

Yacimientos Minerales

BLOQUE III. EVALUACIÓN Y PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Métodos de cubicación



Gema Fernández Maroto

Departamento de Ciencias de la
Tierra Y Física de La Materia
Condensada

Este material se publica con licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



MÉTODOS DE CUBICACIÓN





EVALUACIÓN Y CUBICACIÓN

- Una cubicación minera es la exposición de un yacimiento en forma de resultados numéricos, planos, datos geotécnicos, hidrológicos y cuantos sean precisos para estudiar la futura explotación del mismo.
- Además de los cortes geológicos correspondientes, es preciso realizar plantas y secciones donde se indiquen la posición, dentro del yacimiento, de las distintas menas, zonas de enriquecimiento, potencias, dilución posible según el método de explotación.
- La cubicación es la primera fase de la explotación de la mina.



CUBICACIÓN

La **Cubicación de un Yacimiento Mineral** consiste en determinar el volumen, tonelaje y leyes del mismo, partiendo para ello de los datos obtenidos en la investigación y con el fin de conocer las posibles reservas del yacimiento.

RECURSOS

- Masas de mineral que se conocen o simplemente se cree que existen, y su extracción es económicamente viable.

RESERVAS

- Aquella parte de los recursos identificados que se pueden explotar económicamente con la tecnología y condiciones económicas actuales o a muy corto plazo.



¿Qué datos se necesitan para hacer una cubicación?

Datos de la Mineralización

Tipo: mineralogía, morfología, roca encajante...

Potencia: metros mineralizados

Ley: contenido metálico....

Densidad: del conjunto de la mineralización

Área mineralizada: interpretación geológica del yacimiento

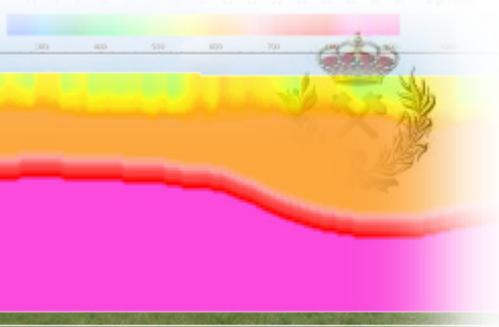


¿De dónde se obtienen estos datos?

Investigación Minera

Métodos Directos

Métodos Indirectos



MÉTODOS INDIRECTOS

GEOFÍSICOS

GEOQUÍMICOS



**PROSPECCIÓN
GEOQUÍMICA**



MÉTODOS DIRECTOS

- CALICATAS
- SONDEOS



MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN → MODELO GEOLÓGICO
en el que se pueda determinar:

- VOLÚMEN: m^3
- TONELAJE: m^3 x densidad
- LEY MEDIA: % metal contenido en la mineralización.

Tipo de Mineralización

Mena y ganga

Roca encajante

Tabular, lenticular....



DESMUESTRES

Toma de una porción de mineral

Observaciones:

- MINERALIZACIÓN (estructura, textura, mineralogía, tamaño de los minerales, hastiales, relación hastiales/mineralización, potencia de la mineralización, tectónica)
- ROCAS ADYACENTES: continuidad

LEY DE UNA MINERALIZACIÓN

Contenido de cada uno de los elementos metálicos de la mena.
(%, g/t, ppm, ppb)



TIPOS DE LEYES

LEY MEDIA: Media ponderada del conjunto del yacimiento. Desmuestres, sondeos.

LEY GEOLÓGICA: Ley media (ponderada) del conjunto del yacimiento o de la mineralización, sin tener en cuenta la dilución.

LEY MINERA: Ley geológica más zonas estériles de los hastiales que es preciso añadir para poder explotar la mina (dilución).

LEY DE CORTE o CUT-OFF: Ley mínima rentable que se debe considerar en un desmuestre de calizata, galería, sondeo, a partir de la cual la extracción del mineral deja de ser rentable en las condiciones económicas del momento.



