


# Gestión de la percepción de voladuras con un enfoque social y eficiencia operativa basado en modelos matemáticos y analítica avanzada.

U.M. La Arena  
Pan American Silver Perú

 **CONSTRUYENDO  
JUNTOS UN  
PERÚ MEJOR**



## Generalidades - Mina La Arena

### »» Ubicación:

Ubicada en el Caserío La Arena, distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, región La Libertad; entre los 3300 y 3500 msnm.

### »» Tipo de mina:

La Arena es una mina de oro a cielo abierto, lixiviación en pilas y con potencial de expansión a sulfuros.

### »» Producción:

Extracción de oro.



# Aspecto social

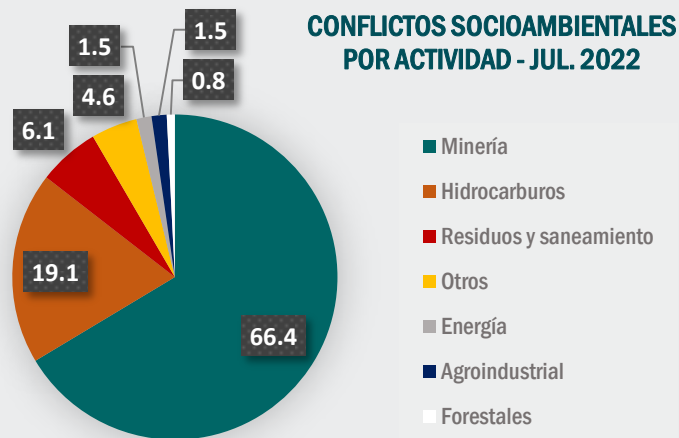
- Sector La Arena Centro – Caserío Arena
- Sector El Alizar – Caserío La Arena
- Caserío Ramada.



# Introducción

Actualmente el tema socio ambiental es fundamental para la continuidad de la operación, los conflictos que se generan entre la mina y las poblaciones vecinas se deben mayoritariamente a consecuencia de su cercanía.

PERÚ: CONFLICTOS SOCIALES REGISTRADOS POR MES, JUL 21 - 22												
2021						2022						
Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
195	196	198	198	199	202	203	203	208	209	205	207	208



Fuente: Defensoría del Pueblo - Reporte de conflictos sociales N° 221

# Proceso de voladura

El proceso de voladura no es ajeno a esta problemática, siendo -en muchos casos- responsable de los efectos negativos reales o de percepción humana, en ambos casos se requiere fundamentar técnicamente el impacto de la actividad.



# Objetivos

- **Gestionar la percepción de voladuras con enfoque social y su eficiencia operativa con las comunidades aledañas.**
- **Tener una continuidad operativa con enfoque socio ambiental dentro de una operación minera.**
- **Mantener una buena armonía en las voladuras de una operación y sus comunidades.**



# Estrategias en el proceso de voladura

En La Arena desarrollamos y ejecutamos diferentes controles con el objetivo de mantener un equilibrio entre la percepción social y la continuidad de las labores de las comunidades del entorno con los resultados adecuados de voladura para la consecución de los objetivos operativos planteados.

Los principales factores de la voladura que generan reacciones en la población están relacionados a:



- **Vibración del terreno.**
- **El efecto de la Onda de Sobrepresión (Onda Aérea).**
- **Proyección de rocas.**
- **Generación de polvo.**
- **Gases Nitrosos.**

# Secuencia del diseño de voladura



# Cálculo de burden

El cálculo inicial del burden se realizó con el criterio propuesto por Pearse:

$$B = K_v \cdot \frac{D_e}{1000} \cdot \left(\frac{PD}{RT}\right)^{0.5} = 4.67 \text{ m} \rightarrow S = 5.30 \text{ m}$$

Donde:

