

# MAGNA

INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

CURSO DE FORMACIÓN



# SUPERVICIÓN DE PERFORACION Y VOLADURA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Presentado por:

M.Sc. Ing. Robert G. Santiago Lucas

Cip: 169493

# Módulo 4

GESTIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA EN PERFORACIÓN Y VOLADURA

## Índice

### 3. GESTIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA EN PERFORACIÓN Y VOLADURA

Introducción

Gestión de costos de perforación

Gestión de Costos de Voladura

Optimización de costos de perforación y voladura

Evaluación de eficiencia operativa

# INTRODUCCIÓN

Debemos tomar en cuenta que tanto el costo mina como el costo planta varían durante la vida de la explotación, ya que la distancia de transporte tanto para el mineral como para el estéril son variables y el tratamiento del mineral en la planta varía dependiendo de las características del mineral que es alimentado, las cuales pueden variar dependiendo de la profundidad en la cual nos encontramos explotando, por lo que en ambos casos se debe ocupar la mejor estimación posible en función del criterio y experiencia del encargado de realizar el diseño del rajo.

La expresión inicial para la Ley de Corte Crítica puede expresarse de la siguiente manera al incluir las unidades y en el costo mina considerar el costo de capital:

$$\text{Ley de Corte (\%)} = ((\text{CM} + \text{CC}) + \text{CP}) \times 100 / (2204.6 \times \text{RM}/100 \times (\text{P} - \text{FyR}))$$

# INTRODUCCIÓN

En esta expresión se considerarán como Costos de **CATEGORÍA I**, a los costos en **US\$/Ton** de material movido relacionados con la extracción del mineral, es decir los costos Mina, que incluyen los siguientes procesos:

- Como Costos Directos (**CM**):

- Perforación.
- Voladura.
- Carguío.
- Transporte.
- Servicios de apoyo Mina.
- Administración.

- Además, se maneja como un Costo a la Depreciación (**CC**).

La suma de estos valores **CM + CC** conforma la CATEGORÍA I.

Se considera como Costos de **CATEGORÍA II**, los relacionados con el proceso del mineral (**CP**) y se expresa en unidades de **US\$/Ton** de Mineral tratado. Además, se incluyen costos administrativos (en las mismas unidades). Cabe notar que la depreciación de las instalaciones de la planta está incluida dentro del costo de proceso.

Se considera como Costos de **CATEGORÍA III**, los relacionados con la venta del producto (**FyR**), en el cual se incluyen el transporte, seguros, créditos, refinería, etc. y se expresa en unidades de **US\$/lbCu**.

# INTRODUCCIÓN

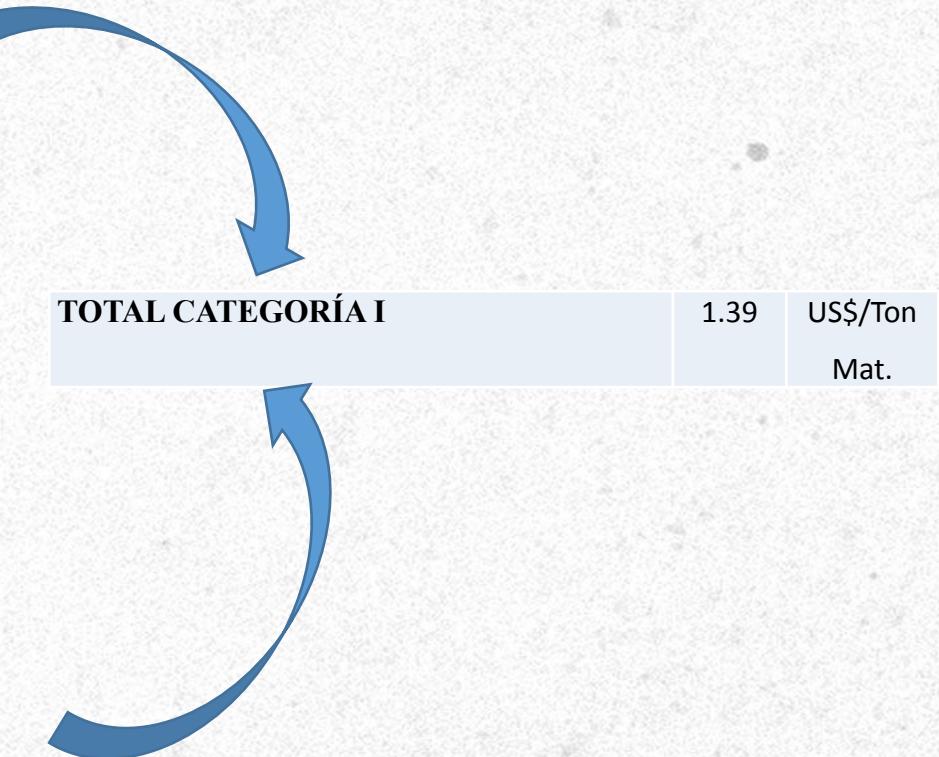
## EJEMPLO DE APLICACIÓN

### CATEGORÍA I:

- 1) Costo directo Mina:

<b>Costo de Perforación</b>	<b>0.04</b>	US\$/Ton Mat.
<b>Costo de Tronadura</b>	<b>0.07</b>	US\$/Ton Mat.
<b>Costo de Carguío</b>	<b>0.11</b>	US\$/Ton Mat.
<b>Costo de Transporte</b>	<b>0.28</b>	US\$/Ton Mat.
<b>Costo de Servicios</b>	<b>0.18</b>	US\$/Ton Mat.
<b>Costo de Administración Mina</b> Prevención de Riesgos, Recursos Humanos, Administración, Servicios Médicos, etcétera	<b>0.21</b>	US\$/Ton Mat.
<b>TOTAL COSTO DIRECTO MINA</b>	<b>0.89</b>	US\$/Ton Mat.

- 2) Depreciación de los equipos mineros    **0.50**    US\$/Ton Mat.



# INTRODUCCIÓN

## EJEMPLO DE APLICACIÓN

### CATEGORÍA II:

- 1) Costo tratamiento del Mineral:

<b>Costo Procesamiento de Mineral</b>	<b>4.40</b>	<b>US\$/Ton Min.</b>
---------------------------------------	-------------	----------------------

- 2) Costo Gerencia General:

<b>Costo Administración Central</b>	<b>0.90</b>	<b>US\$/Ton Min.</b>
-------------------------------------	-------------	----------------------

<b><u>TOTAL CATEGORÍA II</u></b>	<b>5.30</b>	<b>US\$/Ton Min.</b>
----------------------------------	-------------	----------------------

### CATEGORÍA III:

- 1) Costo transporte, puerto, créditos, seguros, tratamiento por fusión y/o refino, etcétera:

<b><u>TOTAL CATEGORÍA III</u></b>	<b>0.38</b>	<b>US\$/lb Cu</b>
-----------------------------------	-------------	-------------------

**Recuperación Metalúrgica :** **90** %

**Precio del Metal :** **1.10** US\$/lb Cu

$$\text{Ley de Corte Crítica \%} = \frac{(\text{CATEGORÍA I} + \text{CATEGORÍA II}) \times 100}{2204.6 \times \text{RM}/100 \times (\text{PRECIO} - \text{CATEGORÍA III})} = 0.47 \%$$

# 4.1. gestión de costos de perforación

## a. Costo de Perforadora Rotativa



**MD6310**  
Configuración del mástil de  
**13,7 m o 17,5 m**  
**(44,9' o 57,4')**  
de la perforadora de agujeros  
para explosivos giratoria

