11 Evaluaciones económicas.

Ahora que sabemos como calcular los réditos para una mina potencial de las leyes de un depósito a ser evaluado (Capítulo 7), como determinar el tiempo de vida de una mina (Capítulo 8) y como derivar costos de capital y de operación de la capacidad (Capítulo 9), tenemos todos los datos requeridos para llevar a cabo los cálculos económicos.
En evaluaciones económicas son distinguidos los métodos estáticos y dinámicos, a pesar que los métodos estáticos son raramente aplicados en la actualidad. A un nivel internacional, la evaluación económica de depósitos es hecha mediante métodos los cuales consideran el factor tiempo para inversiones y retornos, como el valor del dinero a través del tiempo, y están basados en formulas de interés compuesto.

Las siguientes notaciones y abreviaciones serán aplicadas:
-Inversiones, se abrevia: I.
-Réditos o ventas, se abrevia: Rev
-Costos, se abrevia: Co
-Ganancias de operación, se abrevia: OP, que es la diferencia entre réditos y costos: $OP = Rev - Co$; la ganancia de operación es el flujo de efectivo antes del interés y los impuestos.
-El flujo de efectivo después de los intereses e impuestos es el flujo neto de efectivo: NC
-El interés compuesto, se abrevia: i; para cálculos del rango compuesto es expresado como fracciones de 1; por ejemplo, el interés compuesto de 10% es i=0.1;
-El numero de años de operación, se abrevia: n; un año individual es n_j.

11.1 Métodos estáticos.

11.1.1 Coeficiente de rentabilidad.

Un sencillo coeficiente de rentabilidad es la relación de ganancias de operación OP y las inversiones I. Esto se aplica cuando, en lugar de comprar un depósito directamente, alguien compra acciones en una compañía que controla el depósito y esperando dividendos anuales de la compañía.

$qp = \frac{OP}{I} = \frac{0.75}{10} = 0.075$, el rendimiento es 7.5%.

11.1.2 Cálculo de la renta.

Por lo general, los métodos estáticos son aplicados para el cálculo de renta de equipo. Los factores siguientes son de suma importancia:

-El tiempo de vida o periodo de depreciación (no son necesariamente idénticos), como el numero de años n sobre los cuales la inversión I es extendida. La depreciación anual D es:

$$D = \frac{I}{n}.$$

-Costos de mantenimiento y servicios M, usualmente se supone como un porcentaje p de la inversión inicial (por lo general 10-20%). Los costos de mantenimiento son $M = I \bullet p$.

-El pago de intereses Pi a un rango de interés i. El pago de intereses es calculado por el promedio del capital inmovilizado. Como lo muestra la Figura 20, el promedio del capital inmovilizado es I/2. De esto el pago anual de intereses es:

$$Pi = \frac{I}{2} \bullet i.$$

De estos tres elementos la renta anual R puede ser expresada como:

$$R = D + M + Pi;$$

$$R = I(1/n + p + i/2).$$

Ejemplo. Un sistema de soporte de techos para una mina subterránea de carbón cuesta DM 3,000,000. EL periodo de depreciación es de 6 años, los costos de mantenimiento por año son del 10% del precio de compra, la tasa de interés compuesta de 8%. ¿Cuál es la renta anual?

-Depreciación: $D = \frac{1}{n} = \frac{3{,}000{,}000}{6} = 500{,}000\ \text{DM}$

-Costos de mantenimiento: $M = I \bullet p = 3{,}000{,}000 \bullet 0.1 = 300{,}000\ \text{DM}$

-Pago de interеses: $Pi = \frac{I}{2} \bullet i = \frac{3{,}000{,}000}{2} \bullet 0.8 = 120{,}000\ \text{DM}$

Obteniendo un costo de renta por año de: $R = 920{,}000\ \text{DM/a}$

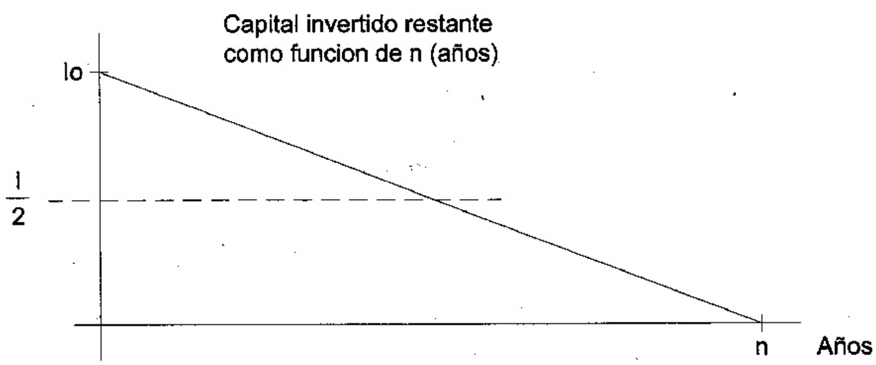


Figura 20. Desarrollo del capital a lo largo de un periodo de tiempo.

11.1.3 Periodo de reembolso.

Hablando estrictamente, el cálculo del periodo de reembolso, es decir el número de años necesarios para pagar las inversiones de los flujos netos de efectivo, también caen bajo el encabezado de métodos estadísticos. Para proyectos de minado viables, los periodos de reembolso están entre 3 y 8 años, por lo general. En países de alto riesgo, se requieren periodos de reembolso más cortos que en países estables.

Ejemplo. Un proyecto tiene los siguientes flujos netos de efectivo disponibles para el pago de inversiones de DM 25 Millones.

Año	1	2	3	4	5	6	7
Flujos netos de efectivo en Millones DM	6.5	7.5	8.5	8.5	8.5	7.0	6.0
Flujos netos de efectivo acumulado en Millones DM	6.5	14.0	22.5	31.0	39.5	46.5	52.5

11.2 Métodos dinámicos.

11.2.1 Introducción.

Como se menciono en el Capítulo 11, los métodos dinámicos toman en consideración el valor del dinero a través del tiempo.

Todo mundo sabe intuitivamente lo que es el valor del dinero a través del tiempo. Si alguien invierte $ 1,000 en la actualidad y después de un año recibe $1,200, uno considera que es un buen negocio. Si tomáramos el dinero después de 20 años, no invertiría los $1,000, ya que una ganancia de $200 en un año tiene un valor considerablemente más alto que una ganancia igual después 20 años.

El valor del tiempo es calculado por medio de formulas de interés compuesto. Si una inversión de I=$1000 es hecha hoy a una tasa de interés de 10%, el valor es:

-después de 1 año: $I \bullet (1+i) = 1000 \bullet (1+0.1) = \$1100$

-después de 2 años: $I \bullet (1+i) \bullet (1+i) = 1000 \bullet (1+0.1)^2 = \$1210$

-después de 10 años: $I \bullet (1+i)^{10} = 1000 \bullet (1+0.1)^{10} = 1000 \bullet 2.594 = \$2594$

-en general, después de n años: $I \bullet (1+i)^n$

Este procedimiento puede ser revertido. Con una tasa de interés de 10%, $1000 serán $2594 en 10 años. Si $R = \$2594$ es el valor objetivo en mi inversión a 10 años. Tendría que invertir:

$$I = \frac{R}{(1+i)^{10}} = \frac{2594}{(1+0.1)^{10}} = \frac{2594}{2.594} = \$1000.$$

En otras palabras: Si obtengo $2594 en 10 años, el valor presente a una tasa de interés de 10% es de $1000. De esta manera, $1000 es el valor presente de $2594 a una tasa de interés del 10% en 10 años.

Para encontrar que tanto nos generara una inversión en n años, tenemos que capitalizar por $(1+i)^n$. Los factores $(1+i)^n$. por consiguiente llamados factores de capitalización. Si, sin embargo, queremos proyectar el valor R en el futuro y queremos saber que tanto es el valor de R en la actualidad, tenemos que descontar R por $\frac{1}{(1+i)^n}$.