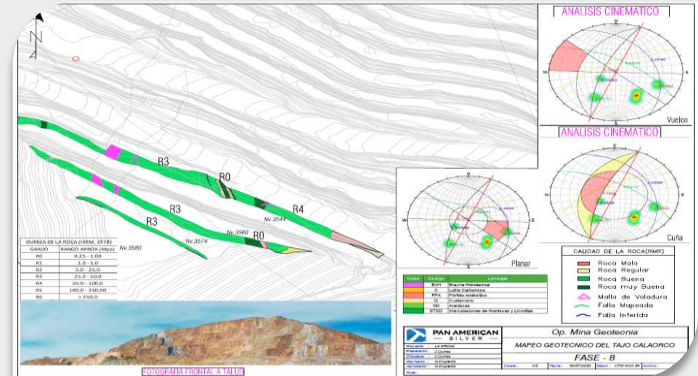
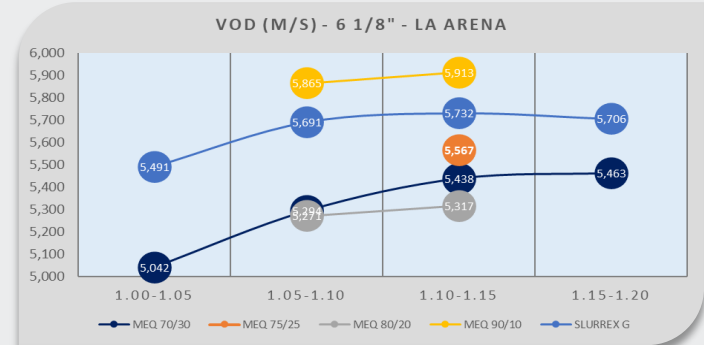
$B$  = Burden (m)

$K_v$  = Índice de volabilidad

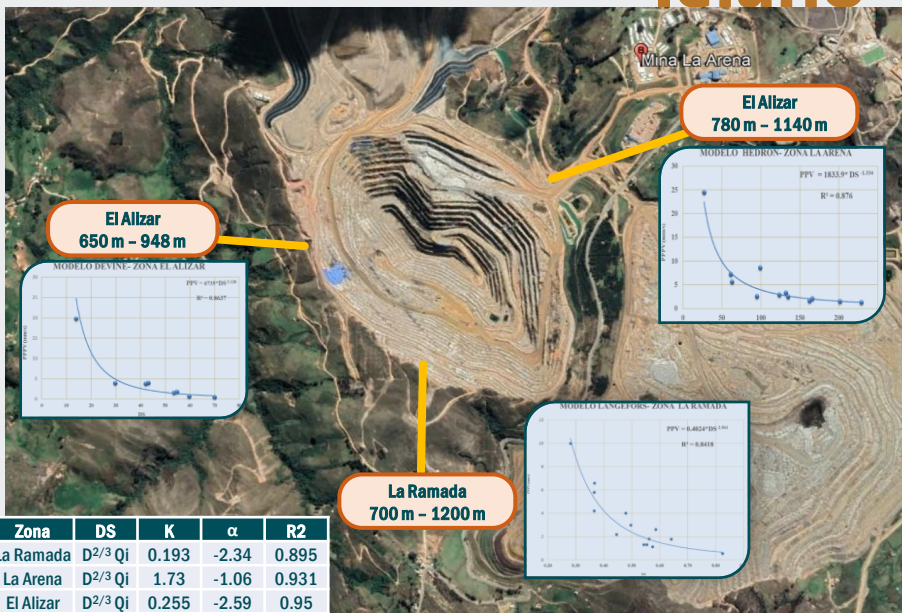
$D_e$  = Diámetro del explosivo (mm)

$PD$  = Presión de detonación del explosivo (Kg/cm<sup>2</sup>)

$RT$  = Resistencia tensional dinámica (Kg/cm<sup>2</sup>)

