

# TEMA 5

## *ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS MINEROS*



# Contenido

Tamaño económico de la mina

Leyes y calidades mínimas económicas

Cálculo del capital requerido

Métodos de estimación de costos o costos de capital

Métodos de estimación de costos de operación

Estimación de costos en una gerencia efectiva

# Referencias recomendadas

- SME (1992) “*Mining Engineering Handbook*” Tomos I y II.
- SME (1990) “*Surface Mining*”.
- Ortiz y otros (2001) “Curso de Evaluación y Planificación minera”. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hustrulid y Kuchta (2006) “*Open pit mine planning & desing*” 2da edición.
- Bustillo y López (1997) “Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras”. Madrid.
- ITGE (1997) “Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión”.
- López y Aduvire (2001) “Estudios de viabilidad en proyectos mineros”. UCV. Curso de Extensión.
- Sullivan *et al.* (2004) “Ingeniería económica de DeGarmo” Prentice Hall.
- Blank y Tarquin (2002) “Ingeniería económica” McGraw Hill.
- Solanilla (2003) “Gerencia de equipos para obras civiles y minería” Bhandar Editores. Colombia.
- Blanco (2008) “Formulación y evaluación de proyectos” Editorial Texto. Caracas.
- Ortiz y Herrera (2002) “Curso de Laboreo I”. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ortiz y otros (2002) “Curso de Laboreo II y Explosivos”. Universidad Politécnica de Madrid.
- Chacón (1998) “Técnicas de minería de superficie” FUNDAUDO. Universidad de Oriente. Curso.
- Revistas:
  - “*Engineering and Mining Journal*”. [www.mining-media.com](http://www.mining-media.com)



*Parámetros económicos en la selección del método de explotación*

# TAMAÑO ECONÓMICO DE LA MINA

# Introducción

Los costos de desarrollo de una explotación minera incrementan con el tiempo

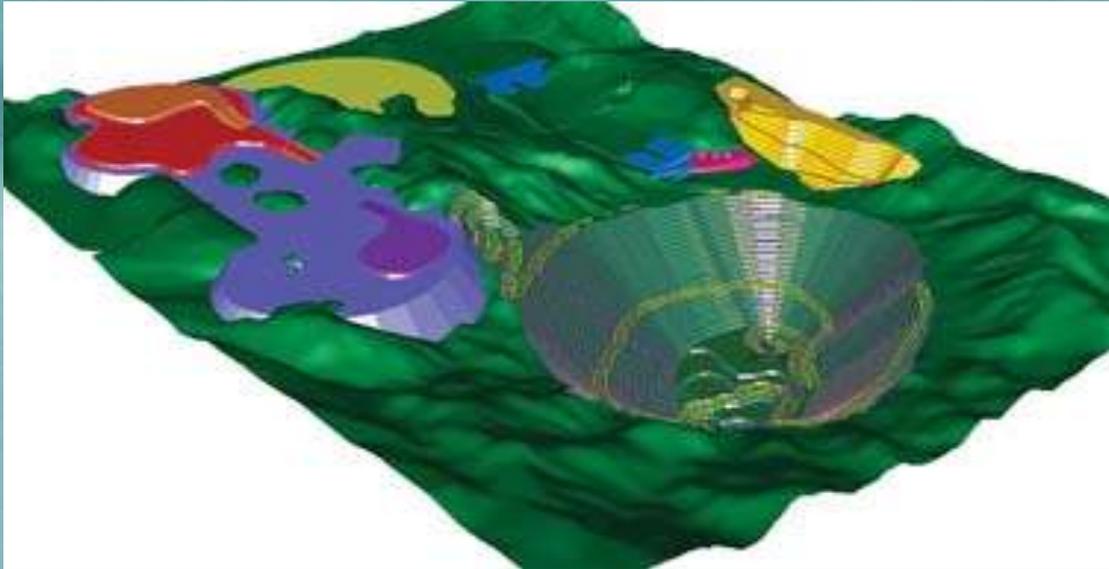
En conjunto las leyes y/o calidades se hacen cada vez más bajas

El diseño final de la explotación a cielo abierto se debe llevar a cabo con criterios económicos

Bustillo y López (1997)