### Performance de la MD6310

Horas Maq/gd : 115 m/gd

Horas Maq/gd : 115 m/gd

Vida Útil del equipo : 7.0 Hr

Vida Útil del equipo : 7.0 Hr

Horas Operadas al año : 10 años

Horas Operadas al año : 10 años

Horas Operadas al año : **(8 Hr/gdx3gd/diax6dias/semx50sem/añox0.85x0.80)** : **4896 Hr/año**

### COSTO DE PROPIEDAD:

- Depreciación : **(1050,000/(10x4896))** = **21.45 \$/Hr**
- Int. Seg. Imp : **(10+1)/(10x2)x0.14x1050,000/4896** = **16.51 \$/Hr**

**Costo total de propiedad** = **37.96 \$/Hr**

### COSTO DE OPERACIÓN:

- Reparaciones **Dep/Hrxf Rep** =  $21.45 \times 0.4$  = **8.58 \$/Hr**
- Energía Elect **Con Kwat/hrxP.u \$/Kwat** =  $200 \times 0.08$  = **16.0 \$/Hr**
- Lub y Filtros **10% depreciacion** =  $0.1 \times 21.45$  = **2.15 \$/Hr**
- Tubo de Perf **(115m/gd/7.0 Hr) x(15000/30000)** = **8.21 \$/Hr**
- Estabilizador **(115m/gd /7.0 Hr) x(6000/15000)** = **6.57 \$/hr**
- Operador y Ayudante : **5 \$/Hr + 2.5 \$/hr** = **7.5 \$/hr**

**Costo total de operación** = **49.01 \$/hr**

**COSTO DE ADQUISICIÓN + COSTO DE OPERACIÓN** = **86.97 \$/HR**

## 4.1. gestión de costos de perforación

### b. Costo de Proceso de Perforación



$$Cost.\text{Perf}(\$/\text{pie}) = \frac{B(\$/\text{Broca}) + [CostMaq(\$/hr)xT(hr)]}{F(\text{piesperf})}$$

DESCRIPCION	B dientes	B insertos
Costo del equipo BE 45 R (\$/Hr)	35.00	35.00
Costo por Broca	285	1253
Pies perforados/broca	2800	12687
Horas/broca	47	154
Pies/hora	59.57	82.38
Pull down	15000/30000	10000/25000
Costo de Perforación	0.69\$/pie	0.52\$/pie

## 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

### Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

La Mina “A” requiere realizar el reemplazo de sus equipos de perforación, para tal fin la empresa asigna a un responsable para que determine los costos de la maquina perforadora actual, teniendo los siguientes datos:

#### DATOS:

Vida equipo	:	10 años
Horas operadas por año	:	5000 hora operadas/año
Tubos de perforación	:	\$ 18000
Vida	:	36000 m
Estabilizador	:	\$ 8000
Vida	:	16000 m
Deliveri Price	:	\$ 2000000
Avence	:	400 pies/gd

# 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

**Variables:**

**Años de vida de la perforadora:**

$$N := 10 \text{ años}$$

**Horas operadas por año**

$$HOA := 5000 \text{ hrs/año}$$

**Costo de los tubos de perforación:**

$$TP := 18000 \text{ \$} \quad V := 36000 \text{ m} \quad VP := V \cdot 3.28 \quad VP = 118080 \text{ pies}$$

**Delivered price:**

$$Delpri := 2000000$$

**Interes del mercado**

$$INT := 12\%$$

# 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

## Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

Avance:

Sabemos que las horas efectividad por guardia es 6.5 hr/gd

$$\mathbf{HEFF} := 6.5 \quad \text{hr/gd}$$

$$\mathbf{AV} := 400 \quad \text{pies/gd}$$

Estabilizador:

$$\mathbf{CE} := 8000 \quad \$ \quad \mathbf{VE} := 16000 \quad \text{m} \quad \mathbf{VEP} := \mathbf{VE} \cdot 3.28 \quad \mathbf{VEP} = 52480 \quad \text{pies}$$

### 1. Costos de adquisición: (OWNING COST)

a) Depreciación:

$$\mathbf{D} := \frac{\mathbf{Delpri}}{\mathbf{HOA} \cdot \mathbf{N}} \quad \mathbf{D} = 40 \quad \$/\text{hr}$$

## 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

b) Intereses, seguridad e impuestos:

$$\mathbf{ISI} := \left[ \frac{(N + 1)}{2 \cdot N} \right] \cdot \mathbf{INT} \cdot \frac{\mathbf{Delpri}}{\mathbf{HOA}}$$

$$\mathbf{ISI} = 26.4 \quad \$/\text{hr}$$

**Costo total de adquisición:**

$$\mathbf{ADQUI} := \mathbf{D} + \mathbf{ISI} \quad \mathbf{ADQUI} = 66.4 \quad \$/\text{hr}$$

### 2. Costos de operación: (OPERATING COST)

a) Reparación:

Sabemos que el factor de reparación:      **Fact1** := 0.4

$$\mathbf{REP} := \mathbf{D} \cdot \mathbf{Fact1} \quad \mathbf{REP} = 16 \quad \$/\text{hr}$$

# 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

b) Energía eléctrica:

Consumo de la perforadora: **CONS** := 200  $\frac{\text{Kwh}}{\text{hr}}$

Costo de energía eléctrica: **COS** := 0.08 \$/hr

$$\mathbf{EE} := \mathbf{CONS} \cdot \mathbf{COS} \quad \mathbf{EE} = 16 \quad \$/\text{hr}$$

c) Lubricantes y filtros:

Sabemos que el factor por lubricantes y filtros: **Fact2** := 0.1

$$\mathbf{LF} := \mathbf{D} \cdot \mathbf{Fact2} \quad \mathbf{LF} = 4 \quad \$/\text{hr}$$

d) Tubos y collar de perforación:

$$\mathbf{CTU} := \left( \frac{\mathbf{AV}}{\mathbf{HEFF}} \right) \cdot \frac{\mathbf{TP}}{\mathbf{VP}} \quad \mathbf{CTU} = 9.381 \quad \$/\text{hr}$$

# 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

e) Estabilizador:

$$\text{EST} := \left( \frac{\text{AV}}{\text{HEFF}} \right) \cdot \frac{\text{CE}}{\text{VEP}} \quad \text{EST} = 9.381 \text{ \$/hr}$$

f) Operador y ayudante

$$\text{Oper} := 2.5 \text{ \$/hr} \quad \text{Ayud} := 1.5 \text{ \$/hr}$$

$$\text{OA} := \text{Oper} + \text{Ayud} \quad \text{OA} = 4 \text{ \$/hr}$$

**Costo total de aperación (Operating Cost):**

$$\text{COPE} := \text{REP} + \text{EE} + \text{LF} + \text{CTU} + \text{EST} + \text{OA}$$

$$\text{COPE} = 58.762 \text{ \$/hr}$$

**Costos de adquisición y operación (OWNING Y OPERATING COST)**

$$\text{OIO} := \text{ADQUI} + \text{COPE}$$

$$\text{OIO} = 125.162 \text{ \$/hr}$$

# 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN

Ejemplo práctico de Cálculo de costo de Perforación

**Costo de perforación en \$/tal:**

$$CP := \left[ \frac{OIO}{\left( \frac{AV}{HEFF} \right)} \right] \cdot H \quad \$/tal$$

Donde: H : pies/taladro  
AV : avance  
OIO: costo de perforación

$$CP = 91.525 \quad \$/tal$$

## 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE VOLADURA

Teniendo en cuenta el factor de potencia del explosivo utilizado (kg/t) y las relaciones matemáticas existentes, entre los consumos de explosivos y accesorios (iniciadores, guías, etc) con el procedimiento de carguío del explosivo, se determina los consumos específicos.

