

“Dimensionamiento Óptimo del Muestreo empleando Geoestadística”

M. Sc. Samuel Canchaya Moya - **Geólogo Consultor**
Psje. El Escapulario 395 Dpto.303; Ciudad Sat. Sta. Rosa Callao 1

canmoysa@ec-red.com

Diciembre 2005

RESUMEN

Cuántas veces nos hemos preguntado “¿Cada cuántos metros debemos muestrear una veta?”, “Cada cuántos metros debemos muestrear los testigos de un taladro diamantino?”, “¿Cuál es la malla de perforación mas adecuada, ya sea de exploración o de blast holes?”, o “¿A qué distancia debemos ubicar los siguientes taladros para que nos brinden la mejor información y con el menor error?”, etc.

Para determinar el espaciamiento óptimo entre cualquier tipo de muestras, la metodología en general consiste en realizar pruebas sistemáticas de “robustez” entre un conjunto de datos a diferentes distancias o mallas de muestreo posibles. Lo ideal es contar con muestreos pilotos de alta densidad (de ser posible submétricas en vetas y decamétricas en yacimientos de mayor volúmen) de una zona característica o representativa del área de estudio; a partir de estos datos de alta densidad se simulan, en forma sucesiva, diferentes distancias de muestreo, realizando en cada paso pruebas de robustez de los parámetros estadísticos y geoestadísticos mas sensibles (media, varianza, error relativo y variograma), hasta que la rigidez colapse en uno o mas de dichos parámetros indicativos. El espaciamiento de muestreo correspondiente al paso anterior a dicho colapso será el más apropiado.

En el caso de evaluación de campañas de exploración adicionales y en el diseño de mallas de exploración, la herramienta geoestadística requerida es la “varianza de estimación o extensión”, que se calcula a partir de la información estructural que le provee el respectivo “variograma experimental”, que es la herramienta fundamental de la Geoestadística Matheroniana. La comparación de las varianzas de estimación de las diferentes mallas alternativas permite, no sólo evaluar la conveniencia de campañas de muestreo adicionales, sino elegir el dimensionamiento de muestreo mas adecuado.

Estos conceptos ya se han aplicado, en alguna medida, en la exploración o desarrollo de muchos prospectos y yacimientos peruanos (Tintaya, Cerro Verde, Quellaveco, Yanacocha, Chapi, San Vicente, Retamas, Poderosa, Calera, Michiquillay, Aurora Patricia, El Galeno, Oxapampa, etc.); de hecho, los ejemplos que se consignan en el presente trabajo corresponden a estas aplicaciones reales.

INTRODUCCION:

Ya se ha cumplido más de cuatro décadas del nacimiento de la **Geoestadística Matheroniana** (MATHERON 1962, 1963); por lo que estos métodos, basados en la Teoría de la Variables Regionalizadas, están lo suficientemente difundidos en la actualidad. Es por este motivo que prácticamente todos los paquetes de software importantes, que se aplican a la minería, presentan módulos de geoestadística; a pesar de ello, esta técnica todavía no se usa en todo su potencial. Uno de esos campos de aplicación es el de la optimización del muestreo; el cual es un problema de cada día, tanto en la exploración, como en la etapa de producción de un yacimiento. En nuestro País generalmente esta tarea se enfrenta en forma intuitiva, empleando sólo criterios empíricos.

Los conceptos y métodos que se plantean en el presente trabajo, ayudarán a responder una serie de preguntas rutinarias, como son: “¿Cada cuántos metros debemos muestrear una veta?”, “Cada cuántos metros debemos muestrear los testigos de un taladro diamantino?”, “¿Cuál es la malla de perforación mas adecuada, ya sea de exploración o de blast holes?”, o “¿A qué distancia debemos ubicar los siguientes taladros para que nos brinden la mejor información y con el menor error?”, “¿Es mejor muestrear por puntos o por canales?”, “¿Cómo disminuir los costos en una campaña de exploración sin afectar el nivel de información?”, etc.

Para ello es necesario una comprensión mínima de ciertos conceptos geoestadísticos, los cuales pasamos a explicar en forma sucinta; ayudándonos de ilustraciones y ejemplos tomados de aplicaciones reales.

