



# Optimización de las actividades de perforación y voladura en la UM San Rafael mediante la implementación en campo del modelo de rotura y la predicción de cavidades

FRANK GOMEZ

CONSTRUYENDO  
JUNTOS UN  
PERÚ MEJOR



# Introducción



## CASO DE ESTUDIO

### OBJETIVO GENERAL

Optimizar de las actividades de perforación y voladura en la UM San Rafael

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Optimizar de la malla de perforación

Simular la voladura

### METODOLOGÍA

Modelo de Rotura

Modelo de predicción de cavidades

Cyndhi	N° de secuencia
TJ 4000-1800 CYN_T 4017-4000 P-05	1
TJ 4000-1800 CYN_T 4030-4017 P-05	2
TJ 4000-1900 CYN_T 4030-4017 P-05	3
TJ 4000-1900 CYN_T 4017-4000 P-04	4
Rosario	N° de secuencia
TJ 4200-550 ROSARIO 4239-4224 P-05	1
TJ 4200-550 ROSARIO 4224-4200 P-06	2
TJ 4200-550 ROSARIO 4239-4224 P-06	3
TJ 4200-550 ROSARIO 4254-4239 P-05	4
TJ 4254-650 ROSARIO 4283-4269 P-05	5
Jorge	N° de secuencia
TJ 4302-1300 JORGE 4310-4302 P-03	1
TJ 4302-1300 JORGE 4335-4310 P-03	2
TJ 4302-1300 JORGE 4310-4302 P-04	3
TJ 4302-1300 JORGE 4335-4310 P-04	4
Vicente	N° de secuencia
TJ 3650-2200 VCP 3700-3685 P-05	1
TJ 3650-2200 VCP 3670-3650 P-07	2
TJ 3650-2200 VCP 3685-3670 P-07	3
TJ 3650-2200 VCP 3700-3685 P-08	4

# Optimización de la malla de perforación mediante el Modelo de Rotura

## Modelamiento de la Roca

## Modelamiento del Explosivo

**Identification**

Name:

Alias:

Rock Type:

Information Source:

**General Characteristics**

P-Wave Velocity:  m/s

S-Wave Velocity:  m/s

Young's Modulus:  GPa

Bulk Modulus:  GPa

Shear Modulus:  GPa

Poisson's Ratio:

Fracture Index:

Crack Velocity:  m/s

**Explosive Properties**

Trade Name:

Manufacturer:

Mining Method:

Information Source:

Charge Colour:

Density:  g/cc

Specific Density:  cc/g

Relative Weight Strength:  %

Relative Bulk Strength:  %

Thermochemical Energy:  cal/g

**Environmental**

Water Resistant:

Bulk Product:

Fume Class:

Temperature Storage:  °C to  °C

**Geology and Structure**

Density:  g/cc

Specific Density:  cc/g

RMR:

RQD:

JRC:

**Local Strengths**

Static Tensile Strength:  MPa

Dynamic Tensile Strength:  MPa

Insitu Tensile Strength:  MPa

Insitu Compressive Strength:  MPa

Static Compressive Strength:  MPa

Dynamic Compressive Strength:  MPa

**Priming**

Is primer required?

Weight:  kg

Detonator Sensitivity:  g

Cord Sensitivity:  g/m

Notes:

**Velocity of Detonation (m/s) VS Charge Diameter (mm)**

**Internal Energy (MJ/m³) VS Charge Diameter (mm)**

**VOID Curve: Custom**

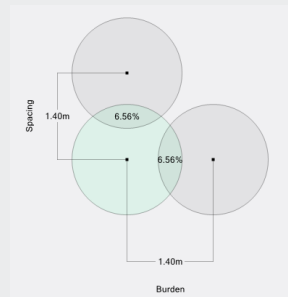
Parameter	Curve Value	Diameter (mm)	VOID (m/s)
Critical Diameter (mm)	25.40	25.40	2500.00
Critical Velocity (m/s)	2,500.00	152.40	4500.00
Ideal Diameter (mm)	152.40		
Ideal Velocity (m/s)	4,500.00		
m	5.97		
n	3.31		
c	-0.48		
Vi Slope	3,184.83		
Vi Intercept	4,927.21		

