

Estimación de reservas y Ley de corte

PLACER AURIFERO

Por:

Manuel Ortiz Alfaro

Académico Depto.

Ing. de Minas

Universidad de Atacama

En periodos de depresión económica, el poder adquisitivo del oro aumenta, haciendo, de esta manera, económicamente rentable la explotación de yacimientos auríferos de leyes marginales.

Por otro lado, si se considera el alto precio que ha alcanzado la onza de oro en el mercado internacional (sobre US\$ 450 en octubre de 1987), los bajos costos que implica la explotación de un placer aurífero (pequeña inversión y bajos costos operacionales) y la simplicidad del procesamiento del material extraído, se puede concluir que en estos momentos los placeres auríferos constituyen un gran potencial económico.

De acuerdo a lo anterior, y debido a la escasa bibliografía al respecto, el objetivo de este artículo es dar a conocer métodos de extracción y de procesamiento, estimación de reservas y determinación de la ley de corte de un placer aurífero.

Es conveniente destacar que gran parte de lo expuesto es aplicable a los placeres existentes en la III Región o similares.

La secuencia seguida para lograr el objetivo anterior comprende las siguientes fases:

- métodos de extracción y de procesamiento del material extraído.

- técnicas y/o métodos comúnmente empleados en la exploración de un placer.

- estimación de reservas de un



placer.

- procedimiento de cálculo de la ley de corte de un placer.

- ejemplo de aplicación.

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y DE PROCESAMIENTO DEL MATERIAL EXTRAÍDO

A. Extracción

La ocurrencia del material puede ser superficial o con escasa sobrecarga sector alto (naciente); subterránea sector medio (canal de desagüe) y sector bajo (cono de deyección).

La forma de extraer el material depende de:

- Profundidad manto pagador.
- Características geomecánicas y estructurales del material a extraer.
- Espesor manto pagador y de la sobrecarga esteril sobre él.

En las nacientes de las quebradas, el método de explotación a emplear es superficial; en caso de que la sobrecarga tenga una baja ley se debe realizar un escarpe (remoción del esteril); posteriormente se explota el manto a sección comple-

ta o por bancos, dependiendo del espesor del manto a extraer.

En el canal de desagüe y/o cono de deyección se debe emplear un método de explotación subterránea; éste es una variedad del método ROOM AND PILLAR (casarones y pilares), ya que este método tiene la ventaja de proporcionar un sostenimiento natural del techo de las labores, además de ser de alta productividad.

En la explotación de terrazas, el método de explotación también depende del espesor de la sobrecarga esteril. Para espesores de hasta 2 m., se recomienda el mismo método empleado en las nacientes, y para espesores mayores de sobrecarga se recomienda el método empleado en el canal de desagüe y/o cono de deyección.

La extracción propiamente tal, se realiza con la ayuda de: tornos, patas de cabra, huinches, equipos neumáticos.

B. Procesamiento:

El método empleado en el procesamiento del material consiste

en una concentración hidrogravitacional, empleando para ello cunas y/o canaletas, según sea el tipo de material a procesar. En esta etapa se aprovecha la propiedad del alto peso específico del oro (mayor al de los materiales que lo acompañan), quedando el metal atrapado ya sea en las mallas de la canaleta o peine-cillo y puentes de la cuna, según sea el equipo utilizado.

El proceso de concentración básicamente consiste en:

- Clasificación del material (horneo manual).
- Concentración hidrogravitacional del bajo tamaño.
- Revisión del sobretamaño con el objeto de detectar posibles pepas de oro.
- El concentrado obtenido en las mallas de la canaleta o peine-cillo y puentes de la cuna, es chayado, obteniéndose finalmente oro metálico.

Es conveniente destacar que tanto la extracción como el procesamiento del material extraído, se deben realizar de tal manera de lograr el óptimo aprovechamiento

de las reservas y recursos materiales, por lo que el sistema de explotación adoptado debe contemplar la explotación racional del lavadero y la prevención de riesgos inherentes a toda faena minera.

TECNICAS Y/O METODOS EMPLEADOS EN LA EXPLORACION

La exploración de cualquier depósito mineral reviste principal importancia pues es la base de continuidad de toda faena minera. Básicamente, la exploración comprende: ubicación de potenciales lavaderos, muestreo o exploración preliminar de ellos y posteriormente la exploración sistemática para evaluar los recursos minerales.