EL ANALISIS VARIOGRAFICO GEOESTADISTICO

La función variograma es una de las herramientas más poderosas que tiene la geoestadística. Vamos a definirla tomando el caso de un depósito **D**, en el cual se ha tomado una determinada cantidad de muestras, en diferentes puntos x_i , cada uno de ellos con su respectivo valor de una determinada variable **Z(x_i)** que nos interesa estudiar (puede ser ley de Au, contenido de As, intensidad de una alteración, peso específico, dureza, porosidad, etc.). Estas entidades son denominadas **variables**

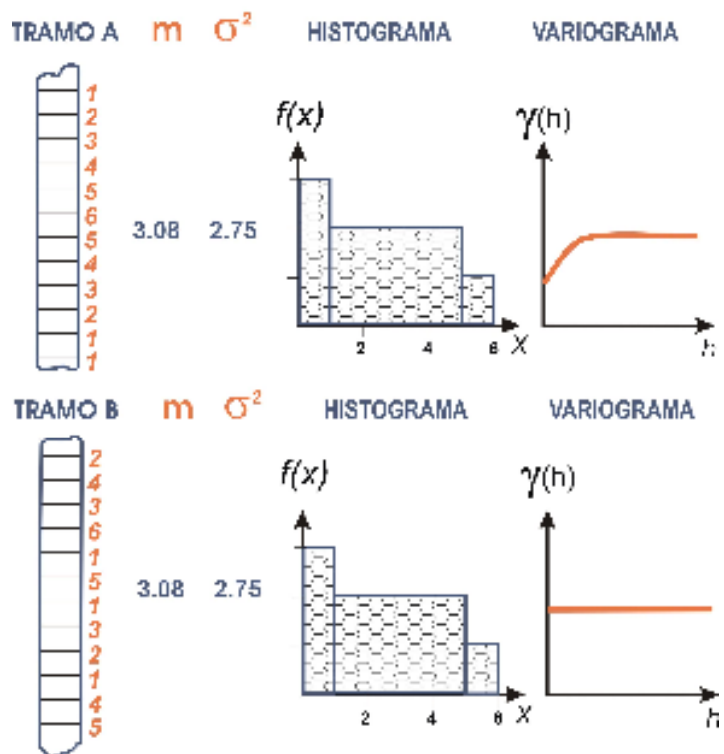
regionalizadas porque sus valores están relacionados con ubicaciones precisas en el tiempo o espacio.

Es de esperar que dos valores contiguos $Z(x_i)$ y $Z(x_i+h)$, separados una distancia h , estén relacionados entre sí (autocorrelación), es decir que sus valores sean dependientes el uno del otro; esto debido a que casi siempre toda variable tiene un patrón de distribución (o estructura, como se le llama en geoestadística), ya que nada es al azar en la naturaleza. También sabemos que debido a la complejidad de los procesos geológicos no habrá patrones de distribución idénticos.

La estadística clásica no puede reconocer dichas estructuras ya que sus parámetros y funciones no toman en cuenta la ubicación de los datos. Por ejemplo, la altura media de los alumnos de un salón no se modificará así éstos se cambien de asiento una y otra vez.

Para explicar esto nos referiremos a la fig. 1, en la cual hacia el borde izquierdo se está representando dos tramos (puede ser de galería, taladro, etc.) con las leyes que se han analizado cada cierta distancia. Salta a la vista que los valores del tramo A tienen un patrón de distribución o estructura (los valores aumentan hacia el centro y disminuyen hacia los flancos); mientras que en el tramo B tenemos una distribución al azar. Nótese que en ambos casos estamos usando los mismos dígitos, por lo que no sorprende que la media " m " la varianza " σ^2 " y el

FIGURA 1
COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA POBLACIÓN ESTRUCTURADA (Tramo A) Y OTRA AL AZAR (Tramo B)



histograma en los dos tramos sean los mismos; mas no así la función variograma “ $\gamma(h)$ ” que en el tramo A muestra una clara dependencia con respecto a “ h ”, que es la separación entre las muestras; mientras que en el tramo B dicha función es independiente de h , lo cual es típico de distribuciones al azar, prácticamente inexistentes en la naturaleza; ya que por lo general, las variables cuantificables o semicuantificables, relacionadas con los yacimientos, se originan por determinados procesos que les imprimen un patrón característico, es decir todo lo contrario a una distribución al azar.

