamiento, diámetro de taladro).

Fisicoquímicas (Mezcla Explosiva, VOD).

Tiempo (Retardo y Secuencia).

Operativos (personal entrenado y fragmentación requerida).

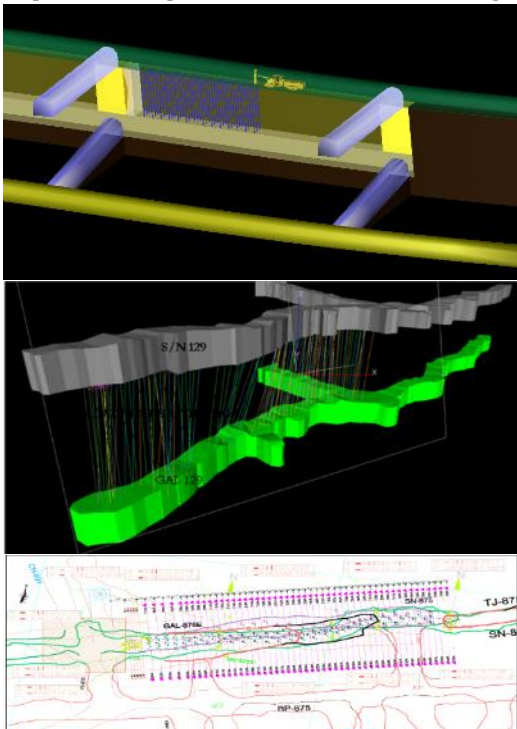
Esquema de realización de la cara libre (Slot)



Perforación de Filas (Taladros de Producción y de Voladura controlada)

Se marca cada Sección de Perforación de acuerdo con el Burden y Espaciamiento calculado (Sección topográfica a detalle con ángulos de acuerdo con el buzamiento de la estructura mineralizada), la perforación de taladros largos se realiza con el Jumbo Mini Raptor de 1.30 m de ancho, el cual ingresa sin problemas a los subniveles en mineral que previamente se avanzaron a sección pequeña de 2.80x3.8m.

Esquema de perforación de taladros largos



Diseño de Columna de carga

Se realiza en retirada a partir de la cara libre con secuenciamiento de retardos.

El diseño de carga de columna es distinto para taladros de producción y Voladura controlada; para evitar vibraciones excesivas.

Se rompe de acuerdo con la producción diaria de mineral y cumpliendo el límite máximo de abertura (LMP).

Explosivos : Examón P y/o Emulsión 1 ½ x 12-65%.

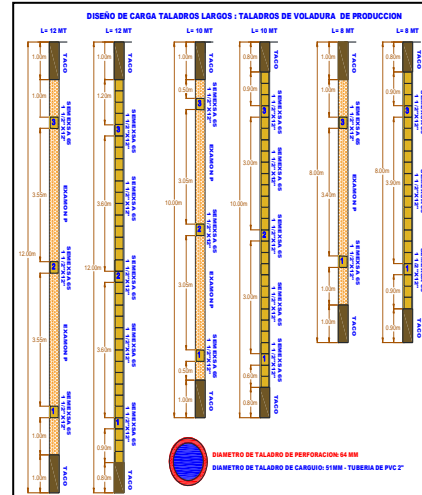
Accesorios: Faneles o/y Exaneles de periodo corto y largo de 15 m. de longitud.

Factor Potencia:

Minado: 0.24 Kg/TM

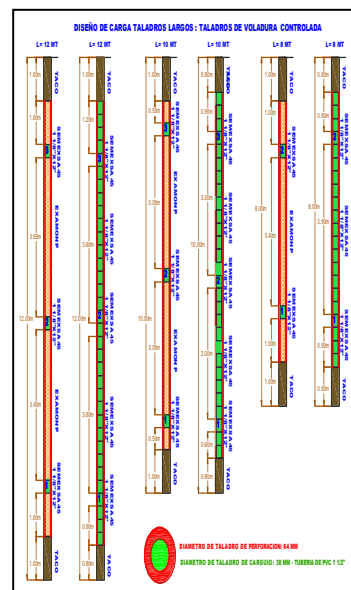
Preparaciones: 1.85 Kg/m3

Esquema de carga de columna de taladros largos de producción.