La información que debe entregar la exploración sistemática debe abordar los siguientes aspectos:

- Ubicación y accesos al sector estudiado.
- Abastecimiento de agua (distancias, cantidad requerida, cantidad disponible).
- Geología del sector.
- Levantamiento topográfico

que indique todas las labores exploratorias realizadas.

- Resultados de la exploración (tipo de material, espesores mantos, determinación de volúmenes lavables, leyes medias, rendimiento de extracción, características geométricas material, etc.).

- Estimación de reservas y distribución de leyes del placer.

- Determinación de la ley de corte y vida útil del lavadero.

Cabe destacar que todas las muestras se deben tomar hasta el piso (circa); además se debe llevar un detalle del muestreo, en lo posible metro a metro para posteriormente correlacionar esta información.

La prospección puede ser llevada por: zanjas, piques y sondajes, según sea la profundidad del manto aurífero.

ZANJAS: Sistema generalmente empleado en las nacientes de la quebrada, deben atravesar todo el ancho de la quebrada y su profundidad hasta el piso (circa).



La revolución tecnológica para la industria minera lograda por CYANAMID tras años de investigación y desarrollo.

La más amplia gama de reactivos al servicio de la industria minera:

**Colectores
Espumantes
Depresantes
Floculantes
...y**

siempre una solución a sus problemas mineros.

**CYANAMID
CHILE LTDA.**

Ministro Carvajal N° 6
Teléfono: 2252345
Providencia - Santiago

THURSTON S.A.

Las Bellotas 199 of 83
Fono: 2515205-2512319 cas. 9032
TLX 341584 ENRTHUCK Santiago

Representantes Exclusivos de:

Mirrlees Blackstone Ltd

Motores Diesel Industriales y Marinos, Grupos generadores

Brush Electrical Machines Ltd

Motores Eléctricos, Generadores

Lister Petter Ltd

Motores Diesel Industriales y Marinos PETTER

Davy Morris Ltd

Equipos de levante, Grúas Puente

Hawker Siddeley Power Plant Ltd.

Grupos Generadores

Stanton (export) Ltd

Tubería hierro fundido nodular

Metalock International Associaton

Reparación en frío de hierro fundido

Philadelphia Resins Corporation

Resinas Epoxicas para fundaciones
Fijación planchas desgaste charcadores

PIQUES: Sistema empleado en el caso de que el manto de interés se encuentre recubierto por una capa de esteril considerable. Su profundidad está limitada por la circa; se recomienda generalmente excavar sobre la circa unos 20 a 30 cm. (requiebre de piso) cuando ésta se encuentra alterada, pues es muy posible que se encuentre material aurífero alojado en ella.

El tipo de pique a emplear dependerá, básicamente, de la consistencia o grado de compactación del material a atravesar, pues no se debe olvidar que el material atravesado es aluvional.

El siguiente cuadro muestra el tipo de pique recomendado de acuerdo al material a atravesar.

TIPO DE MATERIAL	PIQUE RECOMENDADO
Difícil Inestable Inestable y difícil.	Circular Guayanes Fortificado

En relación a la ubicación de los piques, se debe hacer un lineamiento geométrico que cubra las zonas de mayor interés, de acuerdo a los resultados obtenidos; comunicar los piques por medio de galerías horizontales a toda la potencia del manto con el objeto de correlacionar la información obtenida de ellas. La disposición de los piques puede ser en una malla cuadrada y/o rectangular o alternada, dependiendo lo anterior de las características de las extensiones aluviales. La distancia entre los piques se puede ir reduciendo a medida que avanza la exploración para estudiar con más detalle las zonas de mayor interés. Los piques permiten una clara visualización del corte litológico. El muestreo se puede hacer sobre las paredes del pique o lavando un porcentaje del material extraído (reduciendo mediante cuarteos sucesivos), siendo esta última práctica la más recomendada.

Es conveniente muestrear la circa aparte del resto del material; en caso de atravesar terrenos muy duros, se puede hacer con ayuda de equipos neumáticos (perforadoras).