El variograma puede ser estimado a partir de datos experimentales (por ejemplo las leyes provenientes de una campaña de muestreo) empleando la fórmula general :

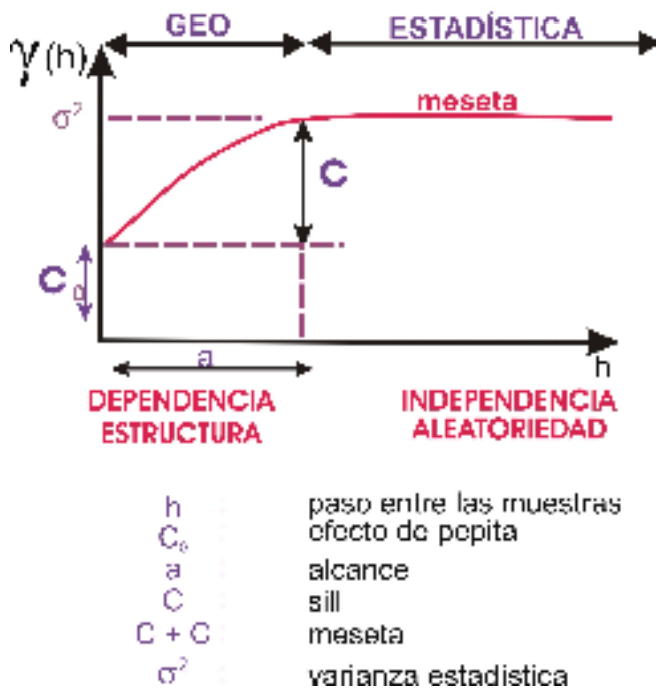
$$2 \gamma (h) = \frac{\sum_{i=1}^{n-h} | Z_{(x i + h)} - Z_{(x i)} |^2}{(n - h)} \quad (1)$$

- donde: Z : es la variable estudiada
 $Z(x)$: es el valor de dicha variable en el punto x
 $Z(x+h)$: es el valor de la variable en el punto $(x+h)$
 h : es el paso entre las muestras (distancias iterativas)
 n : número de pares de valores
 $2 \gamma(h)$: valor de la función variograma para un valor h .
 $\gamma(h)$: valor de la función semivariograma (denomina usualmente variograma)

Todos los paquetes de “software” aplicados a minería utilizan esta fórmula para el cálculo de los variogramas experimentales; las respectivas facilidades gráficas nos mostrarán variogramas con apariencia similar a la que se a idealizado en la fig. 2, que nos servirá para explicar los principales parámetros de la función variograma.

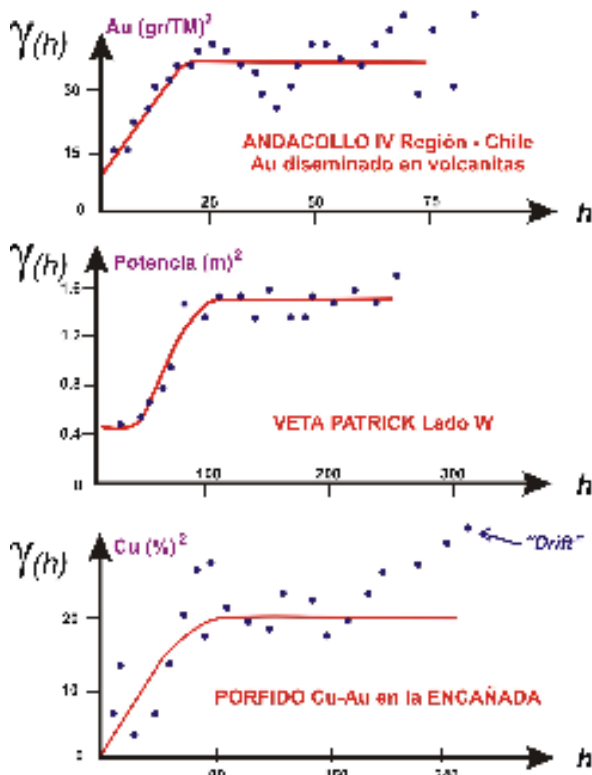
Dentro de la distancia a (alcance), la variable es totalmente estructurada, es decir depende, o está controlada, por la función $\gamma (h)$. Mas allá de a la variable es aleatoria, o sea independiente de la función variograma: la curva (en color verde) se transforma en una meseta ($C+C_0$) cuyo valor teóricamente debe coincidir con la varianza estadística de todos los datos involucrados en el cálculo del variograma.