La voladura se realizará de manera secuenciada en tandas de tres filas de taladros, respetando el límite máximo de abertura después del cual se tendrá que realizar el relleno detrítico, se cargará con faneles de milisegundo y emulsiones encartuchados de 1 ½ por 12 plg; con 27 cartuchos por taladros, 1 m. de taco en la parte inferior y 1.3 en la parte superior.

Esquema de carga de columna de taladros largos de Voladura controlada.



Fotografía de malla de perforación de taladros largos de producción y voladura controlada pintado

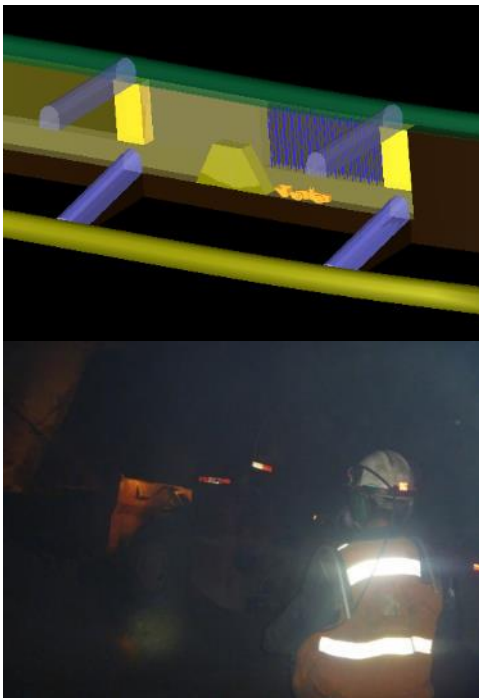


de rojo.

Limpieza con Control Remoto

La limpieza se realizará con Scoop de 2.2 yd³, con control remoto la longitud de 15 m. luego del cual se procederá con el relleno detrítico del tajo de tal forma que no se expone al equipo a la abertura.

Esquema de limpieza con control remoto.



Sostenimiento del Tajo y Subniveles

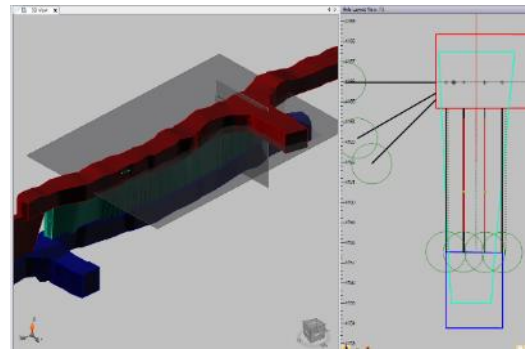
El éxito del minado se sustenta básicamente en la combinación de los sistemas de soporte, es decir:

La capacidad de atención y volumen del relleno.

La instalación del concreto lanzado (Shotcrete) con pernos expansivos (Swellex), este último orientado para el desarrollo de las galerías y subniveles.

Sostenimiento de la Caja techo con Pernos de 10 a 14 pies para soporte de cajas durante el minado, la perforación se realiza con pernos helicoidales y lechada de cemento.

Esquema de sostenimiento de cajas.

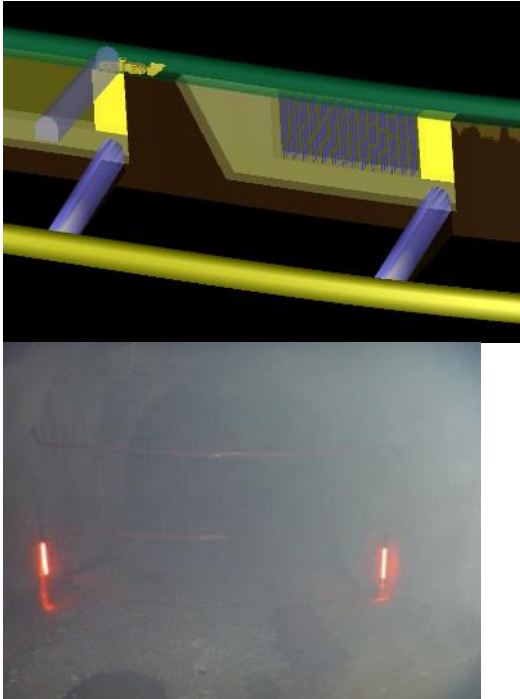


Relleno del Tajo

El relleno que se realiza es con desmote proveniente de los frentes de avance en desmote y se realiza con scoop de 2.2 yd³ por la ventana superior, dejando solo una abertura para no perder la cara libre y continuar con la voladura.