SONDAJES: En general se aplican en lugares donde existe abundante agua. Su principal ventaja es su rapidez y economía y su desventaja es la alta probabilidad de errores, debido a acumulaciones accidentales de oro, dada la pequeña cantidad de muestra extraída, además de la incertidumbre de saber si realmente se llega a la circa o se está atravesando un sector duro.

La elección del equipo dependerá de las características del terreno, del capital y tiempo disponible para realizar la prospección.

ESTIMACION DE RESERVAS DE UN PLACER: Su objetivo básico es el cálculo del volumen (m^3) y calidad (Gr/m^3) del material que contiene el depósito en estudio.

DETERMINACION DE LEYES: Consiste en tomar la muestra y cuantificar su volumen; posteriormente, mediante alguno de los métodos descritos anteriormente, concentrar el material y obtener un producto final (oro metálico); pesar este producto en una balanza de precisión.

La Ley Media estará dada por:

$$LM = \frac{P}{V}$$

P: Peso oro obtenido (Gr.).

V: Volumen material tratado (m^3).

DETERMINACION DE VOLUMENES: Para determinar los m^3 de mineral explotable y su evaluación es necesario circunscribir los volúmenes mineralizados (geometrización del lavadero), es decir, determinar las zonas de influencia de cada muestra tomada; ésta será más precisa mientras más completo sea el reconocimiento del lavadero.

La estimación de reservas de un placer se puede hacer por diferentes métodos. En general son preferidos los métodos simples, pero estos pueden conducir a errores de interpretación de la naturaleza y geología del depósito. Por otro lado, métodos sofisticados entregan, muchas veces, una precisión no requerida.

El método que se describe a continuación es el de los polígonos, clasificado dentro de los sistemas convencionales de evaluación de reservas. Este método se apoya en dos conceptos básicos:

LEY DE LA VARIACION GRADUAL: Esta determina que entre dos puntos X e Y de información conocida, las características (por ejemplo, la ley) de los puntos intermedios cambian continua y gradualmente a través de la línea recta imaginaria que los une.

REGLA DE LOS PUNTOS MAS CERCANOS: Establece que las características determinadas por un punto de un depósito mineral se extiende a la media distancia de los puntos de información adyacentes, definiendo de esta manera un área de influencia.

Es conveniente destacar que los métodos de estimación de reservas operan con volúmenes de material in situ. Pero no hay que olvidar que todo material extraído sufre un aumento de volumen producto del esponjamiento (40%), posteriormente y debido al rechazo del material esteril (55%), (bolones y fragmentos de rocas) se obtiene un volumen de material lavable un tanto menor al volumen in situ. Por lo expuesto, se deduce que la ley obtenida se refiere al volumen del material lavable.

METODO DE LOS POLIGONOS: Método aplicable a yacimientos del tipo tabulares (vetas, mantos y estratos).

Consiste en determinar, a partir de las muestras obtenidas, las áreas de influencia de éstas. El área de los polígonos se puede determinar en forma analítica o mediante el uso del planímetro. El volumen del polígono se calcula multiplicando el área de éste por el espesor del manto (profundidad, característica de la muestra incluida dentro del polígono).

Una vez evaluado el depósito y con la aplicación de algún criterio (ley de corte, ley crítica) se pueden definir las áreas a explotar.

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación del método de los polígonos.

Del ejemplo de aplicación del método de los polígonos y considerando una potencia media del

manto aurífero muestreado de 0,8 mts se puede inferir la siguiente información:

Rango de ley (Gr/m ³)	Volumen in situ (m ³)	Volumen sobre la ley de corte		Ley media sobre la ley de corte (Gr/m ³)
		(m ³)	(%)	
0 - 0,5	752	2.640	100	1,246
0,5 - 1,0	365	1.888	71,5	1,643
1,0 - 1,5	371	1.523	57,7	1,857
1,5 - 2,0	568	1.152	43,6	2,052
2,0 - 2,5	472	584	22,1	2,346
2,5 - 3,0	112	112	4,2	2,750
TOTAL	2.640	2.640		1,246

Es decir, en el placer hipotético evaluado existen 2.640 m³ de material, con una ley promedio de 1,246 Gr/m³.

DETERMINACION DE LA LEY DE CORTE.

