

12 Comparación de depósitos.

En las evaluaciones primarias y estudios finales de viabilidad, el depósito bajo investigación es frecuentemente comparado a otros depósitos los cuales están en producción o aun en la etapa de preproducción. La mejor comparación es una comparación económica. En la etapa preliminar, sin embargo, cuando solamente están disponibles los parámetros del orden de magnitud, otros métodos "semi-económicos" de comparación son también usados.

2.1 Comparación de depósitos mediante el contenido de metal.

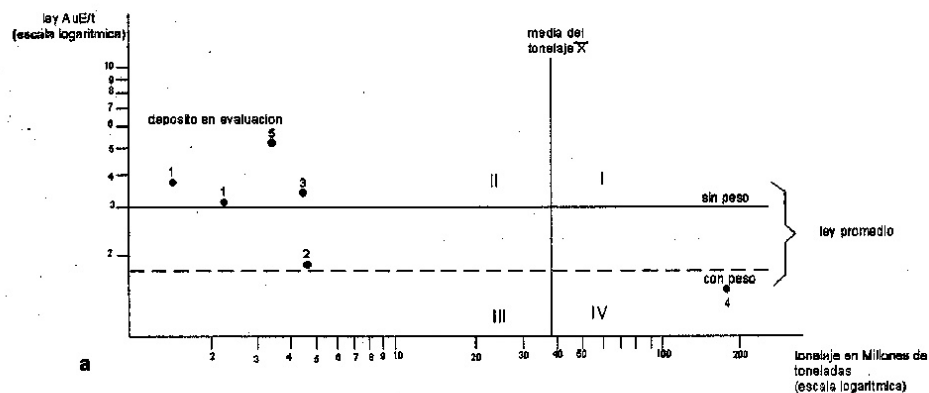
Si un depósito bajo investigación a una etapa primaria de evaluación se compara con otros depósitos, usualmente de diferentes tonelajes y leyes, un diagrama ley-tonelaje es a menudo usado. Las leyes son trazadas en el eje x, los tonelajes en el eje y (Figura 27a). Cualquier escala, ya sea lineal o logarítmica es usada en ambos ejes. Las escalas logarítmicas son preferibles ya que los puntos de conexión de las líneas con el mismo contenido de metal, deben ser líneas rectas en un diagrama logarítmico.

La ley en % es x, el tonelaje es y. De esta manera el contenido total de metal M_t , es:

$$M_t = \frac{x \cdot y}{100}$$

$$\text{o } y = \frac{M_t \cdot 100}{x} \quad (1)$$

Esta es una ecuación de una hipérbola. De esta manera, si las escalas están linealmente divididas, las líneas de igual contenido de metal en un diagrama ley-tonelaje son hipérbolas.



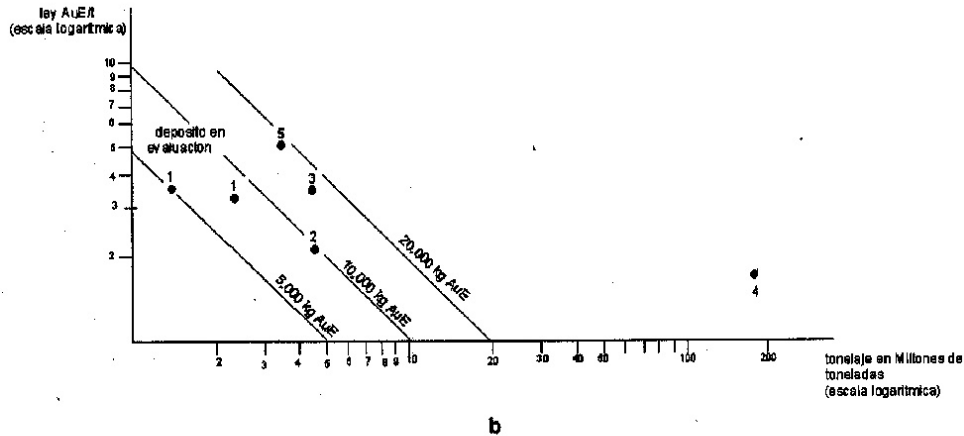


Figura 27. a Diagrama Ley-Tonelaje con datos de la Tabla XVIII. b Diagrama Ley-Tonelaje de líneas de leyes promedio y.

