

La estimación de recursos niquelíferos con corrección geofísico- geoestadística

Maria Gentoiu¹ / mgentoiu@geominera.co.cu

Jorge Acosta Breal¹ / jacosta@geominera.co.cu

RESUMEN

Se presenta un procedimiento para corregir los datos de pozos de perforación, en lo referido al espesor de mena y de friable, a través de un coeficiente de corrección (KG) que incorpora toda la información geológica-geofísica disponible al respecto, con el objetivo de obtener una estimación de recursos más cercana a la real. Los datos geofísicos, provenientes de los métodos de Sondeo Eléctrico Vertical o de Georradar se integran a los de perforación mediante la Geoestadística. Para ejemplificar se tomaron datos del yacimiento Camarioca Este.

PALABRAS CLAVE

Corrección recursos, yacimientos lateríticos, geofísica, geoestadística.

Estimation of nickel resources with geophysical-geostatistical correction

ABSTRACT

It is presented a procedure for correcting the drill hole data characterizing the thickness of ore and friable through a correction coefficient (KG) that incorporates all available geological-geophysical information about this topic, with the objective of obtaining a reserve estimation close to the real one. The geophysical data, obtained using methods such as Electric Vertical Sounding or Ground Penetrating Radar are integrated to the drill holes data using geostatistics. The used exemplification data were taken from the Camarioca East ore deposit.

KEY WORDS

Resource correction, lateritic deposit, geophysics, geostatistics.

INTRODUCCIÓN

Las características de los yacimientos ferro-niquelíferos de la región de Moa han requerido y facilitado a la vez el empleo de la geofísica y de la geoestadística para el cálculo de recursos. Uno de los problemas de estos yacimientos es la irregularidad del contacto entre la roca dura y la capa friable (Lavaut 1998, Cuador Gil, 2002). Una red muy densa de pozos de perforación para modelar este contacto implicaría gastos que harían irrentable la explotación (Lavaut, 2000).

Es por esto que se ha decidido el empleo de la geofísica en uno de sus métodos: Sondeo Eléctrico Vertical de Polarización Inducida (SEV-PI) o Georradar. Sea uno u otro, el resultado geofísico es confiable debido al alto contraste eléctrico o dieléctrico existente entre el basamento y la capa friable. Los sondeos hechos en los pozos de perforación han demostrado una alta correlación entre el valor del espesor pronosticado y el medido en pozos, correlación que oscila alrededor de 95 %.

La integración del dato geofísico al de perforación se realizó mediante la geoestadística, que fue posible aplicarla debido a la correlación espacial de las variables, en otras palabras a la posibilidad de obtener variogramas con un comportamiento estacionario o por lo menos intrínseco.

Otra característica de estos yacimientos es la alta correlación entre el espesor de friable y el de mena, correlación que oscila alrededor de 85 %, a pesar de un posible cambio del *cut off* de Ni (Lavaut & Gentoiu, 2005, 2006); esto ha permitido estimar la mena a partir del friable obtenido por geofísica, utilizando métodos geoestadísticos multivariados.

El empleo de la geofísica a través de sondeos simétricamente intercalados entre los pozos y el procesamiento con métodos geoestadísticos, han permitido obtener una red dos veces más densa que la de perforación, espaciada a 8,33x8,33 m (figura 1). Esta red es poco manejable para los mineros que

están acostumbrados a utilizar el pozo de perforación con su área de influencia donde todas las características del volumen incorporado mantienen un valor constante, sean los contenidos de Fe, Ni y Co, o el espesor de mena y peso volumétrico. Tanto los contenidos de los elementos y el peso volumétrico varían suavemente en la lateral y utilizarlos en una red igual a la de perforación no implicaría grandes errores en la estimación de recursos. No se puede decir lo mismo sobre el espesor de mena. Es necesario utilizar la nueva red obtenida por geofísica y geoestadística, pero al mismo tiempo estimar el recurso para cada pozo con su área de influencia. La solución encontrada es a través de un coeficiente de corrección (KG) que rectifica el cálculo tradicional del volumen, con un valor que proviene de la red más densa calculada.

En este trabajo se presenta la metodología para el cálculo del coeficiente y se expone brevemente una aplicación hecha en el yacimiento Camarioca Este.