El factor $\frac{1}{(1+i)^n}$ o $(1+i)^{-n}$ es por consiguiente llamado el factor de descuento q^{-n}. Como se mostrara más delante, el factor de descuento es la parte más importante en nuestros cálculos. Trataremos dos métodos dinámicos, también llamadas técnicas DCF (flujo de efectivo descontado-discounted cash flow) con las que se trataran. Los dos métodos DCF bajo investigación son:

-el cálculo del valor presente neto (VPN-NPV);

-el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR-IRR o IROR).

El cálculo del flujo de efectivo es el resumen de un estudio de viabilidad o de pre-factibilidad. Durante la etapa de viabilidad un equipo de geólogos, ingenieros mineros, metalurgistas, economistas, etc., trabajan juntos. El cálculo del flujo de efectivo, el cual puede consumir mucho tiempo, es usualmente preparado por economistas.
Este estudio tratara solamente cálculos de flujo de efectivo simples, un geólogo o un ingeniero minero tienen que hacer una etapa de pre-factibilidad de un proyecto con el fin de establecer si vale la pena seguir un proyecto de exploración. Una vez que los principios son entendidos, el cálculo real puede ser llevado a cabo usando simplemente calculadoras de bolsillo que incorporen las funciones financieras necesarias.

11.2.2 Elementos del cálculo de flujo de efectivo.

En cálculos de flujo de efectivo solamente los flujos reales de dinero de un proyecto son considerados. De aquí que las depreciaciones y periodos de depreciación no son de importancia directa. La depreciación es una medida de contabilidad para calcular las deducciones de impuestos. Los periodos de depreciación solamente tienen una influencia indirecta en los cargos de impuestos, los cuales son pagos reales anuales y por consiguiente son incluidos en los flujos de efectivo. Sin embargo, si no se paga impuestos, como es el caso de la industria de minería de Oro Australiana hasta ahora, entonces la depreciación para el propósito del cálculo de flujo de efectivo es completamente irrelevante.

Los cálculos de flujo de efectivo son hechos en tablas (Como se ve en las Tablas XII y XIV) con el fin de poner los flujos de efectivo de un solo tipo en un año completo. Generalmente, se hace una suposición simplificada, la cual adoptaremos, que todos los flujos de efectivo son realizados al fin de un año en específico.
Los elementos de un cálculo de flujo de efectivo con flujos de dinero individuales son mostrados en la Figura 21:

a) Inversión I
En una tabla de flujos de efectivo (Figura 21) los años de inversión son generalmente marcados como
negativos, y los años de producción como positivos.

b) Costos (Co) y réditos (Rev)
La diferencia entre réditos y costos de operación es la ganancia de operación (OP). Si una inversión es financiada completamente por equidad, solamente los impuestos y derechos tienen que ser deducidos para llegar al flujo neto de efectivo. Si, sin embargo, el capital externo tiene que tomarse prestado entonces el interés en este capital también debe deducirse.

c) Reinversiones (Re)

Por lo general, las reinversiones tienen que ser hechas a lo largo de los años. El tiempo de vida de operación del equipo de minado como los cargadores raramente es el mismo que el de la mina.

d) Recuperación del capital de trabajo
En las etapas iniciales de la operación de minado, el capital de trabajo tiene que ser provisto (como parte de la inversión inicial) el cual fluye de regreso al final del tiempo de vida de la mina. Un ejemplo: los concentrados regularmente son llevados a un puerto y puestos en almacén esperando el embarque. El buque de carga, sin embargo, viene cada 3 meses, así, la mina recibe los pagos para estos concentrados solo cada 3 meses y de aquí necesita capital de trabajo para al menos 3 meses en adelanto para poder pagar sueldos y financiar mientras tanto la compra de material.

e) Réditos del valor de rescate de una mina
En un depósito que ha sido minado, la planta aun conserva un valor de rescate. El equipo puede ser vendido como de segunda mano o como usado, a otra compañía que posea una planta. La mina cerrada será acreditada con la cantidad.

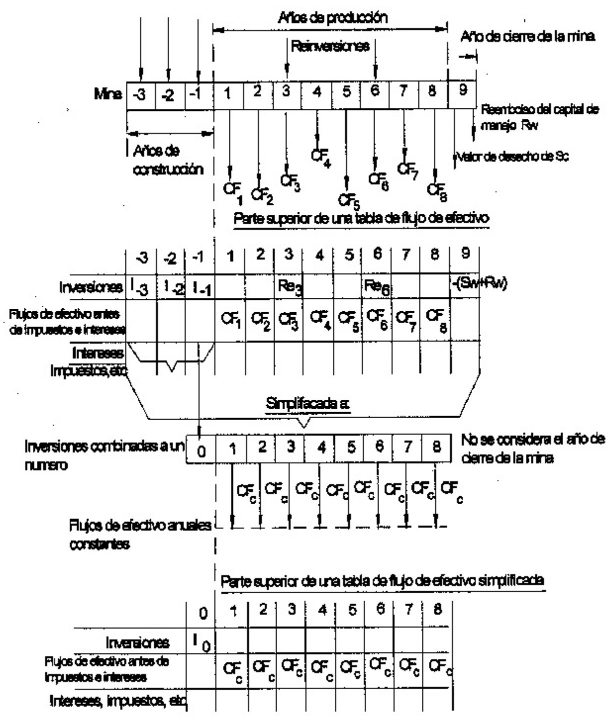


Figura 21. Flujos de efectivo de un proyecto.

Los cálculos completos del flujo de efectivo pueden ser complicados, y consumir mucho tiempo y por lo general se realizan con computadoras. Para nuestras estimaciones en la etapa inicial haremos las siguientes suposiciones simplificadas (Véase en la Figura 21):

a) Suponemos que todas las inversiones de capital ocurrieron en 1 año, o año 0. Combinamos las inversiones de los años de inversiones individuales y le agregamos el interés generado durante el periodo de construcción hasta el inicio de la mina (capitalización del interés durante la fase de construcción). Esto es, de hecho, la cifra la cual actualmente aparecerá como la suma del total de inversiones de capital.
b) Descontamos todos los flujos de efectivo al término del año 0 (o la principio del año 1, que es el primer año de producción, lo cual es lo mismo). Esto implica que el flujo de efectivo del primer año de producción (el cual esperamos que sea realizado al fin del año, como se ve arriba) ya esta descontado por q^{-1}.
c) Despreciamos los flujos de efectivo especiales "recuperación del capital de trabajo" y "réditos del valor de salvamento" adeudados al final de la vida de la mina. Como se vio en el Capítulo 11.2.3.1, mientras mas tarde ocurran los flujos de efectivo, menor es su influencia en los parámetros económicos a ser calculados. En la actualidad, es generalmente esperado que el cierre de una mina acarrea inversiones adicionales para rehabilitación y otras medidas ecológicas. Los costos ambientales pueden ser bastante substanciales, particularmente en el caso de los depósitos de Uranio. Es más que probable que estas inversiones finales consuman algunos réditos especiales.
d) Como será demostrado en el Capítulo 11.2.3.3, los cálculos del flujo de capital pueden ser considerablemente simplificados si flujos de efectivo son idénticos que ocurren cada año de producción. Para este propósito, las reinversiones tienen que ser uniformemente distribuidas entre todos los años y los costos de operación aumentados entre 2 y 3% de los costos de operación reales.

11.2.3 Valor Presente Neto-VPN (Net Present Value-NPV).

11.2.3.1 Introducción. Cuando aplicamos le método del valor presente neto, los flujos de efectivo netos (NC), son descontados a una tasa de interés dada i, y las inversiones I deducidas de la suma de los flujos de efectivo netos descontados:

$$NPV = \left[\sum \left(NC_j \bullet q_j^{-n}\right)\right] - 1.$$

El valor presente neto, indica al inversionista, el valor de una inversión potencial en un depósito que aun no se encuentra en producción, tomando en consideración los siguientes factores:

-inversiones I,
-los flujos netos anuales de efectivo individuales NC (flujo de efectivo después de impuestos y posibles intereses),

-la fecha para los flujos netos de efectivo son determinados por los factores de descuento como funciones del año n_j, en el cual el flujo de efectivo es realizado,
-el riesgo inherente en la inversión a la tasa de interés seleccionada i (Véase abajo).