Así mismo al finalizar el minado se rellena con relave Grueso (RH), el cual lo denominamos relleno Mixto.

Esquema de relleno detrítico del tajo minado.



Relleno hidráulico

Se realiza con relave grueso previamente clasificado en la Planta concentradora. Así mismo en el tajo ya explotado se construye taponés hidráulicos en las ventanas del piso inferior del tajo, cada una con tuberías de desfogue (quenas), el muro tiene un ancho de 0.8 m, y una doble alma de fierro de 3/4", cuadrulado de 05 x0.5. Además, está acuñado en el piso, hastial derecho, corona y hastial izquierdo mediante canales hecho en la propia roca, con una profundidad de 0.5 m. el relave tiene las siguientes características:

Q total (agua + RH) = 76 m³/hr.

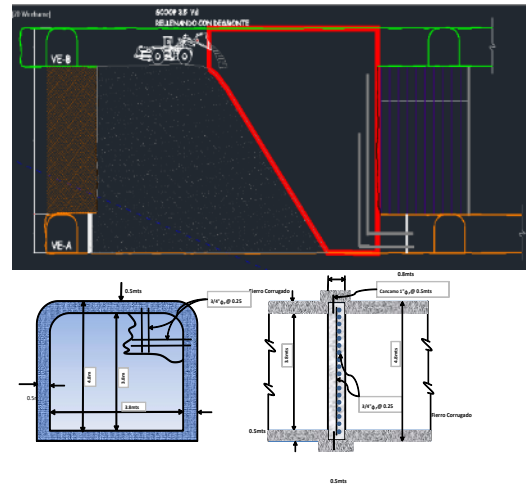
Volúmenes sólidos = 30.4 m³/hr.

Volumen de agua = 45.6 m³/hr.

Velocidad de percolación = 10 cm /hr.

Densidad aparente = 2.2

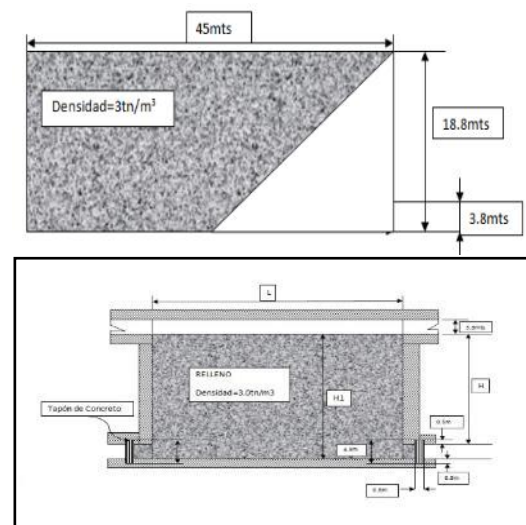
Detalle de la Construcción de Taponés Hidráulicos



Cálculo de resistencia del Tapón hidráulico

Se contempla un factor de seguridad de 1.3, ancho de muro de concreto 0.8 m, y una doble alma de fierro de 3/4", cuadrulado de 05 x0.5. Además, está acuñado en el piso, hastial derecho, corona y hastial izquierdo mediante canales hecho en la propia roca, con una profundidad de 0.5 m.

Gráfico del volumen a rellenar y la presión ejercida sobre el tapón.



PRESION = DENSIDAD X ALTURA

$$P1 = 3\text{TN/m}^3 \times 18.8\text{m}$$

$$P1 = 56.40 \text{ TN/m}^2$$

Factor de Seguridad = 30%

$$PT = 56.40\text{TN/m}^3 + 30\%P1$$

$$PT = 73.32\text{TN/m}^2$$

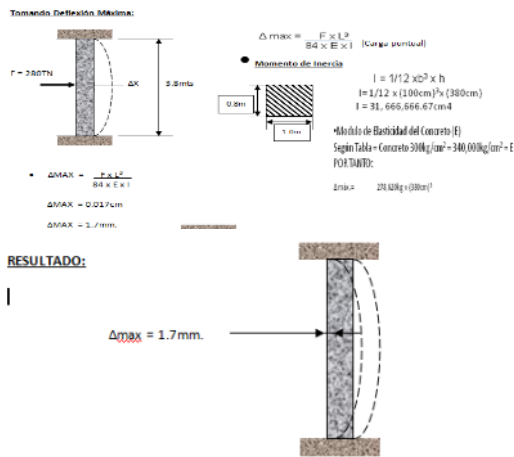
PRESION = FUERZA / AREA

FUERZA = PRESION X AREA

$$F = 73.32\text{TN/m}^2 \times 3.8\text{m} \times 1.0\text{m}$$

$$F = 278.72 \text{ TN}$$

$$F = 280,000 \text{ KG/m}^3$$



Fotografía del tapón hidráulico.



