

SIMULACION CONDICIONAL DE LAS ALTERNATIVAS DE EXPLOTACION
DE UN PORFIDO CUPRIFERO

GERMAN FLORES G. (*)
EDUARDO ROJAS V. (*&)
LUIS HENRIQUEZ B. (**)

INTRODUCCION

La idea de simulación de cuerpos minerales no es nueva y se han propuesto diversas simulaciones determinísticas o probabilísticas de un depósito. Pero, la mayoría de estos procedimientos clásicos de simulación fracasan en la reproducción de las características más relevantes, especialmente la reproducción de las autocorrelaciones espaciales de las variables en el depósito. Aprovechando la propiedad de la geoestadística que expresa la función de autocorrelación espacial de la variable en estudio, a través del variograma, Journel (1973) describe una técnica probabilística llamada Simulación Condicional, mediante la cual, es posible obtener diversas imágenes que representen un depósito simulado, similar al depósito, tanto en sus características geológicas, como geoestadísticas.

En cada uno de los depósitos simulados, es posible llevar a cabo una simulación de los procesos de producción, incluyendo explotación, mezclado, alimentación planta y análisis económico, lo que permite probar diferentes políticas de extracción con el fin de mejorar la rentabilidad del proyecto en estudio.

- (*) Ing. Civil de Minas División el Teniente Codelco Chile
(*&) Ing. Civil de Minas Universidad de Santiago de Chile
(**) Ing. Civil de Minas M. Eng, Ph.D. Comisión Chilena del Cobre

SIMULACION CONDICIONAL DE UN YACIMIENTO

Antes que una mina entre en operación, es útil tratar de predecir las fluctuaciones en varias escalas (días, mes, año) de las diferentes características del mineral recuperado. Las fluctuaciones diarias del espesor de sobrecarga o el espesor mineralizado podría condicionar el procedimiento de extracción o la selección de los equipos mineros. Las fluctuaciones en las leyes podría condicionar la existencia de una estación de mezclado o la flexibilidad de la planta.

Para estudiar estas fluctuaciones, se requiere un buen conocimiento del mineral a recuperar. Si $Y_o(x_1, x_2, x_3) = Y_o(x)$ denota el valor de la ley verdadera en cualquier ubicación $X \in R^3$ del espacio tridimensional con coordenadas x_1, x_2, x_3 , se requiere un conocimiento de la función real $Y_o(x)$. Debido a la falta de tal conocimiento se necesita una simulación $Y_{sc}(x)$ de esa realidad.

CARACTERISTICAS DE LA SIMULACION CONDICIONAL

- Estas simulaciones encuentran la función particular de autocorrelación espacial (covarianza), la cual caracteriza la realidad observada.
- Condicionamiento del dato experimental, es decir, los valores simulados y los valores experimentales deben ser idénticos en la localización del dato.
- Disponibilidad de trabajar en el espacio real tridimensional.

REPRESENTACION DEL MODELO

El modelo es considerado, como representativo si concluye en resultados similares al depósito real cuando los mismos procesos técnicos son aplicados en él. Los resultados de interés incluyen cantidades tales como: los tonelajes recuperados,

razón estéril-mineral, la selección de las leyes, la variabilidad de las leyes en la alimentación a planta, etc. Estas cantidades involucran la distribución espacial del mineral dentro del depósito y también la variabilidad de las leyes in-situ.

Consecuentemente, la Geoestadística recurre a una modelización probabilística del depósito. Esto se hace simulando una realización de una función aleatoria caracterizada por un histograma y un variograma idéntico a aquellos revelados por el análisis estructural del dato. Ya que el modelo, tiene el mismo variograma que el depósito real, la variabilidad de las leyes in-situ definidos en cualquier volumen, es reproducido por el modelo.

Una última condición debe ser satisfecha por el modelo: la mineralización deberá tener la misma morfología que el cuerpo mineral real. Este punto es esencial porque en muchos casos los problemas de explotación son causados por la forma del depósito. Esta condición puede ser cumplida o ejecutada utilizando modelos probabilísticos o determinísticos para representar la morfología particular del depósito.

