

7 Cálculo del retorno neto de fundición de una mina. (Net Smelter Return - NSR)

7.1 Casos sencillos en base a los precios por unidad o precios directos de concentrado

Por lo general, una mina produce concentrados. En raros casos se mina mineral rico el cual puede ser embarcado directamente. En algunos casos las cotizaciones para concentrados y mineral están disponibles, como el mineral de hierro, concentrados de tungsteno y antimonio o "yellow cake (pastel amarillo)" (Actualmente se utiliza para nombrar al diuranato de sodio o amonio, pero el termino es coloquialmente usado para el oxido de uranio), U_3O_8 , el producto final de las minas de Uranio. Estas cotizaciones son proporcionadas por las listas de precios del semanario "Metal Bulletin" o el "Engineering and Mining Journal". Generalmente estos precios son cotizados en "unidades", siendo 1 unidad (1 u) el 1% del metal en el concentrado (Véase Capítulo 1.1.4.6). De esto, puede fácilmente derivarse el retorno neto de fundición de la mina.

1.- *Ejemplo.* Para la unidad de mineral de hierro suponemos un precio de 0.35\$/unidad. De acuerdo a esto, una mina produciendo mineral de alto grado de embarque directo de 64% en Fe tiene un rédito de:

$$64 \cdot 0.35 = 22.40 \text{ \$/ton mineral de hierro.}$$

Para llegar al retorno f.o.b. de mina (free on board; libre a bordo (l.a.b), Véase en Capítulo 9.4.1) tienen que restarse los costos de flete.

2.- *Ejemplo.* Para concentrados de Scheelita el precio aceptado es de 80 EE.UU.-\$/unidad de WO_3 . Un depósito tiene leyes de 0.80% de WO_3 . Este mineral tiene que ser beneficiado primero antes de ser un producto vendible. La recuperación es supuesta de 85%. De aquí que el retorno de 1 tonelada de material in situ con 0.8% de WO_3 es:

$$80 \cdot 0.8 \cdot 0.85 = 54.40 \text{ EE.UU. - \$/tonelada.}$$

Como en el caso del mineral de hierro, el costo de flete debe ser considerado. Mientras los costos de flete contribuyen considerablemente al precio de compra del mineral de hierro para las plantas de acero (el mineral de hierro es un producto de bajo valor en volumen), esto no es igual para los concentrados de tungsteno los cuales son un producto con un alto valor. Para estimaciones iniciales en bruto, el aspecto del embarque puede omitirse en algunos casos.

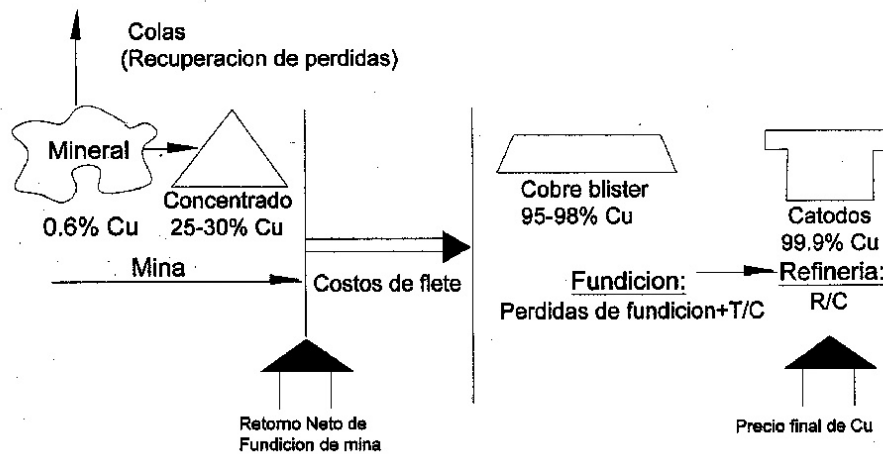
Para evaluaciones iniciales suponemos que el beneficio será para un producto estándar vendible, a menos que pruebas previas de microscopio y de beneficio

Impidan esto. Y si, sin embargo, solamente los concentrados de baja ley son producidos, la mina tiene que aceptar castigos. En tales casos, los especialistas deben ser consultados, puesto que aplican reglas individuales a cada mineral. Esto es solamente para el Estaño ya que el "Metal Bulletin" publica términos de fundición para concentrados de baja ley (Véase Capítulo 7.2).