# DESARROLLO GENERAL DEL PROCESO

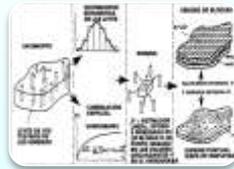
Bustillo y López (1997)



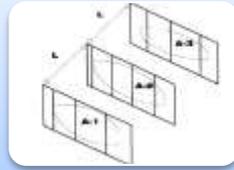
<http://www.cpampa.com/web/mpa/2011/03/herramienta-para-optimizar-la-extraccion/>

# Definición de las leyes de los bloques

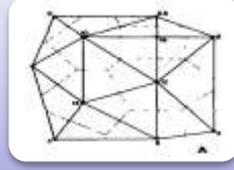
La estimación de las leyes a asignar a cada bloque se realiza mediante cualquiera de los métodos de estimación de las reservas



Geoestadística (*krigeaje*)



Inverso de la distancia



Polígonos, triángulos o similar

Una vez establecido el método que mejor se adapte al yacimiento en cuestión, para definir el conjunto de bloques con sus leyes correspondientes

# Definición del valor económico de los bloques

Una vez conocidas las leyes/calidades de los diferentes bloques, se les asigna un valor económico (expresado en Bs. o US\$) a partir del cual se establece la optimización de la explotación

El problema del diseño de la fosa será encontrar aquel conjunto de bloques que den el máximo valor posible

Hay que considerar que todo estará sujeto a las restricciones mineras que puedan aparecer de manera puntual

# Definición del valor económico de los bloques

Desde el punto de vista económico, cada bloque se puede caracterizar por los siguientes parámetros:

Valor de la mineralización  
presente en el bloque  
(I)

Costos directos que pueden atribuirse directamente a cada bloque (CD):  
sondeos, arranque, transporte, tratamiento, entre otros

Costos indirectos que no se pueden asignar a los bloques individuales (CI), que son función del tiempo: salarios, amortización de maquinaria, entre otros

# Definición del valor económico de los bloques (VEB)

El valor económico del bloque vendrá dado por:

$$\text{VEB} = I - \text{CD}$$

- I: Valor del bloque
- CD: costos directos

El VEB no es lo mismo que el beneficio o pérdida, el cual viene definido por:

$$\text{Beneficio (pérdida)} = \sum(\text{VEB}) - \text{CI}$$

- CI: costo indirecto

El objetivo de la optimización del diseño de la explotación será maximizar el valor del  $\sum \text{VEB}$

# Definición del valor económico de los bloques

**Existen numerosos criterios a la hora de optimizar:**

Maximizar el valor de la explotación

Maximizar el valor por tonelada de producto vendible

Maximizar la vida de la mina

Maximizar el contenido de metal dentro de la explotación

# Tenor límite de explotación (TLE)

(Chacón, 1991)

El tenor límite de explotación (TLE) es aquel, donde el beneficio es nulo, es decir, el valor en dinero recuperable del mineral es igual a los costos de producirlo y está en el punto de decisión entre enviarlo al molino como mineral o al botadero como estéril.

En la fase inicial del diseño de una operación a cielo abierto, el análisis se hace para determinar el TLE, estimar las reservas del mineral y la relación de explotación correspondiente.