DEFINICIONES:

LEY: Cualquier concentración relativa de las especies de mena y/o ganga de los elementos constituyentes de un yacimiento.

LEY MEDIA: Promedio aritmético ponderado de la concentración de uno o más de los elementos de un yacimiento. El factor de ponderación depende de las características de las muestras. En el caso de los lavaderos de oro, el ponderador comúnmente usado es el volumen (de material lavable).

LEY CRITICA: Concepto netamente económico; es aquella ley con la cual no se obtienen pérdidas ni ganancias, es decir, el beneficio es igual a cero: aquel que paga los gastos de preparación, desarrollo, explotación, ventas, etc.

LEY DE CORTE: Concepto técnico-económico; aquella ley que nos permite obtener el beneficio esperado en las condiciones imperantes de mercado, tecnología, impuestos, etc.

PARAMETROS QUE DETERMINAN LA LEY DE CORTE DE UN LAVADERO

La Ley de Corte de un lavadero está condicionada por dos tipos de parámetros:

a) **PARAMETROS TECNICOS:** Parámetros inherentes a las características del tipo de material a extraer y procesar y de su forma de extracción y procesamiento. Entre los parámetros técnicos se pueden mencionar: profundidad, espesor y dureza del manto aurífero. La interrelación de estos parámetros definirán el método de explotación y de procesamiento a emplear; a su vez, los parámetros mencionados determinan la productividad (m³ material tratado/H-día); ver Tabla N° 1.

Cabe destacar que la productividad también depende del grado de mecanización de la extracción.

La profundidad y dureza del manto aurífero son inversamente proporcionales a la productividad.

b) **PARAMETROS ECONOMICOS:** Básicamente estos parámetros son dos:

1. **Precio venta gr.de oro:** Depende de las condiciones de mercado al momento de realizar la determinación; este incide en forma inversamente proporcional a la ley de corte. Parámetro no controlable y al cual en todo cálculo de esta naturaleza es conveniente hacerle un análisis de sensibilidad.

2. **Utilidad esperada:** Depende, básicamente, del valor de las ventas

del oro extraído y de los costos de operación en que se incurre en la extracción y procesamiento del material. **Costos:** Compra-transporte agua, salarios obreros, transporte personal, arriendo de maquinarias y equipos.

Una vez definidos todos los parámetros anteriores queda definida la utilidad esperada por el empresario y se procede al cálculo de la ley de corte.

CALCULO LEY DE CORTE

Como se especificó anteriormente, la Ley de Corte de un lavadero de oro depende de: la productividad (m³ material tratado/H-día), precio venta gr de oro y de la utilidad esperada. De acuerdo a lo anterior, tenemos que:

$$U = FV - C$$

U : Utilidad Esperada (\$)
FV : Valor Ventas (\$)
C : Costos Directos de Operación (\$)

CRITERIO PARA DETERMINAR LEY DE CORTE (L)

El oro obtenido debe pagar a lo menos sus costos directos, es decir:

$$U = 0 \quad FV = C$$

$$y \quad FV = L \times V \times P = C$$

L : Ley (Gr./m³)
V : Vol. tratado (m³)
P : Precio Gr Oro (\$)

De donde:

$$L = C / (V \times P)$$

DETERMINACION COSTOS DE EXPLOTACION MENSUALES

Este costo depende básicamente del tipo de explotación a realizar:

- Explotación Artesanal.
- Explotación Semimecanizada.

Para visualizar en mejor forma las ventajas de una explotación semimecanizada sobre la artesanal, se compararán ambos sistemas aplicados al mismo tipo de material y se analizará su incidencia sobre la ley de corte.

La diferencia entre ambos métodos, radica básicamente en el costo de explotación y en la productividad alcanzada (m^3 material tratado/H-día).

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO:

EXPLOTACION ARTESANAL:

- Salarios: (S) \$ Operario/mes.
- Transporte personal (TP): \$ Viaje/día.
- Transporte agua (TA): \$ m^3 agua transportada.
- N° de operarios: N.
- Rendimiento lavado (RL): m^3 material lavado/ m^3 agua consumida. Este parámetro determina la cantidad de agua consumida y depende del tipo de material a procesar.
- Productividad (RE): m^3 material tratado/H-día. El cual, como se mencionó anteriormente, depende del tipo de material extraído, del sistema de extracción (Artesanal o Semimecanizada) y del tipo de proceso de concentración (cuna, canaleta).