7.2 Metales no ferrosos

7.2.1 Cálculo con fórmulas de fundición.

Para metales comúnmente no ferrosos tales como Cu, Al, Pb, Zn, Sn, o Ni, la situación es mas complicada que para los ejemplos dados en el Capítulo 7.1. Las cotizaciones están disponibles para los metales, por ejemplo, los productos finales para venta, pero no para los productos intermedios. Uno puede llegar a concluir de la información que nos da un depósito de 100 Millones de toneladas que contiene 1% de Cu al precio de 0.90 EE.UU.-\$/lb y tiene un valor de cerca de EE.UU.-\$ 2,000,000,000. Esto es un engaño total y una estimación incorrecta. La cotización en el cambio de metales de 0.90 EE.UU.-\$/lb se refiere al Cobre refinado. La mina, sin embargo, produce solamente concentrados (Véase en la Figura 13a).



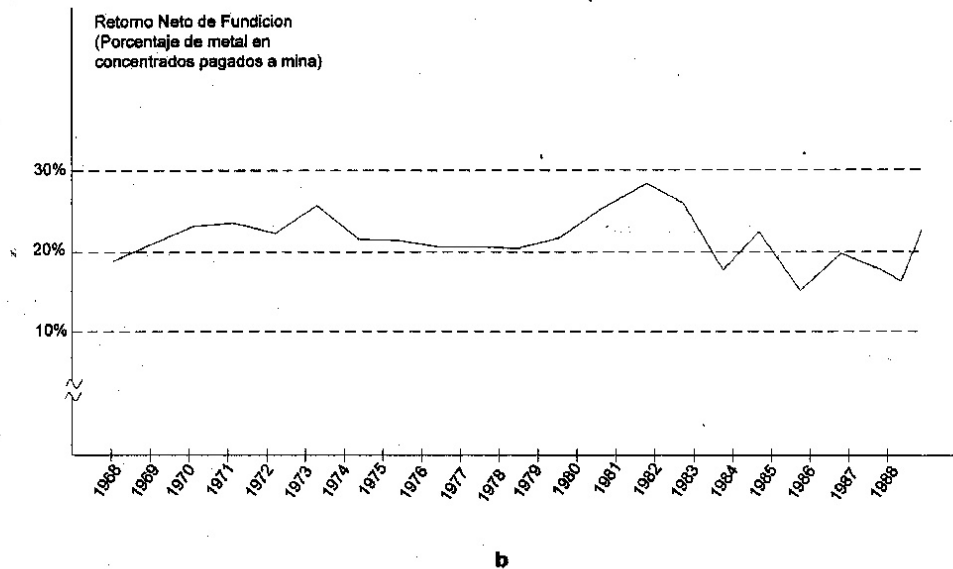


Figura 13. a Diagrama de flujo para el proceso de recuperación de Cu. **b** Porcentaje de Zn en concentrados de Zn pagado a mina (Retorno Neto de Fundición) basado en concentrados 50% Zn y precio promedio de productores Europeos y cargos de tratamiento, como se publica en el Metal Bulletin.

Para obtener el retorno para la mina, tenemos que quitar del precio para el Cobre refinado cada gasto hecho en cada una de las etapas en la producción del Cobre refinado de los concentrados de Cobre, los cuales son el producto final de la mina. Para determinar el retorno de concentrados, se usan fórmulas muy particulares. Un ejemplo del Cobre es usado para demostrar la aplicación de dichas formulas. Puesto que estamos tratando con la evaluación de depósitos en una etapa inicial de desarrollo, las reglas prácticas serán casi siempre usadas, las cuales simplificarán los cálculos considerablemente (Véase Capítulo 7.2.2).

Ejemplo. Vamos a evaluar un depósito de pórfidos cupríferos con una ley de mineral de 0.7% de Cu. Para simplificar, asumimos que las leyes de Mo, Au o Ag, comunes en este tipo de depósito, son tan bajas que no es costeable su beneficio. ¿Cuál es el rédito por tonelada de mineral?

Para el cálculo de réditos tenemos que hacer ciertas suposiciones:

- a) Recuperación en el proceso de beneficio. Asumimos 90%, por ejemplo, de un 0.70% Cu, se recupera un 0.63% Cu.
- b) Ley de concentrado. Las leyes de concentrado normalmente oscilan entre 25% y 30% Cu. Asumiremos 25%Cu.