*Métodos de estimación*

# **CÁLCULO DEL CAPITAL REQUERIDO**

# Tipos de estimación de costos

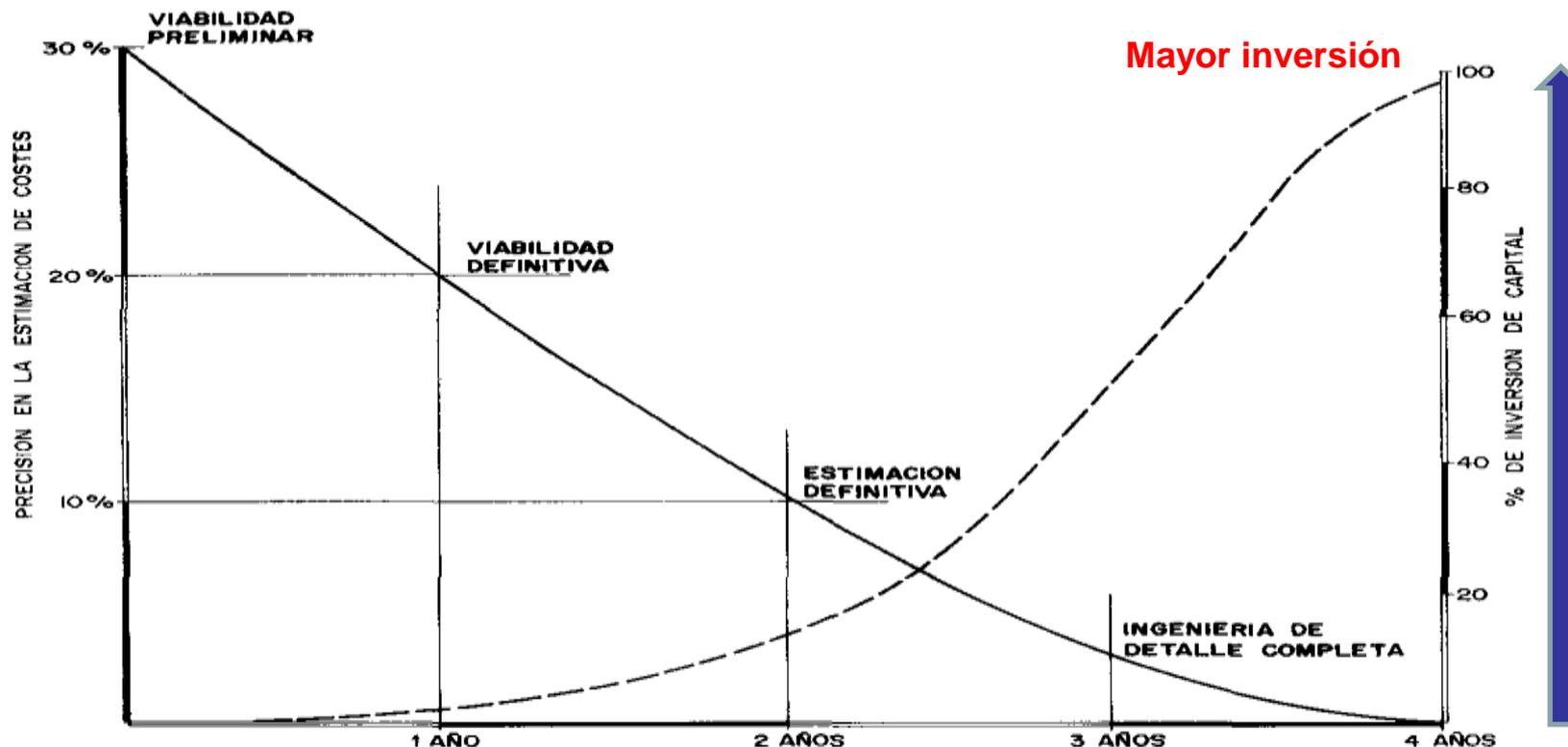
## En la etapa de exploración:

- Basados en geología y datos técnicos
- Estimaciones preliminares de costos e ingresos
- Previabilidad-Viabilidad

## En la etapa de construcción:

- Ingeniería de detalle
- Estimación detallada de costos
- Datos con alto nivel de confianza

# Tipos de estimación de costos



% AVANCE DE LA INGENIERIA

0                      15                      50                      90                      100

% INVERSION DE CAPITAL

0                      1,3                      10,4                      55,3                      100

Avances en el conocimiento

# Tipos de estimación de costos

Descubrimiento del yacimiento e identificación del potencial minero

Diferentes expertos han

tratado y propuesto, distintas formas de clasificaciones para

los costos estimados. Bustillo

y López (1997) citan a Gentry

(1979) quien dice que, en el desarrollo de un proyecto

mineros existen cuatro etapas básicas en la estimación de

costos, que se pueden integrar en el siguiente

esquema:

Construcción de planta y diseño de explotación

Arranque y puesta en marcha

Producción

# Tipos de estimación de costos

Tabla 10.1. Comparación de los diferentes métodos de estimación de costes

TIPO DE ESTIMACION DE COSTES Y ETAPA ASOCIADA DE DESARROLLO DEL PROYECTO	PRECISION (%)	TIEMPO NECESARIO PARA LA ESTIMACION	IMPREVISTOS NECESARIOS (%)	REALIZACION DE INGENIERIA (%)	DESEMBOLSO DE CAPITAL (%)
Orden de magnitud	30 - 50	1 - 2 días	20 - 30	5	0,5
Preliminar	10 - 30	1 - 6 semanas	10 - 20	15 - 20	2 - 5
Definitiva	10	3 meses	6 - 10	50 - 60	10 - 15
Detallada	5	2 - 9 meses	4 - 7	90 - 100	50 - 60