FIGURA 2
FUNCIÓN VARIOGRAMA



Para $h = 0$ la función variograma debería dar cero y pasar por el origen; sin embargo la función a veces presenta una “discontinuidad al origen” simbolizada como C_0 (efecto pepita), que nos da cuenta de cambio bruscos de los valores a pequeña escala (generalmente cuando se sobrepasa subestructuras por debajo de la escala de trabajo), también puede aparecer debido a errores sistemáticos tanto en el muestreo como durante el proceso de análisis químico.

FIGURA 3
EJEMPLOS DE VARIOGRAMA

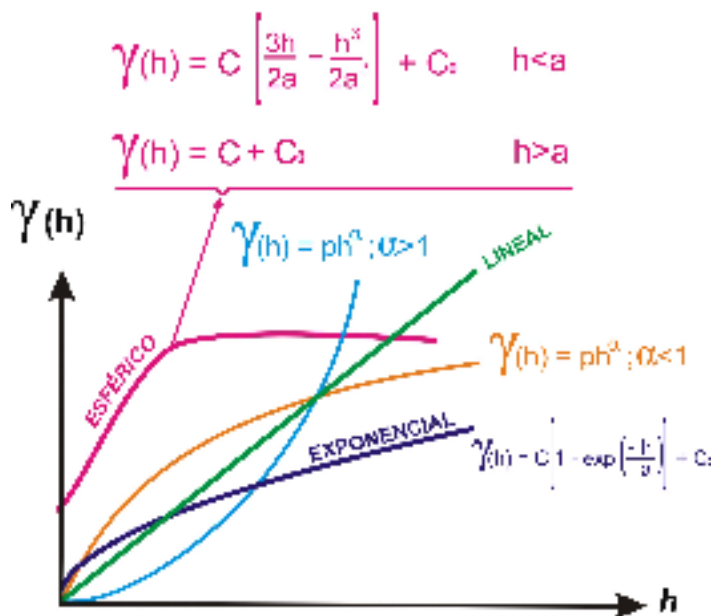


En la fig. 3 se muestra algunos ejemplos de variogramas experimentales (sucesión de puntos), debidamente ajustados a variogramas teóricos (curvas continuas), algunos de los más importantes se muestran en la fig. 4. De estos variogramas ajustados se obtiene los parámetros mencionados en los párrafos anteriores, los cuales brindan información valiosa para todas las aplicaciones geoestadísticas, como la que tratamos en el presente trabajo.

Se puede calcular el variograma de prácticamente cualquier variable; lo único que

necesitamos es un conjunto de datos experimentales con su ubicación en el tiempo o el espacio. Esto quiere decir que no sólo vamos a poder trabajar con leyes, sino que también podemos procesar otras variables menos comunes como: peso específico, porosidad, densidad de fracturamiento, potencia de la estructura, etc. Sólo necesitamos una forma de cuantificarlas para luego procesarlas con la fórmula (1) de manera similar como se hace con las leyes.

FIGURA 4
PRINCIPALES FUNCIONES TEÓRICAS
PARA EL AJUSTE DEL VARIOGRAMA



En el análisis variográfico, la única restricción que se debe atender es la “hipótesis de estacionariedad”, que exige que el variograma se calcule para un dominio con un determinado patrón de distribución constante. Lo cual automáticamente implica tener en cuenta las discontinuidades geológicas: fallas, cambios de litología, alteración, etc. La solución mas práctica es circunscribirse a dominios estacionarios, es decir realizar el análisis variográfico respetando las discontinuidades geológicas.

