

9 Cálculo de los datos de costos.

Después de haber determinado la capacidad potencial de la mina (Capítulo 8), se calcularán los datos de costos.

Para un estudio de viabilidad financiera, el cual puede ser presentado a bancos y usado como una base para decisiones de inversión y financiamiento, es necesario determinar los costos: los costos de inversión están basados en ofertas reales, los costos de operación son calculados directamente del consumo de materiales, salarios y sueldos, servicios, disponibilidad de maquinaria, etc. Esta es la tarea de un equipo de ingenieros y no el tema de este libro.

Los estudios de pre-factibilidad y evaluaciones preliminares están basados en estimaciones de costos indirectos, que son los costos análogos. Estos costos se deducen de comparaciones con plantas existentes o recién establecidas. Se consideran los costos totales en vez de los costos específicos para artículos individuales (tales como costos para el castillo, malacate o el propio tiro) como por ejemplo, los costos de capital agregado y costos operativos para minado y beneficio.

Ejemplo. Una mina fue comisionada 2 años atrás a un costo de capital de \$36 Millones. Para la evaluación de un depósito con capacidad comparable y condiciones de minado similares sin requerimientos adicionales de infraestructura, se suponen los mismos costos de inversión, pero inflacionados por 2 años (Véase en el Capítulo 9.2.1.1).

9.1 Recolección de datos de costos.

Todos los geólogos de exploración, los cuales se encargan de tratar con evaluaciones económicas deben recopilar referencias de datos de costos que deben de actualizarse regularmente.

Pueden tomarse de las siguientes fuentes:

-Minas de las compañías.

-Información recogida durante visitas a minas.

-Reportes de compañías: debido a estrictas regulaciones en los movimientos de inventarios, las compañías mineras Canadienses y Australianas en particular, deben publicar reportes detallados en sus minas. En EE.UU. los también llamados reportes 10-K para los movimientos de inventario contienen más información técnica que el reporte anual normal de la compañía.

-Publicaciones: revistas internacionales de minería (Como el Engineering and Mining Journal, Mining Magazine, World Mining, Mining Journal) regularmente

reportan nuevos proyectos de minado y sus respectivos costos de capital. El "Mining Journal" regularmente publica un suplemento con datos individuales de minas de Oro de Sudáfrica. El "Canadian Mines Handbook" y el "Register of Australian Mining", ambos aparecen anualmente, a veces publican costos de nuevos proyectos. Una buena fuente para costos de operación de minas Canadienses es el "Canadian Mining Journal - Reference Manual and Buying Guide". Los estudios de ocurrencia de minerales para artículos individuales del US Bureau of Mines (publicado en el Bureau of Mines Information Circular Series) también contienen datos de costos.

Mucha Información general de gran utilidad, esta disponible también en el libro de "Mineral Industry Costs", el cual ha sido publicado dos veces hasta ahora, en 1977 y 1981, por el Northwest Mining Association en Spokane, Washington (EE.UU.). Excelentes fuentes de información para datos de costos son las publicaciones "The Metals Economics Group Strategic Report (Anteriormente llamado "Mine Development Bimonthly") and Production Cost Update" del Metals Economics Group en Halifax (New Brunswick, Canada) y Boulder (Colorado, EE.UU.). Estos son, sin embargo, bastante caros y no están disponibles tan fácilmente, excepto en las librerías de compañías mineras. Hay también, otros asesores de minas quienes publican y venden datos de costos de minería. Más información puede ser recopilada de avisos en diarios técnicos populares como el semanario "Northern Miner" (Canadá).

Para costos individuales, los cuales son a menudo muy detallados para nuestros propósitos, los libros siguientes son buenos referencias: "Mining and Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital Cost Estimations, del Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Volumen Especial 25, de 1982" y los dos "Information Circulars No. 9142 y No. 9143 del US Bureau of Mines (Bureau of Mines Costs Estimating System Handbook 1987)".

-Investigación por accionistas: Estos regularmente llevan investigaciones dentro de la rentabilidad y de esta manera la estructura de costos de las compañías mineras. Normalmente tales estudios están disponibles para los socios interesados, sin cargo alguno.

-Estudios por parte de asesores económicos: Estos, por lo general realizan estudios multi-cliente acerca de materiales en volumen y estructuras de costos de las compañías mineras. Buenos ejemplos son el Australian Mineral Economics (AME) en Sydney, Australia, o Roskill en Londres. Tales estudios, sin embargo, son muy caros y normalmente solo disponibles si uno trabaja con compañías mineras grandes.

-Cálculos de costos de leyes de corte: Considerando que algunas minas son renuentes a dar información de datos de costos, normalmente se encuentra disponible la información de las leyes de corte. La mayoría de las minas las cuales han estado en operación por algunos años usan un costo operativo de corte, por

ejemplo, los réditos obtenidos del mineral con la ley límite de corte solo cubre los costos operativos pero no los costos de capital (Véase en el Capítulo 10.1) o un margen de beneficio. De aquí, con una ley de corte conocida, uno puede llegar a los costos operativos haciendo cálculos hacia atrás.

Ejemplo. Una mina de Zn en carbonatos del tipo valle de Mississippi usa una ley de corte de 2.5% Zn. De una discusión técnicas durante una visita a una mina se pueden concluir si esta es una ley límite de corte para costos de operación. La recuperación del molino (ϵ) es de 0.9. La tendencia general del precio al tiempo de la visita a la mina es de alrededor de 40 EE.UU.-cts/lb Zn. ¿Cuál es el estimado para los costos totales de operación OPC?