Multiplicando estos consumos específicos por los precios unitarios, resulta el costo de voladura en \$/t o \$/m<sup>3</sup>, según sea el caso.

### a. Factores de cálculo de costo de voladura

- Factor de potencia en kg/m<sup>3</sup> como datos estadísticos promedios obtenidos de las operaciones.
- Tipo de explosivo.
- Consumo de accesorios, iniciadores y guías.
- Consumo específico de taladro, en m/m<sup>3</sup>.
- Diámetro del taladro en mm.
- Longitud promedio de taladro, en m.
- Modalidad de carguío del explosivo

## 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE VOLADURA

### b. Estructura de costos de voladura

- Costo de explosivos
- Costo por iniciadores
- Costo por guía
- Costo por cordón detonante
- Costo por retardos de cordón
- Costo por mano de obra

### COSTO TOTAL DE VOLADURA

# 4.1. GESTIÓN DE COSTOS DE VOLADURA

## c. Factor de carga para costo de voladura

tramo	volumen	dinamita (unid)	anfo (kg)	cordón det.	mecha de seg.	Fulminantes	retardos	f de carga (kg/m <sup>3</sup> )
45+630 - 45+650	466.7	120	45	280	2	1	2	0.28
47+412 - 47+463	117.79	77	68	205	12	4	4	0.3
45+700 - 45+720	824.75	82	73	180	6	2	6	0.3
42+670 - 42+756	303.64	90	50	350	4	1	6	0.29
48+135 - 48+160	1,127.18	198,2 (14 kg)	130	600	2	2	8	0.12
46+753 - 46+810	531.94	120	95	420	2	1	4	0.28
46+845 - 46+865	37.23	15 kg	200	600	4	3	6	0.3
42+451 - 42+474	1073.72	300	235	1350	10	3	20	0.5
43+530 - 43+850	2698.51	640	400	1800	8	4	20	0.35
43+398 - 43+485	1492.88	216	78	320	5	1	1	0.25
42+634 - 43+660	937.07	648	41	388	5	1	1	0.26
43+274 - 43+398	560.38	836	72	490	6	2	1	0.28
43+122 - 43+266	1280.66	465	30	410	4	2	1	0.25
42+116 - 42+164	2837.74	1540	165	980	6	1	4	0.23
42+180 - 42+212	288.2	24	12.5	60	3	2	0	0.33

**Promedio F. carga. 0.310 Kg/m<sup>3</sup>**

**Volumen total: 56220.83 m<sup>3</sup>**

## 4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA

### a. Ritmo de Explotación

Si la mina define al ritmo de explotación, el período T está dado por:

$$T = Qm / M$$

Donde:

- M** : Cantidad máxima de material (estéril y mineral) a extraer en un año.
- C** : Cantidad máxima de mineral a tratar en un año.
- R** : Cantidad máxima de fino a producir en un año.
- m** : Costo de mina por unidad de material, independiente de la ley de la unidad explotada (perforación, tronadura, carguío y transporte).
- c** : Costo por unidad de mineral tratado.
- r** : Costo por unidad de producto incluyendo fundición, refinería y ventas.
- f** : Costos fijo.
- s** : Precio de venta.
- u** : Recuperación metalúrgica

## 4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA

### c. Beneficio económico

El beneficio está dado por la siguiente expresión:

$$P = (s - r) \times Q_r - c \times Q_c - m \times Q_m - (f \times T)$$

Donde:

$Q_m$  : Cantidad de material a extraer en un período de T años. Limitado por M.

$Q_c$  : Cantidad de mineral a tratar en un período de T años. Limitado por C.

$Q_r$  : Cantidad de producto obtenido en un período de T años. Limitado por R.

T : Período de operación en años.

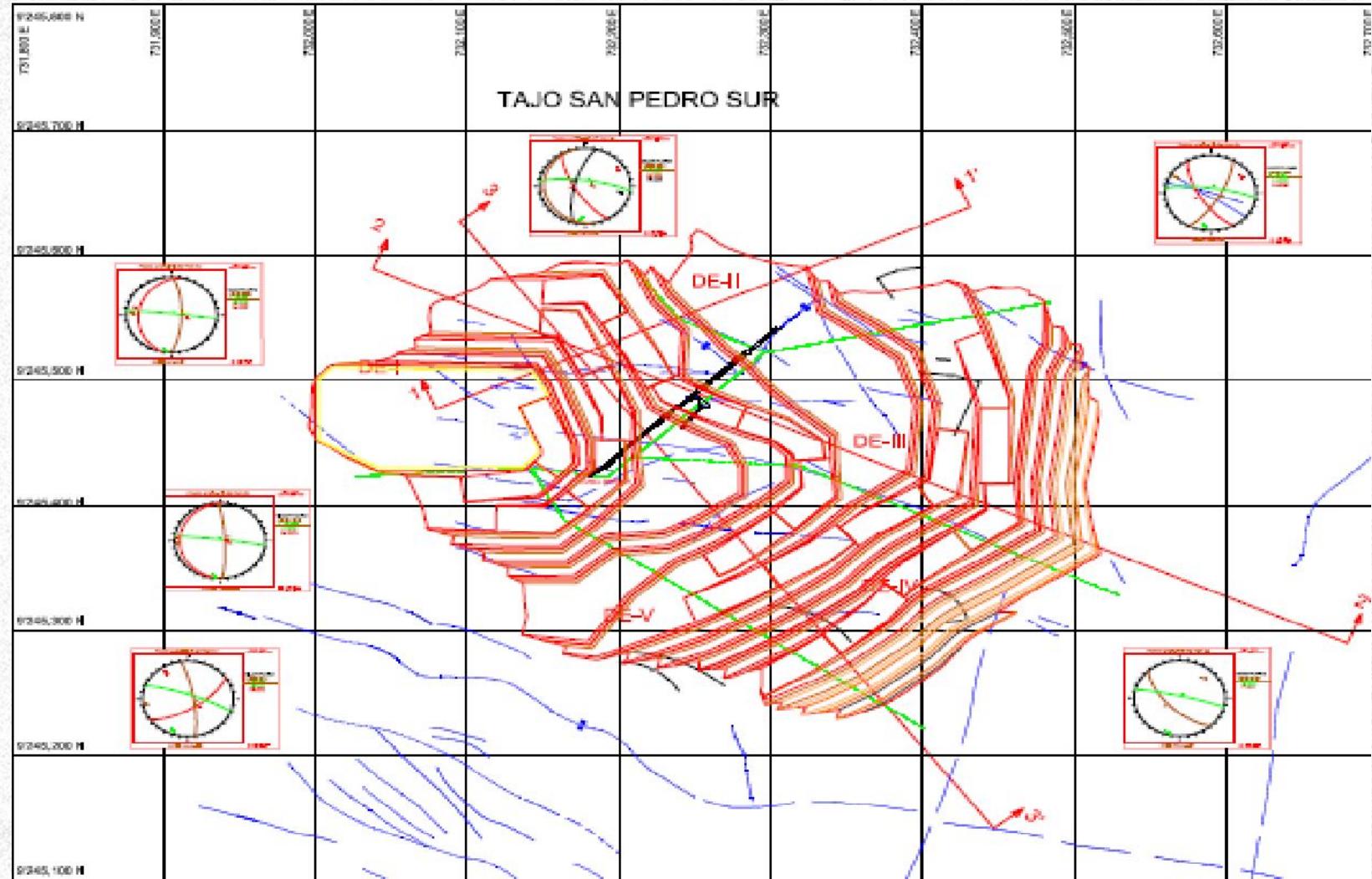
Ley de Corte % Cu	Mineral a Proceso Toneladas	Ley Media o Cabeza % Cu	Concentrado a Refinería Toneladas	Ingresos US\$	Costos Totales US\$	Beneficio Período US\$
0,572	98.098	0,838	2.185	1.109.849	1.084.468	25.381
0,570	98.579	0,837	2.192	1.113.404	1.088.020	25.384
0,568	99.065	0,835	2.198	1.116.452	1.091.367	25.084
0,567	99.309	0,835	2.201*	1.117.468	1.092.819**	24.648
0,566	99.555	0,834	2.205	1.117.468	1.093.828	23.640
0,564	100.051	0,832	2.211	1.117.468	1.095.861	21.606
0,562	100.552	0,831	2.218	1.117.468	1.097.915	19.552
0,560	101.058	0,829	2.224	1.117.468	1.099.990	17.478