Ejemplo. Un proyecto de minado, requiere una inversión de 45 Millones DM, el interés durante la construcción es incluido. El flujo neto anual de efectivo es de 10 Millones DM quedando igual durante 10 años y una tasa de descuento de 15%, i=0.15, queda igual también. El método de cálculo es descrito en la Figura 22.

Calculamos los factores de descuento q^{-n} para $q = 1 + i = 1.15$ y multiplicándolos por los flujos netos anuales de efectivo NC.

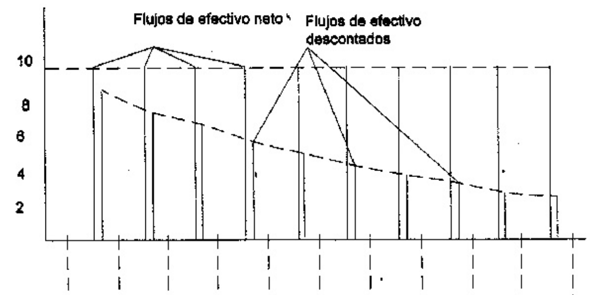
La suma de los flujos netos de efectivo por años del 1 al 10 en la ultima línea es de 50.3 Millones DM. De acuerdo con la formula anterior, el valor presente neto es:

$$NPV = \left[\sum_{j=1}^{10}\left(NC \bullet q_j^{-n}\right)\right] - 1 = 50.3 - 45 = 5.3 \text{ Millones DM.}$$

Si el inversionista espera ganar un interés del 15% en su capital, tendria que evaluar el proyecto en 5.3 Millones DM antes de hacer la inversión.

Por supuesto, el valor presente neto depende principalmente de la tasa de interés elegida. En muchas firmas hay normas internas disponibles. Por lo general, las tasas de bonos del gobierno se escogen como normas, como las inversiones de capital a largo plazo con el más bajo riesgo. Si estos bonos tienen una tasa de interés de 10%, el factor de descuento para nuestro proyecto de mina tendrá que ser de al menos 15% con el fin de compensar el riesgo que existe en el minado. Los sobrecargos de riesgo pueden ser cuantificados calculando el llamado Factor β.

La Figura 22 muestra claramente el rápido descenso del valor presente neto en los años de operación individuales. El factor $q^{-n} = \frac{1}{(1+i)^n}$ está en términos de una serie geométrica negativa. En el ejemplo anterior, el flujo de efectivo neto de 10 Millones DM en el año 1 tiene un valor presente neto de 8.7 Millones DM, y el del año 10, sin embargo, un valor de 2.5 Millones DM, solamente el 29% del valor neto del año 1. Si un proyecto funciona durante muchos años, como unos 25 años, con flujos netos de efectivo sin cambios y una tasa de interés del 15%, los últimos 5 años (20% del tiempo de vida total de la mina) aporta solamente el 3% a la suma total del valor presente neto.



Año nj	1	2	3	4	5	6	7	8		
Flujos netos de efectivo DC (Millones DM)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Factores de descuento $q^{-n}j = \frac{1}{(1+i)^{n}j}$ para i=0.15	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25
Flujos de efectivo descontados q^{-n} j NC (en Millones DM)	8.7	7.6	6.6	5.7	5.0	4.3	3.8	3.3	2.8	2.5

Figura 22. Proceso para el cálculo con el método del valor presente neto.

De aquí la critica que ocasionalmente es hecha contra las aplicaciones de este método, particularmente con consideraciones de proyectos de largo tiempo de vida. La razón es que la serie geométrica (positiva) incremental realiza un ascenso lento al principio y después incrementa mas rápidamente, con series de caída mostrando un comportamiento opuesto. En el Capítulo 13 en las tasas de crecimiento regresaremos a este punto.

11.2.3.2 Cálculos con flujos de efectivo anuales distintos. A pesar que en el ejemplo en el Capítulo 11.2.3.1 se supuso que los flujos de efectivo serian iguales con el fin de ilustrar el principio, el proceso de cálculo fue llevado como si estuviéramos tratando con flujos de efectivo anuales diferentes. EL valor presente neto es:

$$NPV = \left[\sum \left(NCj \bullet q_j^{-n}\right)\right] - I$$

con $q = 1 + i$ y siendo i la tasa de interés dada, y n el año especifico.

11.2.3.3 Cálculos con flujos de efectivo anuales iguales. Cuando los flujos de efectivo relevantes (CF) son iguales para cada año de producción, los cálculos pueden ser simplificados considerablemente.

En el ejemplo del Capítulo 11.2.3.1 escogimos el siguiente método de cálculo:

$$\Sigma = 10 \bullet \frac{1}{(1+i)^1} + 10 \bullet \frac{1}{(1+i)^2} + 10 \bullet \frac{1}{(1+i)^3} + \ldots + 10 \bullet \frac{1}{(1+i)^n}.$$

Esto puede ser expresado de manera diferente como:

$$\Sigma = 10 \bullet \left[\frac{1}{(1+i)^1} + \frac{1}{(1+i)^2} + \frac{1}{(1+i)^3} + \ldots + \frac{1}{(1+i)^n} \right].$$

La suma encerrada en los paréntesis es la suma de una serie geométrica la cual puede ser sintetizada de la manera siguiente:

$$b_n = \frac{q^n - 1}{q^n \bullet (q-1)}$$

con q siendo otra vez $1+i$, entonces:

$$\Sigma = CF_j \bullet b_n.$$

El factor b_n es llamado factor de valor de anualidad presente (también llamado factor de valor presente uniforme discreto). De esta manera la formula para el valor presente neto con flujos de efectivo anuales iguales puede ser escrita como:

$$NPV = CF \bullet b_n - I.$$

Ejemplo. Regresando al ejemplo del Capítulo 11.2.3.1 con flujos netos de efectivo anuales de 10 Millones DM, dada una tasa de interés de 15%, una vida de mina de 10 años y la inversión de 45 Millones DM, b puede ser simplemente calculada:

$$b_n = \frac{q^n - 1}{q^n \bullet (q-1)} = \frac{1.15^{10} - 1}{1.15^{10} \bullet (1.15-1)} = 5.02$$

y el valor presente neto es:

$$NPV = NC \bullet b_n - I = 10 \bullet 5.02 - 45 = 5.2 \text{ Millones DM}.$$

(La diferencia entre el resultado 5.3 en el Capítulo 11.2.3.1 y 5.2 en este, es debido al redondeo.)

11.2.4 La Tasa Interna de Retorno-TIR (Internal Rate of Return-IRR o IROR).

11.2.4.1 Derivación del método de la Tasa Interna de Retorno del método del Valor Presente Neto. El factor $q^{-n} = \frac{1}{(1+i)^n}$ siendo parte de una serie geométrica negativa, el valor presente neto disminuirá, cuando la más alta tasa de interés sea aplicada. El siguiente ejemplo servirá:

Ejemplo. Un proyecto de minado requiere inversiones de 50 Millones DM. El flujo neto de efectivo durante 12 años e de 12 Millones DM/año. Calcular el valor presente neto de este proyecto a una tasa de interés de 10, 20 y 30%. Ya que los flujos de efectivo son constantes, seguimos el procedimiento del Capítulo 11.2.3.3:

Paso 1: El factor de anualidad del valor presente neto para n=12 años, y 10% [i=0.1, q= (1+i)=1.1] es:

$$b_n = \frac{q^n - 1}{q^n \bullet (q-1)} = \frac{1.1^{12} - 1}{1.1^{12}(1.1-1)} = 6.81.$$

De igual manera, para 20%: $b_n = 4.44$;
y para 30%: $b_n = 3.19$.

Paso 2: La formula para el valor presente neto es:

$NPV = NC \bullet b_n - I$
De esta manera el valor presente neto es:

Para una tasa de interés del 10%:	$12 \bullet 6.81 - 50 = 31.7$ Millones DM.
Para una tasa de interés del 20%:	$12 \bullet 4.44 - 50 = 3.3$ Millones DM.
Para una tasa de interés del 30%:	$12 \bullet 3.19 - 50 = -11.7$ Millones DM.

Estos resultados están trazados en la gráfica de la Figura 23.