Si el diagrama ley-tonelaje tiene ejes logarítmicos, entonces la Ecuación (1) tiene que ser transformada en logaritmos:

$$\ln y = \ln(M_t \cdot 100) - \ln x.$$

Esta es la ecuación de una línea recta en un diagrama logarítmico.

Las líneas de contenido total de metal ayudan a ilustrar la posición relativa del depósito bajo investigación.

Ejemplo. Un depósito epitermal de Oro con reservas potenciales de 1.5 Millones de toneladas conteniendo 3.5 g Au/t será comparado con otros depósitos similares en Nevada (Tabla XVIII). Las leyes de Plata son convertidas en equivalentes de Oro mediante la siguiente ecuación (Véase en el Capítulo 5.3):

$$\text{Au-Equivalente (Au-E)} = \text{g Au/t} + \frac{\text{g Ag/t}}{50}.$$

Estos valores son trazados en un diagrama ley-tonelaje con ejes logarítmicos (Figura 27a). (Normalmente, para una comparación más significativa, se considera una mayor área geográfica o una región más grande y más depósitos. Este caso solo ejemplifica el principio involucrado.)

Ahora trazamos las líneas de contenido absoluto de metal. Si comenzamos en el punto de 5 g AuE/t en el eje y, corresponde a un tonelaje de 1 Millón de toneladas. Por consiguiente, el contenido de metal es:

$$1 \cdot 10^6 \cdot 5 \text{ g Au - E} = 5000 \text{ kg Au - E.}$$

Tabla XVIII

No.	Nombre del deposito	Tonelaje (Millones toneladas)	Ley de Oro Equivalente (g Au/t)
1	Borealis	2.3	3.2
2	Buckhorn	4.6	1.9
3	Hasbrouck	4.5	3.4
4	Round	175.0	1.6
5	Sleeper	3.4	5.0

El mismo contenido de metal es obtenido en el punto de 5 Millones de toneladas del eje x el cual corresponde a la ley de 1 g AuE/t. El contenido de metal es:

$$5 \cdot 10^6 \cdot 1 \text{ g Au - E} = 5000 \text{ kg Au - E.}$$

Si conectamos ambos puntos, obtenemos una línea en la cual todos los depósitos que caigan en esta línea tienen un contenido de metal de 5000 Kg Au-E, es decir 5000 Kg de equivalente de Oro. Las líneas para el contenido de metal de 10,000 Kg Au-E y 20,000 Kg Au-E en la Figura 27a, se calculan de manera similar.

Tiene que señalarse que esta es una comparación la cual no dice mucho acerca de los méritos económicos relativos de las minas. Como se discutió en el Capítulo 9.1, se hace una gran diferencia económica si, por ejemplo, el mismo contenido de metal de 50,000 t Cu es minado en 11.1 Millones de toneladas de mineral o, si la ley es más alta, en 3.7 Millones de toneladas de mineral.

Otra manera de organizar un diagrama ley-tonelaje es usar la media del tonelaje y de la ley. La media es el promedio aritmético \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Para el tonelaje, la media (\bar{x}) es:

$$\bar{x} = \frac{2.3 + 4.6 + 4.5 + 175 + 3.4}{5} = \frac{189.8}{5} = 38.0,$$

un valor el cual es por supuesto influido por x_4 .

En lo que respecta a la ley, hay dos alternativas:

- 1) Una ley promedio o valor medio sin ponderación. En este caso la media sería:

$$\bar{y} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{5};$$

$$\bar{y} = \frac{3.2 + 1.9 + 3.4 + 1.6 + 5.0}{5} = \frac{15.1}{5} = 3.0.$$

- 2) Una ley promedio ponderada con el tonelaje x_i . En correspondencia a la Ecuación (1) en el Capítulo 4.1, la ley promedio y_w sería:

$$\bar{y}_w = \frac{x_1 Y_1 + x_2 Y_2 + x_3 Y_3 + x_4 Y_4 + x_5 Y_5}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5};$$

$$\bar{y}_w = \frac{3.2 \cdot 2.3 + 1.9 \cdot 4.6 + 3.4 \cdot 4.5 + 1.6 \cdot 175 + 5.0 \cdot 3.4}{2.3 + 4.6 + 4.5 + 175 + 3.4};$$

$$\bar{y}_w = \frac{328.40}{189.8} = 1.73 \text{ g AuE/t.}$$

Otra vez, este valor está altamente influenciado por el tonelaje de x_4 .