Para el cálculo del retorno neto de fundición para la mina usamos los factores NF de la Tabla VII (Capítulo 7.2.2). El factor de conversión de libras a % es 22.046 (Véase en el Capítulo 1.1.4). Los réditos para la mina para 2.5% Zn, en este caso los costos de operación OPC, son:

$$OPC = 2.5 \cdot 22.046 \cdot 0.5 \cdot 0.9 \cdot 0.40 = 9.92 \text{ US-}\$/t \approx 10 \text{ US-}\$/t$$

Basado en la ley de corte aplicada, estimamos los costos totales de operación de 10 EE.UU.-\$/t.

Otro ejemplo para el cálculo de la ley de corte se muestra en el Capítulo 10.1.1.

Nota: Ciertos datos de costos de capital no deberían ser usados en evaluaciones económicas. Las publicaciones profesionales algunas veces se refieren a costos específicos por tonelada de metal de una manera muy generalizada. Para costos de capital específicos de una nueva mina se utiliza la expresión "new venture price" (precios especiales para compañías nuevas). Por ejemplo, en la actualidad cuesta un promedio de 10,000 EE.UU.-\$/t de metal de Cobre llevar a la producción una nueva mina. Como un ejemplo, queremos evaluar una mina de Cobre con una producción de 200,000 t de concentrado de Cobre por año. Para la ley de concentrado de 25% esto sería 50,000 t de contenido de Cobre. Para los costos de inversión anteriores de 10,000 EE.UU.-\$/t de Cu, la mina costaría 500 Millones EE.UU.-\$, sin importar si la mina tuviera una ley de 0.5% de CU o 1.5% de Cu. Con una ley de 0.5% de Cu y una recuperación de beneficio de 90%, se necesitaría minar 11.1 Millones t mineral/p.a. o 37,000 ton/día; sin embargo, se necesitaría una producción de 3.7 Millones de t/año o 12,000 t/día (una tercera parte del valor anterior). Así se vuelve obvio que tales capacidades notablemente diferentes deben tener influencia considerable en los costos de capital.

Los costos de inversión por tonelada de metal, son inadecuados para la evaluación de un depósito individual. Estas cifras son útiles para consideraciones estratégicas, como por ejemplo, para saber cuanto capital tiene que ser provisto para garantizar el suministro futuro.

9.2 Procesamiento de datos de costos.

En la mayoría de los casos, será necesario modificar los datos disponibles para cada situación en especial. Los costos de capital, por ejemplo, quizás sean de años atrás y tengan que ser ajustados por la inflación para los años actuales y futuros. Los datos de costos disponibles, a menudo no encajan a la capacidad deseada.

9.2.1 Ajuste por inflación de costos de capital y operación.

Antes de hacer alguna interpolación (Véase en el Capítulo 9.2.2), todos los datos tienen que cambiarse a un común denominador y convertirlos a valores de dinero del año actual.

Aquí surge una pregunta: ¿Por qué los costos son ajustados por la inflación al año actual, cuando la mina en potencia a ser evaluada estará en producción en unos cuantos años?

Es común manejar cálculos económicos con precios y réditos constantes. En el Capítulo 2 hemos intentado obtener un precio actual y real de un metal. Este precio tiene que corresponder con los costos reales actuales.

Suponemos que los costos y réditos futuros continúan en desarrollo en una forma paralela. Solamente en un estudio de viabilidad completo uno puede trabajar con diferentes costos y precios inflacionados.

9.2.1.1 Costos de capital. Para el ajuste de costos de capital por inflación, se utilizan los índices de costos. Si los costos van a calcular para el año en curso, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{costos en la actualidad} = \text{costos en el año } x \cdot \frac{\text{índice en la actualidad}}{\text{índice en el año } x}$$

El cálculo está hecho de la misma manera como en el ejercicio del Capítulo 2.1.

Ejemplo. Una mina al norte de Australia inicio operaciones en 1979 a un costo de 320 Millones Aust-\$ produciendo 3.5 Millones de toneladas al año de carbón para vapor en una mina superficial. ¿Cuáles son los costos de esta mina en 1982?

Usamos el "American Marshall and Swift Mine and Mill Index". Para 1979, el índice fue de 619; para 1982, 780. De esta manera los costos de capital en 1982 serian de:

$$320 \cdot \frac{780}{619} = 403 \text{ Millones Aust - \$}$$

Para cálculos de datos de costos de capital de más de 5 a 6 años de antigüedad, debería ser usado con cuidado; datos mayores a 10 años para nada, al menos que la información más reciente no este disponible para plantas en específico. En el transcurso del tiempo las innovaciones técnicas han dejado obsoletos datos mayores a 10 años.

El mejor índice para ajustar costos de capital por la inflación para minas Norteamericanas (EE.UU., Canadá) es el "American Marshall and Swift Mine and Mill Index". Este es publicado junto con otros índices de costos de capital en el diario "Chemical Engineering".

Para costos absolutos a menudo las circunstancias específicas de ciertos países tienen que ser consideradas; en Australia, en 1998, los costos de capital eran cerca del 10 al 20% mas altos que en Canadá, considerando que el desarrollo relativo en el aspecto económico en ambos países es a menudo muy similar.

Para los países en desarrollo puede usarse el índice de la inflación internacional, el índice de valor de unidad de manufactura (Valores de unidad de bienes de manufactura para naciones en desarrollo), ya comentadas en el Capítulo 2.1, publicado por el Banco Mundial.

Ejemplo. En 1979 se realizo un estudio de viabilidad para una mina de Cobre-Níquel con una producción de mineral crudo de 360,000 t., el cual calculó costos de capital a 45 Millones Canadá-\$. ¿Cuánto costaría la mina en 1984, si suponemos un incremento de costo de capital anual de 9.5%?