TEORIA DE LA SIMULACION CONDICIONAL

El desarrollo de esta teoría se encuentra en Journal (1973). La fórmula principal en que se basa es la siguiente:

$$Y_{sc}(X) = Y_{ok}^*(X) + \left[Y_s(X) - Y_{sk}^*(X) \right] \quad (1)$$

donde :

$Y_{ok}^*(X)$ = valor krigado de $Y_o(X)$ es una combinación lineal de los datos vecinos: $Y_{ok}^*(K) = \sum \lambda_i y(x_i)$

$Y_{sk}^*(X)$ = valor krigado de $Y_s(X)$ basado en la misma configuración de datos que $Y_{sk}^*(X)$, es una combinación lineal de los datos $Y_s(X_i)$; $Y_{sk}^*(X) = Y_s(X_i)$, evidentemente los λ_i son

idénticos para $Y_{ok}^*(X)$ e $Y_{sk}^*(X)$

$Y_s(X)$ = Valor simulado no condicionalmente

$Y_{sc}(X)$ = Valor simulado condicionalmente

CASO ESTUDIADO

La aplicación del modelo se ilustra mediante el estudio de la variabilidad de las leyes diarias en la alimentación a planta, provenientes de una eventual explotación de la zona de óxidos de alta ley de pórfido cuprífero chileno.

La idea fundamental, es proyectar la variabilidad de las leyes por diferentes alternativas de explotación en el modelo analítico del depósito, y en base a estos resultados elegir el método que homogenice suficientemente el mineral, para obtener un buen metal recuperado en planta. Para llevar a cabo este estudio, se requiere necesariamente de la técnica de simulación condicional, la cual provee modelos analíticos de cualquier depósito en una cuadrícula tan fina como sea de seada.

Evidentemente, para lograr una buena simulación condicional, se requiere un estudio estadístico y estructural bastante detallado de la información disponible, para así determinar los parámetros y relaciones de las variables (CuT , CuS) que reproducirá el modelo.

En la tabla se muestran los parámetros estadísticos de los datos reales para la zona de óxidos de alta ley, además analizando los diagramas de correlación y análisis de regresión se observa que existe un alto grado de correlación entre las variables CuT y CuS .

TABLA N°1

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LOS DATOS REALES

Variable	CuT	CuS
Media	0.777	0.478
Varianza	0.150	0.120

El semivariograma promedio obtenido para dicha zona corresponde a un esquema esférico, cuyos parámetros geoestadísticos se muestran en tabla N°2.

TABLA N°2

PARAMETROS GEOESTADISTICOS

Co	Co + C	a_x	a_4	a_z
0.024	0.10	220m.	220m.	110m.

SIMULACION

La mineralización de óxidos de alta ley estará representada por un paralelepípedo que cubre una superficie de 640 m. por 700 m. con 14 niveles a 13 m. cada uno.

Utilizando la información de leyes de CuT de los sondeos verticales dispuestos según una cuadrícula de 100 m. x 100 m., de igual soporte, los parámetros estadísticos y geoestadísticos, se simularon un conjunto de valores en una malla más fina según una cuadrícula de 20 x 20 metros.

La variable simulada (CuT), en una malla sistemática de 20m. de espacio, corresponde a 11318 leyes. Estos valores simulados son iguales al dato real, en cada una de las 533 localizaciones reales. La media, varianza, histograma, variograma y la morfología de la mineralización en el espacio de los valores simulados, fueron comparados con el modelo experimental construidos en base a la información geológica y geoestadística disponible en el yacimiento.

La tabla 3 muestra los parámetros estadísticos entregados por el modelo simulado.

TABLA N°3
PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA SIMULACION

Variable	CuT	CuS
Media	0.751	0.473
Varianza	0.082	0.070

ALTERNATIVAS DE EXPLOTACION

En la zona en estudio se determinó un posible pit-final, con su correspondiente programa de producción. Las reservas cubidas son del orden de 20 millones de Ton. métricas, con una ley de corte de 0.6% en CuS, ley media 0.9% en CuS y una razón estéril-mineral de 0.8.

Para la eventual explotación de dichas reservas, se considera una producción de 13500 Ton. métricas día con 300 días de operación al año, lo que da una vida útil de aproximadamente 5 años. La unidad de explotación equivale a un bloque de 20 x 20 mts. de área y una altura de 13 mts. La ley media de alimentación a planta es 0.70% en CuS y su capacidad es suficiente para tratar la producción diaria programada.

Empleando esta información en el modelo analítico de la zona de óxidos obtenida a través de la Simulación Condicional, se analizan 2 alternativas de explotación con el objeto de determinar su influencia en las fluctuaciones de las leyes medias diarias en CuS de alimentación a planta. Dicho estudio se basa en que la ley es la variable que más afecta las operaciones de procesamiento del mineral.