Como se mostró en la Figura 27b, el diagrama ley-tonelaje puede ser ahora subdividido en cuatro sectores:

Sector I : ley y tonelaje más altos que el promedio;

Sector II : ley más alta que el promedio, tonelaje más bajo que el promedio;

Sector III: ley y tonelaje más bajos que el promedio;

Sector IV: ley más baja que el promedio, tonelaje más alto que el promedio.

Un depósito que se encuentre ubicado en el Sector I tiene una mayor oportunidad de ser económicamente viable que un depósito que se ubique en el Sector III. Por supuesto, los trazos de las Figuras 28 a y b, pueden ser combinados.

Algunas veces surge la opinión que los depósitos grandes tienen leyes más bajas que los depósitos pequeños. Si todos los depósitos conocidos de un mismo tipo son trazados, se vuelve obvio que no existe para nada una correlación entre ley y tonelaje en un diagrama ley-tonelaje.

12.2 La línea límite de la viabilidad.

Si minas las cuales están operando y proyectos con viabilidad o no viabilidad conocidas son trazados en un diagrama ley-tonelaje, puede construirse una línea límite de viabilidad. Por supuesto, tal línea límite no toma en cuenta circunstancias especiales como situaciones especiales de infraestructura o precios pigo que

benefician o ayudan a lo largo de un proyecto específico. Esto se puede decir que mientras más distante se encuentre un depósito bajo investigación de la línea límite de viabilidad, más alta es la oportunidad de que sea un depósito económicamente redituable (Figura 28).

Ejemplo. En la Figura 28 están trazados depósitos de Níquel-Laterita en operación. Las leyes de Cobalto son convertidas en leyes Equivalentes de Ni (Véase en el Capítulo 5.3). Si uno considera el Punto 1 (Riddle, Oregon), uno puede construir una curva hipérbola como línea límite de viabilidad.

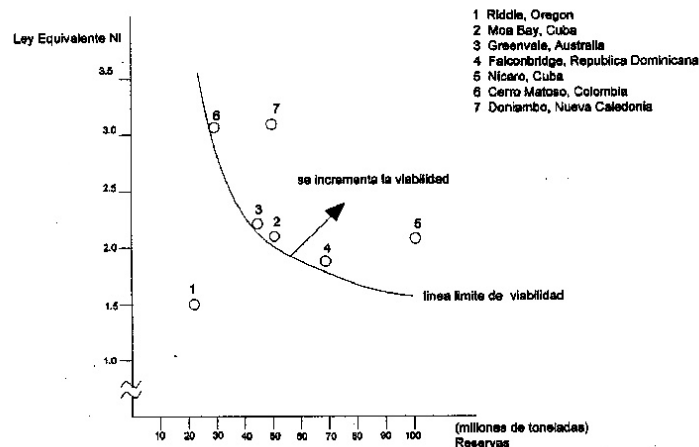


Figura 28. Diagrama Ley-Tonelaje para minas Níquel Laterita.

12.3 La curva de equilibrio en un diagrama ley-capacidad.

Un diagrama ley-capacidad con una curva equilibrio de minas en operación es un diagrama comparable al discutido en el Capítulo 12.2. En lugar del tonelaje en el eje x, la capacidad de la mina toma su lugar.

Algunas veces los costos de equilibrio (para equilibrio, véase el Capítulo 11.7) son publicados en reportes anuales de compañías, por ejemplo, en Australia o Canadá. Si las compañías tienen solamente una mina en operación, los costos de equilibrio pueden ser calculados de los informes de ganancias y pérdidas en la hoja de balance del reporte anual de la compañía.

Ejemplo. Una mina de Pb-Zn mina 7500 t/día, es decir, 2.7 Millones t/a. Del informe de pérdidas y ganancias del reporte anual de la compañía se tomaron las siguientes cifras (Tabla XIX).

De la Tabla XIX ahora podemos calcular los costos de equilibrio.

Paso 1: De acuerdo al Capítulo 11.7, la definición de equilibrio implica que todos los costos de operación y capital así como impuestos son cubiertos. Ya que la

relación de deuda a equidad (Véase en el Capítulo 11.4) varía de un proyecto a otro, calcularemos un equilibrio para financiamiento en equidad, esto es, que no vamos a considerar gastos en intereses y debitos.