Descripción de un sondeo

SONDEO 1

0-10m Recubrimiento

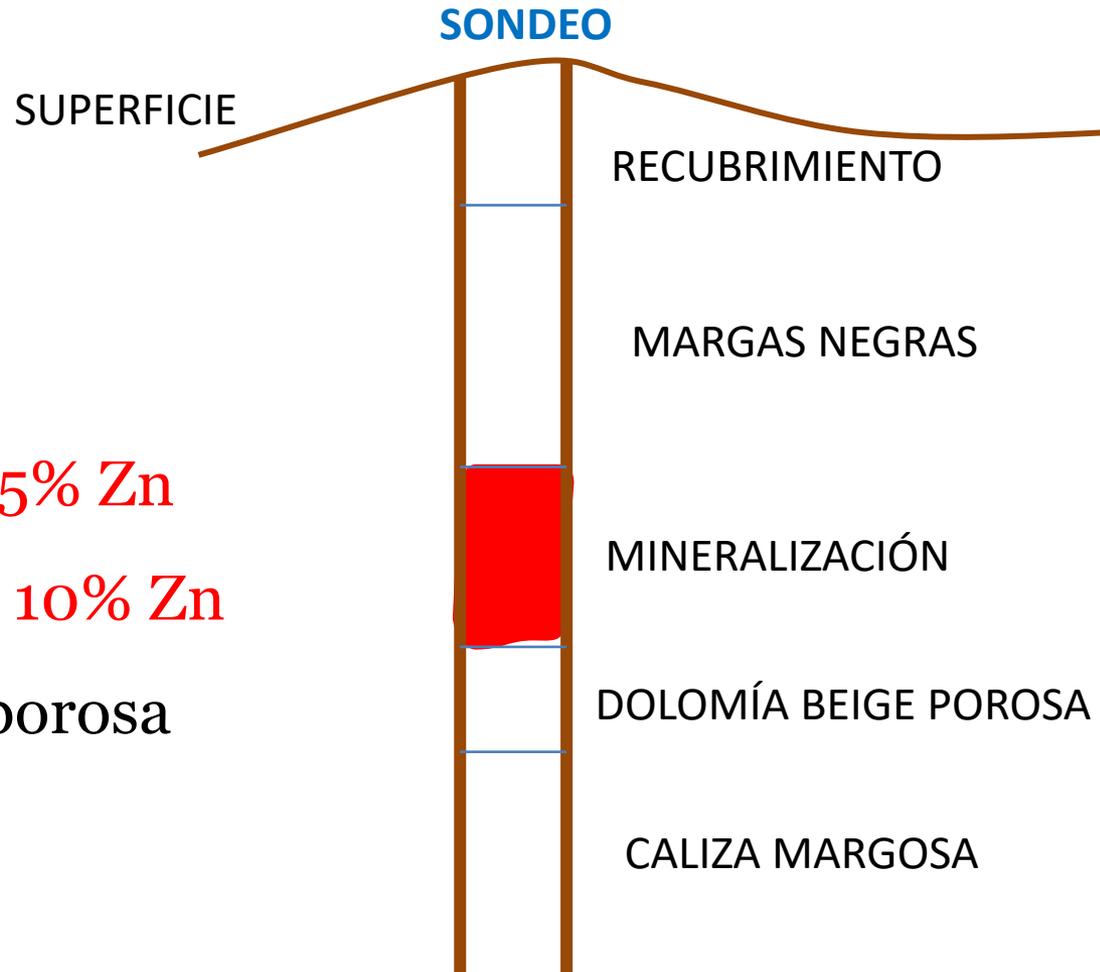
10-60m margas negras

60-75m mineralización 5% Zn

75-80 m mineralización 10% Zn

80-95m dolomía beige porosa

95-115m caliza margosa





CÁLCULO DE LA LEY MEDIA DE UN SONDEO

TRAMO 1 : 60-75m mineralización 5% Zn

Potencia del tramo mineralizado=15 m

TRAMO 2: 75-80m mineralización 10% Zn

Potencias del tramo mineralizado= 5m

$$\text{LEY MEDIA DEL SONDEO} = \frac{(15 \times 5) + (5 \times 10)}{\text{Potencia total de la mineralización } 20} = 6.25\% \text{ Zn}$$

LEY MEDIA DE UN SONDEO

$$\frac{(\text{Potencia}_1 \times \text{Ley}_1) + (\text{Potencia}_2 \times \text{Ley}_2) \dots}{\text{Sumatorio de potencias}} \times 100 =$$

Sumatorio de potencias

Ley en tantos por ciento



CUBICACIÓN DE YACIMIENTOS

La cubicación de un yacimiento consiste en determinar el volumen, tonelaje y leyes del mismo, partiendo de los datos obtenidos en la investigación. Para determinar estas reservas se utilizan diversos métodos, aplicables a los distintos tipos de yacimientos. Una cubicación se puede realizar con dos criterios distintos:

- ***Criterios geológicos:*** La cubicación se basa en los datos e interpretaciones geológicas aportados por los sondeos, la cartografía de exterior e interior, teniendo en cuenta exclusivamente la mineralización.
- ***Criterios mineros:*** Además de los datos geológicos, se tienen en cuenta criterios de explotabilidad, sistemas de explotación, dilución, recuperación del mineral del yacimiento y otros parámetros que no se tienen en cuenta en los criterios geológicos.

DILUCIÓN: Estéril que acompaña al mineral que se extrae en la explotación de un yacimiento.



CUBICACIÓN DE YACIMIENTOS

- Nunca es posible explotar la totalidad del yacimiento, siempre existen zonas que no tienen interés económico o que son imposibles de extraer con los sistemas de explotación empleados.
- Sin embargo, la cantidad de todo-uno extraído de la mina suele ser mayor que el mineral de la cubicación geológica, con ley inferior, debido a la dilución de los hastiales.
- El grado de exactitud de una cubicación depende fundamentalmente de la toma de datos, de la meticulosidad de los desmuestres, de la comprobación de los resultados y de la fiabilidad de todas las medidas