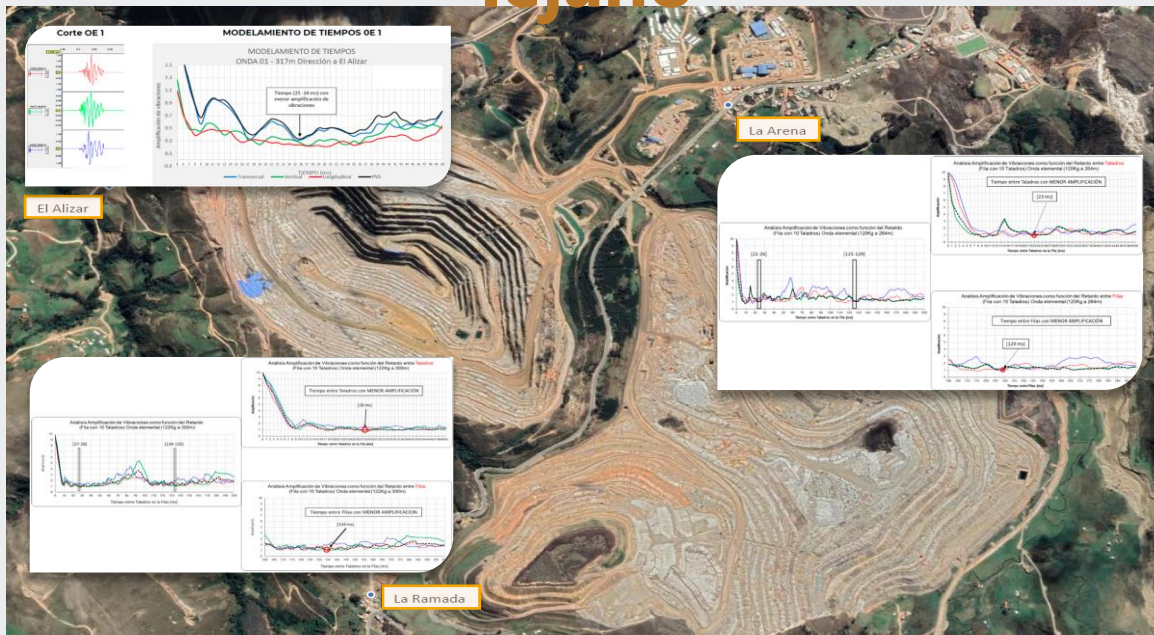


# Modelamiento de vibraciones - campo lejano

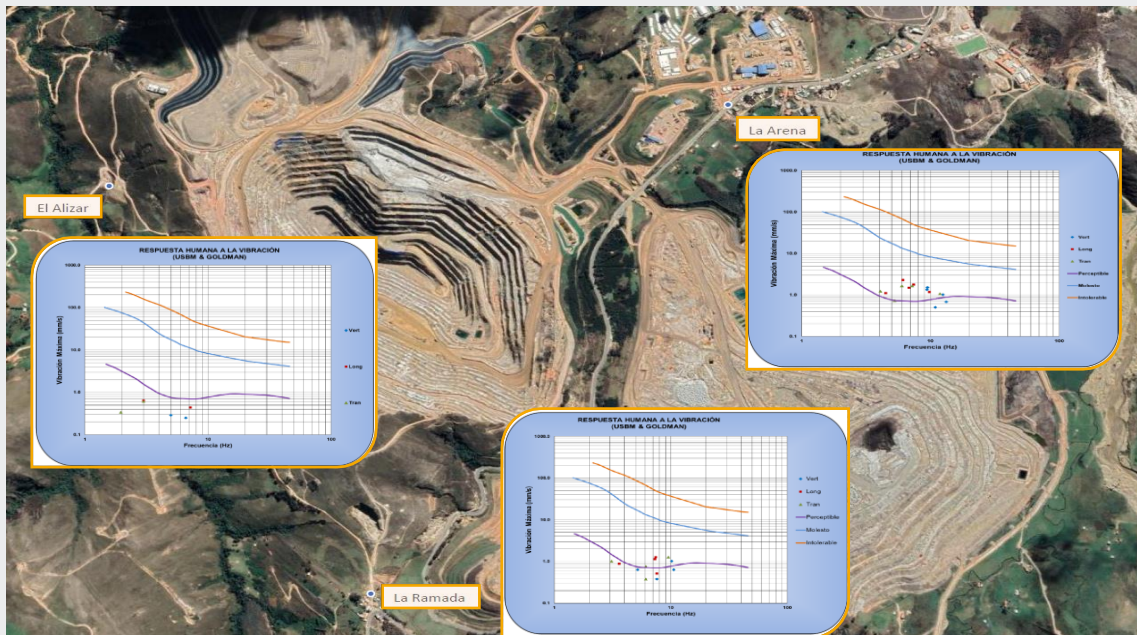


Las voladuras, dependiendo de su cercanía a estructuras o componentes cercanos, inducen esfuerzos dinámicos que pueden causar deformaciones y en algunos casos pueden originar daño permanente. **La Velocidad Pico de Partícula (mm/s) y la Frecuencia Predominante (Hz) de la voladura son las variables que mejor se asocian a la generación de daño estructural, dichos registros son comparados con los Criterios de Daño adoptados por la mina.**