## c. Estabilidad de Taludes

Los taludes después de la voladura deben quedar estables y seguros para poder continuar el ciclo de minado.

A medida que avanza la limpieza los taludes deben ser perfilados.

El área de geotecnia debe dar el soporte diario para la estabilización de taludes.

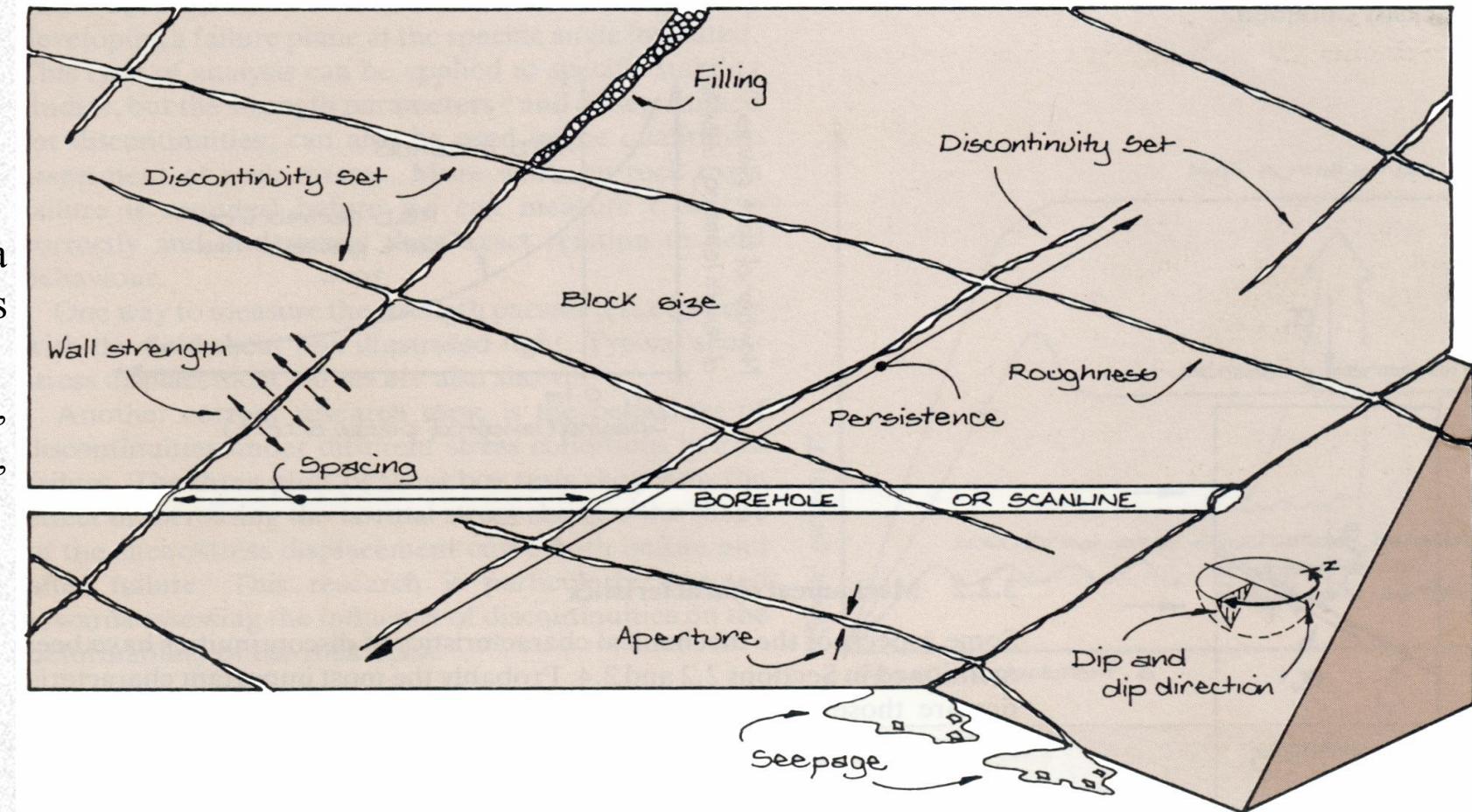


## 4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA

### c. Estabilidad de Taludes

#### Caracterización de las Discontinuidades

Descripción geotécnica de las estructuras (Orientación, Espaciado, Persistencia, Rugosidad, relleno, filtraciones)



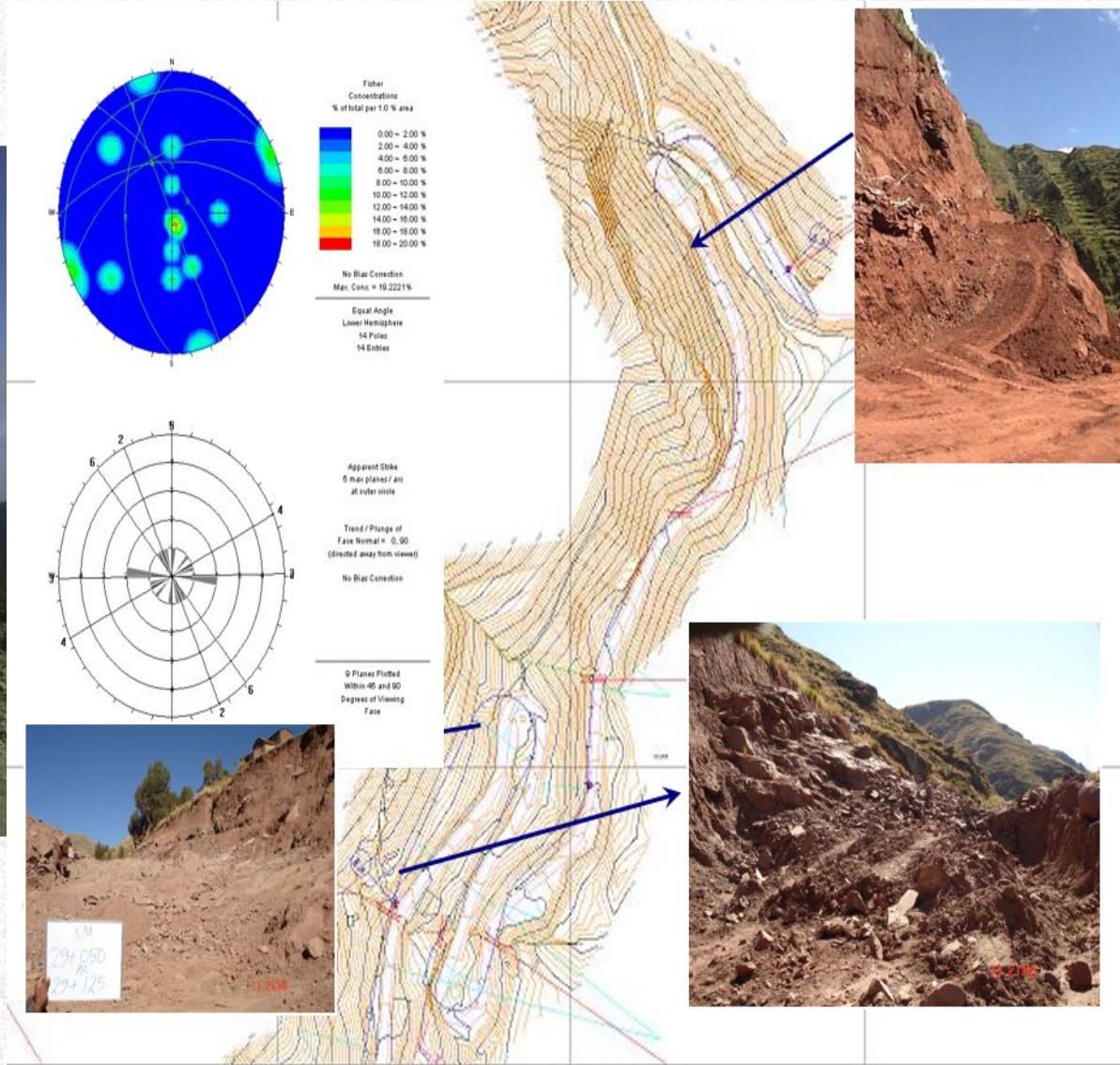
## 4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA

