

### 3 Cálculo de volumen y tonelaje de depósitos minerales

Para el cálculo del volumen y el tonelaje de depósitos minerales, hay una variedad de métodos disponibles a escoger, cada uno para satisfacer a un depósito en particular. Estos métodos caen en dos categorías: cálculo de reserva en base a secciones transversales y en base a secciones planas longitudinales o planos de nivel, respectivamente.

Hay diferentes estándares de clasificación de reservas, por ejemplo, reservas medidas, indicadas e inferidas, en EE.UU. o Canadá, o reservas probadas, probables y posibles, en Australia o Alemania. Se sugiere al lector referirse a publicaciones que definen estas clasificaciones; para los J.U.L., por ejemplo, el Geológicas Survey Circular 831 (US Bureau of Mines y US Geological Survey 1980), para Australia "Reporting of Ore Reserves" (Reporte de Reservas de Mineral), publicado por el Instituto Australoasiático de Minería y Metalurgia (1988; Véase también Berkman 1982). Grimley (1987) da una buena introducción a la práctica Canadiense. En Alemania la Gessellschaft Deutscher Metallhuetten-und Bergleute (GDMB), publicó en 1983 su esquema de clasificación recomendado (Wellmer 1983). La publicación regular, Redbook (Recursos, producción y demanda de Uranio) de la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OECD (1988) en Paris y la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) en Viena contiene un diagrama comparando los diferentes esquemas de clasificación nacional. La publicación del Instituto de Minería y Metalurgia (1987) es también una buena fuente de información para comparar diferentes estándares.

La clasificación de reservas también trae preguntas estadísticas y geoestadísticas las cuales no serán discutidas aquí. El lector debe dirigirse a libros de texto de geoestadística, ejemplo David (1977).

#### 3.1 Cálculo del espesor verdadero.

Los barrenos raramente penetran a un cuerpo de mineral perpendicularmente al rumbo y echado. La longitud de la intersección por lo tanto indica solamente un espesor aparente el cual debe ser convertido en un espesor verdadero.

##### 3.1.1 Barrenando perpendicularmente al rumbo.

Este es el caso estándar. Por lo general, un perfil es trazado donde puede determinarse gráficamente el espesor verdadero. Para cálculos exactos, si la longitud del barreno es  $L_{\beta}$  (Figura 3a), el espesor verdadero ( $M_w$ ) es dado por:

$$M_w = L_{\beta} \cdot \text{sen}[180^{\circ} - (\alpha + \beta)] = L_{\beta} \cdot \text{sen}(\alpha + \beta).$$

##### 3.1.2 Barrenando indirectamente al rumbo.

La situación es más complicada, si el barreno va indirecto al rumbo. Las restricciones del terreno, en la barrenación subterránea o la barrenación en áreas montañosas hacen necesario la barrenación indirectamente al rumbo. Algunas veces, sin embargo, este método es usado por promotores para dar la impresión de un espesor aparente exagerado y ocultar un bajo espesor verdadero.

Como se muestra en la Figura 3a,  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del barreno,  $\beta$  el ángulo de buzamiento del cuerpo mineral,  $\gamma$  el ángulo entre la proyección horizontal del barreno y la dirección del echado (Figura 3b). Además, necesitamos  $\delta$ , el ángulo aparente del echado del cuerpo a lo largo de la dirección del barreno. Primero, necesitamos expresar el ángulo de echado aparente  $\delta$  en términos del ángulo de buzamiento  $\beta$  y el perfil del ángulo  $\gamma$  por la profundidad  $h$  (Figura 3c). El triángulo AHG es orientado perpendicular al rumbo del cuerpo. Así que el ángulo entre AH y GH es el ángulo de echado  $\beta$ . Por lo tanto:

$$h = b \cdot \tan\beta \quad (1)$$

Ahora consideramos el triángulo AJG con el ángulo de pendiente aparente  $\delta$ . La relación para  $h$  es:

$$h = c \cdot \tan\delta \quad (2)$$

Combinando las ecuaciones (1) y (2) tenemos:

$$b \cdot \tan\beta = c \cdot \tan\delta \quad (3)$$

En el triángulo horizontal AHJ, el ángulo entre  $b$  y  $c$  es  $\gamma$ , por lo tanto:

$$\frac{b}{c} = \cos\gamma \quad (4)$$

Combinando ecuaciones (3) y (4) tenemos:

$$\tan\delta = \cos\gamma \cdot \tan\beta \quad (5)$$

Ahora, para determinar el espesor verdadero  $M_w$ , volvemos a la Figura 3b.