# Modelamiento de vibraciones - campo lejano

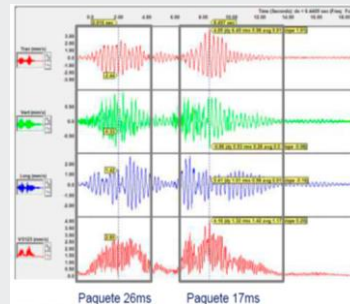
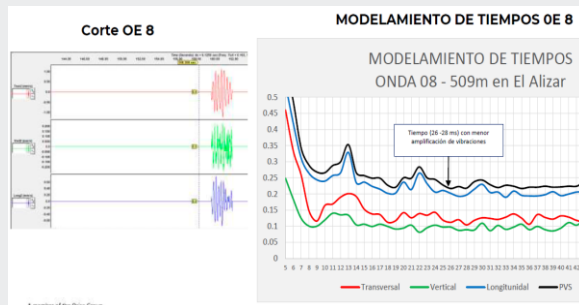
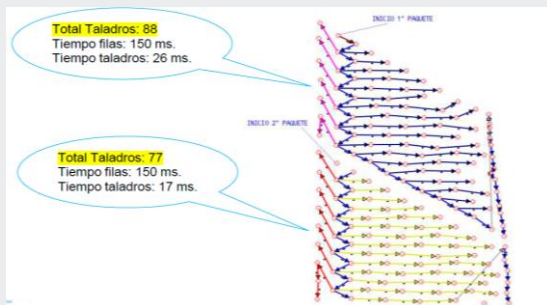


# Modelamiento de percepción de Steffens



# Modelamiento de vibraciones - Superposición de ondas

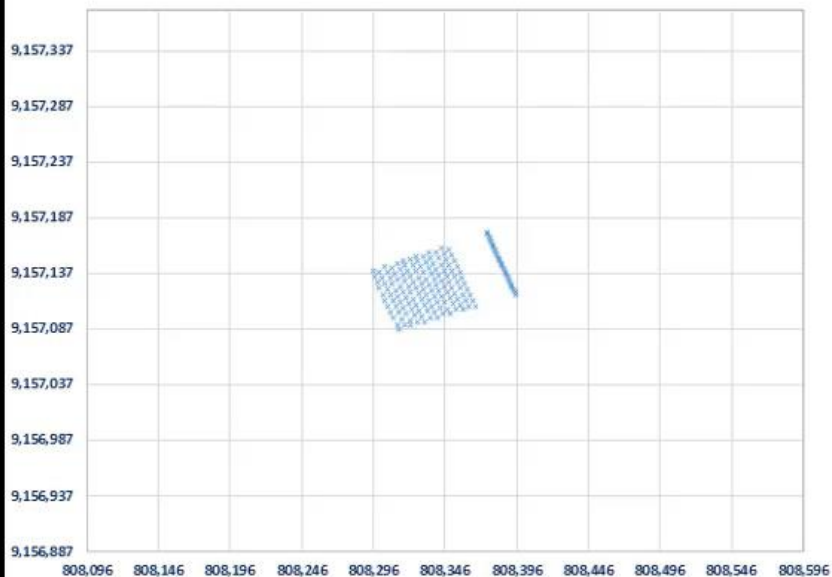
Para la reducción del nivel de vibraciones generado por las voladuras se tomó como línea base el trabajo de análisis de frecuencias (onda elemental) realizado para comunidades. Con el análisis de frecuencias se logró **reducir el nivel de vibraciones en 31.5% en los puntos de interés.**