La curva en la Figura 23 intersecta al eje x en el 21.7%, es decir, el punto donde el valor presente neto es igual a 0. Este punto es la tasa interna de retorno, o también llamada tasa interna de retorno proyecto.
Con el método de la tasa interna de retorno, se elige la tasa en la cual la suma de los flujos netos de efectivo descontados o, en casos especiales los flujos de efectivo descontados totales sean iguales a las inversiones. Basado en las ecuaciones del Capítulo 11.2.3.3 para igualar los flujos de efectivos anuales llegamos a los siguientes términos:

Flujos de efectivo distintos: $I = \Sigma(CF_j \bullet q_j^{-n})$.

Flujos de efectivo iguales: $I = CF_j \bullet b_n$.

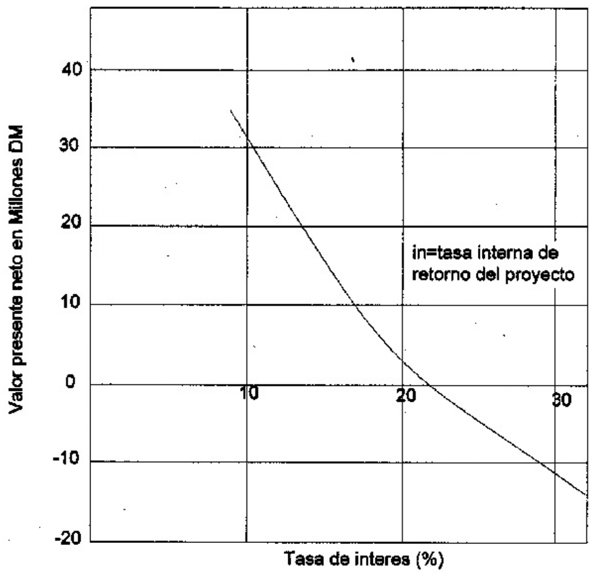


Figura 23. Derivación por interpolación de la tasa interna de retorno del método del valor presente neto.

11.2.4.2 Cálculos con flujos de efectivo anuales diferentes. Si un proyecto tiene flujos de efectivo anuales diferentes, la tasa interna de retorno no puede ser calculada directamente y tiene que ser determinada mediante un proceso de iteración. Hay calculadoras disponibles en la actualidad para iteraciones automáticas. En caso de que el proceso de iteración tenga que realizarse a mano, el siguiente ejemplo demostrara el método de cálculo.

Ejemplo. Un pequeño proyecto de minado de una veta requirió de una inversión de 28 Millones DM, incluyendo el interés durante su construcción. Los flujos netos de efectivo son listados en la Tabla XIIa. Para la primera prueba, se elige una tasa de retorno del 20% (i=0.2).

Tabla XIIa

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Inversion (Millones DM)	28.0								
Flujos netos de efectivo (en Millones DM)		6.5	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5
Factores de descuento q^{-n} para i=0.20(20%)		0.833	0.694	0.579	0.482	0.402	0.335	0.279	0.233
Flujos netos de efectivo descontado $q^{-n} \bullet NC$ (en Millones DM)		5.41	6.59	5.21	4.10	3.22	2.51	1.95	1.51

Tabla XIIb

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Factores de descuento para		0.800	0.640	0.512	0.410	0.328	0.262	0.210	0.168
$q^{-n} = \frac{1}{(1+i)^n}$ para i=0.25		6.5	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5
Flujos netos de efectivo descontado $q^{-n} \bullet NC$ (en Millones DM)		5.20	6.08	4.61	3.49	2.62	1.97	1.47	1.09

De esta manera, $\Sigma(q^{-n} \bullet NC) = 30.50$, siendo la ecuación:
$I - \Sigma(q^{-n} \bullet NC) = 28 - 30.50 = -2.5$ que es negativo.

Los flujos netos de efectivo no han sido descontados lo suficiente. En el próximo paso escogeremos una tasa de 25%.

De esta manera, $\Sigma(q^{-n} \bullet NC) = 36.53$, siendo la ecuación:

$I - \Sigma(q^{-n} \bullet NC) = 28 - 26.53 = +1.47$ que es positivo.

En este caso, los flujos netos de efectivo han sido descontados demasiado. De esta manera la tasa interna de retorno, a la cual la ecuación $I - \Sigma(q^{-n} \bullet NC)$ es 0, se encuentra entre 20 y 25%, puesto que la diferencia en el segundo intento es meno que en el primero. La solución puede ser encontrada mediante una simple interpolación, ya sea mediante una gráfica o por cálculos. La solución en gráfica es mostrada en la Figura 24.

Mediante cálculo, la interpolación es como sigue:

$$\frac{28-26.53}{30.5-26.53} \bullet (25-20) = 1.85.$$

De esta manera el punto buscado es $25-1.85=23.15$, obteniendo que la tasa de retorno en la cual la suma de los flujos netos de efectivo descontado es igual a la inversión, es:

$i = 23.2\%.$

Un cálculo mas exacto el cual reduciría la diferencia entre I y NC a <0.01 seria 23.01. Para el propósito de nuestras evaluaciones preliminares, tales como las mostradas anteriormente son suficientemente exactas.

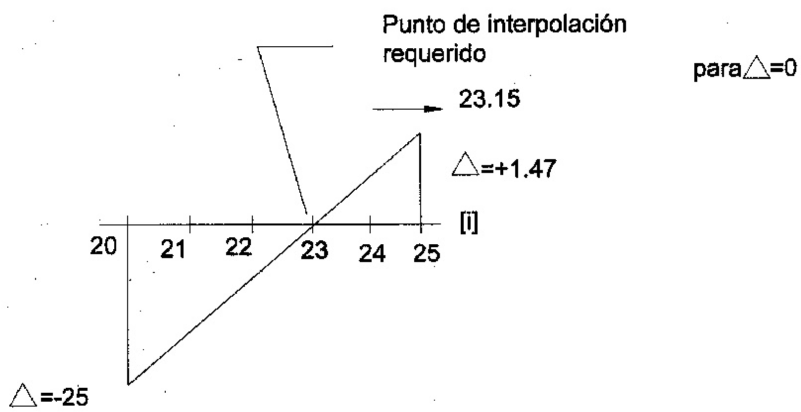


Figura 24. Interpolación para determinar la tasa interna de retorno.

11.2.4.3 Cálculos con flujos de efectivo anuales iguales. El tedioso procedimiento de interpolaciones del Capítulo anterior, pueden ser evitadas en las etapas iniciales de la evaluación de un depósito calculando con flujos netos de efectivo iguales. La ley promedio del depósito puede ser aproximada a una etapa inicial. Podría ser pedante suponer diferentes leyes para cada año. Para costos de operación y de capital, las cifras basadas en la experiencia y precedentes están disponibles. Suponemos que los costos de operación serán constantes en todo el periodo de producción (para una justificación de esta suposición véase en el Capítulo 9.2.1). De la diferencia entre réditos menos costos obtenemos la ganancia de operación. Es aceptado prácticar en las etapas primeras de una evaluación de un proyecto para determinar mediante la ganancia de operación la tasa interna de retorno antes de los impuestos, bajo la suposición de que el proyecto es 100% financiado, así que no se acumularan intereses por deudas. Si los pagos constantes de impuestos anuales, son supuestos también (Véase en el Capítulo 11.3), una tasa interna de retorno después de impuestos puede ser determinada empleando un flujo de efectivo anual igual (es decir, con flujos netos de efectivo, NC).

De aquí que los pagos de intereses y, como consecuencia, los impuestos generalmente ocurren distribuidos a lo largo de los años de manera irregular, los flujos anuales de efectivo diferentes son inevitables en caso de financiamiento de deuda ya que se involucran en la evaluación de un proyecto, así que el procedimiento descrito en el Capítulo 11.2.4.2 debería ser aplicado.

Si las ganancias de operación pueden ser supuestas como constantes, la tasa interna de retorno es determinada por la ecuación:

$I = OP_c \bullet b_n$, es decir $b_n = \frac{I}{OP_c}$.

El valor b^n puede ser interpolado de las cifras tabuladas.