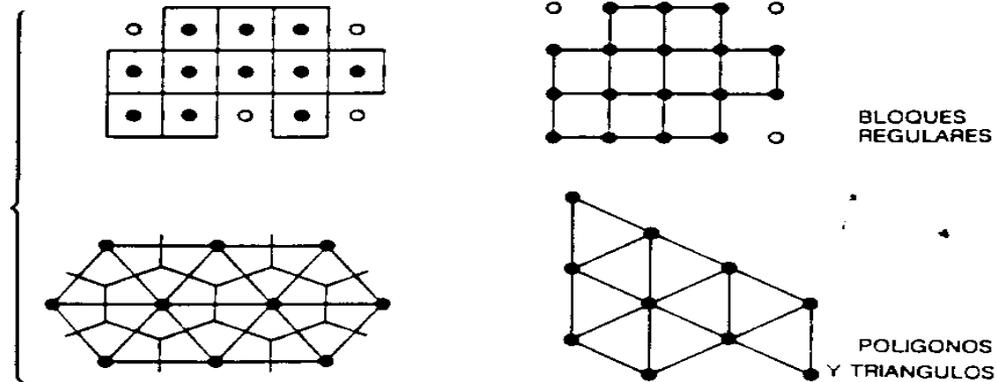


MÉTODOS DE CUBICACIÓN

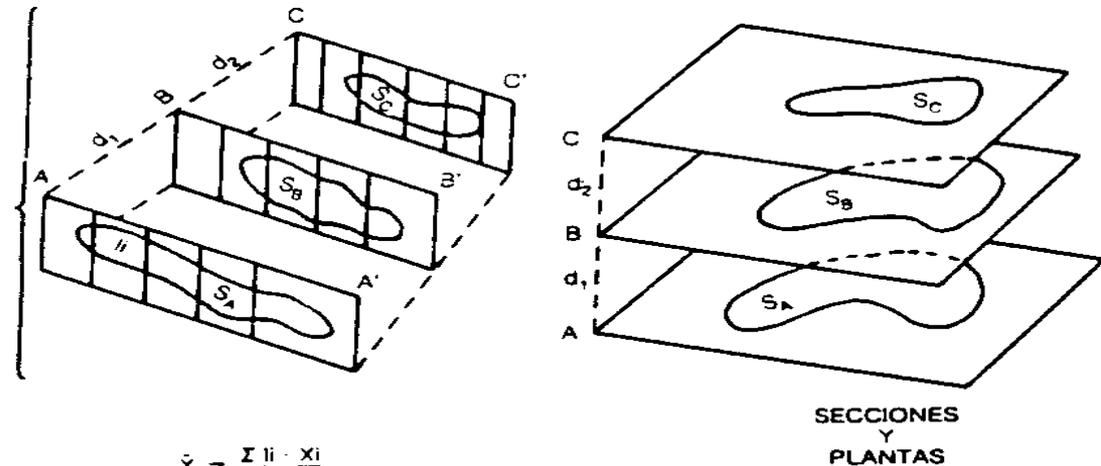
- MÉTODOS GEOMÉTRICOS
- MÉTODOS MORFOLÓGICOS
- MÉTODOS GEOMATEMÁTICOS

Métodos de cubicación de yacimientos:

1.- Geométricos



2.- Morfológicos

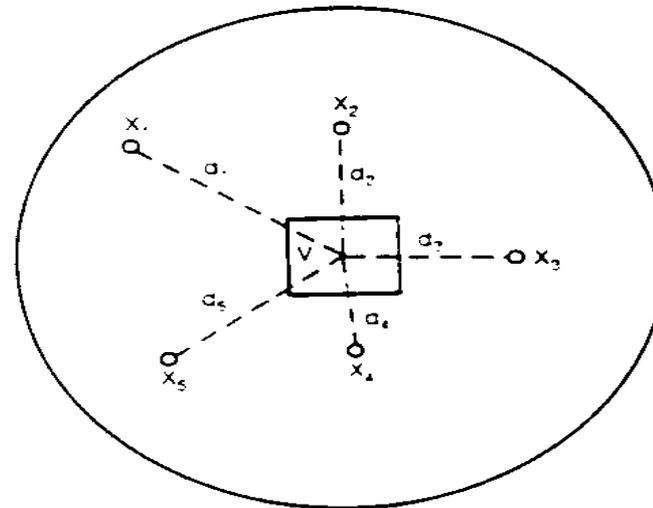


Orche García, E. (1999)

$$\bar{x} = \frac{\sum l_i \cdot x_i}{\sum l_i}$$

Métodos de cubicación de yacimientos:

3.- Geoestadísticos



MÉTODOS
GEOMATEMÁTICOS

INVERSOS DE LAS DISTANCIAS (I.D.)

$$L_v^* = \frac{\sum 1/a_i \cdot x_i}{\sum 1/a_i}$$

INVERSOS DE LOS CUADRADOS DE LAS DISTANCIAS (I.C.D.)

$$L_v^* = \frac{\sum 1/a_i^2 \cdot x_i}{\sum 1/a_i^2}$$

KRIGEAGE (K)

$$L_v^* = \sum \lambda_i \cdot x_i$$

DONDE LOS VALORES λ_i RESULTAN DEL SISTEMA DE ECUACIONES DE KRIGEAGE.