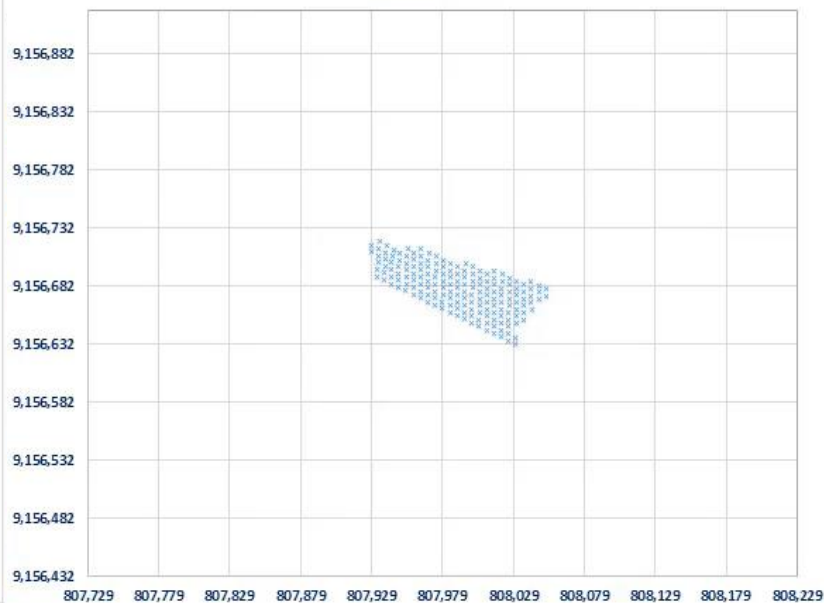
COMPARACIÓN DE PEAK DE VIBRACIÓN		
Tiempos Usado	Vibración (mm/s)	Reducción de vibración
Onda Elemental 26ms	2.85	31.5%
Tiempo usado 17ms	4.16	

# Sistemas de iniciación

Simulación Ondas



Simulación Ondas



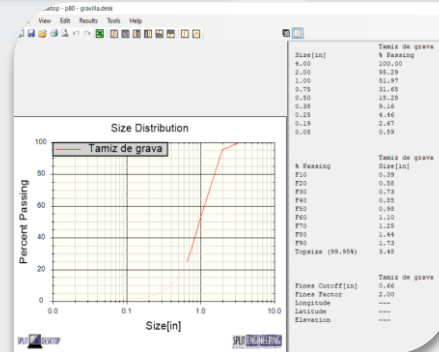
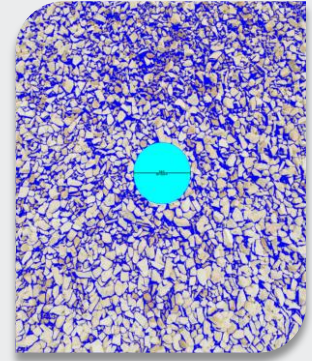
# Material de taco óptimo

El Taco es la longitud en la parte superior del taladro, rellena con material inerte y tiene por misión confinar y “retener la energía” en el medio rocoso, para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca.

Las características de la gravilla:

**Tamaño:** entre 1 a 2 Pulgadas – Chiapetta

**Tamaño:** Ø/10 o Ø/15 – McKenzie

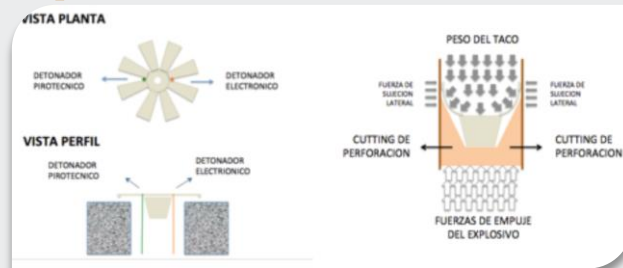


# Retención de taco (uso de retenedores de energía)

## Retenedores de Energía

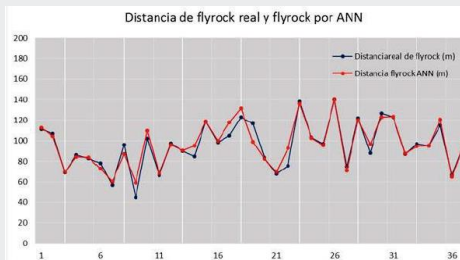
Esta herramienta retiene la energía y evita que eyecte violentamente, haciendo que interactúe entre los taladros.

Se propone la colocación de retenedores tanto en taladros de producción (el nivel de proyección se reduce en 30 %)

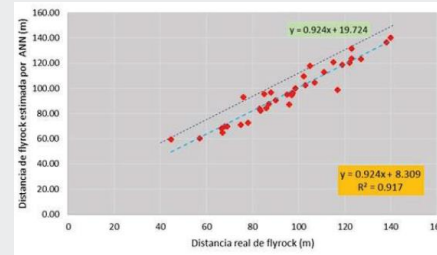


# Modelamiento de proyección de roca

Para evaluar la distancia máxima de flyrock en nuestra operación, se realizaron pruebas, las cuales sirvieron para modelar las distancias de Flyrock por voladura.