La estimación de costos no puede tomarse a la ligera debido al tiempo que hay que dedicarle para obtener sus cálculos

Bustillo y López (1997)



*Aspectos generales*

# MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS

# Métodos de estimación de costos

Los métodos de estimación se relacionan con las etapas de desarrollo de un proyecto minero

El volumen de datos requerido en cada método marca el grado de precisión de la estimación

Pueden existir solapes entre métodos

Los costos que se calculan en los estudios previos son de dos tipos:

Costos de inversión o costos de capital

Costos de operación

Bustillo y López (1997)



*Costos de capital*

# MÉTODOS DE ESTIMACIÓN

# Estimación de inversiones o costos de capital

En un proyecto minero nuevo las partidas más importantes son:

1. Adquisición de terrenos.
2. Estudios e investigaciones.
3. Desarrollo de preproducciones.
4. Estudios ambientales y permisos.
5. Equipos mineros, instalaciones y servicios.
6. Equipos de planta, instalaciones y servicios.
7. Infraestructura.
8. Diseño e ingeniería.
9. Construcción y montaje.
10. Contingencias e imprevistos.



# Capital circulante

El capital circulante es el dinero para comenzar la operación y asumir las obligaciones subsiguientes durante la puesta en marcha del proyecto.

- Disponible (dinero en caja).
- Deudores (cuentas por

Se puede estimar el capital circulante entre 10 y 20% del costo de inversión.

Se supone que el capital circulante se establece al comienzo del proyecto y se recupera al final de la vida del mismo.

## Método de la mesa redonda



Es un método de estimación subjetivo que proporciona un simple valor y que se basa en la experiencia o en la comparación directa con otros proyectos similares.

## Método del costo unitario e inversión específica

Consiste en multiplicar la capacidad de la instalación específica, que se expresa normalmente por el capital invertido por tonelada anual producida (\$/Ton/año)

TIPO DE MINAS	INVERSION ESPECIFICA (PTA/t-año)
MINAS · Cielo a	3.000 - 13.000
· Subter	7.000 - 17.000
MINAS · Cielo abierto	6.000 - 19.000
· Subterráneas	10.000 - 26.000



Ejemplo:

Mina de cobre a cielo abierto

Producción anual prevista de mineral:  
5.000.000 t/año

Inversión específica: \$16.000/t

La inversión total será:  
 $\$16.000 / t.año \times 5.000.000 t/año = \mathbf{\$80.000.000.000}$

## Método del Índice de Facturación



Es igual al valor del producto por tonelada dividido por la inversión específica del proyecto.

En minería se suele verificar que la relación entre la facturación anual y la inversión total oscila entre 0,3 y 0,35.

P.e.: Un mineral tiene precio de venta de \$15.000/t

Índice de facturación de 0,35

La producción deseada es de 100.000 t/año

$$\text{Inversión total} = (\$15.000/\text{t} \div 0,35) \times 100.000 \text{ t/año} = \mathbf{\$4.285.714.300}$$

## Método de Ajuste Exponencial de la Capacidad

Este método se conoce como “Regla de Williams”.

Se u

La ecuación es

$$I = [K]^x$$

Prec

Donde:

“x” es el factor exponencial o de economía de escala.

“K” capacidad es una constante.

La in  
misr

“x” es un factor crítico y depende de la capacidad de la planta.

En proyectos de explotación lo habitual se encuentra entre 0,5 y 0,9.

Generalmente se usa aplicado a plantas de beneficio, en el cual el exponente llega cerca de 0,67

## Método del Costos de Equipos



Se basa en los costos de los equipos principales.

Las expresiones más empleadas son de la forma:

$$\text{Costos} = a \cdot (x)^b$$

“x” es el parámetro característico del equipo.

“a” y “b” son constantes determinadas al ajustar los datos de precios.

Las ecuaciones de costos son más fiables para los equipos de plantas de tratamiento que para las unidades mineras, ya que los primeros están más estandarizados en el diseño y construcción.