Entre 1979 y 1984, han pasado 5 años. Debido a que los incrementos de costos tienen un efecto acumulativo, el factor de inflación es $(1+0.095)^5 = 1.57$. Un estimado de costos hecho en Canadá-\$ de 1984 resultaría en $1.57 \cdot 45 = 70.7$; Redondeado a 70 Millones Canadá-\$.

Si un índice de costos de capital no esta disponible para un país en especial, puede construirse a partir de otros índices.

Una regla práctica es:

55% en costos de sueldos y salarios

35% en costos de material

10% inalterado. Esto cubre las mejoras de productividad y disminuciones de costos que salen de innovaciones técnicas continuas.

Ejemplo. Desarrollar un índice de costos de capital para Australia para los años 1973-1983. Primero los dos índices, el de sueldos y salarios y el de costos de material, tienen que estar relacionados al mismo año base del principio del periodo en cuestión, ya que para 1978 el índice de costos de material es de 238.5, y de 120 para 1973. Si asumimos que para 1973 sea 100, el índice para 1978 es como sigue:

$$\text{Indice 1978} = \frac{238.5}{120.0} \cdot 100 = 198.8.$$

Los índices de material y sueldos relativos al año base 1973 están listados en las columnas I y II de la Tabla IX.

El cálculo de nuestro "índice de costos de capital derivado" es llevado de una manera simplificada con la siguiente ponderación (Véase también en el Capítulo 4):

$$\frac{0.55 \cdot \text{Indice de sueldos} + 0.35 \cdot \text{indice de material} + 0.1 \cdot 100}{0.55 + 0.35 + 0.1}$$

El resultado esta listado en la columna III de la Tabla IX.

Tabla IX

| Año | I Indice de sueldo | II Indice de material | III Indice de costo de capital combinado |
|------|--------------------------|-----------------------------|--|
| 1973 | 100 | 100 | 100 |
| 1974 | 119 | 110 | 114 |
| 1975 | 141 | 132 | 134 |
| 1976 | 160 | 161 | 154 |
| 1977 | 178 | 183 | 172 |
| 1978 | 189 | 199 | 184 |
| 1979 | 217 | 214 | 204 |
| 1980 | 249 | 239 | 231 |
| 1981 | 268 | 270 | 252 |
| 1982 | 330 | 295 | 296 |
| 1983 | 353 | 328 | 318 |

9.2.1.2 Costos de operación. La mejor manera de ajustar los costos de operación por la inflación es estudiar las series de tiempo de los costos de operación para minas en operación y derivar un factor de inflación de estos. Hay índices de costos de sueldos disponibles, (Véase en el ejercicio en el Capítulo 9.2.1.1), y podríamos seguir la regla práctica que dice que cerca del 40-50% de los costos de operación de una mina son de sueldos y salarios. Sin embargo, las minas se basan en principios de administración modernos incrementando regularmente su productividad anual y este incremento tiene, por supuesto, que ser tomado en cuenta. La calidad de la administración como un factor de costos de operación no debería ser menospreciada.

Si el precio de los metales se eleva, los costos de operación también se elevan. Los metales de alto valor económico hacen que ciertas partes de un depósito (vetas de baja ley o áreas que requieren mas desarrollo) se vuelven económicas y

sean integradas al proceso de minado. Ya que nosotros queremos trabajar con costos y réditos constantes (Véase en el comentario inicial en el Capítulo 9.2) tenemos que eliminar de los costos el efecto de la producción extra. A menudo, hay un retraso de tiempo, ya que el desarrollo de las partes marginales de un depósito requiere un cierto periodo de preparación.

Ejemplo. Las siguientes series de tiempos para costos de operación de dos depósitos de vetas de Plata en Canadá, se han obtenido de publicaciones geológicas: La mina A con una producción de 40,000 t/año, la mina B con una producción de 85,000 t/año.

Si estas tasas de incremento son dibujadas en una gráfica en contra del precio de la Plata (Figura 14), es obvio que el incremento considerable en los costos de operación coincide con el precio tope de la Plata de 1980. Es también obvio que la mina B reacciona más rápidamente a la caída de precios que la mina A. Estos "efectos de precios pico" pueden ser eliminados tomando solamente las tasas de incremento de 1981/82 y 1982/83 para la mina A y para la mina B los de 1980/81, 1981/82 y 1982/83 (Tabla X).

El método usado para determinar los valores promedios de cambio por año es la media geométrica (la cual es siempre menor que la media aritmética). El procedimiento es el mismo que para calcular el promedio de tasas de crecimiento (Véase en el Capítulo 13:1).

La media geométrica es determinada por la fórmula:

$$W_G = \sqrt[n]{W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot \dots \cdot W_n}$$

Primero se determinan las tasas de incremento anual (columnas II y IV) en las series de tiempo para los costos de operación. Entonces se calcula la media geométrica, con el valor del incremento j en las columnas II y IV expresado como

$$1 + \frac{j}{100}$$

$$\text{Mina A: } \sqrt[3]{1.001 \cdot 1.049} = 1.025;$$

$$\text{Mina B: } \sqrt[3]{1.039 \cdot 1.030 \cdot 1.041} = 1.037.$$

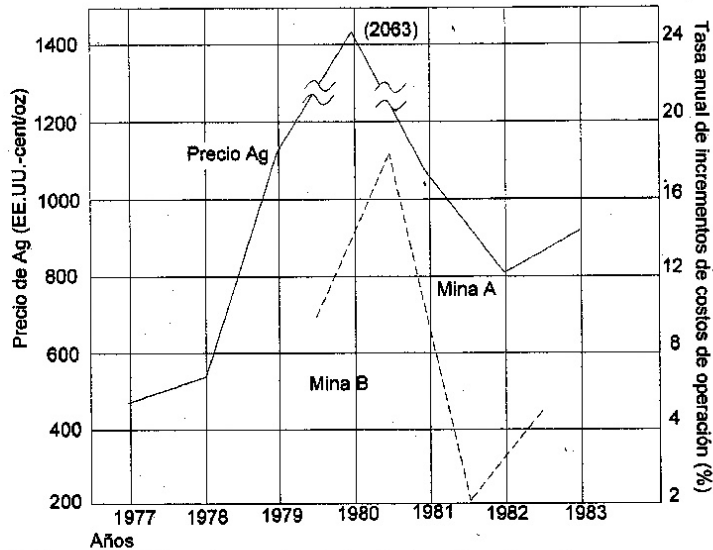


Figura 14. Desarrollo del precio y costos de Ag de dos minas Canadienses.