Los costos de capital son cubiertos por la depreciación y amortización. Por consiguiente solamente las operaciones mas recientes las cuales no están trabajando con equipo aun amortizado deben tomarse en consideración.

Aprendimos del reporte anual, que la compañía también dirigió exploración fuera del arrendamiento de minado para lo cual los gastos de exploración están relacionados. Para nuestro cálculo de equilibrio no debemos, por consiguiente, incluir los gastos de exploración de la Tabla XIX.

Las pérdidas de intercambio extranjero son dependientes en las disposiciones de mercadeo.

Consideramos esos como costos especiales para no ser tomados en cuenta. Para el cálculo del equilibrio debemos, por consiguiente, considerar los siguientes elementos de la Tabla XIX:

Tabla XIX:

Gastos de operación	56,659,000
Depreciacion y amortizacion.	11,823,000
Derechos e impuestos	21,256,000
Costos totales a considerar	90,008,000

Dividiendo la cantidad de Can-\$90,008,000 entre la producción anual de 2.7 Millones de toneladas, obtenemos el costo de equilibrio/tonelada:

$$\frac{90,008,000}{2,700,000} = 33.34 \text{ \$/t.}$$

Paso 2: Queremos trazar esto en un diagrama ley-capacidad. Por consiguiente, tenemos que convertir el costo de equilibrio del Paso 1 en una ley de equilibrio de metal. Para este propósito tenemos que suponer un precio del metal. Queremos convertir todo en leyes de Zn o en leyes equivalentes de Zn, las cuales quieren decir que las leyes de Pb tienen que ser convertidas a su equivalentes de Zn (Véase en el Capítulo 5.3). Tomamos un precio de Zn de 45 US-cents/lb Zn. Para calcular el retorno neto de fundición de la mina (Véase en el Capítulo 7.2) calculamos con las cifras de la regla práctica de la Tabla VII. Para el Zn tomamos el porcentaje de retorno neto de fundición para la mina NF=50% de la Tabla VII.

La recuperación en molinos es supuesta de 90%, es decir, $\epsilon=0.9$. El factor de conversión de porcentaje a lb es 22.046 (Véase en el Capítulo 1.1.4). Por consiguiente la ley de equilibrio de Zn g_b en porcentaje es:

$$g_b = 22.046 \cdot 0.5 \cdot 0.9 \cdot 0.45 = 33.34 \text{ \$/t};$$

$$g_b = 7.5\% \text{ Zn.}$$

Este valor puede ser trazado en un diagrama ley-capacidad (Figura 29). Después de haber derivado de la misma manera otros puntos para el diagrama, una curva de potencia puede ser calculada como un ajuste óptimo a través de los puntos de acuerdo al procedimiento del Capítulo 9.2.2 (Figura 29).

Paso 3: Si uno quiere comparar, por ejemplo, un depósito con un potencial de 10 Millones de toneladas con 13% Zn, el potencial tiene que ser convertido a la capacidad de producción de una posible mina. Escogemos la fórmula para el tiempo de vida óptimo de Taylor [Véase en el Capítulo 8.2, Ecuación (1)]:

$$\text{Tiempo de vida } n \text{ (en años)} \approx 0.2 \sqrt{\text{tonelaje total esperado};}$$

$$\text{Tiempo de vida } n \approx 0.2 \sqrt{10,000,000} = 0.2 \cdot 56.23;$$

$$\text{Tiempo de vida } n \approx 11.25.$$

Un tiempo de vida de 11.25 años para un depósito de 10 Millones de toneladas indica una tasa de producción anual de 890,000 t, o en cifras cerrada, 900,000 t.

Ahora trazamos este valor de 900,000 t/a y una ley de 13% Zn en el diagrama de la Figura 29.

Se aplica la misma regla como la del diagrama de la Figura 28: mientras más distante de la curva de equilibrio se encuentre un depósito bajo investigación, más alta es la oportunidad de que sea un depósito viable.