## Método del Índice de Costo

- Requiere una valoración de los equipos principales de la planta o mina.
- El costo total es proporcional a los costos de adquisición del equipo.

La ecuación es

$$I_T = K \cdot I_E$$

Donde:

$I_T$  : inversión total del proyecto.

“K” : factor LANG (Para planta mineralúrgicas oscila de 3 a 5).

$I_E$  : costos de equipos principales.

La precisión alcanza 20%.

Para aplicar este método a una planta mineralúrgica requerimos tener más información, la cual debe contar con: diagrama de flujos, descripción de la planta, situación topográfica, especificaciones preliminares de los equipos, listas de motores, entre otros.

# Método del Índice de Costos de Equipos

Este método es un perfeccionamiento del anterior, ya que en lugar de utilizar un solo factor para el conjunto de la instalación, mina o planta, se emplean diferentes factores para cada categoría o clase de equipos semejantes.



La ecuación de la inversión total será igual a:

$$I = \sum_{i=1}^n K_i \cdot C_i$$

Donde:

I : inversión o costo total de la instalación.

$K_i$  : índice de costos de equipos, correspondiente al equipo de clase "i".

$C_i$  : costo del equipo de clase "i".

i: unidad principal o equipo principal.

## Método del Costos de Equipos/Componentes

A nivel de ingeniería básica es el método más empleado.



Se basa también en el costo de los equipos principales o auxiliares.

- Precisión del  $\pm 15\%$ .

La expresión general es la siguiente:

$$I_T = I_E \cdot (1 + \sum K_i/100) \cdot (1 + g)$$

Donde:

$I_T$  : costo total de la instalación.

$I_E$  : costo total de los equipos principales y auxiliares.

$K_i$  : índice de costos de partida "i" expresado en tanto por ciento del costo del equipo.

$g$  : factor de costos indirectos, tales como imprevistos e ingeniería.

## Estimación detallada

Son las últimas y más precisas.

Se basan en los diseños de ingeniería de detalle, esquema de flujo y listas de equipos.

Estimaciones detalladas sirven de guía para la adquisición de la maquinaria.

También son elementos de control y referencia durante el desarrollo y construcción del proyecto.



# Imprevistos

Se valoran como un porcentaje de la suma de todos los demás componentes.

Esta pa  
aplicado,  
estimaci

Se conocen como  
imprevistos o  
contingencia.

mación  
n de una

Un valor usado normalmente es el 15% del costo de

s.





*Costos de operación*

# MÉTODOS DE ESTIMACIÓN

## Estimación de los costos de operación

- La estimación de los costos de operación presenta más problemas que la estimación de costos de capital.
  - Esto debido a los factores de: geología del yacimiento, tipo y número de equipos utilizados, personal involucrado, condiciones ambientales, localización geográfica, etc.
- entre otras.



Los costos de operación se pueden subdividir en tres categorías:

- Costos directos.
- Costos indirectos.
- Costos generales.

## Costos Directos

Los costos directos o variables, costos primarios de operación:

### A. Personal

- de operación.
- de supervisión de la operación.
- de mantenimiento.
- de supervisión del mantenimiento.
- otras cargas salariales.

### B. Materiales

- Repuestos y materiales de reparación.
- Materiales para el tratamiento.
- Materias primas.
- Consumibles: gasoil, electricidad, agua, entre otros.

### C. Cánones.

### D. Preparación y desarrollo (Área de producción).

## Costos Indirectos

Los costos indirectos o fijos se consideran independientes de la operación:

### A. Personal

- administrativo.
- seguridad.
- técnico.
- servicios.
- almacén y talleres.
- otras cargas salariales.

### B. Seguros

- de propiedad y de responsabilidad.

### C. Amortización.

### D. Interés.

### E. Impuestos.

### F. Restauración de terrenos.

### G. Viajes, reuniones, congresos y donaciones.

### H. Gastos de oficina y servicios.

### I. Relaciones públicas y publicidad.

### J. Desarrollo y preparación (para la totalidad de la mina).

## Costos Generales

Los costos generales pueden considerarse o no como parte de los gastos de operación. Algunos corresponden a determinado proceso o unidad del ciclo completo de producción:

### A. Comercialización

- Vendedores.
- Estudios de mercado.
- Supervisión.
- Viajes y gastos de representación.
- Otras cargas salariales.