Tabla X

| | I Costos de operación Mina A (Can-\$/t) | II Tasa de incremento (%) | III Costos de operación Mina B (Can-\$/t) | IV Tasa de incremento (%) |
|------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| 1979 | 44.77 | | 26.89 | |
| 1980 | 49.16 | 9.8 | 30.99 | 15.2 |
| 1981 | 58.19 | 18.4 | 32.2 | 3.9 |
| 1982 | 58.27 | 0.1 | 33.17 | 3.0 |
| 1983 | 61.12 | 4.9 | 34.53 | 4.1 |

Para estos dos valores, la media aritmética es (al menos que tengamos razones técnicas o geológicas para atribuir un rango mayor a una que a otra):

$$\frac{1.025 + 1.037}{2} = 1.031.$$

por ejemplo, un incremento anual de 3.1% en costos de operación.

Si un depósito en veta está siendo evaluado y los costos son de 55 \$/ton para 1983 han sido interpolados de una curva de costos (Véase en el Capítulo 9.2.2), estos costos deben ser inflacionados para 1984:

$$55 \cdot 1.031 = 56.71 \text{ redondeado a } \$57/\text{ton}.$$

Usar la media geométrica es un método rápido, pero tiene sus inconvenientes. Este problema será tratado en los Capítulos 13.1 y 13.2.

9.2.2 Curvas de potencias.

A menudo se utilizan funciones no lineales para determinar la interdependencia entre los costos ajustados al mismo año (Véase en el Capítulo 9.2.1); y diferentes capacidades de operación, como las del tipo:

$$y = a \cdot x^b \quad (y, \text{ son los costos, } x, \text{ la capacidad y, } a \text{ y } b, \text{ son constantes}).$$

Si se toma la expresión logarítmica para esta ecuación y la curva óptima se expresa por $y = a \cdot x^b$, entonces las constantes a y b pueden ser encontrados mediante una regresión lineal (Véase en el Capítulo 5.2).

$$\ln y = \ln a + b \cdot \ln x.$$

De acuerdo al Capítulo 5.2, los coeficientes de regresión son:

$$b = \frac{\sum (\ln x_i)(\ln y_i) - \frac{(\sum \ln x_i)(\sum \ln y_i)}{n}}{\sum (\ln x_i)^2 - \frac{(\sum \ln x_i)^2}{n}};$$

$$a = \exp \left[\frac{\sum \ln y_i}{n} - b \frac{\sum \ln x_i}{n} \right].$$

Además, el cuadrado del coeficiente de correlación r es:

$$r^2 = \frac{\left[\sum (\ln x_i)(\ln y_i) - \frac{(\sum \ln x_i)(\sum \ln y_i)}{n} \right]^2}{\left[\sum (\ln x_i)^2 - \frac{(\sum \ln x_i)^2}{n} \right] \left[\sum (\ln y_i)^2 - \frac{(\sum \ln y_i)^2}{n} \right]}$$

Ejemplo. Determinar los costos totales de operación para una mina subterránea metálica con una capacidad de 600,000 t/año en Nueva Zelanda. La industria minera actualmente en Nueva Zelanda no es de gran importancia (pero Nueva Zelanda es todavía geológicamente prospectiva). De esta manera es imposible usar datos de costos de Nueva Zelanda, al menos que sean calculados "de manera somera". Si el depósito alcanza un nivel de estudio de viabilidad, este procedimiento tendrá que llevarse a cabo eventualmente. Pero el proyecto es un tentativo: todo lo que se nos ha ofrecido es un prospecto con una mineralización interesante.

Los datos de costos son recopilados de países desarrollados con una tradición minera y una posición industrial comparable a Nueva Zelanda, preferentemente Australia o Canadá, y de depósitos de tipo similar.

Los siguientes costos de operación (convertidos a \$ de 1981) para ciertas minas metálicas Australianas, fueron obtenidos de la literatura. Estos datos han sido complementados con información de una mina de Canadá.

Una curva de la forma $y = a \cdot x^b$ puede ser trazada interpolando los datos, "y" indica los costos de operación, y "x" la capacidad, con "x" siendo expresada en unidades de 10^3 t/a (Tabla X1a).

Para obtener los costos de operación para las 600.000 t/a, por interpolación, $x=600$ es introducida a la ecuación $y = 324.06 \cdot x^{-0.32}$ ("x" es expresada en unidades de 1000 t/a, como se muestra anteriormente). Esto resulta en que $y = 41.84$ \$/t, redondeando a una cantidad de 42\$/t. Para determinar los costos de capital se utiliza el mismo procedimiento de interpolación usando una curva de la forma $y = a \cdot x^b$.

Advertencia para considerar la extrapolación: Las capacidades más altas no plantean un problema real, ya que la curva de la Figura 15 puede con seguridad ser aplicada hasta para 4 Millones de t. Sin embargo con capacidades por debajo del punto de datos mas bajo el procedimiento de extrapolación se vuelve erróneo. Ya que la curva se eleva bruscamente en esta área, las variaciones pequeñas en el rango de producción pueden resultar en cambios desproporcionados en los costos. Para costos de capital en este rango es preferible la "regla 0.6" (Véase en el Capítulo 9.3.1).

