

RESTRICCION Y EXCLUSION DE VALORES EXTREMOS EN LA ESTIMACION DEL ZINC EN EL SKARN DE ANTAMINA

Artemio Maque

amaque@antamina.com

Av. El Derby 055, Torre 1 oficina 801 Santiago de Surco, Lima.

GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

Antamina es un yacimiento de skarn de cobre con zinc, plata, molibdeno, arsénico y bismuto; formado por la intrusión de una cuarzo monzonita de 9.8 Ma, dentro de una secuencia de mármoles y calizas de la formación Jumasha.

La mineralización de Zinc tiene una distribución muy variable pero ocurre principalmente en el exoskarn hacia el contacto con el mármol y calizas, donde éste es favorable para la presencia de la esfalerita.

MODELO GEOLOGICO

El modelo geológico está hecho de la data de perforación diamantina y de los sondajes de voladura con las siguientes unidades litológicas como: intrusivo, Endoskarn (Café endoskarn y rosa endoskarn), Exoskarn (Café verde exoskarn, diópsido exoskarn, café verde wollastonita, verde wollastonita), las brechas con enriquecimiento en: intrusivo, endoskarn y exoskarn; y calizas y mármoles. Los Modelos Geológicos han sido construidos en 3D con el criterio de modelamiento implícito usando el software Leapfrog.

MODELO DETERMINISTICO

En función de un análisis estadístico de la leyes de zinc se determina que es un elemento que tiene alta variabilidad, por lo que en Antamina se ha utilizado un modelo determinístico para convertirlos a un comportamiento relativamente estacionario y tendencias de mineralización, utilizando los siguientes rangos: Zinc Alto mayor de 2.5% Zn, Zinc Medio desde 0.25% hasta 2.5% Zn y Zinc Bajo menor de 0.25% de Zn. Estos modelos determinísticos han sido construidos en 3D con el software Leapfrog.

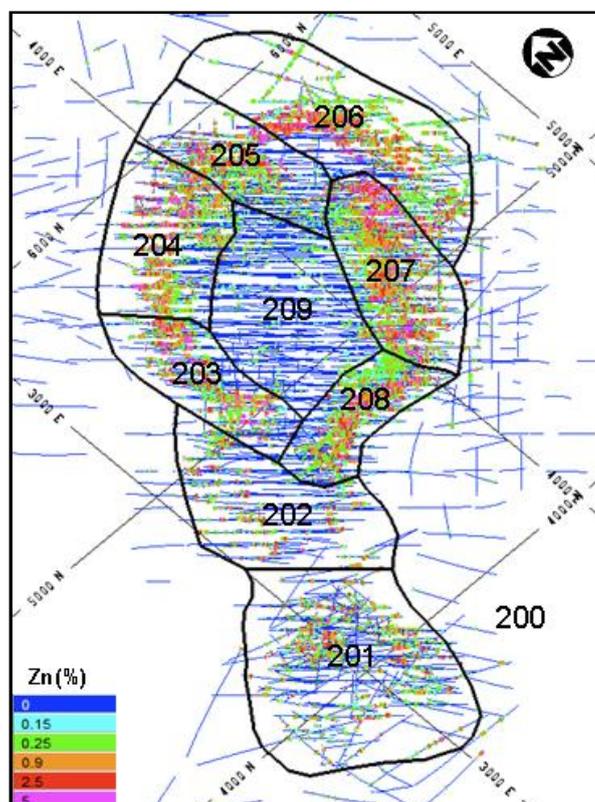
ESTIMACION DE LEYES DE ZINC

La estimación de las leyes de zinc está hecha en bloques de 10mx10mx15m, donde 15 m es la altura de los bloques. Han sido preparados dos modelos: un modelo de Kriging no restringido llamado ZNKR y otro modelo restringido llamado ZNCAP donde se aplica los criterios de restricción y exclusión de valores extremos.

La estimación está hecha usando Ordinary Kriging (OK) y Simple Kriging (SK). Los variogramas han sido definidos por tipos de rocas y modelo determinístico dentro de los dominios variográficos (estos dominios han sido establecidos examinando las leyes en áreas cercanas donde se percibe una tendencia de ley o tendencia de la mineralización con una relativa constancia, ver Figura 01). El objetivo principal es la zonificación del Zn para efectos de estimación y restricción en el proceso de estimación.