Orche García, E. (1999)

UNA CUBICACIÓN DEBE:

- Estudiar la mineralogía del yacimiento
- Los minerales principales y secundarios
- Minerales que pueden constituir impurezas en los concentrados
- Rendimientos de cada mineral



Óxidos de Mn



El grado de exactitud de la cubicación depende:

- Toma de datos
- Meticulosidad desmuestres
- Comprobación resultados
- Fiabilidad de todas las medidas

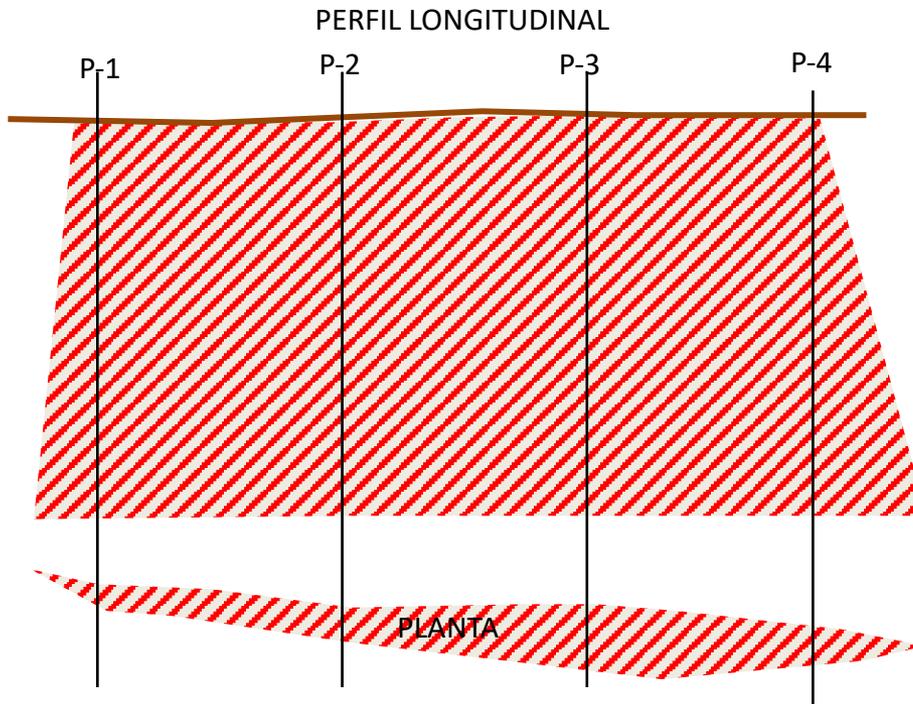




CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS PERFILES

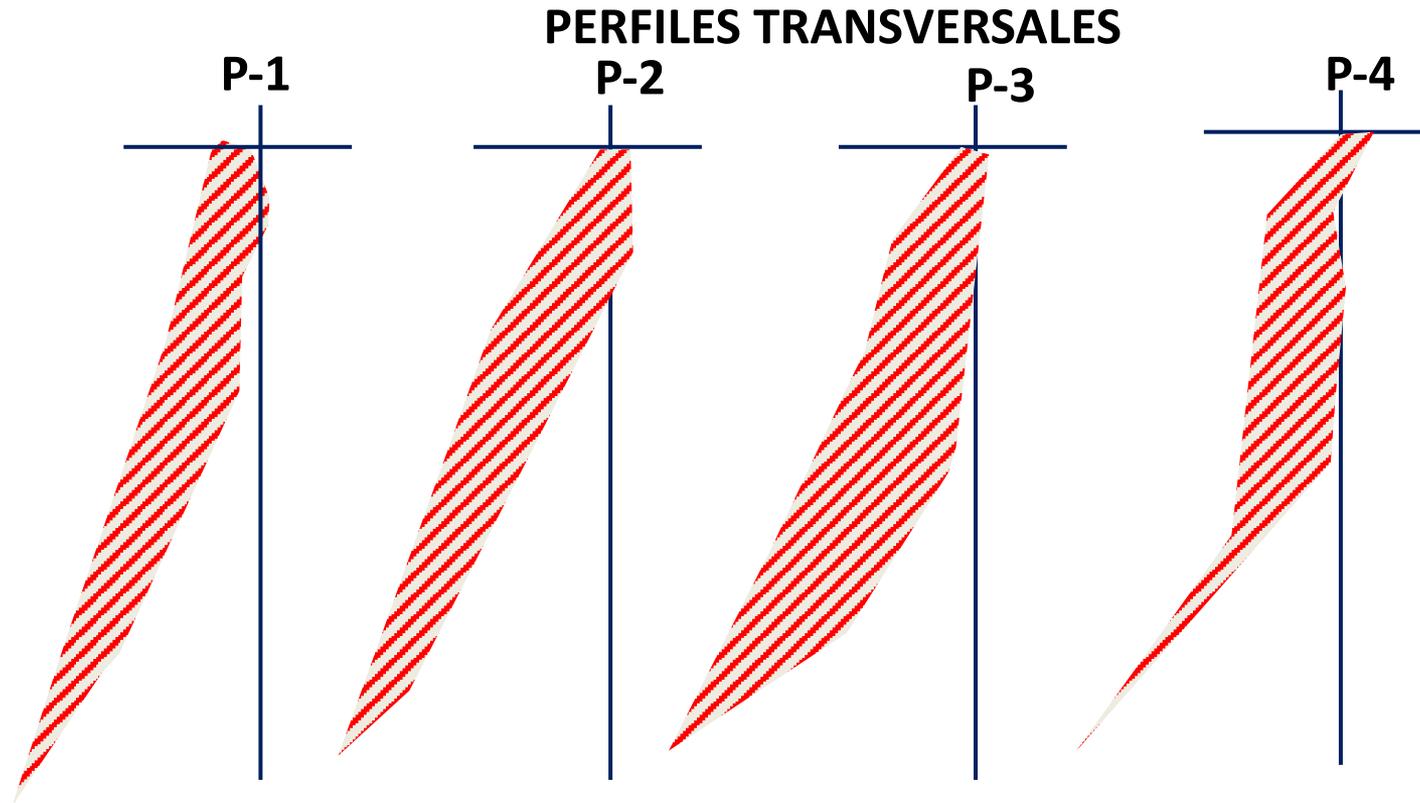
- La cubicación por el método de los perfiles transversales, consiste en formar bloques individualizados limitados por dos perfiles o cortes adyacentes de forma que se pueda hallar el volumen mineralizado situado entre ambos, calcular la ley media, delimitar las zonas marginales del yacimiento, esterilidades, situación de las fallas, profundidad máxima del yacimiento con vistas al proyecto de explotación, extrapolación del contorno externo, llevando a continuación los datos obtenidos en los cortes a los planos de planta y perfil longitudinal.
- Al mismo tiempo, a la vista de la morfología de la mineralización y de la geotecnia de los hastiales, se diseña el método de explotación más adecuado, se calcula la dilución probable a la vista del método de explotación elegido, optimizando el sistema de explotación con relación a la morfología del mineral, aprovechando al máximo el criadero con el mínimo de dilución.

CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS PERFILES



Método de los perfiles transversales. Es uno de los más utilizados en yacimientos de gran tamaño, por la facilidad de interpretación de los sondeos y la división del yacimiento en zonas, con cubicaciones por separado. Se utiliza principalmente para yacimientos de fuerte buzamiento.

CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS PERFILES



Supongamos un yacimiento dividido en bloques limitados por perfiles transversales, la cubicación total:

$$C_t = \Sigma C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS PERFILES

Se cubica individualmente cada bloque y, finalmente, se suman los resultados obtenidos hasta conocer las reservas totales. Cada bloque lleva los pasos siguientes:

- a) Medición de la superficie de los perfiles transversales por medio de uno de los procedimientos conocidos.
- b) Cálculo del volumen de los bloques como de un tronco piramidal irregular, cuyas bases son la superficie de los perfiles que lo limitan, y la altura es la distancia entre perfiles.
- c) A continuación se calcula la ley media de cada perfil, a partir de la ley media de los sondeos, aplicando la fórmula conocida:

$$G = \frac{m_1g_1 + m_2g_2 + \dots + m_n g_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$g_1 g_2 \dots$ leyes de los sondeos situados en cada perfil.

$m_1 m_2 \dots$ potencia de los sondeos situados en cada perfil.

CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS PERFILES

d) El tonelaje de cada bloque se calcula: $T_m = V \times d$

d = Densidad aparente calculada por medio de fórmula empírica obtenida a partir de la medición de numerosas muestras.

e) Lateralmente el yacimiento se acaba definiendo su terminación en forma de cuña, como en el caso de la parte inferior de los perfiles transversales, por lo que su volumen será el de una pirámide irregular cuya base es el último perfil, y la altura la definida de acuerdo con los criterios de extrapolación seguidos.

$V = S \times 1/3 \times h$ = Altura de la cuña, tomando como base el perfil.

f) El contenido metálico o las reservas metálicas son la cantidad de metal puro contenido en el mineral, sin contar los rendimientos mineralúrgicos y metalúrgicos posteriores. Se calcula multiplicando el tonelaje de cada bloque por la ley media del mismo.

- C_m = Contenido metálico.
- $C_m = T_m \times L/100$ T_m = Toneladas métricas de cada bloque.
- L = Ley media de cada bloque.



CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS

Cuando se cubica un yacimiento horizontal o subhorizontal (placeres, capas, pórfidos) la exploración se realiza mediante sondeos verticales situados regular o irregularmente sobre el yacimiento. Para el cálculo de las reservas, con una red de sondeos verticales se suele utilizar el método de los polígonos, en el que a cada sondeo se sitúa en el centro de un polígono regular y se le da la influencia del área.