## Evaluación de los indicadores de Voladura

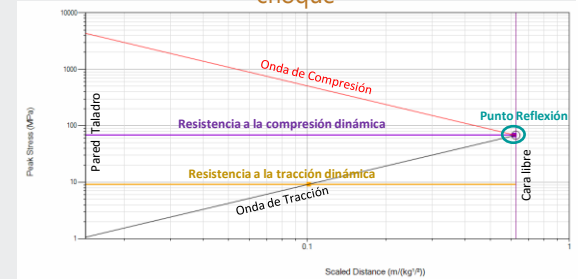
### Radio de Rotura

Value	Units	-30%	-15%	Mean	+15%	+30%
Crush Extent Radius	m	0.25	0.22	<b>0.21</b>	0.19	0.18
Shatter Extent Radius	m	0.42	0.38	<b>0.35</b>	0.33	0.31
Minimum Extent Radius	m	0.60	0.54	<b>0.50</b>	0.46	0.44
Pattern Extent Radius	m	1.08	0.98	<b>0.90</b>	0.84	0.79
Maximum Extent Radius	m	1.56	1.42	<b>1.31</b>	1.22	1.14

### Superposición



### Gráfico de Reflexión de la onda de choque

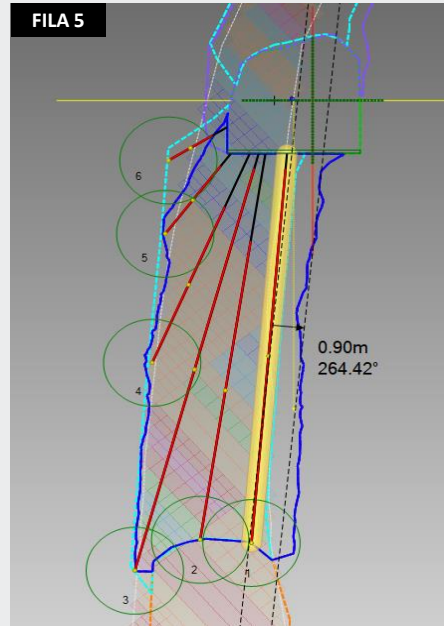
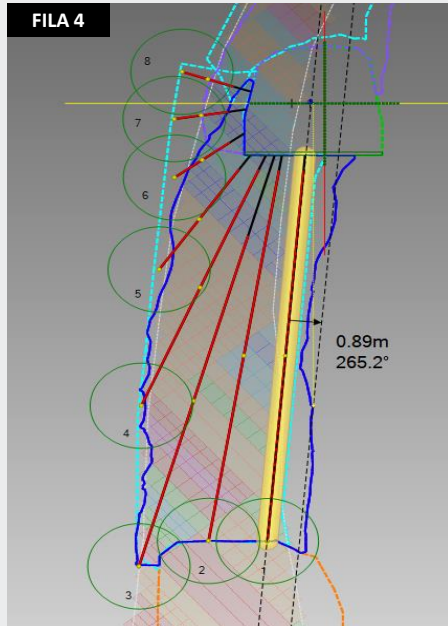


### Indicadores de Voladura-Zona Cyndhi

Statistics	Range	Value	Parameter Gauge	Result
Break Overlap Burden	2% - 12%	6.6%		✓
Break Overlap Spacing	2% - 12%	6.6%		✓
Reflection Point	9.23 MPa - 68.88 MPa	68.08 MPa		✓
Ratio of Radial Break to Burden Distance	45% - 75%	64.45%		✓
Break Angle	80° - 90°	79.89°		⚠
Powder Factor Mass	0.4 kg/tonne - 0.8 kg/tonne	0.64 kg/tonne		✓
Energy Factor Mass	1.45 MJ/tonne - 2.90 MJ/tonne	2.31 MJ/tonne		✓

Calibración

T.4017-4000 P-05



## Resultados obtenidos

Mallas de perforación optimizadas por zonas

	Patrón de Malla de Perforación	
	Burden (m) x Espaciamiento (m)	Diámetro de carga
<b>Cyndhi</b>	1.4 x 1.4	64 mm
<b>Rosario</b>	0.9 x 0.9	64 mm
<b>Jorge</b>	0.9 x 0.9	64 mm
<b>Vicente</b>	1.4 x 1.4	64 mm