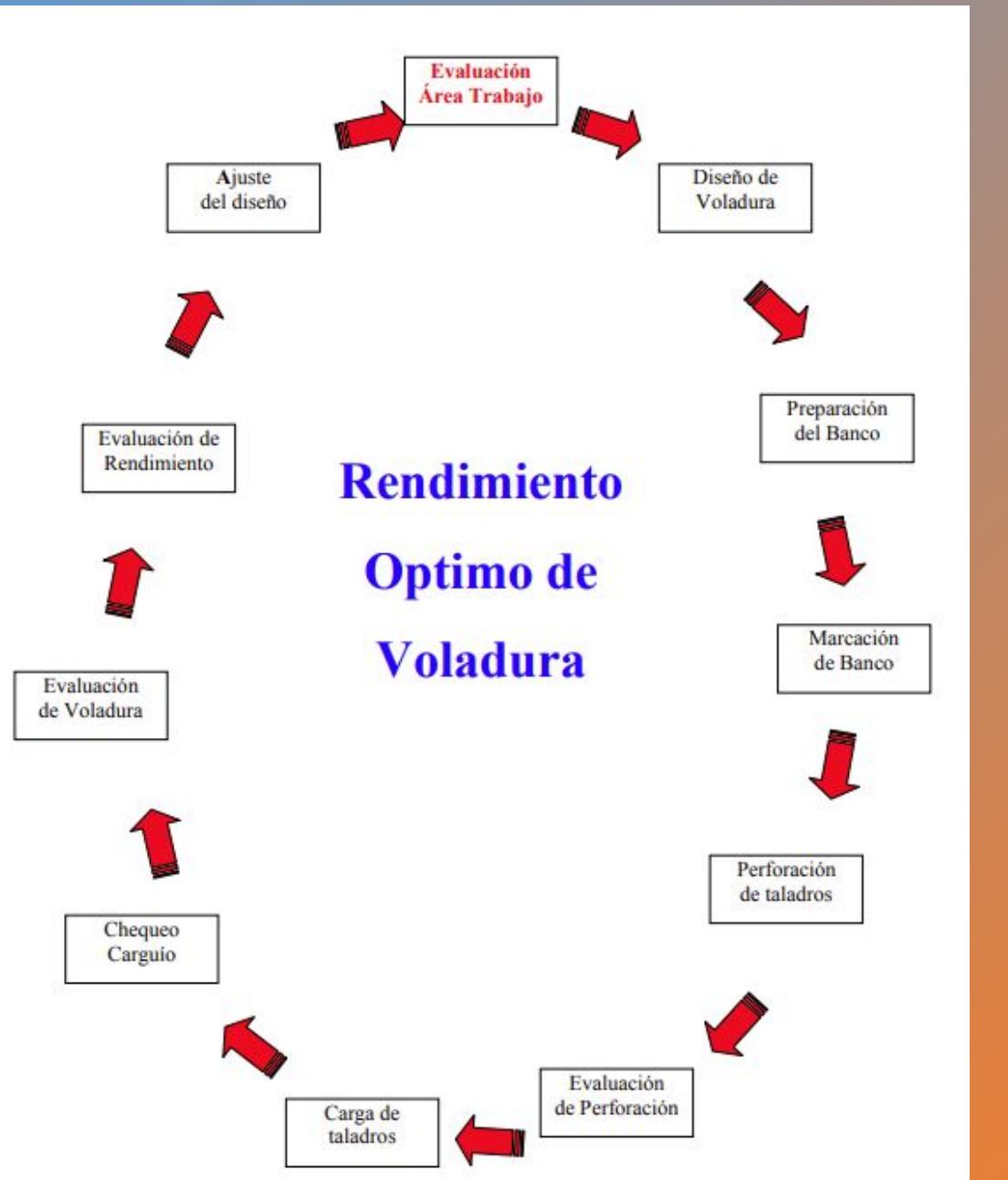
### c. Estabilidad de Taludes



## 4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA

### c. Estabilidad de Taludes





## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

- Cada paso debe ser completado la más consistentemente posible. Cada operación controla la eficacia de la próxima. Procedimientos para los diseños e implementación de diseños de voladuras deben ser definidos, documentados, seguidos y auditados para asegurar el control de calidad.

## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Tres Claves de Diseño para Rendimiento Optimo de Explosivos



1. **Distribución de energía de explosivos en la masa rocosa**
  - a. Energía debe ser distribuida uniformemente para lograr fragmentación uniforme
  - b. relación adecuada entre diámetro de barreno y altura de banco
  - c. relación adecuada entre burden y espaciamiento
  - d. implementación cuidadosa del diseño
  - e. barrenar en ángulo si se requiere para mejorar distribución