### B. Administrativos

- Gerencia y dirección gerencial.
- Contabilidad y auditoría.
- Departamento central de planificación y geología.
- Departamento de investigación y desarrollo.
- Departamentos jurídico y financiero.
- Relaciones públicas.
- Entre otros.

## Método del Proyecto Similar

Consiste en suponer que el proyecto o proceso objeto de estudio es semejante a otro ya existente del cual se conocen los costos.

Para que se mantengan las relaciones debe existir similitud en el grado de mecanización, plantilla de personal, preparación de labores, entre otras

Métodos de explotación	Porcentaje que representa el personal en el costo total
Cámaras y pilares	44
Corte y relleno	57
Cámaras por subniveles	60
Hundimientos por subniveles	64
Hundimientos de bloques	55
Cielo abierto	35

Concepto	Porcentaje del costo total
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal.</li> <li>• Reparaciones, mantenimiento y suministros.</li> <li>• Varios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 – 55%.</li> <li>• 30 – 40%.</li> <li>• 5 – 20%.</li> </ul>

## Método de la Relación Costo–Capacidad

Este método se basa en el empleo de gráficos o fórmulas en los que se han **correlacionado** los costos con las capacidades de producción de diferentes explotaciones. Esencialmente, es el mismo método que se utiliza en la estimación de los costos de capital.