COSTOS UNITARIOS POR M^3 MATERIAL TRATADO/H-DIA (25 DIAS/MES):

- Salarios: S/ (25 x RE) (\$/ m^3 H-día).

- Transporte personal: TP/ (N x RE) (\$/ m^3 H-día).
- Transporte agua: TA/ RL (\$/ m^3 H-día).

COSTOS TOTALES POR M^3 MATERIAL TRATADO/H-DIA (CT):

$$CT = S / (25 \times RE) + TP / (N \times RE) + TA / RL$$

EXPLOTACION SEMIMECANIZADA

En este caso el Costo se ve incrementado por:

- Costo Arriendo:
 - 1 Compresor (160 pie³/min).
 - 2 Martillos picadores.
 - 1 Huinche.
- Combustible y lubricantes para equipos anteriores.
- Costo arriendo y operación equipos. CAE = \$/mes.
- Costo arriendo y operación equipos por m^3 material tratado/H-día: CAE / (25 x RE x N).
- Costo total por m^3 material tra-

INDUSTRIA METALMECANICA RIVET S.A.

MALLAS PARA HARNEROS

- TEJIDAS
- ELECTROSOLDADAS
- VULCANIZADAS

- EN ACEROS CORRIENTES, INOXIDABLES Y DE ALTA RESISTENCIA A LA ABRASION

CINTAS TRANSPORTADORAS

- POLINES • POLEAS, TENSORES Y DESCANSOS PARA TRASPORTADORAS DE CORREAS
- TRANSPORTADORAS DE CORREAS FIJAS Y MOVILES
- LIMPIADORES

AV. RAMON FREIRE 5293

(EX PAJARITOS 6480)

792429-792275-792230 TL 242118 CL

SANTIAGO

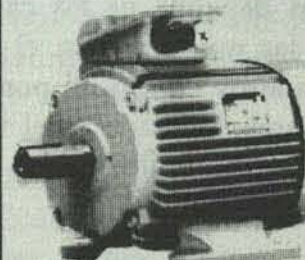
Motores, Grupos Electrógenos

Primeros en ventas, calidad y servicio
El más completo stock

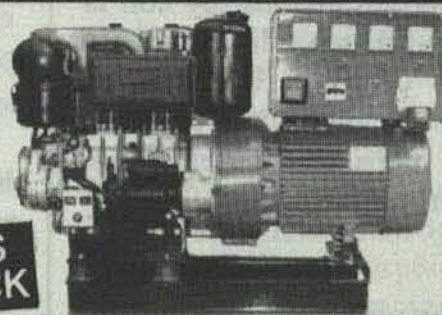
VEM
ALEMANIA



Motorreductores
Motovariadores



Motores Electricos



OFERTAS
EN STOCK

Grupos Generadores Diesel y Gasolina

LUREYE

AV. VIC. MACKENNA 1503, F: 5561729-5566772-5565671

CONFIABILIDAD
ABSOLUTA

tado/H-día (CT).

$$CT = S / (25 \times RE) + TP / (N \times RE) + TA / RL + CAE / (25 \times RE \times N).$$

Si se considera el CT calculado, la Ley de Corte va a estar dada por:

$$L = CT / P$$

CT : Costo m³ mat./H-día.

P : Precio gr oro.

L : Ley de corte (gr/m³).

EJEMPLO ILUSTRATIVO:

- Salarios: \$ 20.000 operario/mes.
- Transporte personal: \$ 1.000/día.

- Transporte agua: \$ 900 m³ agua transportada.
- Número operarios: 5.
- Arriendo-mantenimiento y operación equipos: \$ 150.000/mes.
- Tipo de material: Arenas aterteladas.
- Método explotación: Subterráneo.
- Rendimiento extracción artesanal: 0.15 m³/H-día.
- Rendimiento extracción semimecanizada: 0.75 m³/H-día.
- Rendimiento lavado: 1.8 m³ material/m³ agua.
- 25 días trabajados al mes.