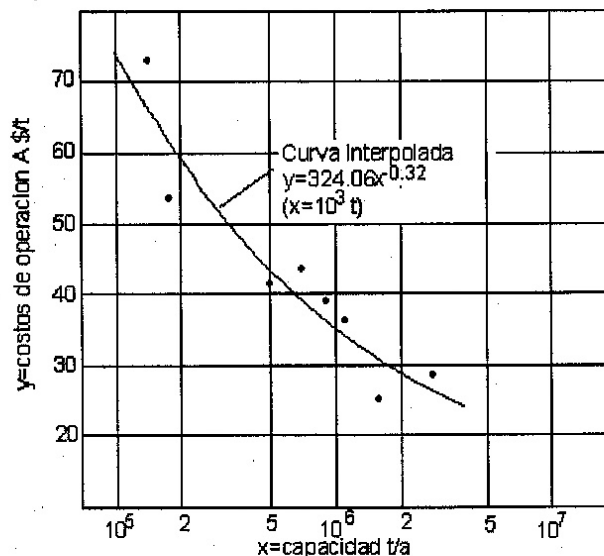


Figura 15. Costos de operación específicos de varias minas de metales no-ferrosos.

Tabla Xla

| Mina | Capacidad en 10 ³ t/a(x) | Costos de operación A-\$/t(y) |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| Que River | 180 | 54.70 |
| Mina-X | 900 | 39.47 |
| Mina-Y | 500 | 41.37 |
| Elura | 1,100 | 35.11 |
| Teutonic Bore | 150 | 72.00 |
| Renison Tin | 660 | 43.80 |
| Brunswick mining and smelting | 2,800 | 28.93 |
| Mt. Lyell | 1,684 | 23.30 |

Los coeficientes de regresión a y b y el coeficiente de correlación pueden ser determinados de acuerdo a la Tabla Xlb.

Tabla Xlb

Paso 1:

| ln x | (ln x) ² | ln y | (ln y) ² | ln x • ln y |
|----------------------|---------------------|--------|---------------------|-------------|
| 5.193 | 26.967 | 4.002 | 16.015 | 20.782 |
| 6.802 | 46.273 | 3.676 | 13.510 | 25.002 |
| 6.215 | 38.621 | 3.723 | 13.857 | 23.134 |
| 7.003 | 49.043 | 3.558 | 12.663 | 24.920 |
| 5.011 | 25.106 | 4.277 | 18.290 | 21.429 |
| 6.492 | 42.149 | 3.780 | 14.286 | 24.538 |
| 7.937 | 63.002 | 3.365 | 11.322 | 26.708 |
| 7.429 | 55.189 | 3.148 | 9.913 | 23.390 |
| $\Sigma = 52.082$ | 346.35 | 29.529 | 109.856 | 189.903 |
| $\Sigma / n = 6.510$ | 43.294 | 3.691 | 13.732 | 23.738 |

Paso 2: Coeficientes de regresión

$$b = \frac{189.903 - \frac{52.082 \cdot 29.529}{8}}{346.350 - \frac{(52.082)^2}{8}}$$

$$b = \frac{189.903 - 192.241}{346.350 - 339.067} = -\frac{2.338}{7.283} = -0.321$$

$$a = \exp\left[\frac{29.529}{8} + 0.321 \frac{52.082}{8}\right]$$

$$a = \exp[3.691 + 2.090] = \exp 5.781$$

$$a = 324.056$$

$$y = 324.06x^{-0.32}$$

Paso 3: Cuadrado del coeficiente de correlación = r^2

$$r^2 = \frac{\left[189.903 - \frac{52.082 \cdot 29.529}{8}\right]^2}{\left[346.350 - \frac{(52.082)^2}{8}\right] \cdot \left[109.856 - \frac{(29.529)^2}{8}\right]} = \frac{(2.338)^2}{7.283 \cdot 0.861} = 0.872$$

$$r = 0.93$$

es decir, el 87.2% del total de los puntos de datos pueden ser explicados por regresión lineal de los valores logarítmicos.

9.3 Otras reglas prácticas.

9.3.1 La "regla 0.6" para costos de capital.

Si la información de costos disponible es restringida a una única planta comparable, o si la planta es comparable en todo excepto en la capacidad, puede aplicarse la "regla 0.6" para estimaciones de costos de capita. La "regla 0.6" es un caso especial de la curva de potencia $y = a \cdot x^b$ del Capítulo 9.2.2 con $b = -0.4$, porque $0.6 = b + 1$. La fórmula de la "regla 0.6" puede ser escrita como sigue:

$$\frac{\text{costos de inversion } x}{\text{costos de inversion } y} = \left[\frac{\text{capacidad } x}{\text{capacidad } y}\right]^{0.6}$$

Ejemplo. En 1979 una draga que incluía una planta de separación por gravedad fue construida para un depósito de Zirconio-Rutilo- Arena de mar al noreste de Australia, a un costo de 12.8 Millones \$-Aust, con una capacidad de 2400 t/h. Estimar cuanto costaría una draga comparable con una capacidad de 1500 t/h en 1982.

Primero, los costos de 1979 tienen que ser inflacionados para ajustarse a 1982. Otra vez, usamos el "Marshall and Swift Mine and Mill Index" (Véase en el Capítulo 9.2.1.1):

$$\text{Costos 1982} = 12.8 \text{ Millones } \$\text{-Aust} \cdot \frac{780}{619} = 16.13 \text{ Millones } \$\text{-Aust.}$$

Posteriormente se aplica la "regla 0.6":

$$\frac{\text{costos de inversión (1500 t/h)}}{16.13} = \left[\frac{1500}{2400} \right]^{0.6}$$

$$\text{costos de inversión (1500 t/h)} = 16.13 \cdot 0.75 = 12.1 \text{ Millones \$ - Aust}$$

Este es un buen ejemplo para los efectos inflacionarios. Solamente 3 años después la misma cantidad nominal de dinero, pagaría una planta de 2/3 de la capacidad original.