MÉTODOS

Para el cálculo del coeficiente de corrección geofísico-geoestadístico (KG) es necesario tener estimada o simulada una variable en una red más densa que la de los datos reales, generalmente un submúltiplo de esta (Journel,1991). En caso del espesor de mena, se ha calculado primeramente el espesor de friable, incorporando el dato geofísico, y después la mena como tal en una red dos veces más densa que los pozos de perforación (Díaz-Viera. M., com. pers., 2005). No es la intención de este artículo presentar la metodología de cálculo, sino sólo utilizar el resultado obtenido.

Si se considera una red de perforación de 33,33x33,33 m, la mena se calculará en una red de 8,33x8,33 m. En geoestadística se emplea el término soporte para designar el tamaño de una muestra o bloque (Armstrong,1998). En este

caso, se puede decir que el soporte del bloque con el pozo central es de $S=33,33 \times 33,33\text{m}$ y de celda de $s=8,33 \times 8,33\text{m}$.

En cada celda se estima un valor de mena m^* . El promedio de los valores que se encuentran en el área de influencia de un pozo da el valor calculado de mena (M^*) en el respectivo pozo:

$$M^* = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^*}{n}$$

donde n representa el número de celdas que se encuentra en el área de influencia del pozo. Para cada pozo se puede calcular un volumen V , en base al valor de mena M (medido) en el respectivo pozo, y un volumen V^* en base al valor estimado:

$$V = SM$$

$$V^* = \sum_{i=1}^n sm_i^* = s \sum_{i=1}^n m_i^* = \frac{S}{n} \sum_{i=1}^n m_i^* = S \frac{\sum_{i=1}^n m_i^*}{n} = SM^*$$

El coeficiente de corrección geofísico-geoestadístico sería:

$$KG = \frac{V^*}{V} = \frac{SM^*}{SM} = \frac{M^*}{M}$$

Como se puede observar, para corregir el cálculo de los volúmenes es suficiente corregir el valor de mena del pozo, reemplazándolo por el valor medio de las celdas que se encuentran en su área de influencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para ejemplificar, se ha elegido un cuerpo mineral del yacimiento Camarioca Este, donde 120 pozos de perforación se encuentran en una red de $33,33 \times 33,33\text{m}$ con sondeos geofísicos intercalados. En la figura 1 se presentan nueve de estos pozos.

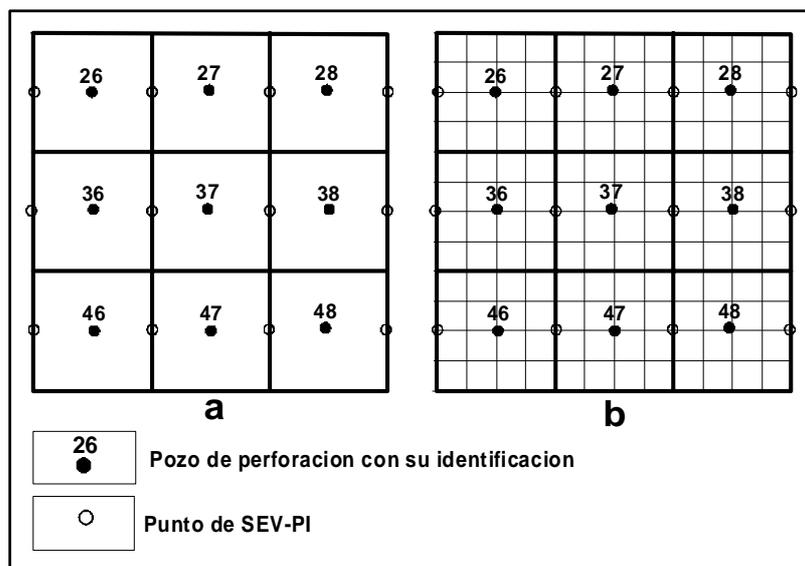


Figura 1. (a) Red de 33,33x33,33 m de pozos con sondeos intercalados; (b) Red estimada de 8,33x8,33m

Fue posible elegir una red cuadrada porque el yacimiento es isótropo (Armstrong, 1998). El tamaño de la red inferida es la mitad de la red de datos reales, incluyendo la geofísica.

Para la estimación de la mena se ha utilizado CoKriging Colocado (Wackernagel, 1995) tomando como red la del friable obtenido con anterioridad por la integración de los datos de geofísica a los de perforación, y como variable principal la mena medida en pozos.