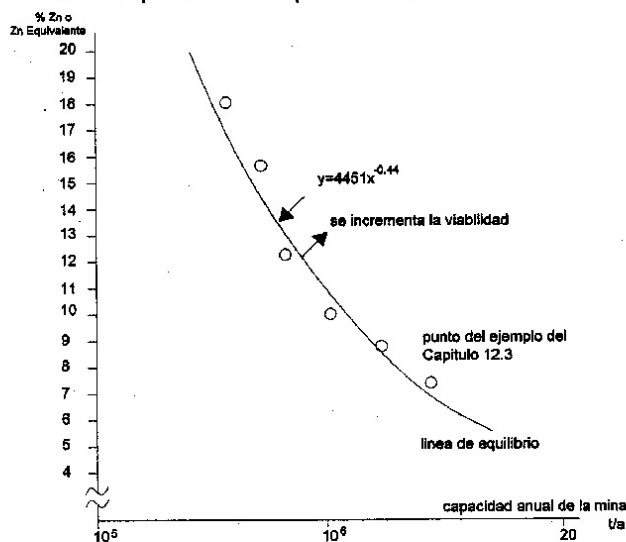


Figura 29. Diagrama Ley-Tonelaje con curva de equilibrio.

12.4 Diagrama ley-capacidad con líneas de parámetros económicos iguales.

Los diagramas de ley-capacidad con líneas de parámetros económicos iguales son comparables al diagrama con una curva de equilibrio que se describe en el Capítulo 12.3.

En este caso las curvas de potencia para costos de inversión y operación son calculadas de los datos investigados. Como se muestra en el Capítulo 9.2.2, las curvas de potencia tienen la ecuación:

$$y = a \cdot x^b.$$

donde y representa los costos de inversión u operación, x es la capacidad y a y b son constantes.

Después de calcular tales curvas, uno puede construir las líneas de economías iguales mediante el cálculo de puntos de datos para varias capacidades.

Ejemplo. Regresando a 1983, los datos de la minería subterránea de Oro Australiana, las curvas de potencia son usadas para obtener costos de operación e inversión por interpolación. Para una capacidad de 50,000 t/a, se interpolaron los costos de preproducción de Aust-\$ 11.9 Millones y los costos de operación de 96 Aust-\$/t.

Para un precio de 500 Aust-\$/oz los puntos de datos tienen que ser calculados para una tasa interna de retorno de 10%, 15% y 20% respectivamente.

Suponemos un 100% de financiamiento en equidad para el cual no son pagados impuestos ni intereses, ya que el minado de Oro en Australia era libre de impuestos hasta hoy. Suponemos un tiempo de vida de trabajo de 8 años para la mina. Ya que ahora podemos calcular con flujos anuales de efectivo iguales, usamos el método para el cálculo con factores de anualidad del valor presente descritos en el Capítulo 11.2.4.3.

Los siguientes cálculos son realizados:

Paso 1: Calculamos la cantidad de flujo de efectivo anual para la ganancia de operación necesaria para obtener una tasa interna de retorno de 10, 15 y 20%.

De acuerdo a la formula (1) del Capítulo 11.2.4.3:

$$I = OP_c \cdot b_n \quad (1)$$

donde I es la inversión, OP_c la ganancia de operación (o flujo de efectivo) y b_n el factor de anualidad del valor presente.

En nuestro caso I es Aust-\$11.9 Millones. De la Tabla 5 del Apéndice son tomados los factores b_n para 8 años.

Tabla XX

IRR	b_n
10%	5.335
15%	4.487
20%	3.837

De acuerdo a la anterior Ecuación (1) y a la Tabla XX, obtenemos:

$$OP_c = \frac{I}{b_n}$$

$$\text{para una TIR}=10\%: OP_c = \frac{11.9I}{5.335} = 2.23 \text{ Millones Aust - \$};$$

$$\text{para una TIR}=15\%: OP_c = \frac{11.9I}{4.487} = 2.65 \text{ Millones Aust - \$};$$

$$\text{para una TIR}=20\%: OP_c = \frac{11.9I}{3.837} = 3.10 \text{ Millones Aust - \$}.$$

Paso 2: Los rditos totales necesarios por año son el total de los costos de operación mas las ganancias de operación calculadas en el Paso 1.