Ejemplo. Las inversiones para un proyecto de mina equivalen a I= $40 Millones, las ganancias anuales de operación (OP)= $12.5 Millones. La mina tiene un tiempo de vida de 10 años. ¿Cuál es la tasa interna de retorno i?

$$b_n = \frac{I}{OP_c} = \frac{40}{12.5} = 3.2.$$

De la Tabla 5 del Apéndice tomamos para n=10:

Interpolando otra vez (véase el ejemplo al final del Capítulo 11.2.4.2) obtenemos i=0.289, es decir una tasa interna de retorno de 28.9% (el valor exacto 28.8, una diferencia insignificante). Los cálculos con los factores de anualidad del valor presente son idealmente ajustados para estimaciones rápidas de equilibrio (Véase en el Capítulo 11.7) o para el cálculo de un objetivo mínimo del cual el ejemplo siguiente sirve como ilustración.

Ejemplo. En un programa de exploración de Oro hay indicaciones que un cuerpo mineral de 250,000 t puede ser probado. El minado será subterráneo. La recuperación de minado es estimada en un 85%. EL tiempo de vida de la mina debería ser de al menos 8 años. Las pruebas preliminares de beneficio indicaron una recuperación del 90%. Los costos de inversión fueron estimados en $12 Millones, los costos de operación en 90$/t.

¿Cuál debería ser la mínima ley promedio de Oro si se supone un precio base del Oro de 400 \$/oz y la compañía minera espera una`tasa interna de retorno mínima de 24% antes de impuestos?

Paso 1: Con una extracción de minado de 85% y un tiempo de vida de 8 años, y reservas de 250,000 t, se producirá un tonelaje anual de:

$$\frac{250{,}000 \bullet 0.85}{8} \approx 27{,}000 \text{ t/a.}$$

Paso 2: El factor de anualidad del valor presente para 24% (i=0.24) es:

$$b_n = \frac{q^n - 1}{q^n \bullet (q-1)} = 3.42$$

con: $q = 1 + i = 1 + 0.24 = 1.24$ y $n = 8$.

Paso 3: Con inversiones de \$12 Millones la ganancia anual de operación debe ser:

$$I = OP \bullet b_n$$

$$OP = \frac{I}{b_n} = \frac{12}{3.42} = \$3.51 \text{ Millones.}$$

Paso 4: Con un tonelaje anual de 27,000 t/a, esto es por tonelada de mineral:

$$\frac{3.51 \bullet 10^6 I}{27{,}000} = 130 \text{ \$/t.}$$

Paso 5: Los costos de operación de 90 \$/t tienen que agregarse a las ganancias de operación de 130 \$/t para llegar a los réditos mínimos, es decir, el rédito mínimo =90+130=220 \$/t.

Paso 6: A un precio del Oro de 400 \$/oz, 220 \$/t=055 oz/t o 17.1 g/t (1 oz=31.103 g, como se ve en el Capítulo 1.1.4).

Paso 7: Con una recuperación de beneficio de 90% (ε=0.9, véase en el Capítulo 6.3) el mineral in situ debe tener la ley mínima siguiente así que los requerimientos de rentabilidad mínimos son cumplidos:

$$\frac{17.1}{\varepsilon} = \frac{17.1}{0.9} = 19 \text{ g Au/t de mineral in situ.}$$

Tales cálculos permiten al geólogo decidir rápidamente:

-si una ley en particular puede ser obtenida y si es así, que procedimientos son requeridos para obtener esta ley, o
-debería esta ley ser inasequible, si el tonelaje necesita ser incrementado para garantizar una rentabilidad mínima a pesar de las bajas leyes. En correspondencia a los cálculos de leyes mínimas en el ejemplo anterior, el tonelaje mínimo puede también ser calculado, si se da una ley máxima fija.

Si la evaluación muestra que las leyes mínimas no pueden ser obtenidas por el potencial reconocible ni el máximo tonelaje por la tendencia de la ley reconocible, mas allá de las pruebas, es dado el criterio para abandonar.

11.3 Impuestos.

Los geólogos tienden a ser de la opinión que las preguntas acerca de los impuestos no les conciernen. Últimamente, sin embargo, los impuestos son costos los cuales la mina tiene que sostener. Con los impuestos altos las leyes de un depósito tienen que ser mas altas que con impuestos bajos o sin impuestos. Esto afecta el contenido de metal requerido de manera diferente si tengo que pagar 35% de impuestos como en Indonesia o 46% como en Australia hasta hace poco. A menudo los derechos de autor independientes de ganancias son añadidos, los cuales pueden ser considerables elementos de costos, particularmente en el caso de minas de carbón y campos petroleros.

Para fomentar las nuevas inversiones en la minería, varios países han introducido incentivos de impuestos tales como bonificación de agotamiento (por ejemplo, en los EE.UU.) o aceleración o incremento de las tasas de depreciación. Un análisis detallado iría más allá de los objetivos de este libro. Cuando la evaluación preliminar de un depósito requiere que el régimen de impuestos sea tomado en consideración, debería ser aconsejable consultar la información de impuestos proporcionada por las grandes compañías auditoras y consultorías de impuestos tales como Arthur Anderson, Coopers and Lybrand, Peat Marwick y Mitchell, Price Waterhouse, etc., quienes publican en la mayoría de los países, generalmente, sin costo alguno.

Los derechos de autor son determinados por la legislación minera nacional. Para información de la legislación minera en países extranjeros, uno tiene que consultar las embajadas con publicaciones de las firmas auditoras antes mencionadas. La compañía Coopers and Lybrand regularmente publica un resumen de reglas de impuestos de minería extranjera.

El problema del impuesto requiere una observación en principio. En países Anglo-Sajones se pone un gran énfasis en el presupuesto anual. Junto con el presupuesto son publicados también, los cambios anuales en los impuestos o tasas de depreciación. Desde que nuestra evaluación de una mina potencial tiene que hacer suposiciones viendo al futuro, los impuestos y términos de derechos de autor validos al tiempo que el proyecto sea probable que se realice son factores desconocidos. Uno debería, por consiguiente, siempre trabajar con regulaciones de impuestos básicas. Si un proyecto parece ser de interés solamente porque una concesión especial o una escapatoria en el sistema actual de impuestos son favorables, difícilmente vale la pena proseguir. Los incentivos de impuestos pueden rápidamente ser anulados.

En cada país la carga de los impuestos pueden ser reducidas deduciendo una cierta proporción de las inversiones de capital de la tasa básica de impuestos, la llamada depreciación. Las tasas de depreciación son parte de la legislación de impuestos. Por lo general, los detalles se pueden obtener de las publicaciones de las compañías consultoras internacionales de impuestos.
Hay dos maneras básicas de calcular la depreciación: la depreciación lineal y la no lineal (depreciación en un balance en decadencia).

a) En el caso de la depreciación lineal la inversión es simplemente dividida entre el número de años del periodo de depreciación. EL resultado es la tasa de depreciación anual. Si hemos invertido $ 60 Millones y depreciamos esta cantidad durante el tiempo de vida de trabajo de la mina, es decir 8 años, la tasa de depreciación es de 60:8= $ 7.5 Millones/a.
b) Con la depreciación no lineal o depreciación en un balance en decadencia, las tasas deducidas disminuyen año con año (Tabla XIII).

Ejemplo. La suma de inversión es otra vez $ 60 Millones. La tasa de depreciación es 20% en un balance en decadencia. Las cantidades depreciadas anuales se desarrollan progresivamente (Tabla XIII).

Tabla XIII

Año	Base para el calculo de la depreciación	Depreciación
1	60 Millones $	12 Millones $
2	60 - 12 = 45 Millones $	9.6 Millones $
3	48 - 9.6 = 38.4 Millones $	7.7 Millones $
4	38.4 - 7.7 = 30.7 Millones $	6.1 Millones $
5	30.7 - 6.1 = 24.6 Millones $	4.9 Millones $
	etc.	