Fotografía de tajo antes y después del relleno



hidráulico.

7. Micro equipos Trackless para el minado de vetas angostas

7.1. Consideraciones generales

- Mecanización del 100% de actividades y evitar la exposición directa del personal.
- Equipos de calidad y buena confiabilidad de acuerdo con el yacimiento.
- Maximización de la productividad logrando mayor recuperación de reservas minables, anchos de minado que sean económicamente factibles, rentables y seguros.
- Reducción de la sobre dilución y el costo de minado.
- Elaboración de estándares para todos los micros equipos.
- Capacitación, entrenamiento y evaluación continua al personal.

7.2. Factibilidad de la implementación.

Se realizó el análisis de factibilidad donde se determinó lo siguiente:

Seguridad, se redujo las aberturas de los tajos de taladros largos, se redujo a cero los accidentes por caída de rocas y por planchones de la roca encajonante hacia los equipos scooptram con control remoto.

Con respecto al análisis económico al realizar secciones más pequeñas se logra reducir la sobre dilución de 20 a 10 % por ello se realiza menor movimiento de desmonte, por lo tanto, el costo operativo con micro equipos es menor de 27.54

\$/Ton. Versus a los 22.67 \$/Ton con equipos de mayor dimensión.

7.3. Análisis de costos

Al realizar el análisis de costos se constató que se redujo considerablemente el costo de las preparaciones, costo de transporte, sostenimiento, explosivos, debido a que se redujo la extracción de desmonte por sobre dilución y se mejoró la calidad de mineral por ello el VPT pasó a 264 \$/Tn de 130 \$/Tn, así mismo se redujo el costo operativo de 27.54 \$/Ton. a 22.67 \$/Ton.

COSTO DE MINADO MICROEQUIPOS

PERFORACION	Rend	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
METROS/HORA	20	m		
HORAS/GDA	5	horas		
GDA/DIA	2	Unid		
DIAS/MES	25	dias		
MALLA PERFO	1.5	m2		
No taladros	77	Unid		
Metros perfora	928.00	m		
horas de perf	46.40	hr	116.72	5,415.81
Dias de perf	4.64	dias		
Dias de perf	9.00	dias		
Subtotal				0.91
Mano de Obra			954.73	0.16
Costo /tonelada			US\$/Tn	1.07

ACCESORIOS DE PERF.	Rend	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Shank Adapter R-32	2800	m	283.46	0.10
Barra 5 pies	3000	m	302.48	0.10
Broca 64 mm	600	m	149.25	0.25
Subtotal				0.45
Costo Accesorios				418.35
Costo /tonelada			US\$/Tn	0.07

VOLADURA	Rend	Cant.	Tarifa \$/.	Sub Total
Dinamita de 1 1/2"		1933	0.66	1,276.00
Anfo		0.0	0.65	0.00
Fanel		77	3.30	255.20
Guías de seguridad ensamblada		20	0.67	13.38
Mecha Rápida		20	0.44	8.75
Cordón detonante		92.8	0.22	20.24
Sub-total 1				1,573.57
Voladura Secundaria		15%		236.03
				2,002.40
Subtotal			0.34	
Mano de Obra			635.52	0.12
Costo /tonelada			US\$/Tn	0.45

LIMPIEZA SLS	Rend	Cant.	Tarifa \$/.	Sub Total
Ton/Hora	45			
Horas/gdia	8			
Gdia/da	2			
Da/mes	25			
Horas		121.6		
Dias		7.6	81.86	9,953.14
Subtotal				1.67
Mano de Obra			810.99	0.14
Costo /tonelada			US\$/Tn	1.81

RELLENO	Rend	Cant.	Tarifa \$/.	Sub Total
Ton /HORA	35			
Horas		156	81.86	12,796.89
Costo /tonelada			US\$/Tn	2.15