El dominio de influencia de cada sondeo lo constituyen todos los sondeos situados más próximos a éste que de los otros mas alejados (se denomina también método del punto más próximo). De esta forma el yacimiento queda dividido en una serie de polígonos irregulares, en cuyo centro se encuentra un sondeo. La división en polígonos se hace de acuerdo con el teorema que establece que la normal en el punto medio de un segmento rectilíneo (mediatriz), es el lugar geométrico de los puntos que equidistan de los extremos del segmento

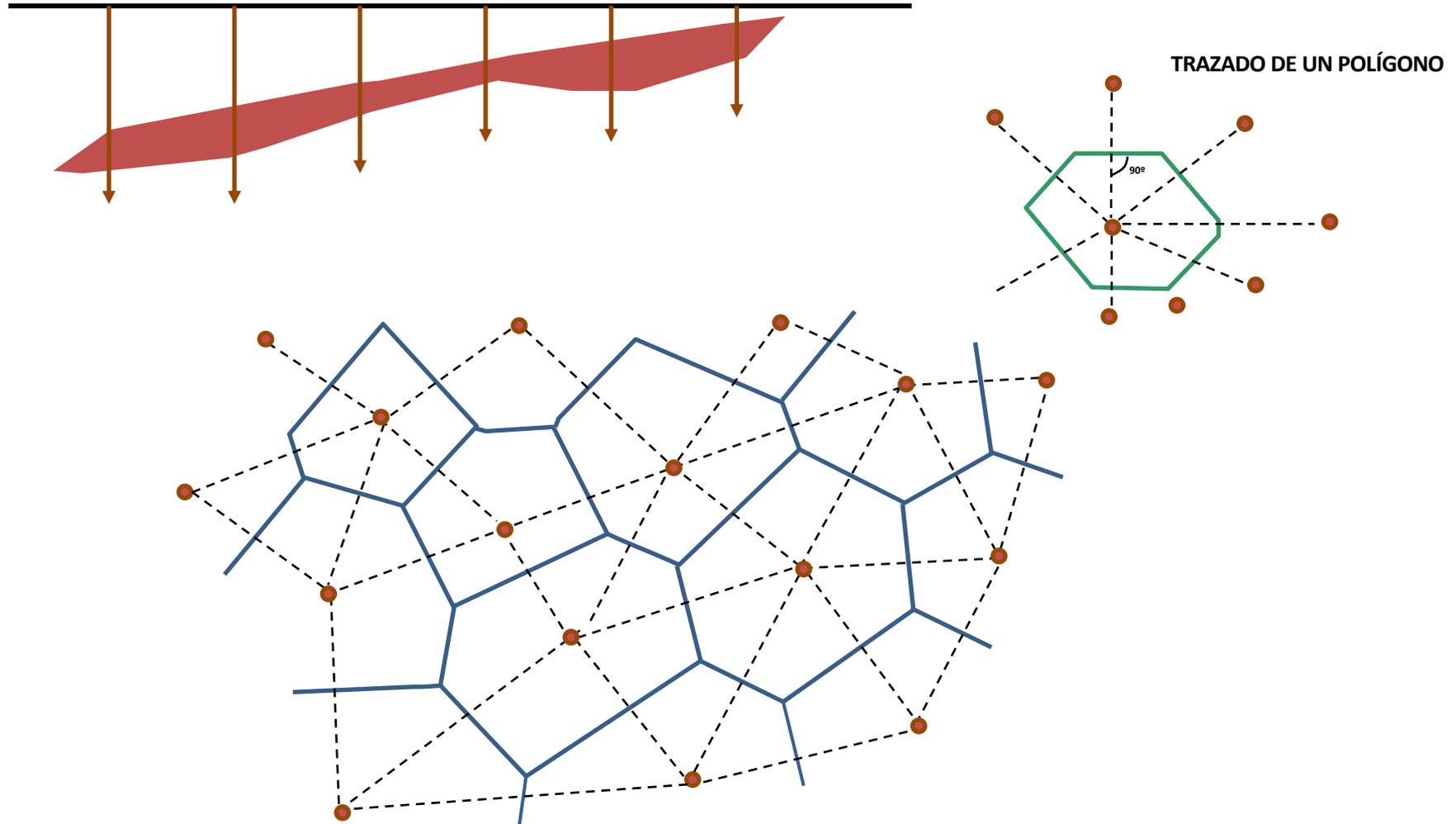


CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS

La construcción de los polígonos se realiza de la forma siguiente:

1. En el plano de la figura se representan los sondeos positivos con círculos llenos, los negativos por circunferencias, y en la parte superior de EW, aparece una superficie delimitadora.
2. Se une cada sondeo con los más cercanos, formando un mosaico de triángulos, en cada triángulo ha de estar metalizado, por lo menos, uno de sus vértices.
3. En cada uno de los lados que unen los sondeos se trazan las medianas. Donde se corten, son los vértices de los polígonos.
4. El yacimiento queda así dividido en prismas cuyas bases son los polígonos correspondientes, y las alturas los espesores obtenidos en cada sondeo. Si se toma el plano horizontal como base, la altura será la longitud de corte de la mineralización en el sondeo.

CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS





CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS

Método de cálculo: $v_1 = f_1 \times m_1$ en m^3 $q_1 = v_1 \times d_1$ en Toneladas

$p_1 = q_1 \times g_1$ en Tm $Q_t = q_1 + q_2 + \dots + q_n$ $P_t = p_1 + p_2 + \dots + p_n$

Donde: f_1 = superficie de cada polígono. m_1 = longitud mineralizada del sondeo

v_1 = volumen mineralizado de cada prisma d_1 = densidad aparente

p_1 = reservas metálicas q_1 = tonelaje de cada prisma Q_t = tonelaje total

g_1 = ley media de cada sondeo P_t = reservas metálicas totales



CUBICACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS

El cálculo de la banda comprendida entre los contornos externo e interno puede realizarse de dos maneras.

1. Una parte de la banda, generalmente la mitad, es añadida al bloque respectivo y así las reservas de este último quedan ampliadas. La ley y la potencia de los sondeos del contorno interno se utiliza en el cálculo de las reservas de esta banda intermedia.
2. La banda intermedia se divide en bloques mediante mediatrices trazadas a los segmentos que unen cada dos sondeos del contorno interno, lo que equivale a prolongar los lados de los polígonos correspondientes. Las reservas de los bloques se calculan por separado y se suman para obtener las reservas totales de la banda considerada.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

La ventaja principal la constituye la sencillez del procedimiento.

Las desventajas son:

- 1) No existe concordancia entre los prismas y la morfología del yacimiento.
- 2) Pueden producirse errores importantes en yacimientos cuya potencia es muy variable (arrosariados), sobre todo si es escaso el número de trabajos de reconocimiento.
- 3) Los bloques obtenidos son geométricos y no corresponden a las distintas clases de reservas, sino que están colocado al azar, según la situación de los sondeos.
- 4) Son más fácilmente aplicables a yacimientos horizontales o poco pendientes, generalmente placeres.



MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

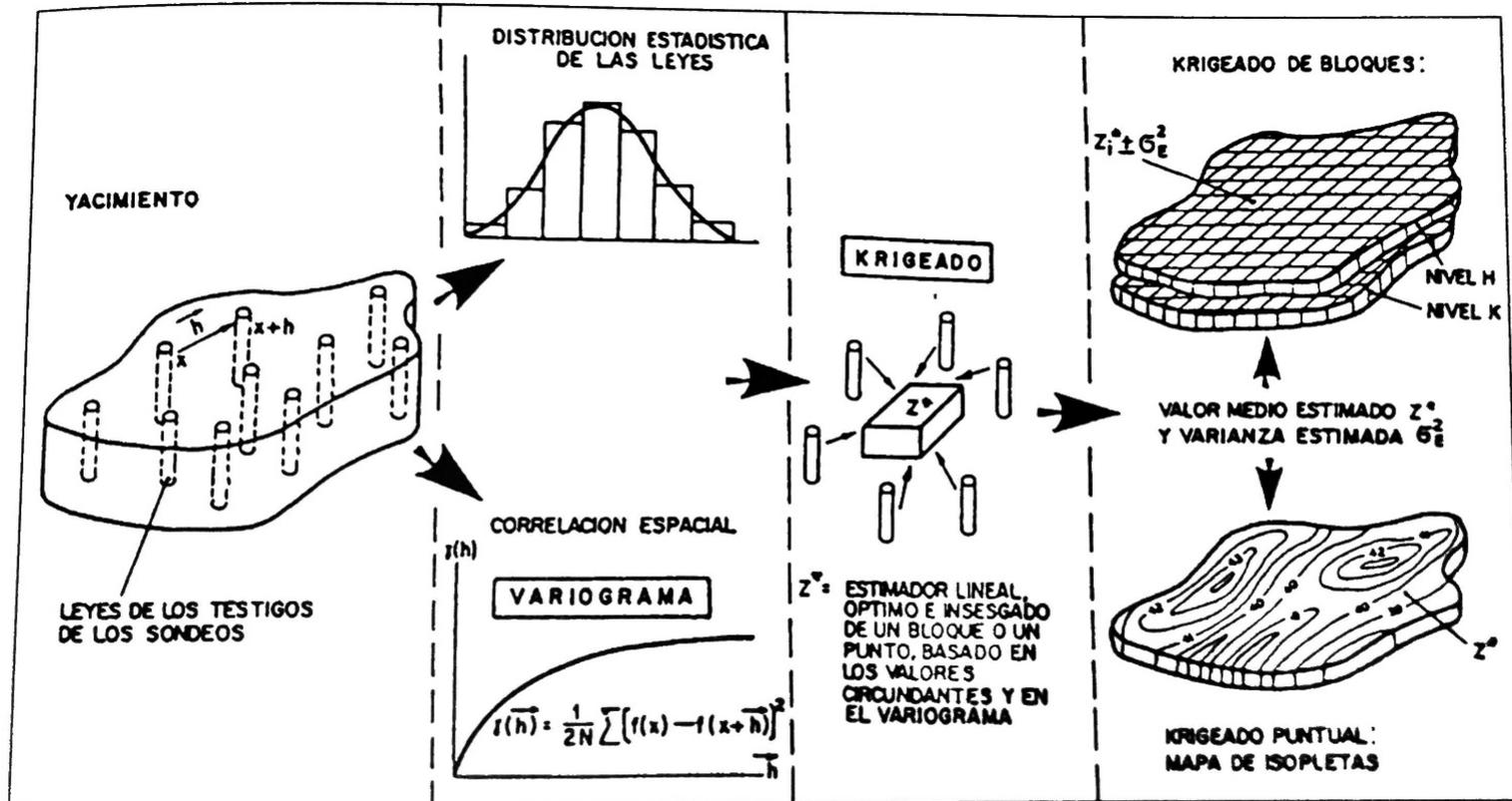
La aplicación de la geoestadística se inició con el cálculo de las reservas de un yacimiento con bajos contenidos de metal y leyes muy dispersas (pórfidos cupríferos y placeres), pero ha demostrado otras aplicaciones como el control de leyes y su aplicación a la optimización de la geometría de las cámaras de explotación.