Del perfil AC (Figura 3b) el espesor verdadero  $M_w$  puede ser determinado como:

$$M_w = a \cdot \sin\beta \quad (6)$$

Del plano horizontal en la Figura 3b, con  $n$  siendo el espesor horizontal aparente en la dirección del barreno AB, se puede determinar  $a$ :

$$a = n \cdot \cos\gamma \quad (7)$$

Combinando las ecuaciones (6) y (7) nos dan:

$$M_w = n \cdot \text{sen}\beta \cdot \text{cos}\gamma. \quad (8)$$

Donde  $a$  es el espesor horizontal aparente perpendicular al echado.

$n$  puede ser derivada del triángulo DEF en el perfil AB (Figura 3b) usando la relación de senos, con  $L_D$  siendo la longitud de la intersección:

$$\frac{L_D}{\text{sen}\delta} = \frac{n}{\text{sen}(180^\circ - (\alpha + \beta))} = \frac{n}{\text{sen}(\alpha + \beta)}; \quad (9)$$

$$n = L_D \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}\delta}$$

Substituyendo  $n$  en la ecuación (8) con la ecuación (9), el resultado es:

$$M_w = L_D \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}\delta} \text{sen}\beta \cdot \text{cos}\gamma \quad (10) \quad \mathbf{3b}$$

Reemplazando  $\text{cos}\gamma$  en términos de la ecuación (5):

$$\text{cos}\gamma = \frac{\tan\delta}{\tan\beta} = \frac{\text{sen}\delta \text{cos}\beta}{\text{cos}\delta \text{sen}\beta} \quad (11)$$

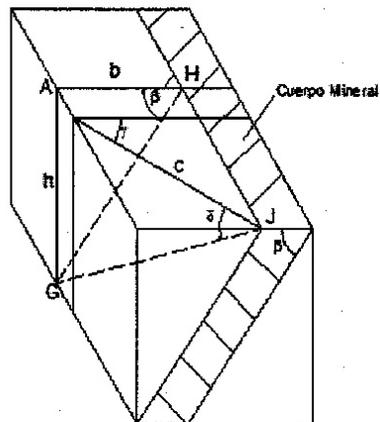
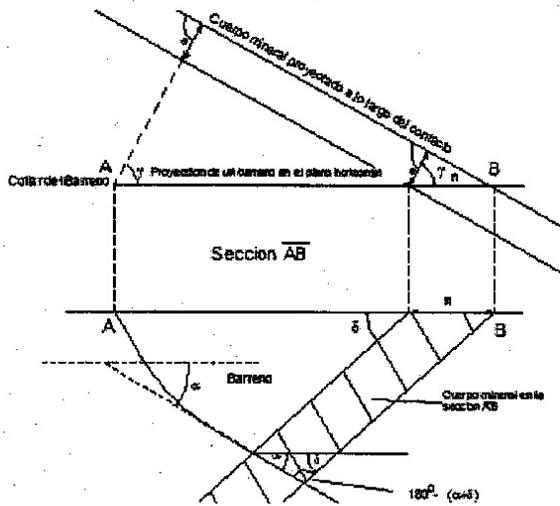
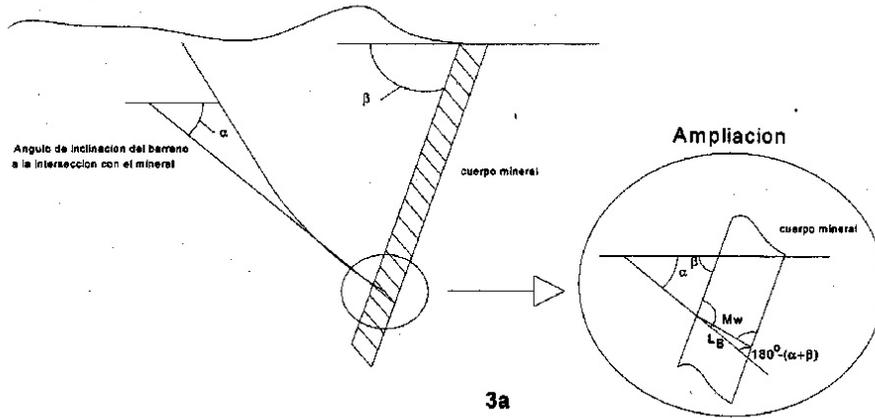
resultando en:

$$M_w = L_D \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}\delta} \text{cos}\beta \text{ o } M_w = L_D R_m \quad (12)$$

$$\text{con } R_m = \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{cos}\delta} \text{cos}\beta \quad (13)$$

$R_m$  es el factor de reducción del espesor.

**Figura 3. a.** Sección vertical para calcular el espesor verdadero de una intersección de un barreno.  
**b.** Plano y sección para calcular el espesor verdadero de un barreno que va indirecto al echado.  
**c.** Diagrama del bloque para calcular el ángulo de inclinación aparente.



### 3.2 Cálculos de reserva basados en secciones.

Si un depósito ha sido barrenado sistemáticamente en secciones, los cálculos de reserva estarán basados en secciones transversales a lo largo de esas líneas.