Figura 01, Dominio Variográfico para la estimación del Zinc

Cada tipo de roca, dentro de cada dominio



determinístico y dominio variográfico, ha sido interpolado de manera individual, existe una coincidencia entre los bloques y los compósitos para la estimación.

Los modelos restringidos y sin restringir han sido completados en cuatro pasadas:

- Primera pasada: Ordinary Kriging con un elipsoide de búsqueda de 100m
- Segunda pasada: Ordinary Kriging; usa la primera pasada aumentado en 50%.
- Tercera pasada: Simple Kriging con un elipsoide de búsqueda de 300m
- La cuarta pasada:Asignación de medianas a todos los bloques no estimados.

La selección de compósitos es como sigue:

- Modelo Determinístico de Alta ley de Zinc.- El mínimo y máximo número de compósitos usados en los bloques es de 3 y 8 respectivamente; y el máximo número de compósitos por cada sondaje es 2.
- Modelo Determinístico de Ley Media de Zinc.- El mínimo y máximo número de compósitos usados en los bloques interpolados es de 3 y 8 para las rocas intrusivas y endoskarn; mientras que para el exoskarn el mínimo y máximo número es de 4 y 7 respectivamente. En ambos casos el máximo número de compósitos por sondajes es de 2.
- Modelo Determinístico de Ley Baja de Zinc.- El mínimo y máximo número de compósitos usados en los bloques interpolados es de 3 y 8 para las rocas intrusivas y endoskarn; mientras que para el exoskarn el mínimo y máximo número es de 4 y 7 respectivamente. En ambos casos el máximo número de compósitos por sondajes es de 2.

DEFINICION DE EXCLUSION Y RESTRICCION DE VALORES EXTREMOS

El corte de valores extremos ha sido tradicionalmente empleado para limitar la influencia en la estimación de recursos de valores altos de leyes. Si los valores extremos no están excluidos o restringidos en el proceso de estimación de leyes es posible que grandes áreas a su alrededor tengan leyes altas que no sean razonables (sobreestimado), particularmente donde el promedio del peso de la interpolación es usado (caso del Ejercicio Ordinary Kriging y Simple Kriging). En el peor de los casos bloques que son de desmonte pueden ser estimados como mineral.

Se puede definir la distancia de influencia algunas veces mostrando los tramos de ley de los sondajes y mostrando las leyes de los sondajes de voladura (que tienen más densidad de perforación). En estos casos el valor extremo es real y puede ser utilizado en la interpolación en un área local. Fuera del área se puede restringir pero no excluir a fin de tener una influencia reducida en la estimación de leyes. En otros lugares los valores extremos pueden ocurrir totalmente al azar sin ningún indicio con las leyes adyacentes, este valor extremo puede estar relacionado a vetillas o ha diseminaciones puntuales en el yacimiento.

De los dos escenarios, el primer caso es aplicado en el yacimiento de Antamina y está relacionado a la parte del endoskarn y exoskarn. Los valores altos tienen influencia en su vecindad, fuera de esa vecindad los valores extremos son restringidos para la interpolación. El segundo escenario es el más aplicado en rocas de desmonte como calizas, hornfels y el intrusivo, donde los valores extremos son incluidos en la interpolación dentro del rango de influencia, fuera de este rango de influencia los valores extremos son excluidos.

La restricción o exclusión de valores extremos ha sido usado para controlar que la estimación del zinc esté dentro de los rangos aceptables y reducir el riesgo de la sobre estimación de mineral. Ver Figura 02.

El valor de 0.7725% Zn es el valor estimado restringido donde la ley 0.531% Zn es reducida a 0.300% Zn (punto 5 de color verde). 0.8276% Zn es el valor estimado excluido donde el valor 0.531% Zn es excluido (color celeste).

Los límites de valores de zinc se han determinado de dos maneras:

1. Inspección visual de los gráficos de curvas de probabilidad, para reducir el Coeficiente de Variación CV a un nivel adecuado cuando este es muy alto.
2. Revisión de plantas y secciones observando la influencia de los valores extremos en el modelo de bloques y su relación con la geología y la mineralización.