O'Hara uso la "regla 0.6" para derivar una regla general para costos de capital de datos predominantes de Canadá. Ajustado a \$-Can de 1982 esta regla implica costos de inversión:

Mina a cielo abierto con planta de beneficio:

$$I = 550,000 T^{0.6} \text{ (T = Capacidad en t/día).}$$

Mina subterránea con planta de beneficio: $I = 1,100,000 T^{0.6}$.

O'Hara indica que los valores derivados de esta manera son solamente líneas de guía. Los casos actuales se pueden desviar considerablemente. La estructura de costos de capital de una mina de Oro con una planta de procesamiento de carbón en pulpa (CIN) difiere de un depósito de sulfuros con flotación o de una mina de Carnalita con una planta para separar los componentes de K (Potasio) del complejo K-Mg de Carnalita en sal.

Ejemplo. Calcular la estimación de una inversión a granel para una mina subterránea de 1000 t/día con planta de procesamiento:

$$I = 1,100,000 T^{0.6} = 1,100,000^{0.6} = 69.4 \text{ Millones \$ - Can;}$$

aproximando a 70 Millones \$ - Can (en \$ - Can de 1982)

9.3.2 Reglas prácticas para costos de operación.

9.3.2.1 Reglas prácticas para cálculos aproximados. Para una estimación rápida de la economía de una mina en potencia, bajo condiciones de minado normales, (minas superficiales que no sean a gran escala o que no tengan gran cantidad de requerimientos de infraestructura) puede aplicarse la siguiente regla práctica: los costos de operación deberían ser cubiertos con la mitad del contenido del metal. La otra mitad es por lo general suficiente para pagar los impuestos, los costos de capital y dejar una ganancia suficiente.

Un estudio a nivel mundial de depósitos de Oro económicamente viables muestra, por ejemplo, que la ley de corte, en la mayoría de los casos definida como la ley que solo cubre los costos de operación (Véase en el Capítulo 10.1), equivale a cerca de la mitad de la ley promedio de las minas.

Ejemplo. Si los cálculos de costos de operación basados en la interpolación de datos de costos de varias minas (Véase en el Capítulo 9.2.2) establecen que es necesaria una ley de Oro de 5 g/t para cubrir los costos de operación de la mina en potencia y si la tendencia conocida del depósito es de 9-11 g/t, existe una oportunidad que el depósito sea económicamente viable. Es necesario llevar a cabo análisis más detallados. Si la tendencia conocida de la ley es de 6-7 g/t, el depósito es probable que sea solamente submarginal en el mejor de los casos.

9.3.2.2 Reglas prácticas para costos de operación subterráneos. En minas comparables (con el mismo tipo de depósito, o mismo método de minado, por mencionar algunas comparaciones) en países con el mismo estándar industrial usualmente tienen estándares comparables de eficiencia subterránea. La experiencia nos muestra que, por lo general, los costos de sueldos son cerca de 40-50% de costos de operación subterránea. Las estimaciones de la producción por hombre y por turno (t/Hombre + Turno) y la suma de costos laborales pueden obtenerse de los costos totales de la mina.

Ejemplo. Un depósito de Fluorita en Italia va a ser evaluado. Es una veta. Suponemos que debido a la modernidad, se aplicara un método de minado sin caminos puede ser alcanzada una producción de 10t/Hombre + Turno comparable a los pequeños depósitos de barita de Alemania. Los costos laborales totales (costos laborales directos mas indirectos tales como, seguros, etc.) son estimados a 300 DM /Turno. Calcular los costos de operación totales.

Ya que el minado en vetas es intensamente laborioso, elegimos el valor más alto del rango 40-50%. Con una eficiencia de 10t/Hombre + Turno llegamos a un costo laboral específico por 1 t de mineral crudo de $300/10 = 30$ DM/t. Asumiendo el 50% de costos son laborales, el costo de operación subterránea total será de 60 DM/t.

9.3.2.3 Reglas prácticas para costos de operación superficiales. Los costos de operación para minado superficial dependen en gran parte de la relación de descapote (Véase en el Capítulo 1.2.6), considerando que el costo por tonelada de material movido es relativamente constante. Para minas superficiales pequeñas (1000-5000 t/día) se espera un costo de \$1.50/t, para minas grandes se espera \$1.00/t. Los cargadores y los camiones grandes tienen limitantes en sus capacidades. Si la capacidad en minado superficial va a ser incrementada, tienen que comprarse mas cargadores y camiones.

Ejemplo. Para ilustrar este punto, tomaremos una mina con una producción de 10,000 t/día y una relación de descapote 1:1. Tenemos que mover una tonelada de sobrebordo (tepetate) por cada tonelada de mineral, siendo esto un total de 2 toneladas movidas. A un costo de \$1/t de material movido, los costos de la mina serán de \$2/t. Si la mina tuviera una relación de descapote de 10:1, tendrían que moverse 10 toneladas de tepetate por 1 tonelada de mineral, siendo un total de 11 toneladas movidas, lo que da un costo de \$11/t.

Ejemplo. Calcular los costos de operación para un depósito masivo de sulfuros para ser minado a un nivel de -100m de manera superficial. Una sección transversal es mostrada en la Figura 16. Las reservas del tajo son de 6 Millones

de toneladas. La vida contemplada de la mina es de 10 años. El cuerpo mineral tiene un echado de 45° . La densidad del mineral sulfuro es de 4, la roca encajonante de 3, y de la capa aluvial que los cubre de 2 g/cm^3 .