A cada sección transversal, se le asigna un área de influencia correspondiente a la mitad de la distancia entre las dos secciones adjuntas. De esta manera los límites de los bloques están exactamente a la mitad de la distancia entre los barrenos (véase Figura 4).

El área de superficie de los bloques en la sección está dada en la Tabla III.

Tabla III.

Bloque	Area de Superficie (m <sup>2</sup> )
I	$55 \cdot 22 = 1210$
II	$(55+50) \cdot 11 = 1155$
III	$(50+45) \cdot 27 = 2565$
IV	$(45+50) \cdot 7 = 665$
Total	5595

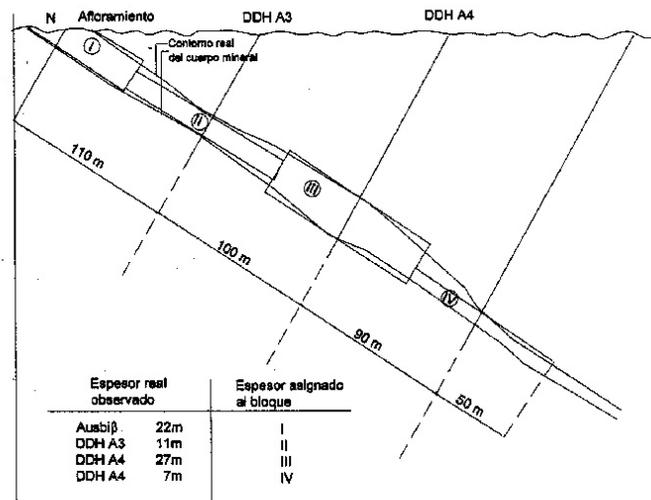


Figura 4. Sección transversal para el cálculo de reservas con bloques.

Si asumimos que la distancia entre las secciones aledañas es de 50 m y la densidad del mineral es de  $4.0 \text{ g/cm}^3$ , llegamos a un tonelaje en este perfil de:

$$T = 50 \cdot 4 \cdot 5595 = 1.119 \text{ Millones t}$$

La pregunta importante de qué tan lejos puede uno extrapolar desde el último barreno debe ser respondida geostadísticamente. La experiencia muestra que es la mitad de la distancia entre barrenos, pero raramente es más de 50 m. Las investigaciones fuera de estos límites deben considerarse que pertenecen a la categoría de reservas posibles.

### 3.3 Cálculos de reserva basados en planos.

Si la barrenación es hecha en áreas montañosas o residenciales, o si muestra fuertes deflexiones laterales, esto resultara en intersecciones irregularmente espaciadas. En estos casos, no es aconsejable trabajar con secciones sino más bien se usan planos para depósitos inclinados tabulares o mapas para depósitos plegados. Usualmente los bloques (véase Figura 5 y 6) están delimitados por líneas equidistantes a los barrenos adyacentes. El área de superficie de los bloques es entonces multiplicada por el espesor y densidad como en el ejemplo del Capítulo 3.2. Las líneas equidistantes son construidas de la manera siguiente (Figura 5).

Se crea un área de triángulos conectando barrenos adyacentes uno con otro. Las líneas equidistantes, bisectrices perpendiculares, parten en dos los lados de estos triángulos y limitan el área de influencia poligonal centrada en cada barreno. El lado oeste del depósito en la Figura 6 es definido por barrenos que encontraron mineralizaciones no económicas (leyes menores al corte). La manera de determinar los límites de corte se tratara en el Capítulo 10.1.

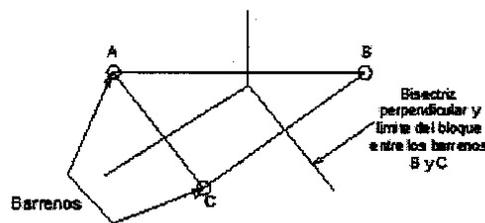


Figura 5. Construcción de líneas de equidistancia.

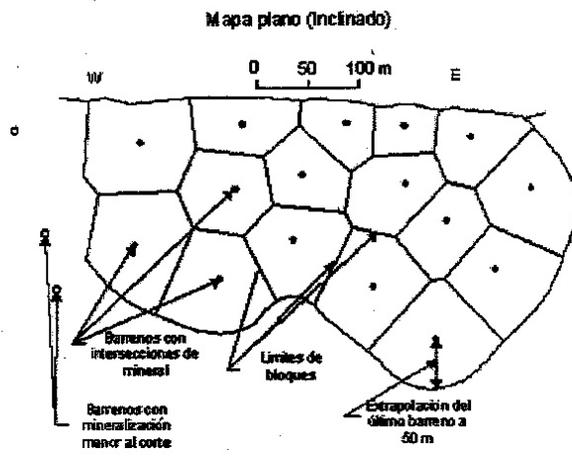


Figura 6. Plano para el cálculo de reservas con bloques.