ALTERNATIVA DE EXPLOTACION 1

La zona es explotada por un frente de trabajo, lo que implica tener una pala para la extracción de mineral y otra para estéril, ambas de igual capacidad. Para satisfacer los requerimientos de producción, se necesita remover un bloque de mineral diario (13500 Ton. métricas) el cual es enviado directamente a planta.

Debido, a que la pala tiene una maniobrabilidad de extracción limitada, la secuencia de explotación es rígida, ofrece pocas posibilidades para la elección del frente de trabajo.

ALTERNATIVA DE EXPLOTACION 2

La zona es explotada por 2 frentes de trabajo en forma simultánea, lo que implica tener 2 palas de igual capacidad tanto para la extracción del mineral como para estéril. En cada frente de trabajo, se necesita extraer 6750 Ton. métricas de mineral (medio bloque), por lo tanto las capacidades de las palas son de menor tamaño que los empleados en la alternativa anterior. El tonelaje extraído desde los 2 frentes es enviado directamente a planta.

También es necesario realizar una estimación de las leyes de bloques del depósito, para así poder comparar las fluctuaciones de las leyes medias diarias simuladas con las estimadas y analizar si la simulación provoca un mejoramiento en la homogenización de las leyes en la alimentación a planta. Dicha estimación, ha sido realizada a través del krigage.

Para ambas alternativas de explotación (1 y 2), las Figuras 1 y 2 muestran las fluctuaciones de las leyes medias diarias para 6 meses de producción (150 días hábiles).

Según los resultados obtenidos, se observa una variación considerable en las fluctuaciones de leyes medias diarias enviadas a planta, al comparar ambas alternativas. La dispersión de las leyes medias diarias es mayor para la alternativa 1 que para la alternativa 2. Además la variabilidad de las leyes simuladas es mayor que los estimados (krigeage), la discrepancia entre ambos depende de la precisión de la estimación.

CONCLUSIONES

Con la técnica de Simulación Condicional puede visualizarse

un espectro más amplio de posibilidades de explotación, que junto con las consideraciones económicas operativas permite tomar una mejor decisión para el complejo mina-planta.

Además, se puede decir que para los diversos problemas que actualmente está enfrentando la industria minera, la simulación de cuerpos minerales y más generalmente, las simulaciones de fenómenos regionalizados, aparece como única aproximación que no requiere de altas inversiones. Debido, al gran volumen de información que maneja el sistema, a que en la actualidad se encuentran disponibles computadores de altas capacidades (memorias) y gran rapidez de cálculos y, sobre todo, la originalidad de esta nueva técnica, ahora es posible la realización de simulaciones multivariantes tridimensionales dentro de costos razonables de computador.

Esta técnica permite obtener una mayor precisión en los estudios de factibilidad, y en particular en la predicción de tonelajes y leyes a recuperar en el yacimiento en estudio. Tal ganancia en precisión tendrá un efecto directo en la fiabilidad de las proyecciones económicas y reducirá el riesgo inherente en el desarrollo y puesta en marcha de nuevos depósitos marginales.

BIBLIOGRAFIA

- G. Flores y E. Rojas " Simulación Condicional de las Alternativas de Explotación de un Porfido Cuprífero"; memoria de Título, Universidad Santiago de Chile Inedita, Santiago 1981.
- Journal A. "Geostatistics for conditional simulation of ore bodies", Economic Geology, Vol. 69, pp 63-687.1973
- Journal A. y Huijbregt CH. "Mining geostatistics", Academic Press, London, 1978.
- Guibal D. "Simulation des schemas intrinsèques", ed. Centre de Géostatistique, Ecole des Mines de Paris, 1972
- Deraisme J. y Damay R. "Geostatistics and mining processes", Proceeding of 16 th APCOM Symposium, Tucson, U.S.A 1979.