El comportamiento de la mena es el de una variable estacionaria, con un modelo logarítmico de variograma, de alcance 200 m y efecto pepita (nugget) 10,78 (tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de los variogramas simples y cruzado ajustados para el modelo de correogionalización lineal

Variables	Variables	Variables	Variables	Variables
Mena	Mena	Mena	Mena	Mena
FriablePozo	FriablePozo	FriablePozo	FriablePozo	FriablePozo
Mena-FriablePozo	Mena-FriablePozo	Mena-FriablePozo	Mena-FriablePozo	Mena-FriablePozo

Los resultados de la nueva red se pueden comparar en la figura 2

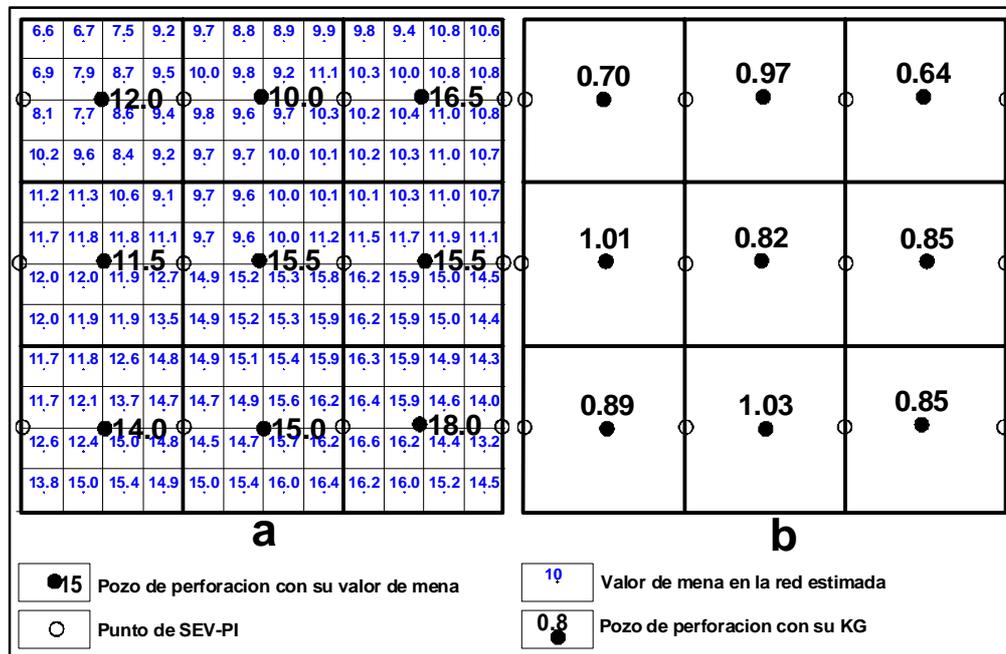


Figura 2. Resultados comparativos: a. espesor de mena en pozos y en red estimada b. coeficiente de corrección geofísico-geoestadístico

Como se observa, los coeficientes de corrección son menores que uno, con la excepción de dos pozos, donde el valor es aproximadamente unitario. Para los nueve pozos considerados, el volumen de mena se redujo en 14 %. No siempre pasa esto, hay situaciones cuando el coeficiente es mayor que uno y entonces el recurso aumenta.

Aunque se han aplicado solo métodos de estimación, que implican una cierta suavización del dato real (Díaz, 2003), la utilización del dato geofísico reduce el soporte de la red e implícitamente, reduce el grado de suavización. En caso del cuerpo mineral considerado, el algoritmo matemático ha accionado sobre los picos positivos, así como demuestran el histograma de la figura 3 y la tabla 2. En el histograma (a) aparecen dos poblaciones, situación poco usual para el mismo cuerpo mineral. La población de color negro es de 26 elementos, de los cuales 12 corresponden a puntos aislados, posiblemente asociados a errores de mediciones. En el histograma (b) estos elementos se incorporan a la población principal (color gris). En la tabla antes mencionada se puede

remarcar el mismo proceso: a partir del tercer cuartil comienzan las diferencias entre los valores de pozo y los estimados (un promedio de 11 m por pozos y 9,10 m por estimación geoestadística)