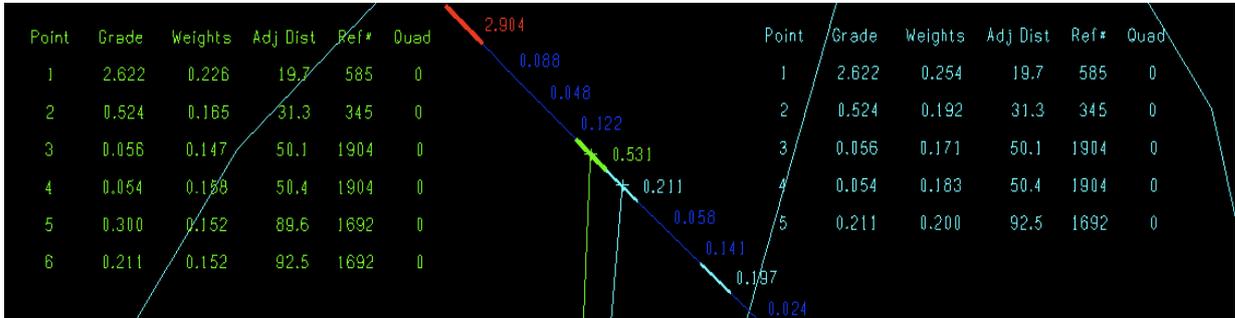


Figura 02, Matriz de color verde utilizado para calcular Kriging con RESTRICION, matriz de color celeste utilizado para calcular Kriging con EXCLUSION de datos.

CASOS DONDE LA INTERPOLACION RESTRIGIDA ES MAYOR QUE EL NO RESTRINGIDO

CASO 1: Contacto entre Pasadas. Pasada 2 Kriging no restringido (KPASS= 2) y pasada 3 Kriging restringido (CPASS=3) este caso sucede generalmente entre las pasadas (1-2) pasadas (2-3) o pasadas (3-4). Este es un ejemplo que muestra el caso de la pasada 2 y pasada 3. Ver Figura 03:

La ley del bloque ZNCAP = 6.1718%
ZNKR = 1.3049%

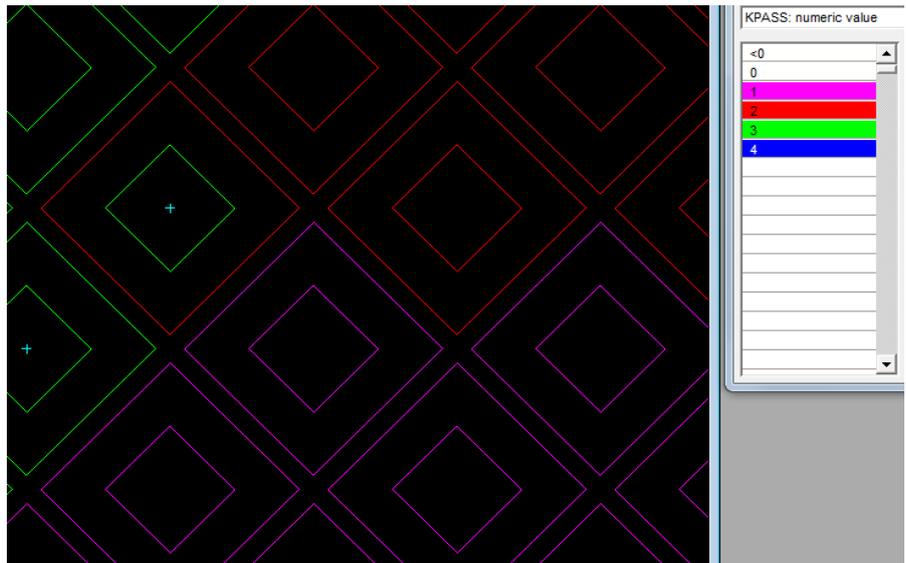


Figura 03 Contacto entre las pasadas. Donde: el color 1= Pasada 1, color 2=Pasada 2, color 3=Pasada 3 y color 4=Pasada 4

La condición de búsqueda para este bloque es:

ZNKR = Pasada 2: 5/8/2: Min # comp. /Max # comp. /Max comp. Por DDH búsqueda 150/75/37.5

ZNCAP = Pasada 3: 3/8/2: Min # comp. /Max # comp. /Max comp. Por DDH búsqueda 300/100/50