Parámetros de Voladura	Und	
Altura de Banco	(m)	8.00
Sobre Perforación	(m)	0.80
Altura de Taco	(m)	3.40
Longitud de Carga	(m)	5.40
Diámetro	(Pulg)	6 1/8
Longitud de Carga que contribuye a la proyección	(m)	1.56
Longitud de Carga que contribuye a la proyección / Diámetro		10.00
Densidad de Explosivo	gr/cc	1.10
Densidad de Roca	gr/cc	2.50



# Teoría de confinamiento

La teoría de confinamiento se basa en el concepto de la profundidad de entierro de una carga, se definió durante investigaciones del efecto cráter de las cargas de explosivo enterradas, como lo descrito por Chiappetta:

$$SD \text{ (rango optimo)} = 1.16 \frac{m}{Kg^{1/3}}$$

Variación de Taco = 2.20 m – 3.70 m

Factor de potencia = 0.211 – 0.273 kg/Ton



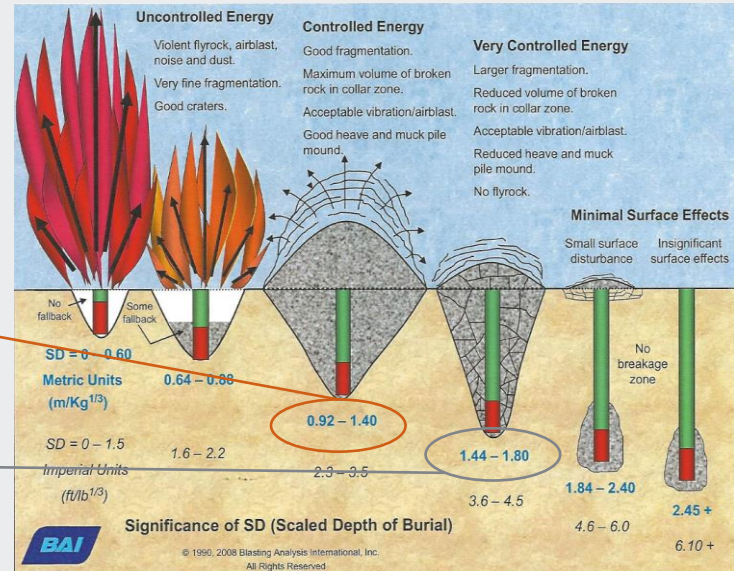
$$SD = 1.80 \frac{m}{Kg^{1/3}}$$

Burden = 3.22 m

Espaciamento = 3.70 m

Altua de taco = 5.00 m

Factor de potencia = 0.257 Kg/Ton

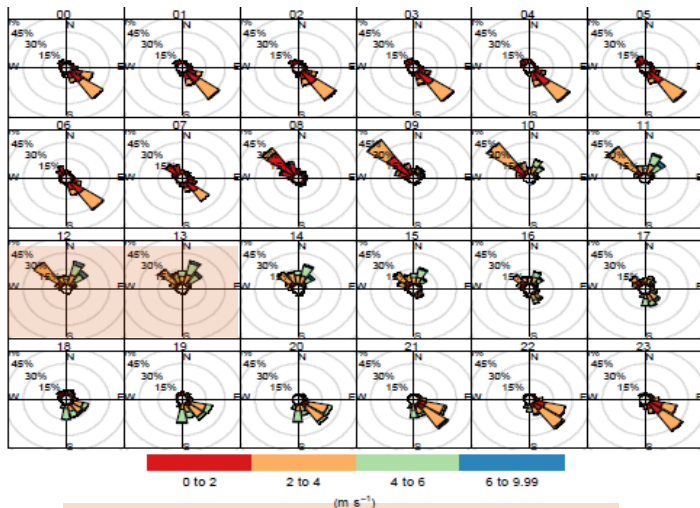


# Uso de rosetas de viento en épocas seca y húmeda

## Estación La Arena

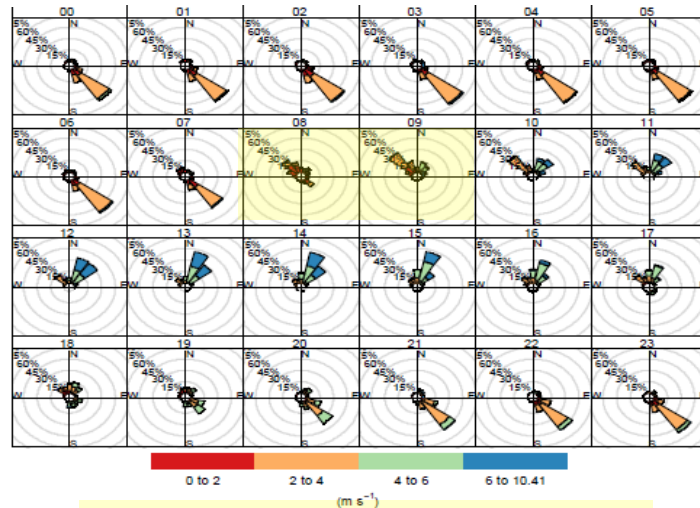
Rosas de viento horario por épocas secas y húmeda – Estación La Arena

Época húmeda (octubre – mayo)



Horario de voladura – época húmeda

Época seca (junio – setiembre)



Horario de voladura – época húmeda seca

# Riego de mallas y taludes



El riego de mallas y el talud de la cara libre del proyecto a volar, se efectúa mediante el cumplimiento de un procedimiento incorporado en la operación, y la previa coordinación con el supervisor responsable de la malla de perforación y voladura.

# Controles de partículas suspendidas (polvo)

Para el control de partículas suspendidas se realizan los siguientes controles:

## Cañón supresor de polvo



El cañón de neblina funciona como un sistema de pulverización, generando una cortina de microgotas de agua, con un diámetro medio de 10 micras, que elimina el polvo en suspensión y fugitivo, limpiando de este modo la atmósfera de impurezas.