- c) El acarreo para concentrados de la mina a la fundidora se supondrá de 20\$/t.
- d) El cargo de tratamiento (T/C) de la fundidora. Esto se refiere a una tonelada de concentrado. Una suposición razonable para la actualidad es T/C = 85 EE.UU.-\$/t concentrado.
- e) Pérdidas de tratamiento. Puesto que las pérdidas ocurren durante el tratamiento de fundición, estas pérdidas pueden variar, con el Cobre, normalmente es de 1 unidad (u) (Por ejemplo, 1% Cu en el concentrado, Véase en el Capítulo 1.1.4.6).
- f) Cargos de refinería (R/C). Esto está basado en el metal pagado (menos las pérdidas de tratamiento). Una suposición razonable en la actualidad es R/C = 8 EE.UU.-cents/lb de Cobre pagado.
- g) Precio del metal. Esta es la suposición más importante. Suponemos 0.90 EE.UU.-\$/lb (Véase en el Capítulo 2).

Los cálculos son llevados como siguen:

- a) La ley de concentrado es de 25%; de esto tenemos que restar la pérdida de tratamiento de 1u (= 1%), quedando 24% Cu el cual será pagado. 1% corresponde a 22.046 lb por tonelada (Véase en el Capítulo 1.1.4). De esta manera el valor bruto del concentrado es:

$$(25-1) \cdot 22,046 \cdot 0.90 = 476.19 \text{ EE.UU.-\$/t.}$$

- b) De esto restamos el cargo de tratamiento: T/C = 85 EE.UU.-\$/t.
- c) También restamos el cargo de refinería. Esto se refiere al contenido de metal pagado. El R/C es: $(25-1) \cdot 22,046 \cdot 0.08 = 42.33 \text{ EE.UU.-\$/t concentrado.}$
- d) Como último paso tenemos que restar el acarreo.

Abreviado, el método de cálculo sería como sigue:

Valor bruto del concentrado	476.19
-T/C	-85.00
-R/C	-42.33
-Acarreo	-20.00
	=328.86 EE.UU.-\$/ton concentrado

Este es el retorno neto de fundición de la mina (NSR). Sin embargo, no estamos muy interesados en el concentrado, pero sí en el valor neto del mineral: el mineral tiene una ley de 0.7% Cu; recuperamos 90%, y el concentrado tiene una ley de 25% Cu. De aquí necesitamos:

$$\frac{25}{0.7 \cdot 0.9} = 39.68 \text{ de mineral}$$

para producir 1 tonelada de concentrado.

De esta manera, el factor de concentración KF (Véase en el Capítulo 6.2) es 39.68.

De esto llegamos a un retorno neto de fundición para el mineral.

$$\text{NSR} = \frac{328.86}{39.68} = 8.29 \text{ US- \$/ton.}$$

7.2.2 Cálculo con reglas prácticas.

Como se muestra en el Capítulo 7.2.1, un patrón de suposiciones tiene que ser hecho para obtener el retorno neto de fundición del mineral. En las etapas tempranas de evaluación de un depósito el cual va a tomar 10 años para alcanzar la producción (es común llevar el tiempo al presente) este cálculo es de mas precisión.

Si los precios de los metales se elevan, el tratamiento y cargos de refinaria usualmente se elevan también. Un análisis de contratos de concentrados muestra como las minas reciben un porcentaje del precio final del producto terminado el cual fluctúa solamente dentro de un cierto rango (Véase la Figura 13b, por ejemplo, para los concentrados de Zn). Para nuestras estimaciones podemos trabajar con factores aproximados, como el ejemplo del Cobre en el Capítulo 7.2.1, así que reemplazaremos las suposiciones y las variables:

- Contenido de concentrado
- Cargos de tratamiento
- Pérdidas de tratamiento
- Cargos de refinación
- Precio del metal

por una sencilla variable, como por ejemplo, el precio del metal, y cubrir todas las suposiciones con un factor.

Estos factores están listados en la Tabla VII. En combinación con la recuperación en el proceso de beneficio esta es una manera muy simple para calcular el valor del mineral.