PREPARACION	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
SUBNVEL 2.8 X 3.8	100	m	317.4	31,740.00
RAMPAS 3.5 X 3.8	10	m	364.87	3,648.70
BY PASS 3.5 X 3.8	50	m	364.87	18,243.50
VENTANAS 3.5 X 3.8	24	m	364.87	8,756.88
BATIDO DE ACCESO (DESQU)	0	m3	14.2	0.00
CH. SLOT	12	m	229.05	2,748.60
SOSTENIMIENTO			128.8	12,850.00
SUB TOTAL				77,987.68
Tonelaje Block				5,950.80
Costo /tonelada			US\$/Tn	13.11

TRANSPORTE VOLQUETE	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Costo /tonelada			US\$/Tn	1.80

ENERGIA VENTILAC.	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Costo /tonelada			US\$/Tn	1.20

SERVICIOS AUXILIARES	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Costo /tonelada			US\$/Tn	1.01

COSTO MINA			US\$/Tn	Sub Total
				22.67

COSTO DE MINADO AVOCA

PERFORACION	Rend	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
METROS/HORA	18	m		
HORAS/GDIA	5	horas		
GDIA/DIA	2	Unid		
DIAS/MES	25	dias		
MALLA PERFO	1.5	m2		
No taladros	114	Unid		
Metros perfora	1,368.00	m		
horas de perf	76.00	hr	116.72	8,870.72
Dias de perf	7.60	dias		
Dias de perf	9.00	dias		
Subtotal				1.62
Mano de Obra			1,563.78	0.29
Costo /tonelada			US\$/Tm	1.91

ACCESORIOS DE PERF.	Rend	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Shank Adapter R-32	2800	m	283.46	0.10
Barra 5 pies	3000	m	302.48	0.10
Broca 64 mm	600	m	149.25	0.25
Subtotal				0.45
Costo Accesorios				616.71
Costo /tonelada			US\$/Tm	0.11

VOLADURA	Rend	Cant.	Tarifa \$/.	Sub Total
Dinamita de 1 1/2"		2850	0.66	1,881.00
Anfo		0.0	0.65	0.00
Fanel		342	3.30	1,128.60
Guías de seguridad ensamblada		24	0.67	16.06
Mecha Rápida		140	0.44	61.23
Cordón detonante		342.0	0.22	74.59
Sub-total 1				3,161.47
Voladura Secundaria		2%		63.23
				3,417.50
Subtotal				0.62
Mano de Obra			635.52	0.12
Costo /tonelada			US\$/Tm	0.74

LIMPIEZA SLS	Rend	Cant.	Tarifa \$/.	Sub Total
Ton/Hora	60			
Horas/gdia	8			
Gdia/dia	2			
Dia/mes	25			
Horas		99.2		
Dias		6.2	81.86	8,118.87
Subtotal				1.48
Mano de Obra			661.53	0.12
Costo /tonelada			US\$/Tm	1.60

RELLENO	Rend	Cant.	Tarifa \$/.	Sub Total
Ton /HORA	40			
Horas		149	81.86	12,178.31
Costo /tonelada			US\$/Tm	2.23

PREPARACION	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
SUBNIVEL 3.5 X 3.8	100	m	364.87	36,487.00
RAMPAS	10	m	364.87	3,648.70
BY PASS	50	m	364.87	18,243.50
VENTANAS	24	m	364.87	8,756.88
BATIDO DE ACCESO (DESQUIN	0	m3	14.2	0.00
CH. SLOT	12	m	229.05	2,748.60
SOSTENIMIENTO		m	154.21	20,421.00
SUB TOTAL				90,305.68
Tonelaje Block				5,471.43
Costo /tonelada			US\$/Tm	16.50

TRANSPORTE VOLQUETE	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Costo /tonelada			US\$/Tm	2.20

ENERGIA VENTILAC.	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Costo /tonelada			US\$/Tm	1.23

SERVICIOS AUXILIARES	Cantidad	Unid	Tarifa \$/.	Sub Total
Costo /tonelada			US\$/Tm	1.01

COSTO MINA			US\$/Tm	27.54
------------	--	--	---------	-------

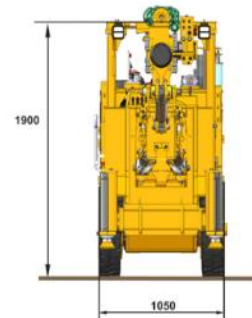
7.4. Requerimiento de Equipos para el ciclo de minado.