- Para trabajar con el ordenador y aplicar la estadística a la cubicación es preciso determinar el bloque unidad discretizando el yacimiento en volúmenes muy pequeños.
- La base de una cubicación es la fiabilidad de los datos, los programas geoestadísticos tratan de elaborar los parámetros obtenidos y reflejarlos con el mínimo error posible, estudiando su varianza y suavizando los efectos de un sondeo en un área grande, haciendo intervenir los de alrededor.



MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

- Al mismo tiempo que se introducen los datos numéricos y se discretiza el yacimiento en volúmenes unidad, se interpretan los cortes geológicos, por perfiles en los que se colocan todos los datos obtenidos sobre la estructura, geotecnia e hidrología, señalando, como en los casos de cubicación clásicos, las áreas de mayor potencia o ley, realizando la interpretación geológica del yacimiento.
- El método geoestadístico es el más adecuado para la estimación de las leyes de un yacimiento porque su base teórica tiene en cuenta conceptos geológicos como el área de influencia de una muestra, la continuidad de la mineralización y los cambios laterales de la misma (anisotropía). Los objetivos del método son discretizar el depósito en porciones regulares a las que se pueda dar la estimación de la ley, de acuerdo con todos los valores próximos con los que se encuentra interrelacionado, calculando el error cometido.

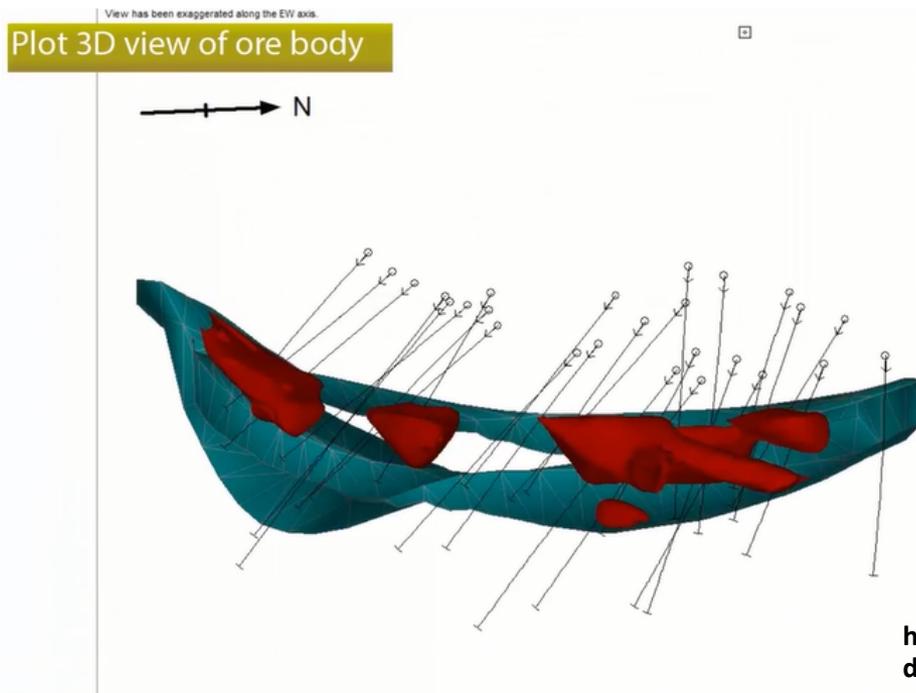


ITGE, 1991. Tomado de Bustillo y López Jimeno, 1997

Para poder relacionar los valores de las variables con su posición en el espacio y a su vez, relacionarlos entre sí, la herramienta básica es el Variograma.

El Variograma es una función matemática que permite estudiar las diferencias entre muestras y la direccionalidad (anisotropía) de los valores.

La cantidad de cálculos que implica el uso de estos métodos hace imprescindible la utilización programas específicos, entre ellos destacan: DATAMINE, GEMCOM, VULCAN, MICROMINE, GEOPACK, SURPAC, GEOSTAT, MICROLYNX, MINEMAP, etc... Se basan fundamentalmente en la modelización de los yacimientos a partir del uso del kriguaje como interpolador.



<https://www.dataminesoftware.com/es/solutions/studio-em-analisis-e-interpretacion-geologica/>