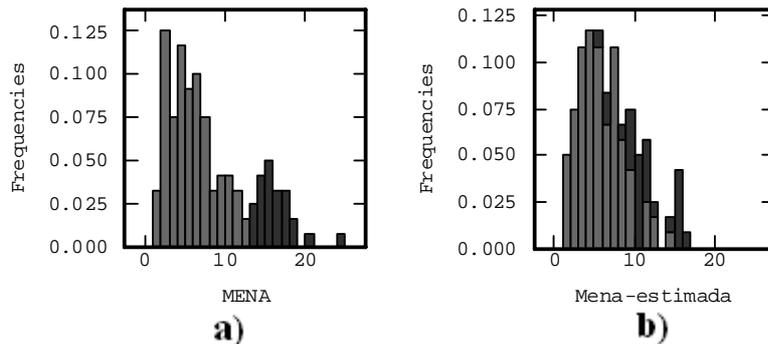


Figura 3. Distribución de frecuencias de mena en bloques de 33x33 m. a) con datos medidos b) con datos estimados

Tabla 2. Estadística descriptiva de la mena en bloques de 33x33 m con datos de pozo y estimados

Estadígrafo	Mena (M)	Mena estimada (M*)
No. muestras	120	120
Media	7,70	6,96
25%-tile	4,00	4,18
Mediana	6,00	6,19
75%-tile	11,00	9,10
Desviación estándar	5,18	3,64
Varianza	26,80	13,25
Curtosis	-0,19	-0,12
Coefficiente de asimetría	0,83	0,66
Rango	23,00	15,44
Mínimo	1,00	1,06
Máximo	24,00	16,50
Coefficiente de variacion	0,67	0,52

CONCLUSIONES

La valoración de las reservas ferroniquelíferas de los yacimientos lateríticos cubanos se dificulta por la compleja estructura geológica y, consecuentemente, del campo menífero, lo que está condicionado por la naturaleza irregular de la constitución de la roca madre, la distribución de las propiedades físico – mecánicas, estructura litológica variable en la corteza de intemperismo y diferentes condiciones geomorfológicas, hidrogeológicas y microclimáticas.

Las características de variabilidad espacial de los parámetros de los depósitos minerales lateríticos es posible modelarlas eficientemente a través de mecanismos geoestadísticos y, más reciente utilizando la geofísica, con sus métodos de Sondeo Eléctrico Vertical y Georadar.

Aunque la geofísica no puede dar información sobre los contenidos de los minerales y peso volumétrico, puede corregir la reserva a través de un coeficiente que acciona sobre el espesor de mena. La experiencia ha demostrado que la reserva estimada de esta forma se ajusta más a la real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMSTRONG, M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*, Springer, Germany, 153 pp.
- CUADOR GIL, J. 2002. Estudios de Estimación y Simulación Geoestadística para la Caracterización de Parámetros Geológico - Industriales en el Yacimiento Laterítico Punta Gorda (Universidad de Pinar del Río) [Tesis doctoral]
- DÍAZ-VIERA, M. 2003.(en línea). Aplicaciones geoestadísticas: Estimación & Simulación, XVIII Foro de Estadística, México. Disponible en:
www.mmc.igeofcu.unam.mx/cursos/gest/APLICACIONES/XVIIIFNE_mdiaz.pdf
- JOURNEL A. G. & HUIJBREGTS CH.J., 1991. *The Estimation of in Situ Resources*. En: *Mining Geostatistics*, Academic Press, 5 ed., San Diego, 303-443.
- LAVAUT COPA, W. 1998. Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba Oriental. *Minería y Geología* 15 (1) :9-16.
- LAVAUT COPA, W. 2000. Informe sobre el estudio preliminar de las redes de perforación y muestreo para el cálculo del mineral laterítico, E.G.M.O., Santiago de Cuba.
- LAVAUT COPA, W. & GENTOIU, M. 2005. *Informe sobre estimación de recursos en el Yacimiento Yagrumaje Norte*, EGMO, Santiago de Cuba
- 2006. Informe sobre estimación de recursos en el Yacimiento Camarioca Este, EGMO, Santiago de Cuba.
- WACKERNAGEL, H. 1995. Cokriging. En: *Multivariate Geostatistics*, Springer, Germany, 144-152.