Al realizar la segunda pasada para ZNCAP no reúne las condiciones de números de compósitos porque la restricción para este bloque es de 4% de Zinc a 30 metros; entonces el punto 2 es excluido (color rojo) por lo que es estimado en la pasada 3 para ZNCAP; la tercera pasada es Simple Kriging y tiene una media asignada de 7.38848% de Zinc y las condiciones de búsqueda del número de compósitos y los rangos de búsqueda han cambiado. Ver Figura 04 (ZNKR=color verde, ZNCAP=color celeste)

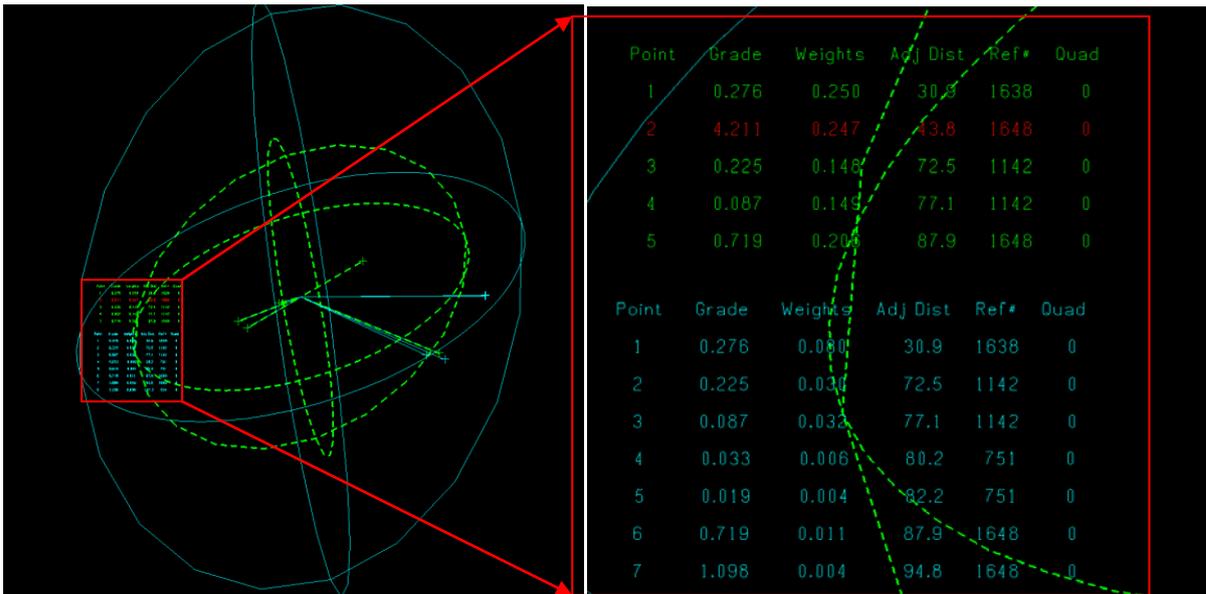


Figura 04.- Rangos y condiciones de búsqueda del número de compósitos (ZNKR=color verde, ZNCAP=color celeste)

CASO 2: Pasada 1(KPASS= 1) y pasada 1(CPASS=1) Número de compósitos diferentes.

Está en la misma pasada pero al realizar la restricción de valores altos, uno de los compósitos está dentro de la condición de valores extremos y es excluido. Ver Figura 05:

La condición de búsqueda para este bloque es:

ZNKR = Pasada 1: 4/7/2: Min # comp. /Max # comp. /Max comp. Por DDH búsqueda 100/50/100

ZNCAP = Pasada 1: 4/7/2: Min # comp. /Max # comp. /Max comp. Por DDH búsqueda 100/50/100

La ley del bloque ZNCAP = 0.8276 ZNKR = 0.8076

Point	Grade	Weights	Adj Dist	Ref#	Quad
1	2.622	0.254	19.7	585	0
2	0.524	0.192	31.3	345	0
3	0.056	0.171	50.1	1904	0
4	0.054	0.183	50.4	1904	0
5	0.211	0.200	92.5	1692	0

Point	Grade	Weights	Adj Dist	Ref#	Quad
1	2.622	0.226	19.7	585	0
2	0.524	0.165	31.3	345	0
3	0.056	0.147	50.1	1904	0
4	0.054	0.158	50.4	1904	0
5	0.531	0.152	89.6	1692	0
6	0.211	0.152	92.5	1692	0

Figura 05.- Exclusión del valor extremo 0.531% Zn (KR=color verde, CAP=color celeste)

El número de compósitos en #ZNCAP = 5, el número de compósitos para #ZNKR = 6. El punto 5 (color rojo) no ha sido considerado para la interpolación del ZNCAP. Por que las restricciones de los valores extremos es de 0.3% de Zinc y 40 metros.