LEY DE CORTE EXPLOTACION ARTESANAL:

$$CT = 20.000 / (25 \times 0.15) + 1.000 / (5 \times 0.15) + 900/1.8.$$

$$CT = 7.166,667.$$

$$L = 7.166,667 / 2.600 = 2,756 \text{ gr/m}^3.$$

LEY DE CORTE EXPLOTACION SEMIMECANIZADA:

$$CT = 20.000 / (25 \times 0.75) + 1.000 / (5 \times 0.75) + 900/1.8 + 150.000 / 25 \times 5 \times 0.75.$$

$$CT = 3.433,333.$$

$$L = 3.433,333 / 2.600 = 1,321 \text{ gr/m}^3.$$



TABLA Nº 2. EFECTO DE LA PRODUCTIVIDAD SOBRE LA LEY DE CORTE

Productividad m ³ mat. tratado/H-día	Ley de corte gr/m ³ mat.	Productividad m ³ mat. tratado/H-día	Ley de corte gr/m ³ mat.
0,18	4,893	1,08	0,976
0,36	2,543	1,26	0,864
0,54	1,759	1,44	0,780
0,72	1,368	1,62	0,715
0,90	1,132	1,80	0,662

TABLA Nº 3. EFECTO DEL PRECIO DE VENTA DEL GR DE ORO SOBRE LA LEY DE CORTE

Precio venta oro \$/gr	Ley de corte gr/m ³ mat.	Precio venta oro \$/gr	Ley de corte gr/m ³ mat.
2.000	1,717	3.000	1,144
2.200	1,561	3.200	1,073
2.400	1,431	3.400	1,010
2.600	1,321	3.600	0,954
2.800	1,226	3.800	0,904



ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE LA LEY DE CORTE

De los resultados obtenidos del ejemplo de aplicación, se visualizan las ventajas de una explotación semimecanizada, pues aunque ésta implica un costo total de operación mayor, la productividad alcanzada también lo es, lo que se traduce en un costo unitario de operación menor, reduciéndose la ley de corte en un 52% aproximadamente.

La Tabla Nº 2 muestra la incidencia de la productividad sobre la ley de corte; de manera similar, la Tabla Nº 3 muestra el efecto del Precio de Venta del Oro sobre la Ley de Corte. Ambas tablas fueron confeccionadas con los datos del ejemplo en aplicación.

CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

— Los métodos empleados en la exploración, extracción y procesamiento del material en general de-

ben adaptarse a: tipo, forma de ocurrencia, propiedades geomecánicas del material. Por otro lado, de los factores anteriormente mencionados y del grado de mecanización de la extracción, depende la productividad a alcanzar.

— Al igual que cualquier depósito mineral, la estimación de reservas de un placer es fundamental, pues los resultados que ella entregue serán los que definirán entre otros parámetros: la forma de extracción y procesamiento del material, volúmenes y leyes de los sectores muestreados. Posteriormente, utilizando algún criterio (Ley de Corte, por ejemplo) se podrán definir los sectores factibles de ser explotados y sus volúmenes y leyes respectivas para, finalmente, y de acuerdo a las productividades alcanzadas, determinar la vida útil del lavadero.

— De acuerdo al ejemplo en aplicación y pensando en una explotación semimecanizada (Ley de Corte = $1,321 \text{ gr/m}^3$), se puede visualizar que aproximadamente el 58% de las reservas del placer hipotético eva-

luado está sobre la Ley de Corte.

— En las Tablas Nºs 2 y 3 se visualiza lo siguiente:

Al aumentar la productividad a $1,18 \text{ m}^3/\text{H-día}$ la ley de corte disminuye a $0,976 \text{ gr/m}^3$; para estas condiciones el 71.5% de las reservas evaluadas son económicamente explotables. Por otro lado, para llegar a esta ley de corte vía precio de venta del oro, este debería ser \$ 3.518 el gr, o sea, un 37,3% mayor al precio considerado en la evaluación. De la información vertida en el punto anterior se desprende la gran importancia de lograr una óptima productividad, la cual se obtiene mecanizando la operación, lo que implica un menor costo unitario de operación ($\$ \text{ m}^3$ material tratado/H-día), traduciéndose lo anterior en una menor ley de corte exigida al depósito a explotar.