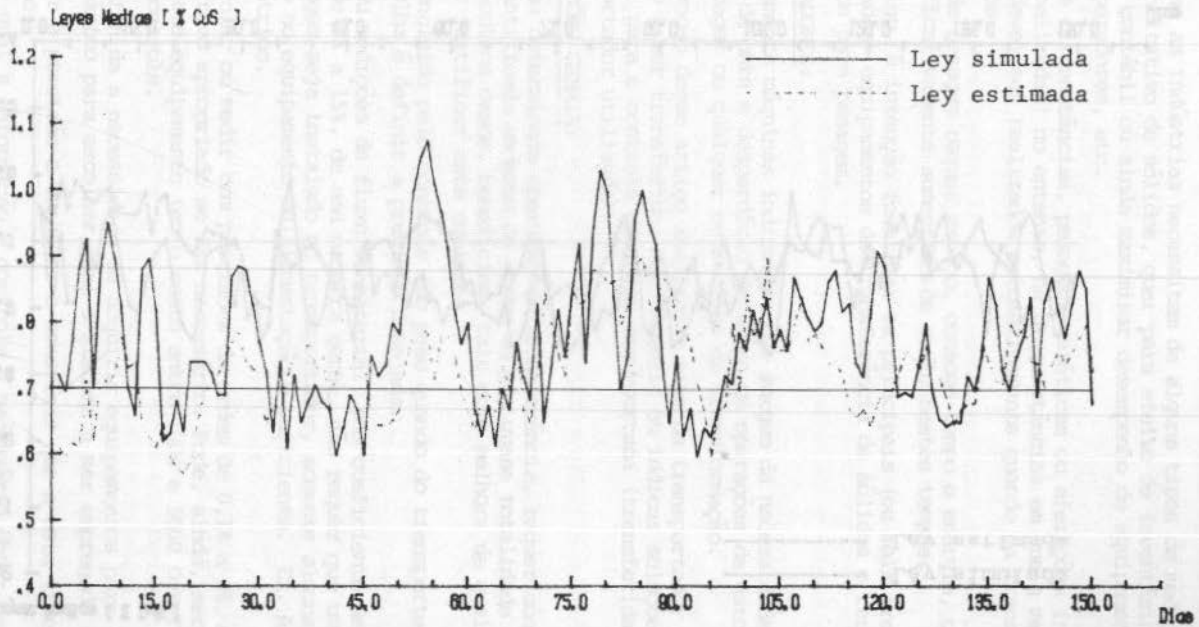


Fig. 1.- FLUCTUACIONES DE LEYES MEDIAS DIARIAS EN EL PERIODO DE PRODUCCION (6 meses) PARA ALTERNATIVA DE EXPLOTACION 1

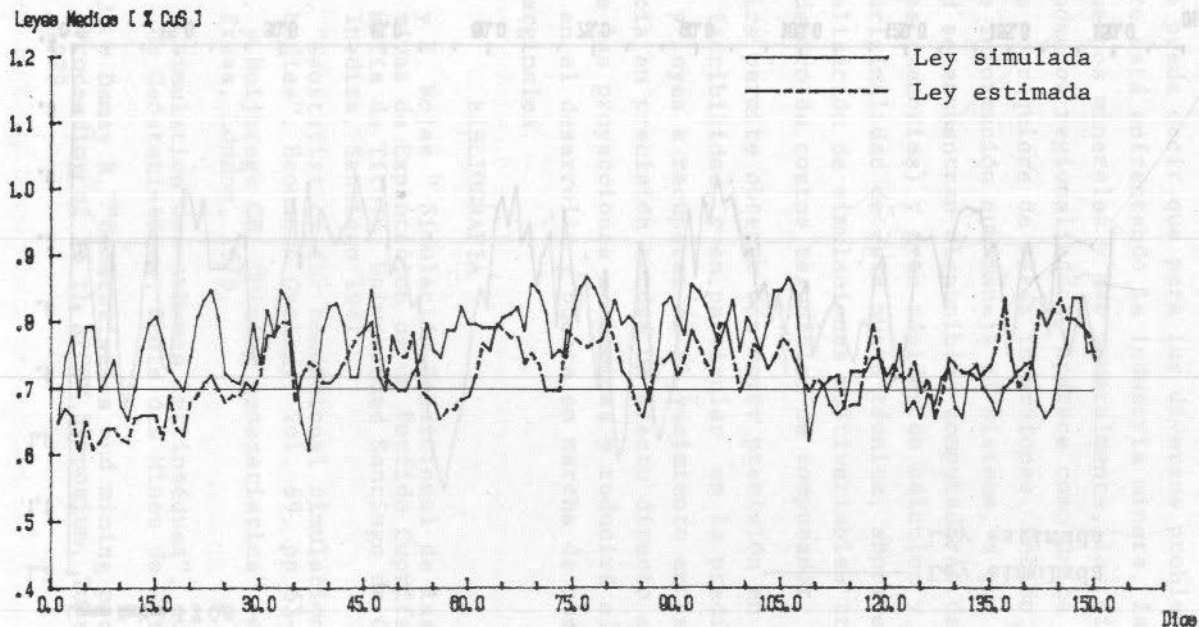


Fig. 2.- FLUCTUACIONES DE LEYES MEDIAS DIARIAS EN EL PERIODO DE PRODUCCION (6 meses) PARA ALTERNATIVA DE EXPLOTACION 2