LA VARIANZA DE ESTIMACION O EXTENSION

Estamos obligados a explicar este concepto, ya que está directamente relacionado con las aplicaciones con las que trata el presente trabajo.

Cuando realizamos una “extensión” del valor de una o mas muestras relativamente puntuales (volumen **v**), a un volumen mayor **V** (panel o bloque), dicha extensión implica irremediamente un error, que no es otra cosa que la diferencia entre el valor estimado y el valor real; la cuantificación de dicho error está dado por la Varianza de Estimación, que también se denomina Varianza de Extensión, en clara alusión a la operación descrita.

En la estadística clásica y por ende en todos los métodos de estimación de reservas tradicionales, no es posible estimar tal error, ya que primero es necesario conocer el valor real, cosa que es imposible incluso al final de la vida de la mina. La geoestadística tiene una alternativa para determinar este error: la varianza de estimación σ_E^2 , la cual no depende de los **valores reales** de la información **v** utilizada sino que se expresa en función del variograma por la fórmula:

$$\sigma_E^2 = 2 \gamma (V, v) - \gamma (v^2) - \gamma (V^2) \quad (2)$$

donde :

$\gamma (V, v)$: designa el valor medio de $\gamma(h) = \gamma (MM')$ cuando los dos puntos de apoyo M y M' del vector h describen independientemente uno del otro, los dos volúmenes o conjuntos **V** y **v**.

$\gamma (V^2)$: designa el valor medio de $\gamma(h)$ cuando los dos puntos de apoyo M y M' del vector h describen, independientemente uno del otro, el volumen **V**.

$\gamma (v^2)$: designa el valor medio de $\gamma (h)$ cuando los dos puntos de apoyo M y M' del vector h describen, independientemente uno del otro, el volumen **v**.

Como vamos a ver a continuación, en configuraciones sencillas a veces es suficiente con emplear ábacos para estimar esta varianza de dispersión y con ese conocimiento tomar decisiones a priori, tan trascendentales que pueden comprometer los resultados de una campaña de exploración.

DIMENSIONAMIENTO OPTIMO DEL MUESTREO

Un buen muestreo descansa en tres aspectos principales: (1) buena representatividad de la muestra (2) un buen soporte de la muestra y (3) distancia óptima de muestreo. El primer aspecto es tratado en forma práctica por ALFARO (2000); mientras que los otros dos aspectos son tratados en el presente trabajo. Primero vamos a presentar una metodología general; luego vamos a ampliar el

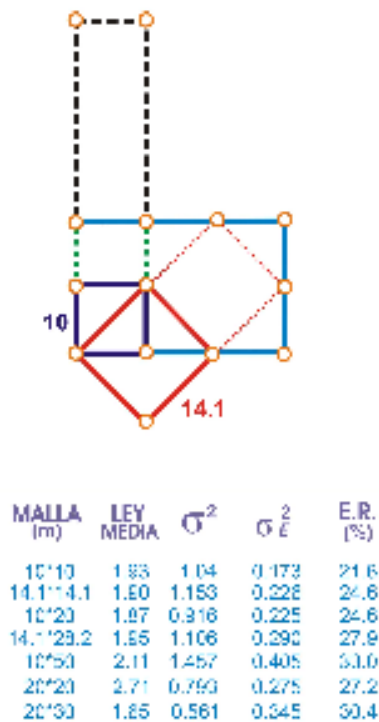
tratamiento del tema tratando algunos aspectos relacionados, que son de gran utilidad práctica.