La Tabla XIII muestra que a través de la depreciación no lineal las cantidades más altas pueden ser depreciadas durante los primeros tres años de operación que con la depreciación lineal; que solo después del año 4 en adelante las cantidades se hacen más pequeñas. Como hemos observado en el Capítulo 11.2.3.1, los flujos de efectivo de los años iniciales tienen particularmente un fuerte efecto en la economía total del proyecto. Las tasas mas altas de depreciación disminuyen la carga de impuestos, de esta manera el aumento de los flujos netos de efectivo y mejorando la economía del proyecto.

Ya que las depreciaciones no lineales nunca logran el 100%, de un año en particular de depreciación es aplicado para resto o el resto es depreciado en el último año.

11.4 Equidad y financiamiento de deudas.

Otro aspecto importante en las evaluaciones económicas es la relación financiamiento equidad/deuda. El siguiente ejemplo explicara significado de estos términos:

Ejemplo. Un proyecto tiene una tasa interna de retorno (el proyecto entero) de 15%. Si la relación de capital es 1/3 equidad y 2/3 deuda y el último requiere un pago de interés de solo 10%, entonces la tasa interna de retorno en la equidad se incrementa. La diferencia entre el 15% de interés ganado y el 10% gastado en servicio del debito puede agregarse a la equidad, de esta manera incrementando la tasa de retorno de aproximadamente 2•5% a 25%.

Naturalmente, esta relación de engranaje puede también tener un efecto reversivo. Si un proyecto tiene una tasa interna de retorno de solo 6%, con 2/3 de debito financiado a una tasa de interés de 10%, entonces el interés de 10% debe ser pagado a pesar de la baja tasa interna de retorno y la diferencia de 10-6=4% debe ser restada del retorno de equidad (1/3 del capital total). Consecuentemente, la tasa de retorno de equidad es aproximadamente 6-(2•4)=-2%. El proyecto es por consiguiente una perdida.

El ejemplo también muestra que las relaciones variables de equidad/debito financiado, pueden considerablemente mejorar la economía de la equidad, en el caso extremo (equidad caso cero) que puedan alcanzar infinitamente una tasa de retorno alta, con tal de que la tasa interna de retorno es mas alta que los gastos del capital del débito.

Es por consiguiente preferible primero calcular la tasa de retorno sin engranaje, y determinar el retorno de equidad después. En países con minería industrializada, Canadá y EE.UU. en particular, es posible deber-financiar el 100% de los proyectos mineros. En países en desarrollo, los bancos requieren equidad de los dueños de las minas. Los términos pueden variar, pero una relación estándar es 3:1, es decir, 25% de equidad, 75% de capital de préstamo. Si un proyecto es 100% deudo-financiado, el cálculo de un retorno interno en equidad es superfluo. En este caso el valor presente neto sirve como criterio económico (Véase en el Capítulo 11.2.3).

11.5 Ejemplo de un cálculo de flujo de efectivo.

Para cálculos de flujo de efectivo los flujos de efectivo anuales se toman en consideración. Los ejemplos simplificados en la Figura 22 y la Tabla XII, en los cuales los flujos netos anuales de efectivo y ganancias de operación fueron considerados, ya representan cálculos de flujos de efectivo. Como se explico en el Capítulo 11.2.2, por simplicidad supondremos que todos los flujos de efectivo son debidos al final de un año.

No hay un método estándar para hacer cálculos de flujo de efectivo. Los pasos individuales dependen principalmente de los métodos del cálculo de impuestos y el modo de financiamiento.
Para ilustrar el esquema para una cálculo de flujo de efectivo, los pasos para llevarlo a cabo serán explicados.

Ejemplo. Un proyecto basado en metales, requiere una inversión de $55 Millones, el interés durante la construcción es incluido. La producción planeada es de 300,000 t/a. Los costos de operación son de 40 $/t. La mina recibe un retorno neto de fundición de 120 $ por tonelada de mineral (Véase el procedimiento de cálculo en el Capítulo 7.2). La mina tiene un tiempo de vida en operación de 8 años.

La inversión es el 100% deuda-financiada, es decir, por prestamos bancarios. La tasa de interés es de 12%. El estado donde la mina se localiza impone derechos de 5% de los réditos; el gobierno del país carga 46% de impuestos de las ganancias. Los derechos no son deducibles de impuestos, el interés, sin embargo, si lo es. Las inversiones pueden ser linealmente depreciadas durante el tiempo de vida de la mina.

Es necesario realizar los siguientes pasos:

Paso 1: De la producción anual y los réditos por tonelada de mineral, el retorno neto de fundición, obtenemos los réditos brutos:

300,000 t • 120 $/t = 36 Millones $/a.

Paso 2: De la producción anual y el costo por tonelada de mineral, obtenemos el costo total de operación por año:

300,000 t • 40 $/t = 12 Millones $/a.

Paso 3: De la diferencia entre réditos brutos y costos totales de operación por año obtenemos la ganancia de operación por año (o flujo de efectivo antes de intereses e impuestos):

36 Millones $/a - 12 Millones $/a = 24 Millones $/a = OP.

Paso 4: Los intereses tiene que ser pagados de la ganancia de operación, es decir, en el año 1 (el primer año de producción) 12% de $ 55 Millones, es decir, $ 6.6 Millones. En el año 2, los intereses serán menores, ya que el flujo neto de efectivo (Véase Paso h) es usado para pagar los prestamos bancarios tan pronto como sea posible. Los pagos de intereses disminuiran año tras año. Después del pago del préstamo entero (es decir, el periodo de reembolso en este caso, véase en el Capítulo 11.1.3) los intereses deben ser cero, ya que la inversión fue 100% deudo-financiada.

Paso 5: La base del impuesto, en la cual se carga el 46% de ganancia en impuesto, puede ser reducida por depreciación deducida (Véase en el Capítulo 11.3). Ya que las inversiones pueden ser depreciadas linealmente durante los 8 años de vida de la mina, $\frac{55}{8} = \$\,6.9\,\text{Millones}$ Pueden ser deducidas cada año.

Paso 6: El gobierno federal recibe un 46% de impuestos de ganancia después de los intereses y deducciones por depreciaciones.

Paso 7: El estado recibe un derecho de 5%, es decir, 1.8 Millones $/a en los réditos brutos anuales de 36 Millones $/a (Véase Paso a).

Paso 8: De la ganancia anual de operación de $24 Millones (Paso c) los impuestos de intereses (Paso f) y derechos (Paso g) tienen que ser deducidos. El resto es el flujo neto de efectivo después de intereses e impuestos., disponible para el pago de los préstamos o para los dividendos de los dueños de la mina después del periodo de reembolso.
La tabla de flujo de efectivo aparece en la Tabla XIV con todas las cantidades indicadas en Millones $.

Tabla XIV

Lines	Factor de calculo	Descripcion en el texto	Metodo de Calculo	Año n 0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Inverison 1 o resto del prestamo de financiamiento		En el año n, la cantidad de la diferencia de años n-1; linea 1- linea 10	55.0	55.0	44.2	32.7	20.5	7.5	0	0	0
2	Reditos brutos	a)			36	36	36	36	36	36	36	36
3	Costos de operación	b)			12	12	12	12	12	12	12	12
4	Ganancias de operación OP	c)	linea 2- linea 3		24	24	24	24	24	24	24	24
5	Interes (12%) en el resto del prestamo	d)	12% a la cantidad de la linea 2		6.6	5.3	3.9	2.5	0.9	0.0	0	0
6	Depreciacion	e)			6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
7	Impuesto base:Ganancia de operación menos interes menos depreciacion	f)	linea 4- linea 5- linea 6		10.5	11.8	13.2	14.6	16.2	17.1	17.1	17.1
8	Impuestos: 46% de las ganancias de operación despues de impuestos y depreciacion	f)	46% en la cantidad de la linea 7		4.8	5.4	6.9	6.7	7.5	7.9	7.9	7.9
9	Derechos: 5% en los reditos brutos (linea 2)	g)	5% en la cantidad de la linea 2		1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
10	Flujo de efectivo neto (flujo de efectivo despues de intereses, impuestos y derechos)	h)	linea 4- linea 5- linea 8- linea 9		10.8	11.5	12.2	13.0	13.8	14.3	14.3	14.3
11	Flujos de efectivo restante despues del pago del prestamo de financiamiento		linea 10- linea 1		0	0	0	0	6.3	14.3	14.3	14.3

Evaluacion del esquema de flujo de efectivo

A) Valor presente neto NPV

12	Flujos netos de efectivo descontado, NC, tasa de retorno i=15%	linea 10 x linea 13	9.4	8.7	8.1	7.4	6.9	6.2	5.4	4.7 $\sum=568$
13	Factores de descuento para i=0.15 (Vease Capitulo 11.2.3.1)	$q^{-n} = \frac{1}{(1+0.15)^n}$	0.87	0.76	0.66	0.57	0.5	0.43	0.38	0.33

NPV (a 15%)=56.8-1=1.8=$1.8 Millones

B) Periodo de reembolso (Vease linea 1)(Periodo de reembolso=4.6 años). Al final del año 4, hay un residuo de deuda de $7.5 Millones. Puesto que el flujo neto de efectivo en el año 5 fue de $13.8 Millones (Vease linea 10), se requiere el 54% del año 5 para cubrir la deuda restante.