**Granulometría correcta**

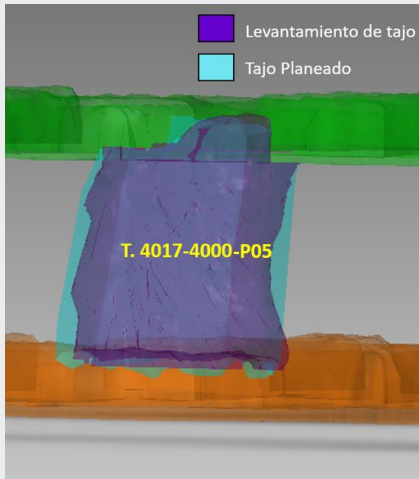
Obtenida del tajeo  
T.4030-4017 P-05

Granulometría menor a  
6 pulgadas

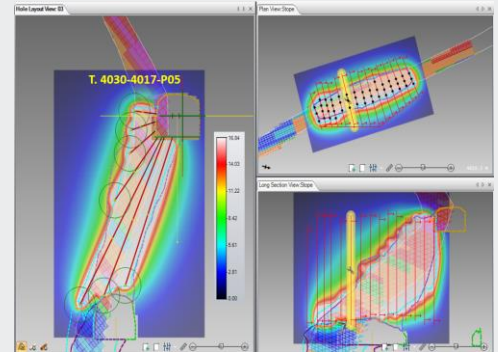
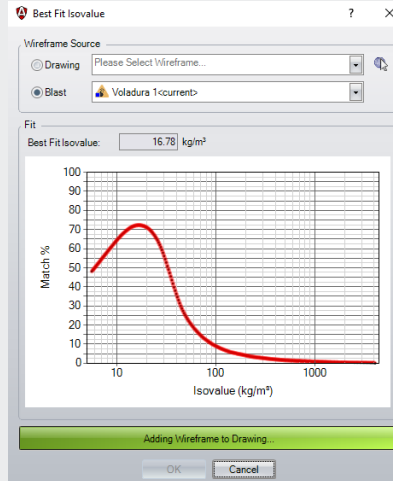


# Simulación de voladura mediante el Modelo de Predicción de cavidades

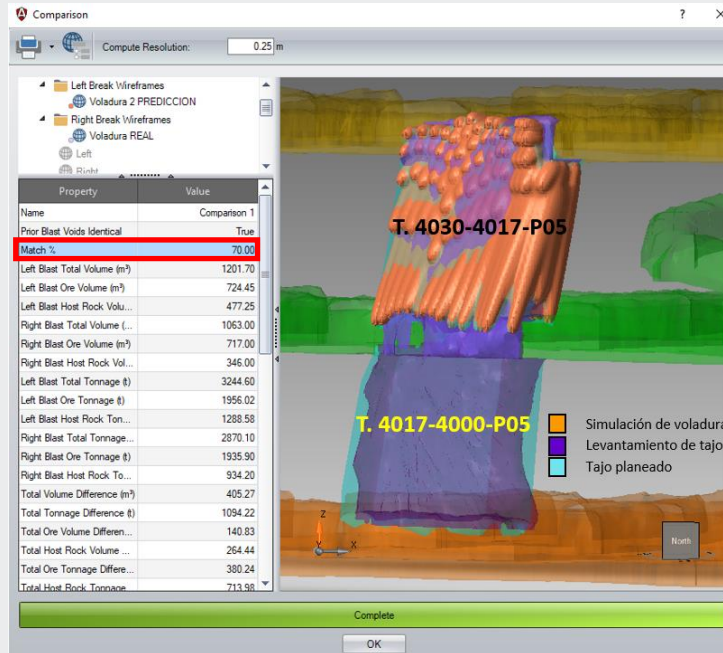
Tajeo Post-Voladura



Predicción de futuros resultados de voladura



## Reconciliación



## Resultados obtenidos

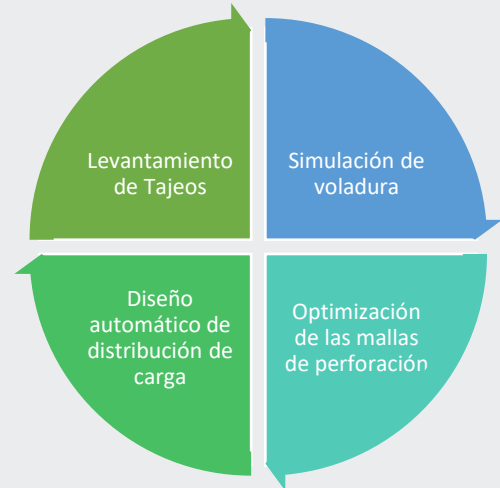
Resultados en las simulaciones de voladura en las 4 zonas