Se realizó la adquisición de micro equipos Trackless para Vetas Angostas, como son: Equipo para avance lineal "Mini jumbo frontonero Muki", Equipo para sostenimiento "Empernador Small Bolter, Mini Robot lanzador de Shotcrete y Mini Mixer" para el transporte de concreto. Para la perforación de taladros largos, el Jumbo "Mini Raptor" y para la limpieza, Scoop a control remoto de 2.2 yd3. Todos los equipos con anchos menores a 2.0 m. la mayoría de los equipos usados por primera vez en la minería peruana.

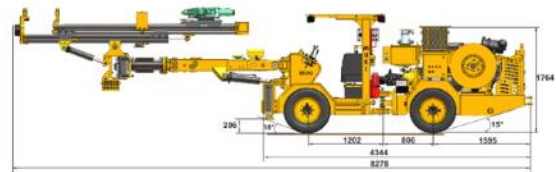
Especificaciones técnicas de los Equipos:

Jumbo Frontonero Muki

DIMENSIONES



Dimensiones generales N° 2



Jumbo empernador Small Bolter

PESO GENERAL DEL EQUIPO : 11,800 Kg

2.2. Dimensiones

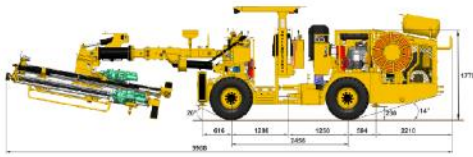


Fig. 2.1 - Dimensiones generales N° 1

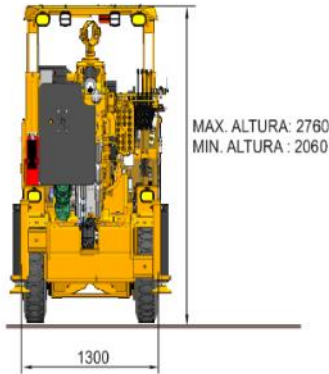
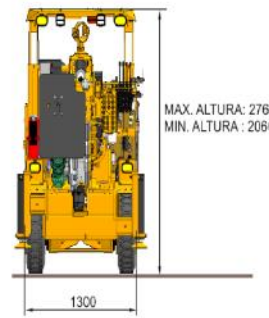


Fig. 10.1 - Dimension del Jumbo RAPTOR 44 N° 1



MANUAL DE OPERACIÓN – RAPTOR 44
10. DATOS TÉCNICOS



10.2. Dimensiones del Jumbo RAPTOR 44

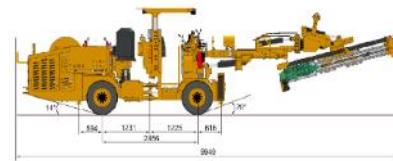


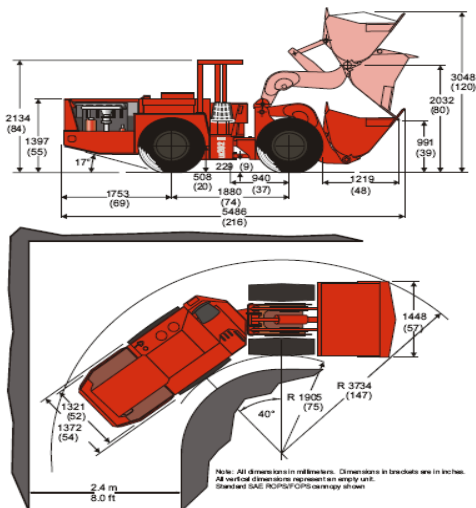
Fig. 10.1 - Dimension del Jumbo RAPTOR 44 N° 1

Mini robot lanzador de concreto y mini mixer (Shotcrete)

- Mixer Huron 2 – N° 222
 - Altura – 2.60 metros
 - Ancho – 1.90 metros
 - Longitud – 6.70 metros



Scoop a control remoto de 2.2 yd3



Jumbo perforador de taladros largos Mini Raptor

7.5. Parámetros de Control del minado (Control de desviación, fragmentación, dilución y factor de potencia).

7.5.1. Control de Desviación

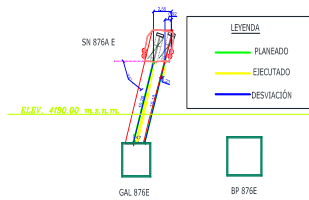
- Levantamiento con Optech.
- Marcado de filas en ambos pisos.
- Se realizan levantamiento con el equipo Peewee, para evaluar las desviaciones y si requiere rediseñar

la malla de perforación. La desviación máxima es de 3%. Los levantamientos de sólidos con scanner 3D para evaluar la sobre rotura.