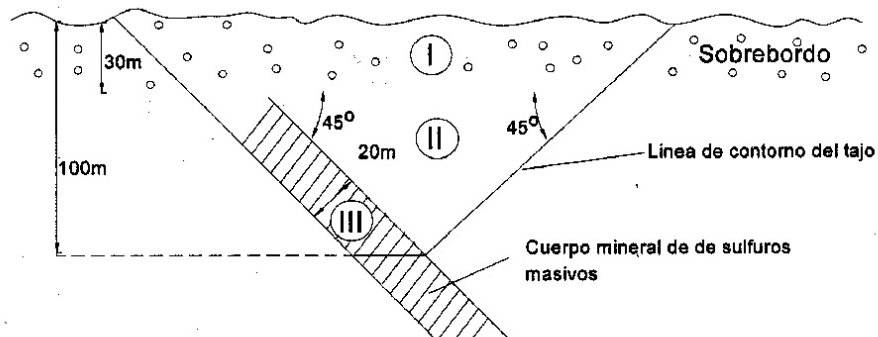


Figura 16. Sección vertical para calcular la relación de descapote.

Paso 1: La relación de descapote es calculada por áreas seccionadas. Para las paredes del tajío suponemos un ángulo de inclinación de 45° :

| | |
|----------|----------------------|
| Area I | =5949 m ² |
| Area II | =4900 m ² |
| Area III | =1980 m ² |

De estas áreas y de la densidad calculamos el tonelaje por metro de espesor de sección:

| | |
|----------|------------------|
| Area I | =5949•2=11,898 t |
| Area II | =4900•3=14,700 t |
| Area III | =1980•4= 7,920 t |

Las áreas I y II representan el tepetate. De aquí, nuestra relación de descapote W:O es:

$$W:O = \frac{11,898 + 14,700}{7,920} = 3.36:1.$$

En ambos extremos de la mina, el tepetate adicional saldrá en la dirección al contacto ya que las paredes están a cierto ángulo. Para un cálculo bruto el tepetate es incrementado un 10% haciéndolo 3.7:1.

Paso 2: Cálculo de los costos de operación de una mina a cielo abierto. El depósito en el área del tajo tiene reservas de 6 millones de toneladas para ser minadas durante un periodo de 10 años, siendo 600,000 t/año. Con 300 días laborables al año, lo que da una cantidad de 2,000 t/día. Con una relación de descapote de 3.7:1, tiene que ser movido un total de 4.7 t por cada tonelada de mineral, siendo un total de 9400 t/día de material movido. Esta es una mina a cielo abierto de tamaño mediano. Se supondrá un promedio de costos de operación de \$1.30/t de material movido.

De esta manera, el total de costos de operación será de $4.7 \cdot 1.30 = \$6.11/t$ de mineral.

Paso 3: Cálculo de los costos totales de operación. Suponemos que se ha llegado mediante interpolación a un costo de beneficio de \$6.20/t (Véase Capítulo 9.2.2) para nuestra planta de 600,000 t (las plantas de beneficio trabajan 7 días a la semana, así que el molino debe tener un movimiento de material de solamente 1650t/día).

Esto es incrementado un 25% para administración, gastos generales, servicios técnicos, etc., los también llamados gastos fijos:

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Minado a cielo abierto | 6.11 |
| Beneficio | 6.20 |
| +25% | 3.08 |
| Costos totales de operación | 15.39\$/t |

Los cuales deberían ser redondeados al menos a 15.50\$/t o aun mejor, a 16\$/t.

9.3.2.4 Consideraciones en la estimación de costos de molienda. Cuando se evalúa una propuesta con una mineralización conocida, los estudios mineralógicos y algunas pruebas preliminares de beneficio tendrán que haber sido realizadas en las primeras etapas de la exploración. Frecuentemente, la información esta disponible en una etapa temprana de una evaluación del intercrecimiento de los minerales mena y de esta manera hay datos del tamaño de grano del mineral que tiene que ser molido para alcanzar una recuperación razonable así como los datos del mineral mas duro.

En pruebas de laboratorio, la dureza se determina mediante el llamado índice de Bond. El índice es un factor proporcional a los kilowatts por hora requeridos para moler una partícula de tamaño infinito a 80% pasando 100 micrones. Hay ecuaciones para calcular la fuerza requerida por tonelada para molienda, las cuales, pueden determinar los costos de capital de los molinos. Tales cálculos son

muy detallados para el enfoque de este libro. Sin embargo, podemos usarlos para ajustar los costos de operación de molienda los cuales han sido interpolados de un número de minas de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo 9.2.2. Los minerales suaves tienen un índice de trabajo de menos de 12, los minerales de dureza media de cerca de 15 y los duros cerca de 17. Los costos directos de molienda (energía, bolas, etc.) los cuales están influenciados por la dureza y la fineza requerida de molienda son cerca de la 3ra parte de los costos de molienda. Si, por consiguiente, una propuesta está siendo evaluada para la cual las pruebas preliminares indican que es un mineral duro y que requiere una molienda fina y estas características no son reflejadas en los datos de los cuales se interpolan los costos de molienda, entonces los costos de molienda interpolados deberán ser incrementados hasta un 20%.

9.4 Costos de acarreo.

9.4.1 El significado de "fob" y "cif".

Antes de discutir los costos de acarreo, existen dos abreviaciones comúnmente usadas en relación a las entregas a compradores y a su vez se relacionan con el acarreo en general, las cuales tienen que ser explicadas: "fob" y "cif".