CASO 3: Pasada 3(KPASS= 3) y pasada 3(CPASS=3) Número de Compósitos iguales.

Está en la misma pasada pero al realizar la restricción de valores altos toma otro compósito cercano para ambos casos (ZNKR y ZNCAP) el valor de la media asignado es de 0.03999 % de Zinc. Ver

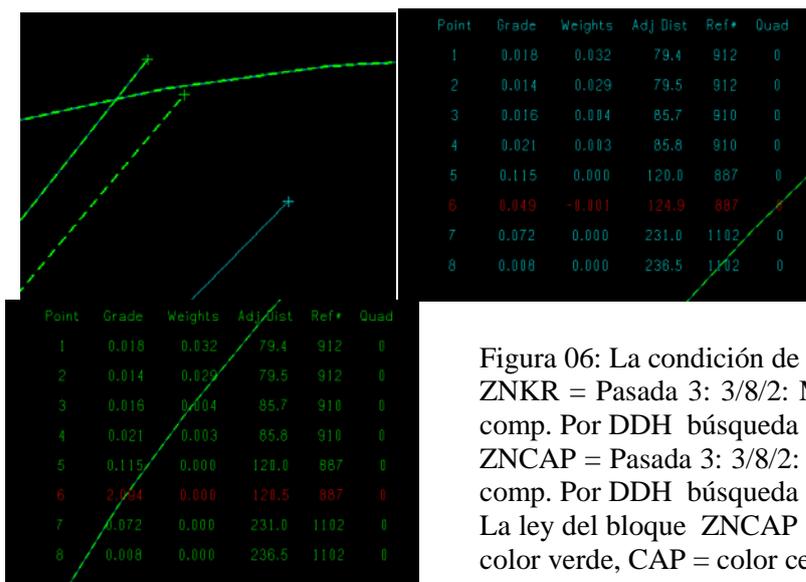


Figura 06: La condición de búsqueda para este bloque es:
 ZNKR = Pasada 3: 3/8/2: Min # comp. /Max # comp. /Max comp. Por DDH búsqueda 300/150/60
 ZNCAP = Pasada 3: 3/8/2: Min # comp. /Max # comp. /Max comp. Por DDH búsqueda 300/150/60
 La ley del bloque ZNCAP = 0.0384 y ZNKR = 0.0376. KR= color verde, CAP = color celeste

La restricción de valores extremos para este bloque es de 1% de Zinc y 10m. El punto 6 (color rojo) es el que reúne esta condición. El valor de 2.094% de zinc que está a una distancia de 120.5m ha sido remplazada por otro compósito del mismo sondaje: 0.049% de Zinc a una distancia de 124.9m.

COMPARACION GLOBAL DE KRIGING RESTRINGIDO Y SIN RESTRINGIR

Luego de la comparación entre el Kriging restringido (restringido y excluido) y kriging sin ninguna restricción, de un total de 2, 800,000 bloques estimados, se obtiene 4,300 bloques que han tenido el efecto donde el Kriging restringido es mayor que los que no están restringidos. De los cuales 145 pertenecen al primer caso, 102 están en el segundo caso y 4090 están en el tercer caso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los valores estimados en los bloques deben ser verificados sobre todos aquellos donde se incluye algún tipo de exclusión o restricción de valores extremos para entender el grado de influencia en los resultados finales.

Se debe evaluar el grado de influencia y el radio de influencia de los valores extremos y de qué manera están relacionados al tipo de mineralización.

Algunos softwares comerciales tienen estas aplicaciones de restricción o exclusión de valores extremos pero son de búsqueda isótropa; sería muy acertado que los software desarrollaran una herramienta para que esta restricción o exclusión de valores extremos se pueda realizar considerando las tendencias de mineralización, es decir con búsquedas anisotrópicas.