Los costos totales de operación son $96 \cdot 50,000 = 4.8$ Millones Aust-\$/a.
Los rditos totales son, por consiguiente:

$$\text{para una TIR}=10\%: Rev = 4.8 + 2.23 = 7.03 \text{ Millones Aust - \$/a};$$

$$\text{para una TIR}=15\%: Rev = 4.8 + 2.65 = 7.45 \text{ Millones Aust - \$/a};$$

$$\text{para una TIR}=20\%: Rev = 4.8 + 3.10 = 7.90 \text{ Millones Aust - \$/a}.$$

Paso 3: Calculamos ahora la ley de Oro requerida. Suponemos una recuperación en el molino de 90%. Para la ley de Oro requerida G_g y un precio del Oro de 500 Aust-\$/oz podemos establecer la siguiente relación (31.103 es el factor de conversión de onzas a gramos, véase en el Capítulo 1.1.4):

$$\frac{G_g \cdot 0.9 \cdot 50,000 \cdot 500}{31.103} = Rev.$$

(2)

con la Ecuación (2) y el dato de rditos del Paso 2 obtenemos:

para una TIR=10%: $G_g = 9.7 \text{ g Au/t}$;

para una TIR=15%: $G_g = 10.3 \text{ g Au/t}$;

para una TIR=20%: $G_g = 10.9 \text{ g Au/t}$.

Paso 4: De la misma manera los puntos de datos son calculados para otras capacidades y trazados en un diagrama ley-capacidad como el mostrado en la Figura 30. El mismo cálculo puede también ser hecho para otras suposiciones de Oro, como el mostrado en la Figura 30.

Para comparar un depósito bajo investigación con otros depósitos, estos depósitos pueden ser ahora trazados en el mismo diagrama el cual provee un conjunto de parámetros económicos como estándares de comparación.

Tabla XXI

I Consumo mundial 1000 t (y)	II a Tasas de crecimiento (j) (in %)	II b (1+j/100)	III Años (x)	IV ln y= yn
14605			0	9.589
16807	15.1	1.151	1	9.730
17450	3.8	1.038	2	9.767
14563	-16.5	0.835	3	9.586
17708	21.6	1.216	4	9.782
18368	3.7	1.037	5	9.818
19443	5.9	1.059	6	9.875
20342	4.6	1.046	7	9.920
19705	-3.1	0.969	8	9.889
19202	-2.6	0.974	9	9.863
18886	-1.6	0.984	10	9.846

12.5 Comparación de depósitos con gráficas de costos.

Las gráficas de costos muestran costos de equilibrio para todas las minas que producen un mineral en particular vistas en el Capítulo 2.3. Tales gráficas son un medio ideal de comparación de depósitos. Si uno tiene que evaluar un depósito de Estaño, por ejemplo, y el resultado de un cálculo económico preliminar es un precio de equilibrio de 10 Aust-\$/kg Sn en Aust-\$ de 1979 (Véase en el Capítulo 11.7), la conclusión puede obtenerse de la Figura 30 y decir que cerca del 50% de todas las minas tienen una mejor posición económica, mientras que el otro 50% están en lo peor.

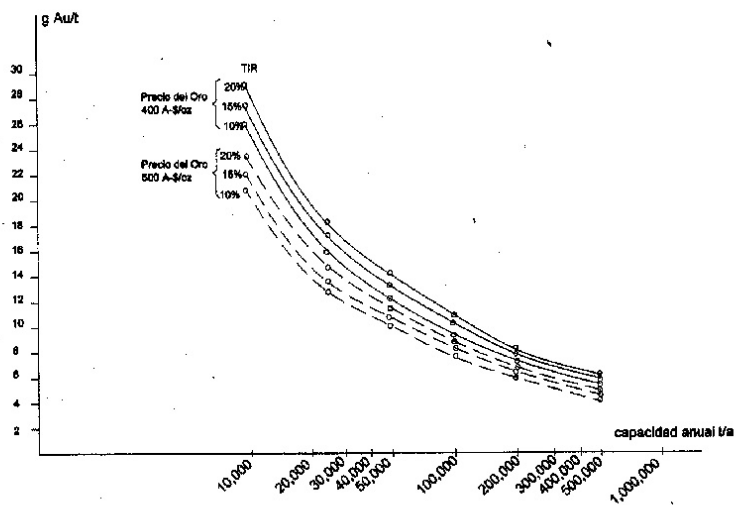


Figura 30. Diagrama Ley-Tonelaje con líneas de igual TIR.