"fob" quiere decir "free on board" (libre a bordo), y esto implica que el productor entrega el producto, como los concentrados, libre a bordo al medio de transporte a un lugar designado, originalmente a bordo en una embarcación marítima, pero también en otros medios de transporte tales como vagones de tren o camiones (para tren sería "for" y en camiones "fot"). Esto implica que el acarreo del productor al consumidor es pagado por el comprador.

"cif" quiere decir "cost, insurance, freight" (costo, seguro, acarreo), e implica que los costos tales como trámites, documentación, acarreo y seguro hacia el lugar designado son pagados por el vendedor.

Hay otras abreviaciones tan generales como las antes mencionadas, estas son abreviaciones IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization), usadas en casos especiales. Un ejemplo es el término "fid" "free into container depot" (libre en depósito contenedor), el cual es usado para cotizaciones de precios de concentrados como los de Rutilo y Zircón de las operaciones de una mina arena de playa en Australia.

Generalmente esto puede ser dicho así (Figura 17):

- a) Si la abreviación comienza con una f, el producto es enviado gratis a un punto antes que inicie el transporte principal.

- b) Si la abreviación comienza con una c, el precio generalmente incluye costos y acarreo a un destino cerca del comprador o del consumidor, respectivamente.

Para abreviaciones inusuales, el "Metal Bulletin's Prices and Data Book" es una buena fuente de referencia.

Ejemplo. Una compañía de minado de carbón en Alberta, Canadá tiene un contrato con una compañía Japonesa de servicios para enviar carbón para vapor por 40 US-\$/t fob a Vancouver. Este medio la compañía minera tiene que pagar por el acarreo en ferrocarril de la mina en Alberta a Vancouver y el cargado a bordo de la embarcación. El acarreo por mar a Japón y posiblemente el acarreo terrestre en Japón es pagado por el comprador japonés.

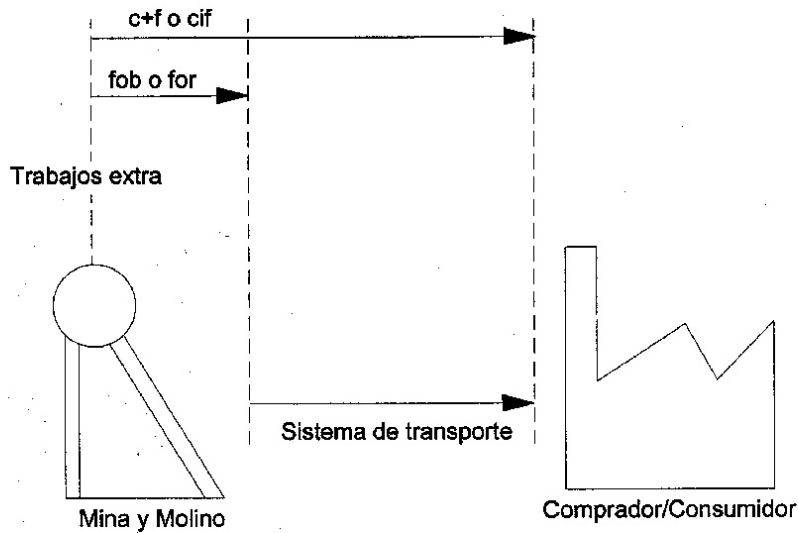


Figura 17. Sistema de abreviaciones en el negocio de embarques.

9.4.2 Reglas prácticas para costos de acarreo.

Para costos de acarreo por tierra, se aplican simples reglas de pulgar:

Ferrocarril: 3 US-cts/milla/t.
 Acarreo en camión 10 US-cts/milla/t.

Los costos de acarreo en ferrocarril se aplican a bienes en volumen, no a unidades mineral de Fierro o carbón de tren usadas para el envío. Para estos, los costos quizás bajen a 1 US-cts/milla/t.

Ejemplo. Un supuesto depósito va a ser evaluado. El consumidor esta localizado en la costa. La distancia de la mina a la estación de ferrocarril mas cercana es de 100 km. y al consumidor son 560 km por ferrocarril. ¿Cuales serian los costos de acarreo que tendrían que deducirse del retorno del consumidor (cif)?

$$100 \text{ km de costos por carretera } \frac{100 \cdot 0.10}{1.609} = 6.22 \$/t^6$$

$$560 \text{ km de costos por ferrocarril } \frac{560 \cdot 0.03}{1.609} = 10.44 \$/t^6$$

Tienen que agregarse tres procesos de cargado: cargado en la mina, cargado a la estación del tren y descargado al consumidor. Para cada proceso de cargado se le agrega 0.50 \$/t. Por lo consiguiente, los costos totales de acarreo son:

$$6.22 + 10.44 + 3 \cdot 0.5 = 18.16 \text{ o } 18.50 \$/t$$

Con artículos de bajo valor en volumen tales como Barita o Fluorita, una sencilla estimación de costo de acarreo puede llevarse a cabo en esas áreas en las cuales los altos costos de acarreo harían no viable económicamente el minado. Esto puede simplificar la búsqueda de depósitos desde el comienzo.

Para el cálculo de acarreo marítimo el número total de días de embarque (cargado, días en el mar, descargado) es multiplicado por 1.00 US-\$/t.

Una buena fuente de información para rangos de acarreo es el semanario "Industrial Minerals". Ocasionalmente, los datos de acarreo marítimo tienen que ser adoptados de otras operaciones. Los rangos de acarreo marítimo fluctúan extensamente. Para checar si estos datos necesitan ser ajustados, debe ser consultado el "Trip Charter Index" publicado por el "General Council of British Shipping in London". Recientemente otro índice de fletes fue establecido, el "Baltic Freight Index (BIFEX)", regularmente publicado en "The Public Ledger" en Watford, Gran Bretaña, o en el "Industrial Minerals" o "The Times" de Londres.