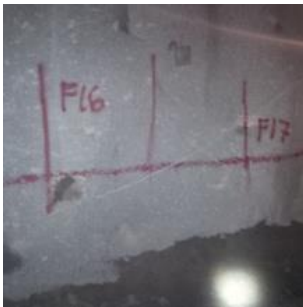


- Uso de software AEGIS y Datamine para el diseño de minado.

SECCIÓN F02(-)



- Marcado de filas en ambos pisos.



7.5.2. Control de Fragmentación

Se Realizó el estudio de conminución de la voladura para rediseño de la malla de perforación y Voladura.

Fotografías del estudio de conminución

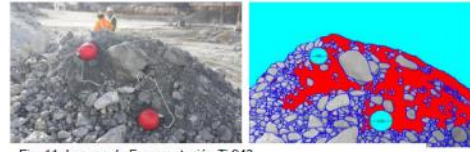
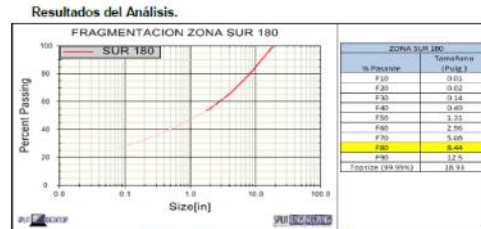


Fig. 11: Imagen de Fragmentación Tj 943



Cuadro 5: Zona Sur 180, la fragmentación F80 es de 8.44 pulgadas.

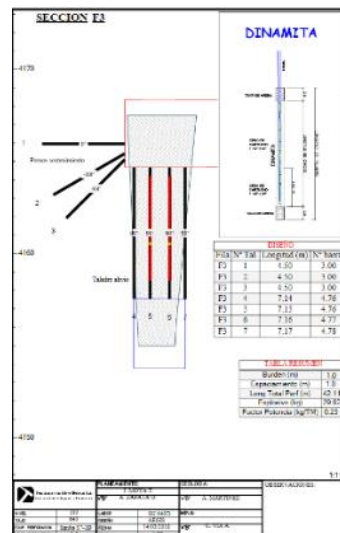
7.5.3. Control de Dilución y Factor de Potencia.

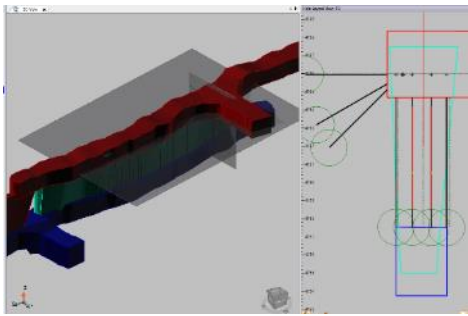
Instalación de Pernos (Fierro Corrugado y pernos Swellex en las cajas) para evitar descaje, Diseño de Perforación y Voladura (Voladura Controlada), Seguimiento estricto del flujograma de Minado por taladros largos.

Cumplimiento del radio Hidráulico (Límite Máximo de abertura)

Realización de Taladros de contorno para Voladura controlada y sostenimiento de las cajas según recomendación geomecánica.

Gráfico del sostenimiento en las cajas





7.5.4. Relleno Oportuno de Aberturas.

Relleno Detrítico 15m³/hr.

Relleno Hidráulico 30 m³/hr.

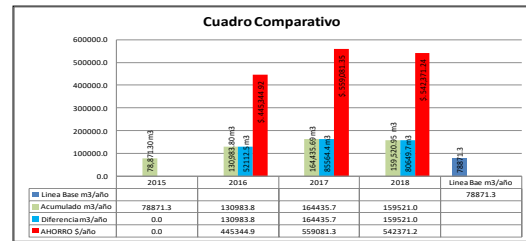
Precio Unitario:

RH = 2.1 \$/m³.

