

## ESTIMACION DE LEYES USANDO LAK (LOCAL ANISOTROPY KRIGING) EN EL MODELO DE MEDIANO PLAZO DE ANTAMINA

Gustavo Loyola, Miguel Chinchay

Av. El Derby 055, Torre 1 oficina 801 Santiago de Surco, Lima. Email: [gloyola@antamina.com](mailto:gloyola@antamina.com) , [mchinchay@antamina.com](mailto:mchinchay@antamina.com)

### RESUMEN

"Una selección apropiada de datos" para los fines de estimación es considerado por muchos lo fundamental en la estimación de recursos de mineral. Por ejemplo, la selección de datos para el kriging la mayoría de veces es controlada por la litología, alteración, zonas de leyes, dominios estructurales, dominios variográficos, etc. Aunque tales modelos puedan ser apropiados en una escala macro, ellos pueden no ser óptimos donde la variabilidad local sea alta.

En Antamina, hay sobre imposiciones de eventos mineralizantes que pueden ser controlados por combinaciones de dominios localmente; aquí definimos escala local como magnitud donde cambia la ley sobre distancias alrededor de 30 m. Estas variaciones en ley pueden ser vistas fácilmente en mapas de taladros de voladura a distancias cercanas a 7 metros.

Por lo tanto, es motivo para una solución práctica la selección de datos a escala local usando una metodología recientemente desarrollada que viene a ser conocida como Local Anisotropy Kriging (LAK). La estimación usando LAK usando taladros de voladura y taladros de perforación diamantina ha probado ser una buena herramienta predictiva para el planeamiento de producción en periodos de un año a menos. El modelo de mediano plazo de Antamina representa una innovadora forma de estimación de leyes aumentando la certeza en los estimados de toneladas y leyes.

### LOCAL ANISOTROPY KRIGING

El LAK se define como la estimación de la ley de un bloque con datos de taladros de diamantina (DDH) y/o taladros de voladura (BH) utilizando una selección de datos a través de una elipse de búsqueda única (elipsoide en 3D), es decir, cada elipsoide de búsqueda puede tener su propio conjunto de relaciones de anisotropía y orientaciones axial. El Grafico 1 muestra los elipsoides resultantes en los puntos de perforación para voladura, los diferentes colores han sido colocados de acuerdo a los rangos de leyes del taladro, nótese los diferentes orientaciones de los elipsoides alrededor de los núcleos estériles (grises y azules) denotando un control litológico-estructural variable a escala local.

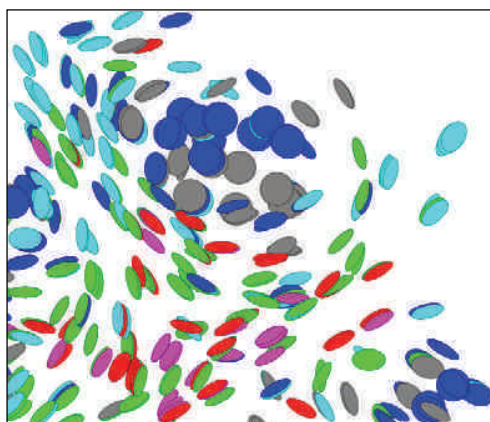


Gráfico 1. Elipsoides de anisotropía (Cu) en diferentes direcciones. El cuadro representa un área de 70m x 70m

## EL ALGORITMO DE LAK

La estimación de leyes usando LAK involucra un extenso ejercicio computacional que tiene dos partes:

Parte 1: Preprocesa la información e identifica el elipsoide de búsqueda óptima para cada bloque ó para cada compuesto en el caso de la validación cruzada. Esta información se escribe en un archivo para cada bloque.

Parte 2: Se modifica un programa de kriging existente para leer los parámetros de la elipse óptima del archivo y orientar la búsqueda del elipsoide de acuerdo con cada bloque.

## VARIOGRAFIA del LAK

La variografía usada para el LAK es ligeramente diferente a la variografía tradicional. Los datos son referenciados a los ejes del elipsoide óptimo (calculado en el algoritmo lak parte 1), en lugar de los ejes originales del sistema de coordenadas. Ver Grafico2.

Para calcular un variograma en el elipsoide de referencia solo se puede tomar un par de puntos dentro del mismo elipsoide. Sin embargo, los valores de pares de variograma situado en elipsoides diferentes pueden ser promediados ofreciendo conjuntamente vectores de separación de cada par iguales (igual magnitud y dirección).

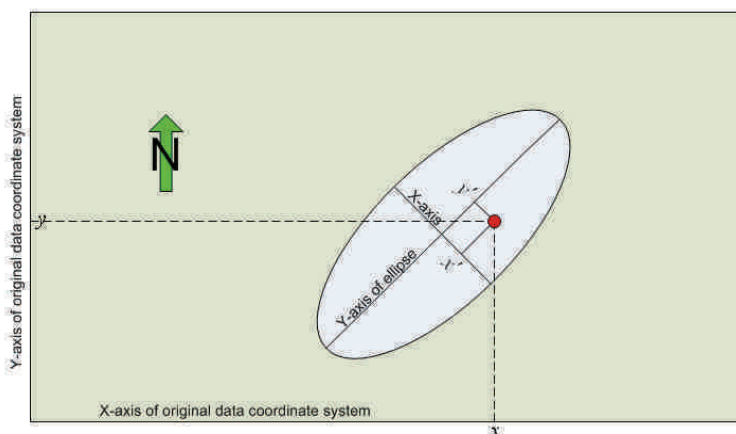


Grafico2.: En el gráfico se muestra las relaciones entre las coordenadas originales  $(x, y)$  y las coordenadas referenciales tomando como sistema el elipse obtenido del LAK  $(x', y')$

La dirección real de la continuidad espacial de los ejes principales subyacente no es constante, los cambios más significativos es a través de distancias relativamente cortas. Las orientaciones locales del elipsoide de búsqueda tienden a seguir las instrucciones de la continuidad local. El resultado es una muestra mucho más limpia de la continuidad espacial.