C) Tasa interna de retorno. Algunas veces, se calcula una TIR del capital invertido del flujo neto de efectivo despues de impuestos e intereses. Este es un retorno despues de impuestos del total del capital invertido. Ya que el valor presente neto es muy bajo, la TIR es apenas del 15.9%.

11.6 Análisis de sensibilidad.

Los cálculos de flujo de efectivo llevados en los capítulos precedentes claramente indican el impacto del precio de los metales. Si el precio del metal en el ejemplo en el Capítulo 11.5 es incrementado un 10%, el retorno neto de fundición también se incrementara un 10% de 120 $/t a 132 $/t, o para el año entero. De 36 Millones $/a hasta 36.6 Millones $/a.

Ya que los costos de operación no son influenciados por los precios de los metales una ganancia de operación de $39.6-12=27$ Millones $/a tiene que ser hecha comparada con 24 Millones $/a en nuestro caso base., es decir, un incremento de 15%. Si nosotros ahora volvemos al flujo neto de efectivo y repetimos el cálculo listado en la Tabla XIV usando un precio del metal, el cual es 10% mas alto, el flujo neto de efectivo se incrementara 16% comparado con el caso base, es decir, un incremento (y, viceversa, una disminución) en el precio de los metales hacen desproporciones en el resultado económico final.

El Capítulo 2 demuestra como obtener suposiciones de precios razonables. A menudo, uno no trabajara con una suposición de precio sencilla, pero con un número de variaciones de precios, es decir, un espectro de precios. Los cálculos económicos para valores individuales de este espectro de precio, generalmente 10% y 20% del caso base, son llevados repetidamente y los resultados se plasman en un diagrama de sensitividad.

Para estudios completos de viabilidad es esencial que los parámetros adicionales tales como las leyes de mineral, reservas, costos de operación, costos de capital, etc., sean también variados, ya que aun en un estudio detallado, estos factores quizás tengan una precisión de 10-20%. Sin embargo, las variaciones de precios usualmente tienen el impacto más significativo. Por consiguiente, un análisis de sensitividad para un rango de precios debería estar ya hecho en la etapa de prefactibilidad.

Ejemplo. Se ofrece un depósito de Oro en Australia. Las reservas deberían permitir una operación de 25,000 t/a durante 8 años. Las leyes después de la dilución fueron calculadas a 25 g Au/t. Las pruebas de beneficio dan una recuperación de 80%. Los costos de operación fueron estimados a 120$/t, los costo de capital (incluidos los intereses durante la construcción) a $10 Millones. La inversión es 100% equidad-financiada. El minado de Oro en Australia fuera hasta ahora libre de impuestos. (Para explicar el principio mas claramente, se toma un caso libre de impuestos.)
Llevando un análisis de sensitividad y haciendo un diagrama de sensitividad.
El caso base supone un precio del Oro de 400 $/oz, con variaciones de +/- 100 $/oz.

1) Caso base 400 $/oz Au.

Con un precio de Oro de 400 $/oz, un factor de conversión de 31.103 g para 1 oz (Véase en el Capítulo 1.1.4), una recuperación de 80% (ε=0.8) y una producción anual de 25,000 t/a, los réditos anuales de la mina son:

$$400 \bullet \frac{25}{31.103} \bullet 0.8 \bullet 25{,}000 = 6.430 \text{ Millones \$/a.}$$

Los costos anuales de operación son: $120 \bullet 25{,}000 = 3 \text{ Millones \$/a.}$ De esta manera la ganancia de operación de la mina es = 3.430 Millones $/a.
Ya que el proyecto es equidad-financiado y el minado de Oro es libre de impuestos, la ganancia de operación es igual al flujo neto de efectivo. Por consiguiente una simple tabla de flujo de efectivo puede ser calculada como en la Tabla XV.

Tabla XV. Valores en Millones

Inversiones I	0 (10)	1	2	3	4	5	6	7	8
Capital restante	6.7	3.1							
Flujos de efectivo	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43

De los flujo de efectivo en la Tabla XV se deriva un periodo de reembolso de 2.9 años. Ya que los flujos de efectivo son iguales, el procedimiento del Capítulo 11.2.4.3 puede ser seguido para calcular la tasa interna de retorno:

$$\frac{I}{OP} = \frac{10}{3.430} = 2.92\ b_n = \text{(Factor de anualidad del valor presente).}$$

De la Tabla 5 del Apéndice, es derivada una tasa interna de retorno de 30.1%. Para determinar el valor presente neto con una tasa de retorno de 15% (Véase en el Capítulo 11.2.3.3) se aplica otra vez el método para flujos de efectivo anuales iguales:

$$NPV = OP \bullet b_n - I,$$

donde b_n durante 8 años con i=0.15 es 4.49.
De esto: $NPV = 3.42 \bullet 4.49 - 10 = 5.4 \text{ Millones \$.}$

2) Variaciones a 300 $/oz y 500 $/oz.
   Los mismos pasos como los tomados en el caso base son ahora repetidos para los precios de Oro de 300 y 500 $/oz.
   Para 300 $/oz la ganancia de operación es de 1.823 Millones $/a;
   Para 500 $/oz es de 5.038 Millones/a.
3) Resultado

El resultado es resumido en la Tabla XVI.

Tabla XVI

Precio del Oro ($/oz)	Periodo de reembolso en	TIR (%)	NPV (al 15%) Millones $
300	5.5	9.2	-1.8
400	2.9	30.1	5.4
500	2.0	48.2	12.6

Por lo general, el resultado es trazado en una gráfica. La Figura 25 da un ejemplo grafico de la tasa interna de retorno. De tal gráfica puede ser interpolada con suficiente precisión que efecto tendría un cambio en el precio del Oro de 400 $/oz a 450 $/oz, es decir, un cambio relativo del 30% a una tasa interna de cerca de 39%.

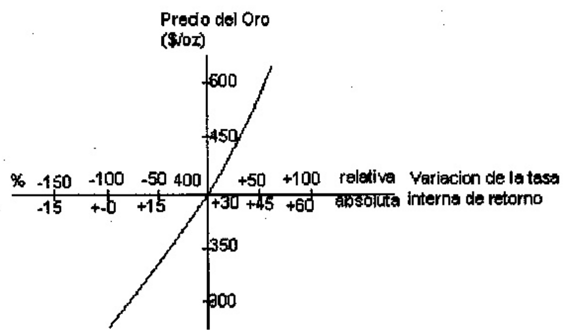


Figura 25. Diagrama de sensibilidad.

11.7 Cálculos de equilibrio.

Equilibrio es el contenido de metal o precio de metal que apenas cubre los costos del proyecto. Desafortunadamente la definición no es usada uniformemente.

Por lo general, equilibrio significa que todos los costos operativos y de capital, impuestos y pagos de intereses (si el proyecto es deudo-financiado) son cubiertos. En este caso el periodo de reembolso (Véase en el Capítulo 11.1.3) es idéntico al tiempo de vida de la mina (véase en el ejemplo que esta adelante).

En algunos casos equilibrio significa que la tasa interna de retorno en equidad es igual a la tasa de inflación o a la tasa bonos del gobierno. Entonces el método de "cálculo de economía en reversa" descrito en el Capítulo 11.2.4.3 debe aplicarse.