# Tapado o recubrimiento de mallas

**El uso de geomembrana es uno de los controles más efectivos que se tiene para la mitigación de polvo y eyección de roca.**



# Gestión operativa

La implementación de controles puede ser de múltiples tipos, pero debemos considerar que los mismos incurren en costos adicionales para la empresa, por lo que es necesario determinar rápidamente qué tipos de controles son los necesarios a utilizarse, según las condiciones y parámetros del proyecto de voladura a efectuarse.

		Riego de mallas	Uso de cañon de neblina	Tapado de Mallas
	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Altura de Bacno (m.s.n.m.)	< 3248	3248 - 3308	3308 - 3398	> 3398
Distancia a comunidades (km)	> 1.5 Km	1.5 Km - 1.0 Km	1.0 Km - 0.6 Km	> 0.6 Km
Diseño de Carga (Kg/Ton)	< 0.102	1.02 - 1.25	1.25 - 1.35	> 1.35
Tipo de iniciación	Electrónica	Pirotécnica		
# Taladros	< 200	200 - 300	> 300	
Cara Libre	Con cara libre	Sin cara libre		

	No controlable
	Controlable

# Resultados obtenidos

Como se puede observar en el gráfico, los reclamos en el año 2018 son considerables debido a que no se realizaba una gestión de las voladuras con un enfoque social y eficiencia operativa en La Arena.



# Conclusiones

- Una adecuada gestión de las voladuras con un enfoque social, hicieron que los reclamos por voladuras por las comunidades aledañas disminuyeran significativamente de tener 15 reclamos en 2018 a pasar a 01 reclamo durante el 2021.
- Se concluye que, si se tiene una buena gestión de las voladuras, con base a los estudios realizados en La Arena de Percepción Humana, los niveles alcanzados son de tipo: “ligeramente perceptibles” para distancias de 500 metros en promedio, además no se llegan a tener niveles que puedan considerarse “molestos”. Conociendo que las distancias a las que se encuentran las comunidades son mayores a los 650 metros, el efecto de Percepción Humana es menor debido a los controles adoptados.
- Mantener una buena armonía entre la operación y sus comunidades, considera la aplicación de diferentes controles y metodologías.



# GRACIAS

»» **César Alexander Guerra Vasco**  
Ing. de Minas  
Cel. 997 025 632

»» **U.M. La Arena**  
Pan American Silver Perú



CONSTRUYENDO  
JUNTOS UN  
PERÚ MEJOR



FORO DE  
**TECNOLOGIA**  
INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