	Isovalor (kg/m <sup>3</sup> )	% Coincidencia
Cyndhi	16.78	70.00
	16.25	68.50
	16.42	69.30
Rosario	24.26	67.50
	23.91	66.38
	23.84	66.07
	24.52	68.32
Jorge	20.59	64.35
	21.01	63.20
	20.28	64.79
Vicente	15.32	66.82
	15.73	67.57
	15.46	67.13



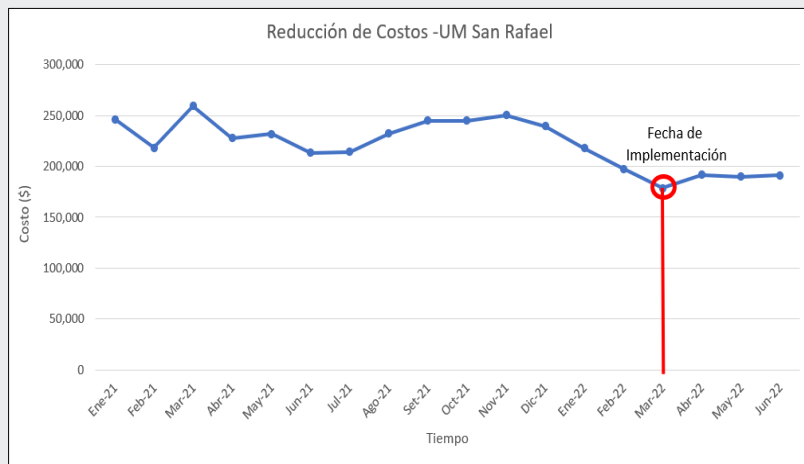


# Implementación en la operación



# Impacto económico en la operación

Tendencias de costos mensuales en \$ de la UM  
San Rafael

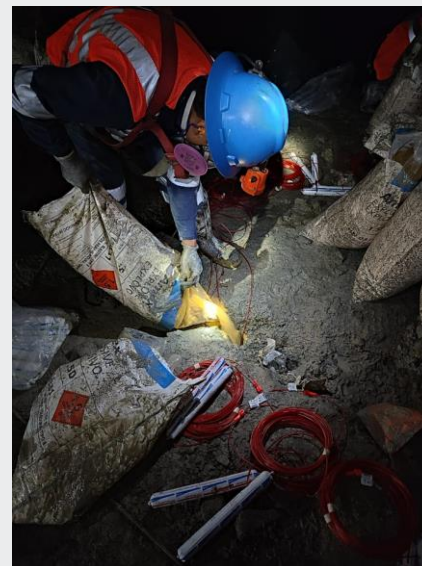


## Consideraciones importantes

- # Fecha de implementación: marzo 2022
- # Solo se está considerando los costos afectados por la implementación de los modelos en la operación minera
- # Disminución de  $W_i$  de 18.12 a 17.34 kw-hr/tn
- # Reducción de costos unitarios de 19%

# Conclusiones

- Se ha logrado modelar correctamente los tipos de roca de la UM San Rafael
- La malla de perforación de la UM San Rafael fue correctamente optimizada debido al proceso de calibración y a los buenos resultados de voladura obtenidos en la operación (sobre-excavación mínima y correcta fragmentación)
- Las voladuras han sido simuladas correctamente, obteniéndose un porcentaje mínimo de coincidencia del 63.20 % con respecto a los sólidos CMS
- La aplicación de los modelos de rotura y predicción de cavidades ayudan al proceso de mejora continua de las actividades de perforación y voladura de la UM San Rafael, ya que se realiza un correcto control de cavidades resultantes y simulación de voladura.
- La implementación de los modelos redujo los costos operativos de la UM San Rafael, por lo que se obtuvo un impacto económico positivo en la operación minera.



Implementación en la operación  
minera San Rafael



**En futuros estudios, los modelos de rotura y predicción de cavidades podrían implementarse también en otras operaciones mineras de manera eficiente.**

PARA LA OPTIMIZACIÓN DE P&V EN LAS MINAS DEL PERÚ



CONSTRUYENDO  
JUNTOS UN  
PERÚ MEJOR



FORO DE  
**TECNOLOGIA**  
INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