11.7.1 Cálculos de equilibrio para depósitos mono-metálicos.

Ejemplo. Queremos invertir en un depósito de Oro al oeste de Australia. La inversión fue calculada en $30 Millones, para ser financiada en equidad. La producción será de 200,000 t/a. Las reservas duraran 10 años. Los costos de operación fueron estimados a 55 $/t. ¿Cuál es el precio de equilibrio del proyecto, si la ley después de la dilución (10%) es 9.5 g Au/t y la recuperación en molinos es del 90%?

Paso 1: La inversión es de $ 30 Millones. Durante los 10 años de vida de la mina se producirán 2,000,000 t de mineral, es decir, por tonelada de mineral, una cantidad de

$\frac{30 \bullet 10^6}{2 \bullet 10^6} = 15\ \$/t$ debe ser ganado para pago de capital.

Paso 2: Debido al financiamiento en equidad, no se pagan intereses. Ya que equilibrio significa que no hay ganancia, no se pagan impuestos. Equilibrio por consiguiente requiere costos de operación más el pago de capital de:

$55 + 15 = 70\ \$/t.$

Paso 3: La recuperación en beneficio es de 90%, ε=0.9, es decir, de los 9.5 g Au/t en el mineral $0.9 \bullet 9.5 = 8.55$ g Au/t serán recuperadas. Esto es igual (Véase en el Capítulo 1.1.4):

$\frac{8.55}{31.103} = 0.27$ oz Au/t.

Paso 4: Si 0.27 oz Au/t son para producir 70 $/t (Véase en el Paso 2), un precio de equilibrio de:

$\frac{70}{0.27} = 260\ \$/oz$ es requerido.

11.7.2 Cálculos de equilibrio para depósitos multi-elementos.

Siguiendo el Capítulo precedente (11.7.1), uno puede calcular un precio de equilibrio para un equivalente basado en metales en el procedimiento en el Capítulo 5.3, donde es supuesto que la relación del precio en la cual el cálculo del el equivalente en metal esta basado no cambia. Este, sin embargo, es raramente el caso.

De esta manera, no tenemos un precio de equilibrio fijo, pero tenemos funciones variables de equilibrio. Para un depósito con dos componentes metálicos redituables, A y B, y un precio supuesto para A, se puede calcular un precio de equilibrio para B. Si el precio supuesto para A se cambia, el precio de equilibrio para B será también cambiado. Por consiguiente tales cálculos para depósitos multi-elementos pueden muy bien ser comparados con los análisis de sensitividad del Capítulo 11.6.

Ejemplo. Un depósito de Pb-Zn-Ag produce funcionamiento en la mina con 10% Zn, 5% Pb, 130 g Ag/t. La recuperación durante el beneficio es de 90% para el Zn, 90% para el Pb y 80% para Ag. Los costos de equilibrio (costos de operación, costos por capital de servicio, intereses, impuestos) son de 70 $/t.
Haciendo un conjunto de curvas de equilibrio. (Hay tres metales involucrados y de aquí tres precios tienen que ser variados.)

Paso 1: Usamos los factores de retorno neto de fundición de la Tabla VII, del Capítulo 7.2.2, para calcular el retorno neto de fundición de la mina: 50% para Zn, 65% para Pb y 95% para Ag. Tomando en cuenta las recuperaciones después del tratamiento en el molino, el contenido de metal pagado es: 4.5% Zn, 2.93% Pb y 98.8 g Ag/t.

Paso 2: Queremos trazar un conjunto de curvas para un precio dado de Zn en un diagrama de precios de Pb y Ag. Para la primera curva de equilibrio suponemos un precio del Zn de 45 US-cents/lb. El factor de conversión de lb en % es 22.046 (Véase en el Capítulo 1.1.4). De aquí el rédito de Zn es:

$4.5 \bullet 22.046 \bullet 0.45 = 44.64$ \$/t.

Esta cantidad es sustraída de los costos de equilibrio de 70 $/t así que $70 - 44.64 = 25.36$ \$/t debe ser cubierta por el Pb y Ag.

Paso 3: Suponemos un precio de Pb de, por ejemplo, 30 US-cent/lb. El rédito del Pb es:

$2.93 \bullet 22.046 \bullet 0.30 = 19.38$ \$/t.

Esto deja para la Ag:

$25.36 - 19.38 = 5.98$ \$/t.

Ya que una onza contiene 31.103 g, 98.8 g Ag/t igual a 3.18 oz/t. El precio de equilibrio es 5.98/3.18=1.88 $/oz.

Paso 4: Suponemos un segundo precio de Pb, por ejemplo, 15 US-cents/lb. De acuerdo al Paso 2, el rédito para Pb es solamente 9.69 $/t. Esto deja 25.36-9.69=15.67 $/t para ser obtenidos de Ag. El precio de equilibrio para Ag es:

$15.67/_{3.18} = 4.92$ \$/oz.

Ahora podemos trazar la primera línea recta en nuestro diagrama (Figura 26). Ya que las curvas de equilibrio son líneas rectas, dos puntos son suficientes para definir la línea. Para estar en un lado seguro, debería calcularse una tercera intersección adicional.

Paso 5: Suponemos diferentes precios de Zn, por ejemplo, 40 y 35 US-cents/lb respectivamente, y repetimos el cálculo de los Pasos 2 al 4, y trazamos los resultados como los mostrados en la Figura 26.
Un aspecto de la gráfica en la Figura 26 puedes er ilustrado en una "matriz de conversión".
Una pregunta relevante es, por ejemplo ¿Cuánto debe subir el precio del Pb para compensar una baja en el precio del Zn de 10 US-cents/lb?
En nuestro ejemplo, 10 US-cents/lb para Zn es:

$4.5 \bullet 22.046 \bullet 0.10 = 9.92$ \$/t.

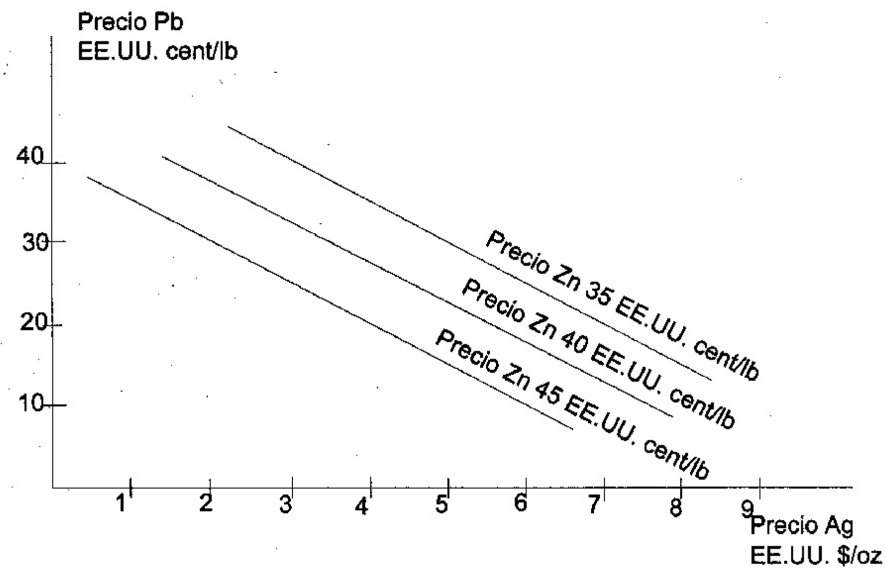


Figura 26. Juego de curvas de equilibrio.

Ya que el contenido pagado de Pb es 2.93%, esto iguala una variación de precio de 15.4 US-cent/lb para Pb o de 3.12 US-\$/oz para Ag (3.18 oz pagada). Una "matriz de conversión" aparecería como la de la Tabla XVII.

Tabla XVII

Precio del Oro ($/oz)	– Δ	Zn(cts/lb)	Pb (cts/lb)	Ag ($/oz)
Zn(cts/lb)	-10	+10	+15.4	+3.12
Pb (cts/lb)	-10	+6.5	+10	+2.03
Ag ($/oz)	-1	+3.2	+4.9	+1