## MODELO MEDIANO PLAZO

Un Modelo de Mediano Plazo es construido usando la información más reciente de exploración y producción donde se estiman las leyes y tonelajes a ser minadas en el mediano plazo (menor a 1 año). Para la estimación del modelo de mediano plazo se usa el LAK para obtener una selección de datos en escala local que es lo que se ajusta en un yacimiento como Antamina.

## METODOLOGIA

La metodología usada para la elaboración del modelo de mediano plazo es la siguiente:

- Se utiliza la información de taladros de exploración (DDH) compositados a 15m y taladros de producción (BH).
- Se refina el modelo de litologías (modelo geológico) usando la última información de exploración (DDH) y de producción (BH).
- Se interpolan todos los elementos (metales) a ser considerados en la valuación de mineral usando un modelo de 5x5x15.
- Para garantizar una transición suave con los datos del Modelo de Recursos, la interpolación utiliza la metodología del kriging simple con media local (“simple kriging with locally varying means”). La media local utilizada para el kriging simple, es la ley del bloque contenida en el último Modelo de Recursos.
- Se realiza el rebloqueo al modelo final de 20x20x15. En este modelo se calcula el tipo de mineral, las variables de calidad de concentrado y beneficio económico en \$/hr (dólares por hora de proceso en molienda).
- Se debe tener en cuenta que la información de blastholes es superficial y dinámica, por lo que el alcance de la precisión para usar esta información se ha estimado en un volumen de 5 bancos por debajo de la topografía más reciente al inicio del proyecto
- Esta área superficial del Modelo de Mediano Plazo donde se usan los blastholes y los taladros de exploración diamantina se le ha denomina “Modelo Híbrido”.
- Por debajo de estos 5 bancos del Modelo Híbrido ó Modelo de Mediano Plazo se mantienen los valores del Modelo de Recursos estimados en 2009.

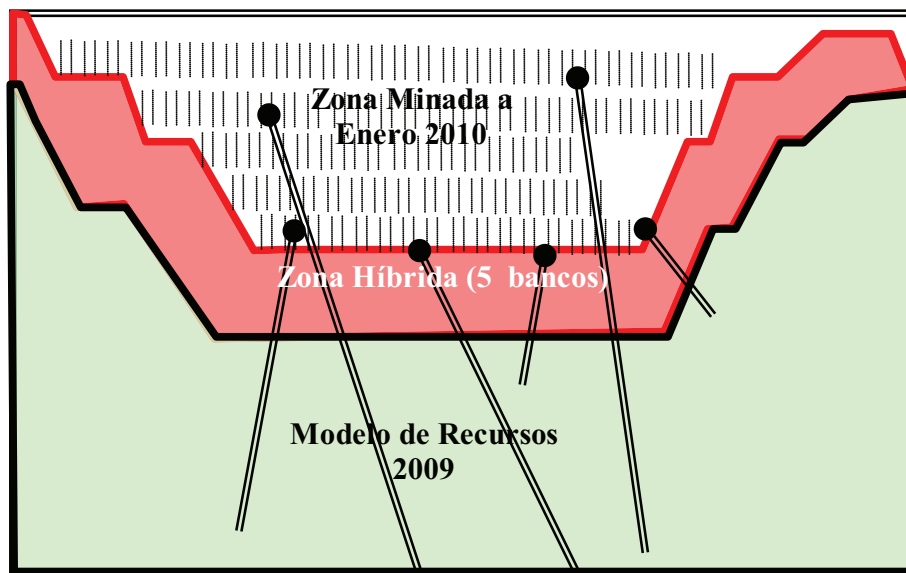


Grafico 3. Esquema del Modelo de Mediano Plazo: Blast Holes (Zona Minada), El Modelo de Recursos 2009 (basado sólo en taladros de exploración) y el Modelo de Mediano Plazo (datos de blastholes y DDH).

En la zona híbrida se estiman los siguientes elementos que son usados en la valuación de mineral: Cu, Zn, As, Bi, Mo, Pb, Fe, CuAC, Cu CN, ZnAC usando un modelo de bloques de 5x5x15. Este paso permite comparar bajo un mismo soporte los resultados de la estimación con respecto a lo producido y reportado en el modelo de Ore Control (Corto Plazo). Posteriormente el modelo de 5x5x15 es rebloqueado a 20x20x15 que es la Unidad de

Minado Selectivo (SMU) para el depósito. Los modelos rebloqueados se someten al proceso de valuación de mineral de los bloques, obteniendo el beneficio esperado al procesar cada bloque en \$/hr, tonelajes y leyes por tipo de material así como los tonelajes y leyes de concentrados a ser producidos.

El mayor beneficio de este proceso es la certeza de la estimación a escala local. Esto es particularmente importante en Antamina donde la complejidad mineralógica se traduce en complejidad metalúrgica. Variaciones sustanciales del mineral estimado con respecto a la producción real repercute en la obtención de las metas presupuestadas, en la calidad obtenida del producto concentrado y finalmente en el cumplimiento de los compromisos comerciales.

Los resultados de reconciliación del modelo de mediano plazo usando la metodología de LAK han demostrado que es una herramienta eficaz para la estimación de leyes, la proyección de beneficios y el planeamiento de minado. Los actuales factores de reconciliación entre estimado en el modelo y minado están por debajo del 10%.