### 2. Confinamiento de energía del explosivo

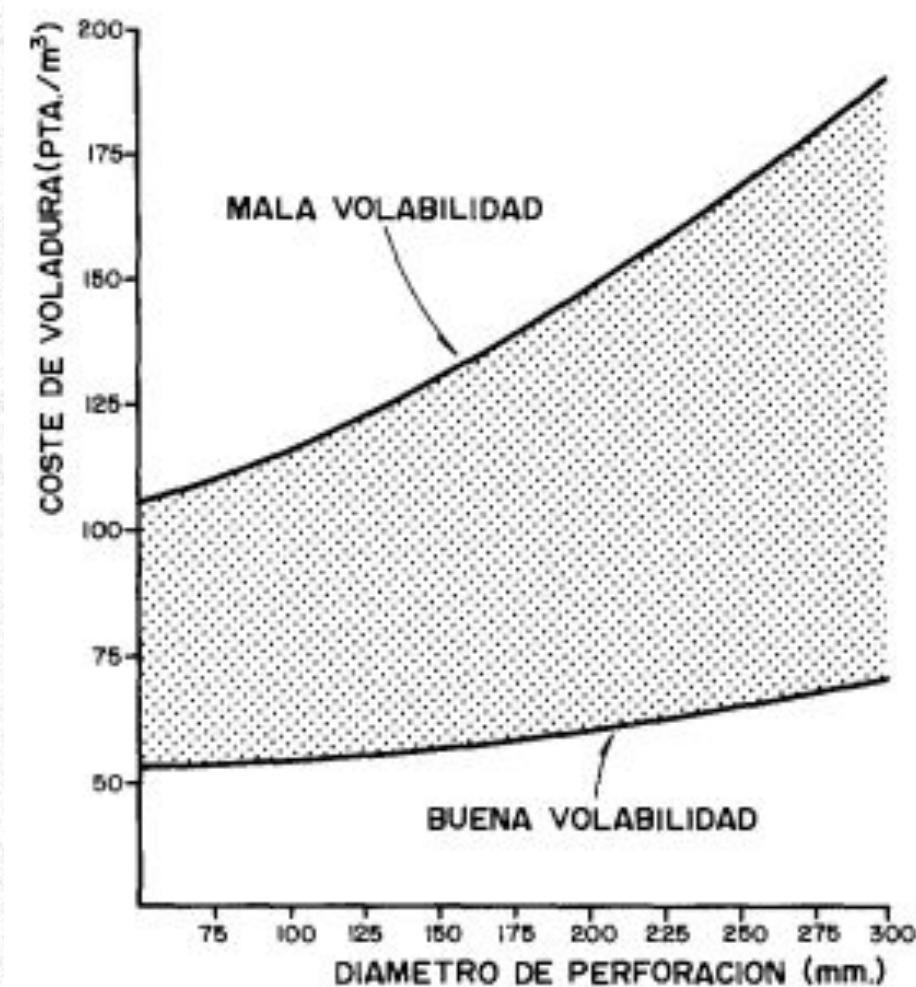
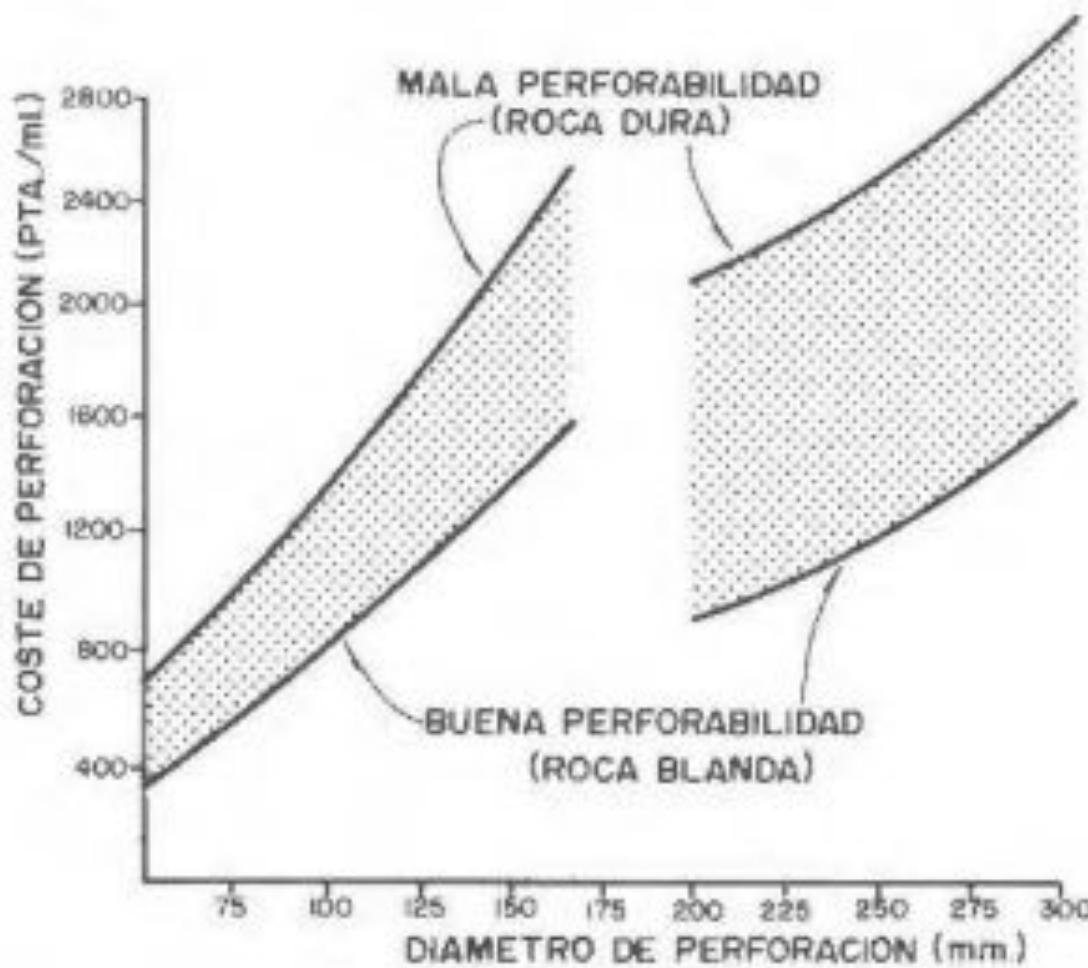
- a. Energía del explosivo debe ser confinada suficiente tiempo después de detonación para establecer fracturas y desplazar el material
- b. El paso de menor resistencia del explosivo debe ser controlado
- c. Taladros deben ser cargados de acuerdo a la geología.
- d. Elija configuración de tiempos de acuerdo a las condiciones de campo.
- e. Use retardos bastante exactos

### 3. Nivel de energía explosiva

- a. El nivel de energía debe ser suficiente para sobreponerse a la fuerza estructural y masa de roca, y a la vez proveer desplazamiento requerido
- b. Determine nivel de energía en el grado de fragmentación y desplazamiento requerido
- c. tome en cuenta la sensibilidad del sitio
- d. Evalúe explosivos de alta energía para condiciones especiales del lugar de disparo.

## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 1. ECONOMIA DEL BINOMIO DE PERFORACION Y VOLADURA



## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 1. ECONOMIA DEL BINOMIO DE PERFORACION Y VOLADURA

Como puede observarse, los costes disminuyen de forma apreciable al aumentar el diámetro de los barrenos con el salto ya comentado. No debe olvidarse que al perforar con triconos la vida de los cojinetes depende del tamaño de éstos, y que entonces al aumentar el diámetro pueden transmitirse mayores empujes, sin afectar a la duración de los triconos, incrementando las productividades y rendimientos de perforación. En cuanto a los costes de voladura, éstos incluyen los siguientes conceptos:

- Explosivos, de las cargas de fondo y columna.
- Multiplicadores.
- Cordón detonante.
- Detonadores eléctricos.
- Otros accesorios: explosor, conectadores, línea de tiro, comprobador de línea, etc.
- Mano de obra.

Además, es preciso considerar un coste adicional debido a la fragmentación secundaria de los bolos o bloques de roca con un tamaño no admisible para los equipos de carga, transporte y trituración. Para que una operación de arranque se considere aceptable, el volumen de taqueo debe mantenerse por debajo del 5% del volumen total arrancado en la voladura primaria.

La variación de los costes de voladura al aumentar el diámetro de los barrenos es distinta a los de perforación, pues parte de las ventajas que aparecen quedan compensadas con algunos inconvenientes que se citan a continuación.

## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### INCREMENTO DE DIÁMETRO DE PERFORACIÓN

#### Ventajas

- Aumenta la velocidad de detonación de los explosivos, y por consiguiente la Energía de Tensión desarrollada por éstos.
- Facilita el empleo de explosivos a granel y la mecanización de la carga con el consiguiente ahorro, tanto en el precio de los explosivos como en la cantidad de mano de obra que se requiere. Esta es la ventaja más importante.
- La planificación y el control de las voladuras grandes es más sencillo y completo que en las voladuras pequeñas, fundamentalmente por el número que se precisa de éstas.

#### Desventajas

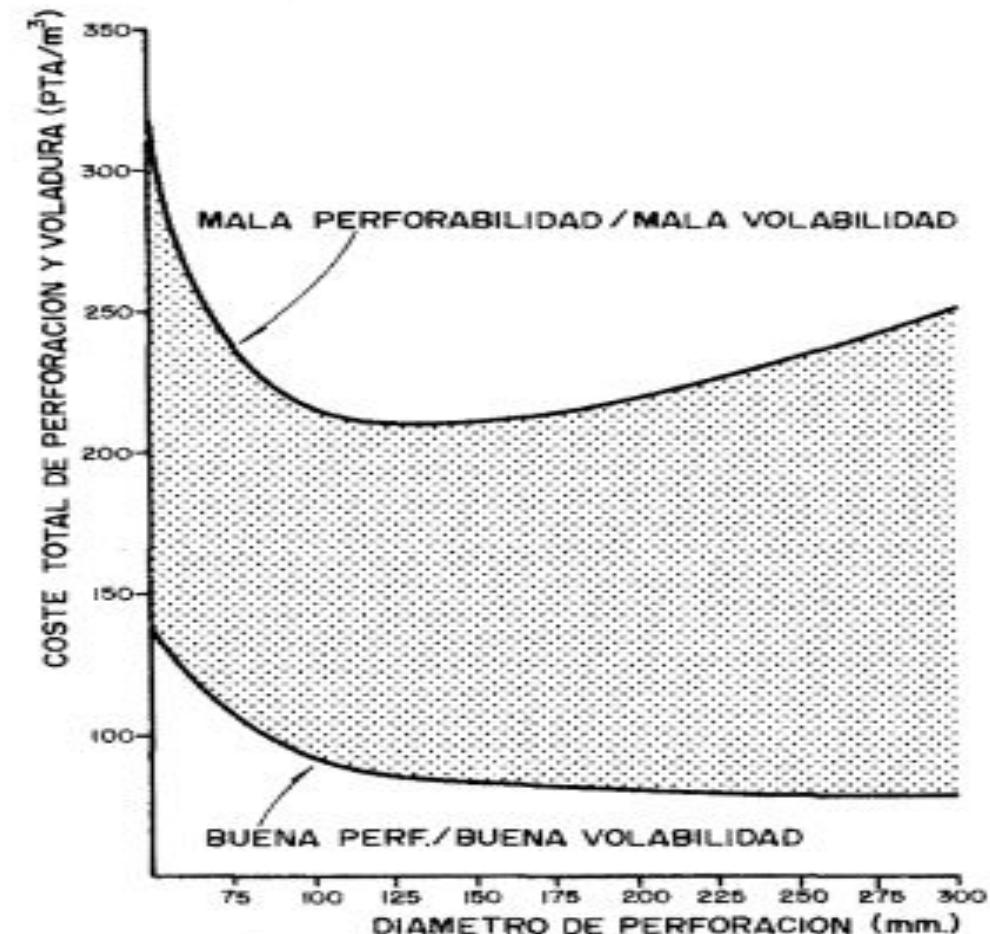
- Los consumos específicos que se necesitan son mayores para una misma granulometría, pues las cargas están peor distribuidas espacialmente en el interior del macizo rocoso, y el control estructural de las rocas cada vez es más importante.
- Los sistemas de iniciación y cebado deben ser más fiables y eficientes.
- Limitaciones por el tamaño de los equipos de carga y transporte.
- Niveles de vibraciones y onda aérea más altos. Mayor riesgo de proyecciones, por el tamaño de los fragmentos y el alcance de éstos.
- Fracturación del macizo remanente más intensa.
- Aumento de la dilución en las explotaciones mineras.

## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### INCREMENTO DE DIÁMETRO DE PERFORACIÓN

Con todo lo expuesto, se ve que el diámetro de perforación que da el coste mínimo de arranque con explosivos no es el mismo en todos los casos. El efecto de economía de escala depende de numerosas variables: propiedades de los macizos rocosos, ritmos de producción, organización de los trabajos, limitaciones del entorno, etc. En resumen, puede decirse que los grandes diámetros de perforación son interesantes cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Grandes ritmos de producción.
- No existe limitación por las dimensiones de los equipos de carga, transporte y trituración.
- No se precisa una conminución posterior del material, p.e. el caso de los estériles en las minas.
- El macizo rocoso es homogéneo o está intensamente fracturado, y no aparecen problemas de repieś ni sobreexcavación.
- No existen problemas de entorno, referentes a vibraciones, onda aérea, etc.