RD = 5.5 \$/m³.

Ahorro = 3.4 \$/m³.

Cuadro comparativo entre relleno detrítico e hidráulico.



8. Resultados

Respecto a la implementación de Micro equipos Trackless para el minado de vetas angostas, determinamos que es un método seguro, eficiente y de menor costo, que genere mejores resultados de seguridad y económicos para la organización.

Es importante considerar las condiciones naturales del yacimiento, que son los factores importantes para la Elección de los equipos (potencia de Vetos, condiciones Geológicas y geomecánicas), desde el punto de vista técnico, debe considerarse los aspectos operativos como las secciones de las labores, Radios de giro, disponibilidad de repuestos de los equipos.

9. Conclusiones

El factor de seguridad promedio del techo es de 1.3 estable y cajas con un factor de seguridad 1.33 (Estable), que el minado en vetas angostas se recupera el mineral económico.

Con este método de minado y los equipos diseñados para labores angostas se mantiene y controla un límite máximo de abertura, en la preparación y en el minado y se logra reducir la probabilidad de accidentes por caída de rocas, al aumentar el factor de seguridad de los tajos de taladros largos.

Con el método implementado se logró la reducción de la sobre dilución de 20% a

10%, El incremento de productividad, rentabilidad y mayor recuperación de reservas de mineral.

La sobre dilución en la preparación de subniveles para los tajos con el minado de sublevel stoping se ha reducido significativamente en más del 15%. Esto conlleva a una mejor productividad, que genera valor y se recupera reservas de vetas angostas.

Con el método AVOCA se logró el incremento de productividad y rentabilidad, mayor recuperación de reservas de mineral y mayor seguridad durante la explotación

10. Recomendaciones

El cumplimiento estricto de los controles del minado como son: relleno hidráulico y/o detrítico (mixto) y cumplimiento de los diseños de perforación y voladura.

Se recomienda el cumplimiento estricto de los controles del minado como son: cumplimiento del Límite máximo de abertura, Control de desviación de taladros largos, fragmentación, control de dilución y factor de potencia.

Es importante mantener disponibilidad de repuestos de los micro equipos Trackless, dado que no son equipos comunes se requiere la logística adecuada para mantener la confiabilidad de la flota.

Referencias

1. Pan American Silver Huarón S.A., Reportes Internos de Operaciones mineras, Superintendencia Mina, Cristian Via, Cerro de Pasco, 2019.

2. Pan American Silver Huaron S.A. Cubicación de reservas Mina Subterránea Huaron, Superintendencia de Geología, 2012.

3. Pan American Silver Huarón S.A., Reportes Internos de Geomecánica, Superintendencia de Ingeniería y Planeamiento, Dioni Castillo, Cerro de Pasco, 2013.

4. Pan American Silver Huarón S.A., Cartas Mensuales, Superintendencia Mina, Cerro de Pasco, 2011- 2013.

5. Pan American Silver Huarón S.A., Reportes Internos de Geomecánica, Jefatura de Geomecánica, Edward Vizcarra, Cerro de Pasco, 2015.

6. Aplicación del método avoca, variante del método de corte y relleno-método avoca. mina Huaron, Marlon Percy Villanueva Nuevo

6. Pan American Silver Huarón S.A., Reportes Internos, Superintendencia de Ingeniería y Planeamiento - Área de Costos - 2013.

Autor:

Autor: John Olivera Agama

Ingeniero Planeamiento Mina Senior

Pan American Silver Huarón S.A.

joliveraa@pe.panamericansilver.com

+51 979739715

Jr. Francisco Bolognesi, Huanchaco, Trujillo, La Libertad.

Ingeniero de Minas egresado de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, con más de 20 años de experiencia en Gestión de operaciones mineras, Métodos de minado subterráneo mecanizado y con conocimientos de Minado en vetas angostas y cuerpos mineralizados.

Actualmente en Pan American Silver Huaron durante 8 años, con el cargo de

Ingeniero Planeamiento Mina Senior,
Compañías anteriores: Atico Mining
Corporation (Colombia), Compañía
Minera Argentum, Compañía Minera San
Valentín, G&M Stracon, E&S Luque SAC,
Minera Coalme S.R.L. y Pan American
Silver SAC Mina Quiruvilca.