El rango de los valores en la Tabla VII indica el rango dentro del cual fluctúan los retornos de cada mina debido a los cambios del mercado. Las capacidades globales de las minas y fundidoras a nivel mundial están raramente en un balance real. En un mercado de compradores, cuando hay una abundancia de concentrados, el comprador (fundidora) determina el mercado para aplicar los valores más bajos; en un mercado de vendedores, cuando los concentrados son escasos y la mina determina el mercado, se aplican los valores más altos. Puesto que en la etapa inicial de desarrollo de un depósito no es posible predecir la

conducta de los mercados o los cambios que pueden ocurrir durante el tiempo de vida de la mina, es bien justificado el trabajar con valores promedios. Para la recuperación en la planta de beneficio, los rangos son dados en límites. La recuperación es altamente dependiente del tamaño de grano y el grado de intercrecimiento. Cuando tratamos con minerales complejos de grano fino uno debería trabajar con los valores bajos.

Tabla VII

Elemento	Porcentaje de Retorno Neto de Fundición para mina: NF	Rango de fluctuación de NF	Recuperación en planta de beneficio
Cu	65% (Europa) 75% (Pacífico)	63-68% 72-80%	90% (92-85%)
Zn	50%	48-52%	90% (92-85%)
Pb	65%	61-67%	90% (92-80%)
Ni	65%	62-70%	80 (75-80%)
Sn	94%	90-95%	60 (50-65%)
Au(en minas de base metal)	95%		80% (75-85%)
Au(en minas de Au)	98%		90% (85-95%)
Ag	95%		80% (75-85%)

El Cobre en la Tabla VII requiere la siguiente explicación: el mercado Japonés del Cobre (También como el Surcoreano, Taiwanés y Brasileño) es protegido, permitiendo a los fundidores locales ofrecer minas en términos muy favorables. Si una exploración geológica trabaja para una firma Europea con la intención de embarcar los concentrados a Europa, este tiene que trabajar con términos Europeos. Si la mina esta buscando los mejores términos disponibles a nivel mundial, optara por los términos Japoneses.

Ejemplo. Un depósito volcánogénico complejo contiene 2% Cu, 1.5% Pb, 6% Zn, 1.3 oz/ton Ag. ¿Cual es el retorno neto de fundición del mineral? Se aplicaran términos Europeos de Cobre. Suposiciones de precios: Cu-0.90 EE.UU.-\$/lb; Pb-0.35 EE.UU.-\$/lb; Zn-0.45 EE.UU.-\$/lb; Ag-10 EE.UU.-\$/oz.

Se utilizaran los factores de la Tabla VII. El factor de conversión de lb a % es 22.046 (Véase el Capítulo 1.1.4). El mineral es noble, así que los valores promedios de recuperación se pueden predecir.

$$\text{Cu} : 2 \bullet 22.046 \bullet 0.65 \bullet 0.9 \bullet 0.90 \text{ US-} \$ = 23.21$$

$$\text{Pb} : 1.5 \bullet 22.046 \bullet 0.65 \bullet 0.9 \bullet 0.35 \text{ US-} \$ = 6.77$$

$$\text{Zn} : 6 \bullet 22.046 \bullet 0.5 \bullet 0.9 \bullet 0.45 \text{ US-} \$ = 26.79$$

$$\text{Ag} : 1.3 \bullet 0.95 \bullet 0.8 \bullet 10 \text{ US-} \$ = 9.88$$

$$66.65 \$/t = \text{NSR}/t \text{ mineral}$$

El Aluminio es un caso especial. El material bruto inicial es la Bauxita Al_2O_3 , con leyes entre 35 y 50%. Este es un volumen de material bruto de baja ley el cual no puede ser enriquecido mas allá del beneficio mecánico, pero es químicamente procesado en Oxido de Aluminio Al_2O_3 , también llamado alumina, en la refinería. Este es el material de inicio para la planta de Aluminio convirtiéndolo en el producto industrial terminado. (Atención: la secuencia "mina-refinería-fundición" es al revés que para otros metales.)

Para una primera evaluación de la regla práctica, la regla "10 en 10" es aplicada en ciertas ocasiones: 1 tonelada de alumina tiene 10% del valor de 1 tonelada de Aluminio, y 1 tonelada de Bauxita el 10% del valor de 1 tonelada de alumina. En la evaluación de depósitos de Bauxita los costos de acarreo a la refinería no deben ser omitidos, ya que son factores cruciales en los costos.