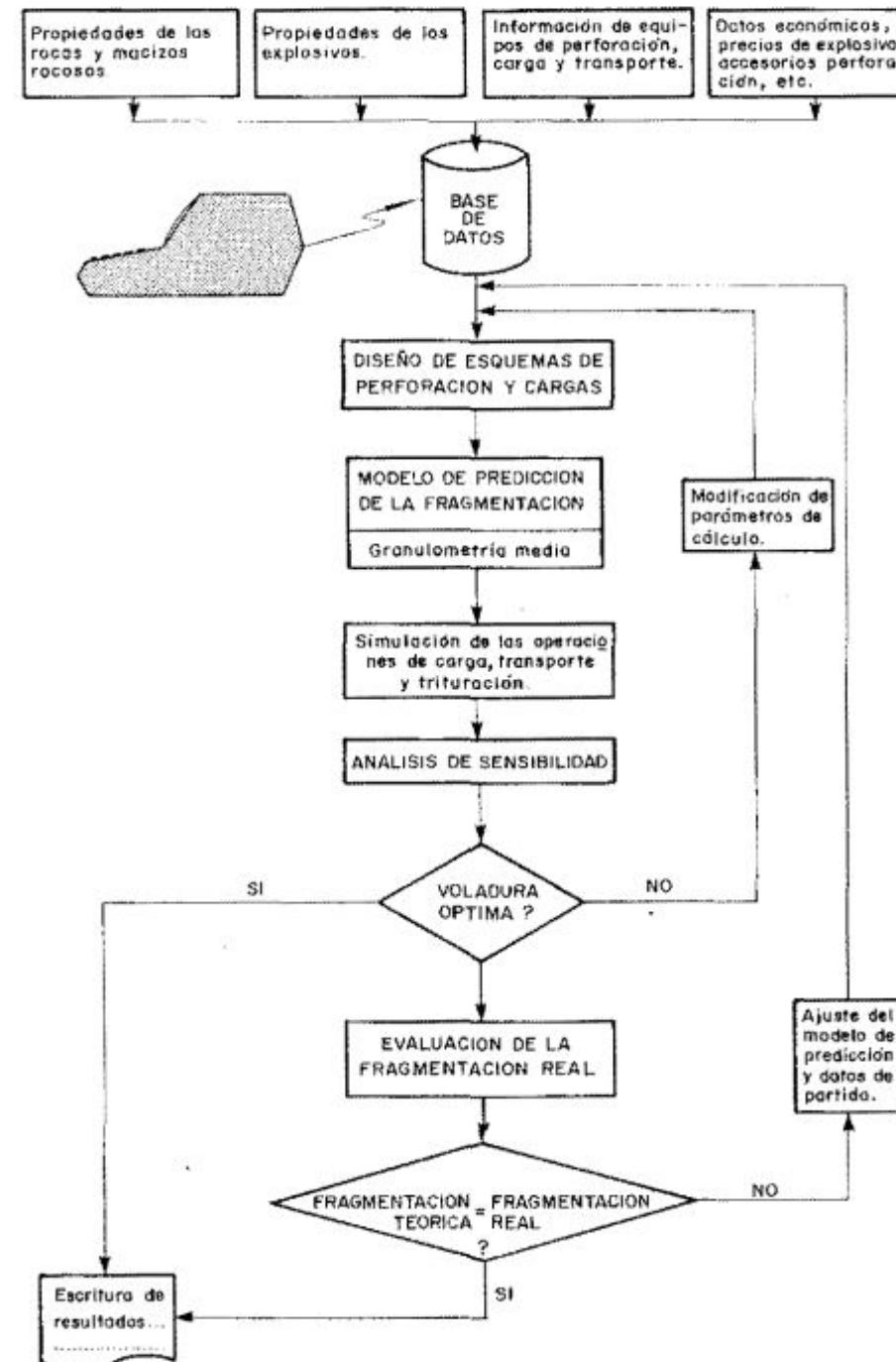


## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 2. MODELO DE OPTIMIZACIÓN DETERMINISTICA

La optimización de la fragmentación puede llevarse a cabo aplicando la ingeniería de sistemas a la creación de un modelo global de optimización. A grandes rasgos, los bloques de información de los que partirá dicho modelo son:

- A. Características de las rocas y macizos rocosos.
- B. Propiedades de los explosivos.
- C. Información técnica y económica de los equipos de perforación, carga, transporte y trituración.



## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 2. MODELO DE OPTIMIZACIÓN DETERMINISTICA

Tras el cálculo de los esquemas de perforación y carga de los barrenos debe procederse a la predicción de la fragmentación y simulación de las operaciones de carga, transporte y trituración, determinando los rendimientos y costes unitarios de cada una de ellas. A continuación, se efectúa un análisis de sensibilidad con el fin de calcular de forma teórica la fragmentación óptima, evaluándose en la práctica la bondad del sistema, contrastando la granulometría y los rendimientos reales con los previstos en los cálculos. Fig. 32.6. Seguidamente, se dan los criterios de cálculo para la extrapolación de costes en las operaciones de carga, transporte y trituración. Para ello, se utiliza el «K80» que corresponde a la abertura de malla para la cual pasa el 80% del material.

#### Costes de carga

$$C_c = \frac{\text{Gastos Fijos}}{\text{Rend.}} + \frac{\text{Gastos Variables}}{\text{Rend.}} \times \left[ \frac{\text{Rend. Estándar}}{\text{Rend.}} \right]^m$$

De acuerdo con Zeggeren y Chung, los costes de carga responden a una función del tipo.

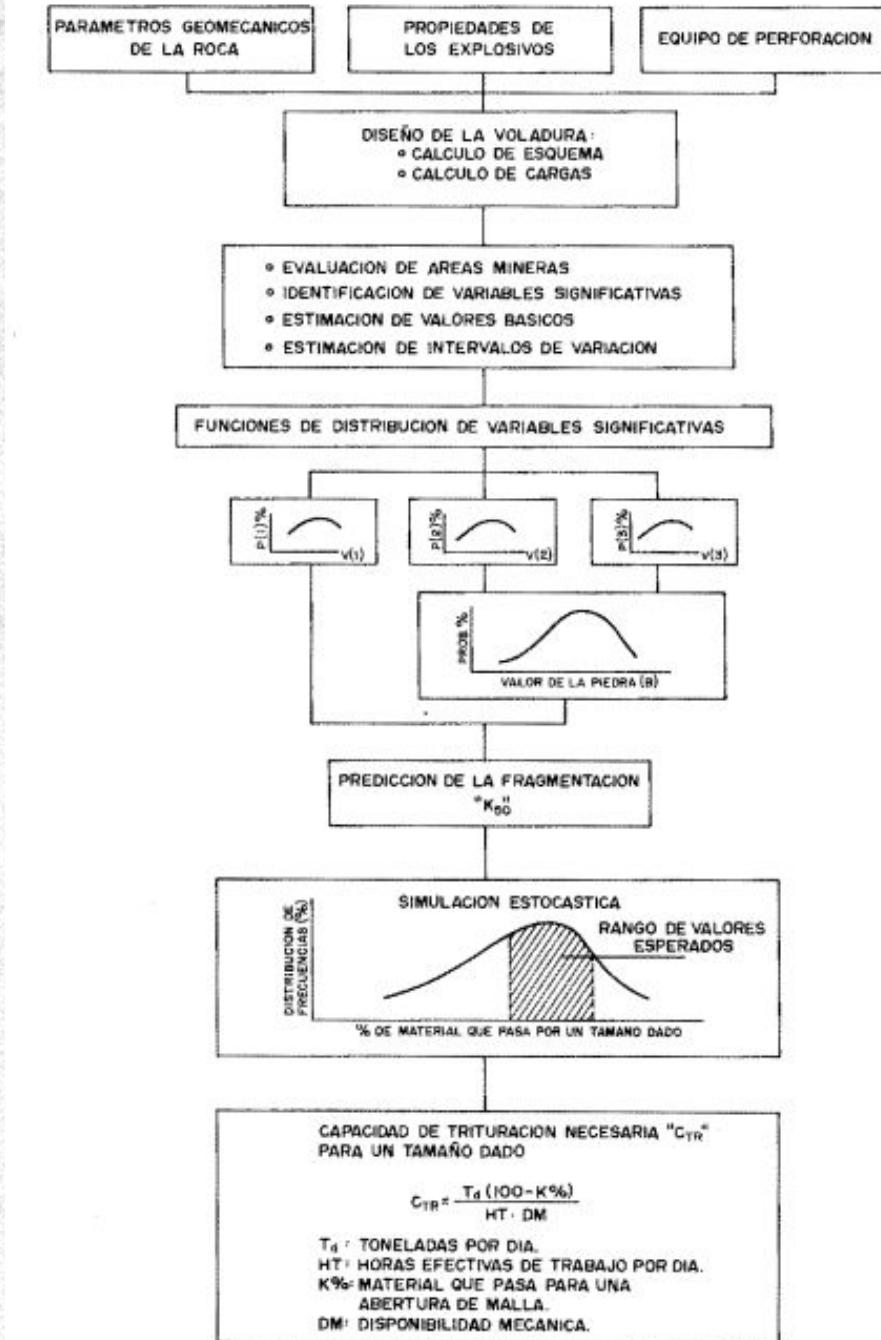
$$C_c = a_1 \times \left[ \frac{K_{80} (\text{Actual})}{K_{80} (\text{Estándar})} \right]^{0,5}$$

#### Costes de transporte

$$C_t = a_2 \times \left[ \frac{K_{80} (\text{Actual})}{K_{80} (\text{Estándar})} \right]^{0,5}$$

#### Costes de trituración

$$C_{tr} = a_3 + a_4 \times \left[ \frac{K_{80} (\text{Actual})}{K_{80} (\text{Estándar})} \right]^{0,5}$$



## 4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

### 3. MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROBABILISTICA

El análisis de riesgo combina la variabilidad de todos los parámetros significativos que intervienen, con el fin de obtener la probabilidad de los valores estimados y por consiguiente el riesgo relativo de no alcanzar algunos de los valores previstos.

*“La pasión es el inicio del éxito”*  
*Robert Kiyosaki*

**ALGUNA PREGUNTA....???**