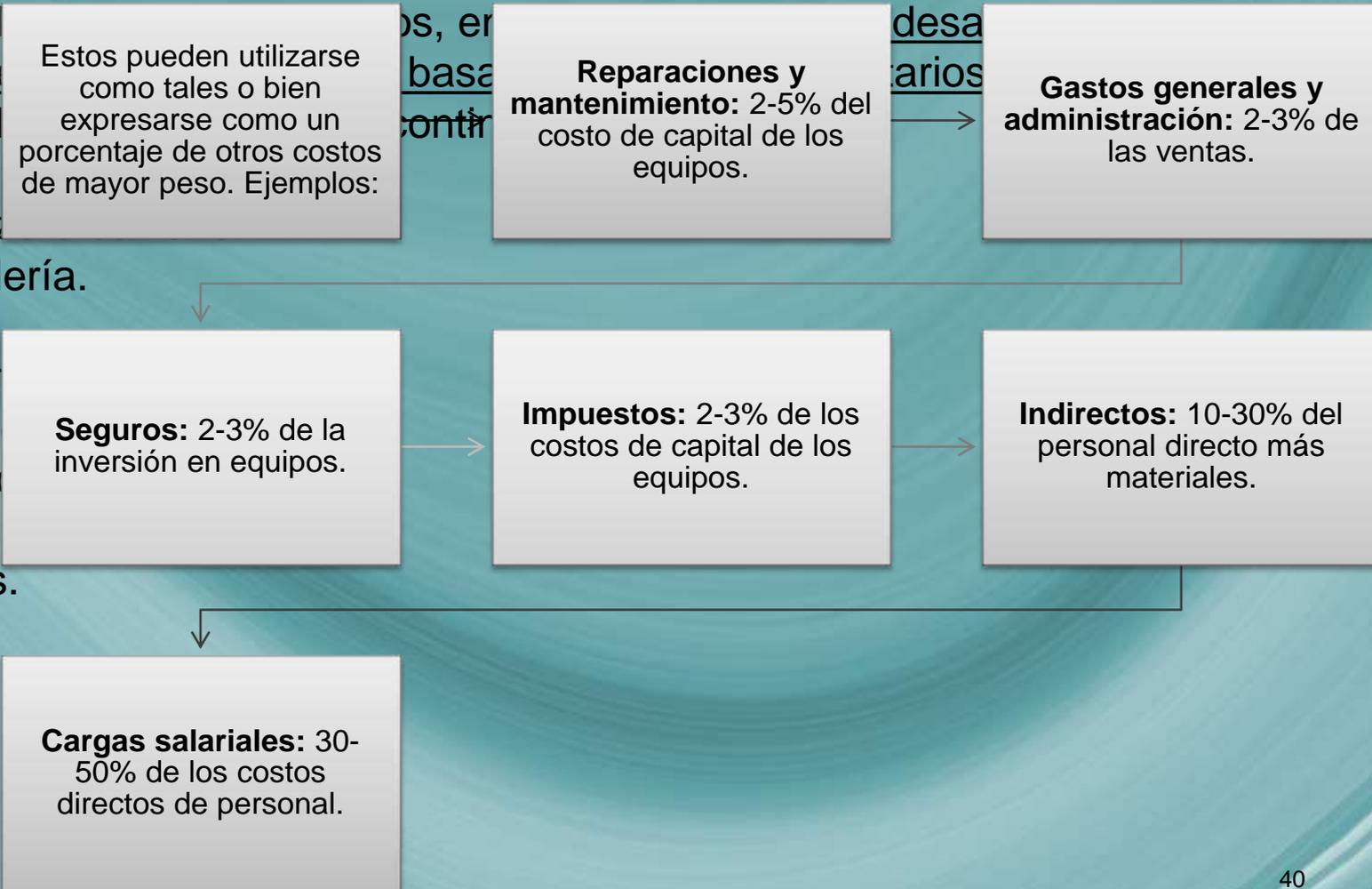


# Método de los Componentes del Costo

Cuando el proyecto ha progresado hasta el punto en que se conoce: la plantilla de personal, las dimensiones de las obras de infraestructura, los consumos de materiales,

sistema de  
tales como

- \$/m de pozos,
- \$/m de galería.
- t/jornada.
- kg/t de mineral.
- \$/m<sup>3</sup> de relleno.
- \$/t de perforación.
- \$/t de equipos.
- entre otros.



# Método del Costo Detallado

Los costos de operación deben deducirse a partir de los costos principales. Este proceso constituye el único método seguro para estimar los costos de operación de un proyecto.

En la estimación de los costos horarios de los equipos, los conceptos que deben tenerse en cuenta son:

## 1. Costos directos de funcionamiento.

- a) Consumos.
- Energía eléctrica.
- Combustible.
- Lubricantes.
- b) Reparaciones.
- c) Neumáticos.
- d) Elementos de desgaseo.
- e) Operador.

## 2. Costos directos de funcionamiento.

- a) Amortización
- b) Intereses
- c) Seguros.
- d) Impuestos

Consumo de combustibles y lubricantes (consumibles) por hora operativa

Vida útil de los componentes

Consumos específicos de explosivos y accesorios

Turnos de trabajo y horas efectivas

Manejo de índices clave de producción y otros coeficientes

Materiales y servicios

Entre otros



*En una gerencia efectiva*  
**ESTIMACIÓN DE COSTOS**

# Principios

Estos principios son válidos tanto para minería a cielo abierto como subterránea

El establecimiento y comparación de costos mineros NO es un asunto fácil

A un mayor producción con una mayor inversión una menor inversión menor costo

Todo depende de las condiciones únicas de cada explotación minera

Ortiz y otros (2002)

# Gerencia y costos

Para llegar a cifras realistas desde el punto de vista de control de costos (gerencia), se deben establecer previsiones razonables de las condiciones que pueden afectar a un nuevo o actual proyecto.

Lo único cierto que podemos afirmar es que los costos van a cambiar en el futuro y siempre.



Cotizaciones de monedas (en las que se realizan transacciones)



Variaciones financieras



Incrementos salariales y legislación laboral



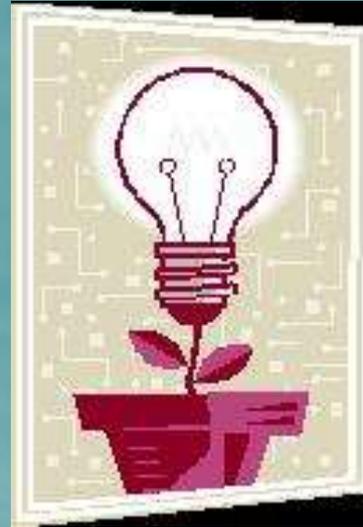
Inflaciones relativas

Ortiz y otros (2002)

**En síntesis. En esta clase hemos aprendido:**

**Estimaciones en:**

- **Tamaño económico de mina**
  - **Costos de inversiones**
  - **Costos de operación**
- **Los costos y gerencia efectiva**



**Actividades de aprendizaje y ciclo de preguntas**

**¡GRACIAS!**