8 Tiempo de vida de la producción.

Los capítulos anteriores demostraron como pueden calcularse los retornos netos por tonelada de mineral. Son, por supuesto, solamente dependientes de las leyes de mineral, y no de la cantidad de mineral minado. Cuando consideramos los costos de producción, la producción por unidad de tiempo debe tomarse en cuenta también. A mayor producción por día o por año, menores son los costos por tonelada de mineral. Este efecto es llamado "economía de escala".

Para la evaluación de un depósito, la pregunta que por lo tanto surge es: ¿Qué nivel de producción anual debe de suponerse?

8.1 Reglas prácticas para el tiempo de vida de los depósitos.

- a) Algunas compañías suponen que la vida productiva de una mina debería ser a lo menos 10 años de tal manera que pueda compensarse cualquier riesgo causado por fluctuaciones cíclicas de precios. Depósitos con leyes bajas pero grandes reservas, tales como depósitos de pórfidos cupríferos, los cuales a menudo requieren inversiones considerables para infraestructura, deberían tener un tiempo de vida operativo de al menos 20-25 años.

Cuando se evalúa un depósito en su etapa inicial, se hace un estimado de la reserva potencial, la cual se divide entre 10, si las circunstancias requieren un tiempo de vida de 10 años. Esta es la capacidad anual necesaria para determinar los costos (Véase en el Capítulo 9).

- b) Basado en años de experiencia geológica y conocimiento de tipos particulares de mineralización, muchos campos mineros han recolectado valores prácticos que pueden ser aplicados para determinar el progreso óptimo de minado.

En la práctica, estos valores siempre deberían anular cualquier otra consideración teórica (Véase en el Capítulo 8.2). En el oeste Australiano, en la minería de Oro, por ejemplo, una regla práctica dice que el progreso óptimo de minado por año es de 100 ft., más o menos 30 m verticales. De esta manera se puede determinar rápidamente una capacidad anual a partir de la longitud del rumbo y el espesor de un depósito de veta.

Ejemplo. Una veta de Cuarzo-Oro, tiene una longitud de rumbo de 200 m y un espesor promedio de 1.5 m. ¿Cuál es la producción óptima anual para esta veta?

Puesto que es una veta de cuarzo, suponemos una densidad de 2.6g/cm^3 y se aplica la regla práctica del oeste Australiano que el progreso de minado no debe exceder 30 m/a verticales.

De aquí que el tonelaje anual es:

$$200 \bullet 30 \bullet 1.5 \bullet 2.6 = 23,400 \text{ t/a, redondeado a } 24,000 \text{ t/a.}$$

8.2 Fórmula para calcular el tiempo de vida óptimo.

Taylor (1977) llegó empíricamente a la fórmula para el tiempo de vida óptimo de un depósito:

$$\text{Tiempo de vida } n \text{ (en años)} \approx 0.2 \sqrt[4]{\text{tonelaje total de reserva esperada}} \quad (1)$$

o

$$\text{Tiempo de vida } n \text{ (en años)} \approx 6.5 \sqrt[4]{\text{tonelaje en millones de toneladas}} \quad (2)$$

Taylor, publicó la siguiente tabla:

Tabla VIII

Tonelaje esperado (Reservas) (10^6)	Tiempo de vida medio (años)	Rango de tiempo de vida (años)	Producción diaria promedio (t por día)	Rango de producción diaria (t por día)
0.1	3.5	3-4.5	80	65-100
1.0	6.5	5.5-7.5	450	400-500
5	9.5	8-11.5	1500	1250-1800
10	11.5	9.5-14	2500	2100-3000
25	14	12-17	5000	4200-6000
50	17	14-21	8400	7000-10000
100	21	17-25	14000	11500-17000
250	26	22-31	27500	23000-32500
350	28	24-33	35000	30000-42000
500	31	36-37	46000	39000-55000
700	33	28-40	60000	50000-72000
1,000	36	30-44	80000	65000-95000

Ejemplo. ¿Cuál es la capacidad óptima de la mina para una reserva potencial de 8 millones de toneladas de mineral?

Fórmula (1): $n \approx 0.2 \cdot \sqrt[4]{8 \cdot 10^6} = 10.64$ años;

Fórmula (2): $n \approx 6.5 \cdot \sqrt[4]{8} = 10.93$ años; por lo tanto el tiempo de vida óptimo es de 11 años.

8 millones de toneladas en 11 años, corresponde a una producción de 730,000 t/a.