METODOLOGIA GENERAL

En la mayor parte de los casos para optimizar la distancia del muestreo se sigue el siguiente procedimiento:

- Seleccionar un tramo piloto, representativo de la zona de estudio, y aplicar un muestreo de alta densidad (0.50 o 1.0 m en vetas, o 5 a 10 metros en cuerpos).
- Se simula tramos de muestreo mayores; para ello, de la data original se toma valores dejando uno, luego dos, tres y así sucesivamente. Se calcula los parámetros estadísticos (media, varianza, error relativo) para cada distancia simulada.
- Se analiza la robustez de los distintos parámetros; es decir a que distancia de muestreo dejan de ser confiables. Este análisis se debe realizar empleando test estadísticos como: t de Student (para la media), prueba F

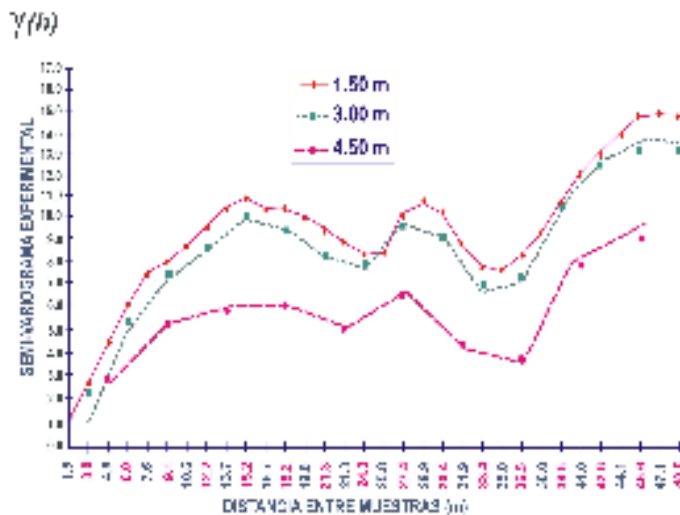
FIGURA 5
EJEMPLOS DE COMPARACIÓN DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA DIFERENTES MALLAS



- (para la varianza) y Chi cuadrado (para el histograma).
- La distancia de muestreo más aparente será la que corresponde a un paso anterior al cual son rechazados por las pruebas estadísticas.
- El error relativo nos fija el límite máximo de espaciamiento de muestreo, para un determinado nivel de confianza.

Adicionalmente, para cada distancia de muestreo, se puede calcular su respectivos variograma, y subsecuentemente, de manera similar, también se puede analizar su robustez. La fig. 6 nos muestra un ejemplo de ello. A partir de la población original densa (cada 1.5 m), se ha generado dos sub-poblaciones, con distancias de muestreo simuladas (3.0 y 4.5 m), y se ha planteado sus respectivos variogramas. Se nota claramente que la distancia de muestreo se puede extender hasta los tres metros;

FIGURA 6
VALORES DE SEMI-VARIOGRAMA
EXPERIMENTAL CALCULANDO A TRES DISTANCIAS
DIFERENTES A LO LARGO DE UN "CORE"
(1.50, 3.00, Y 4.50 m.)



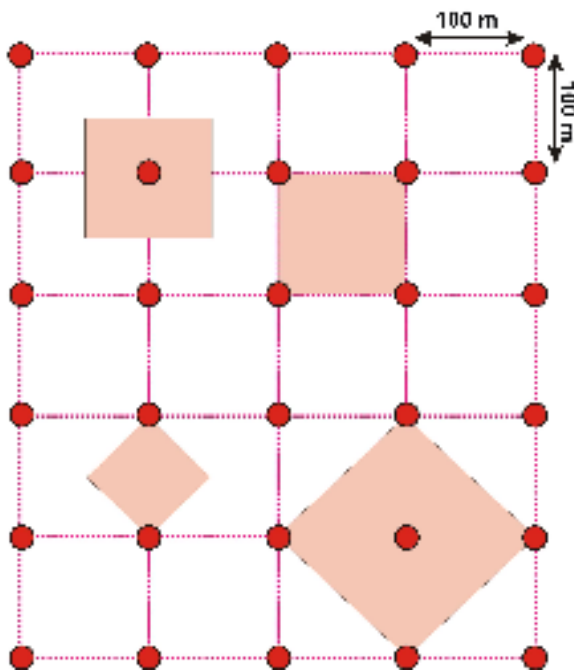
ya que el variograma de 4.5 m no reproduce las características del original de 1.5 m. Aplicando los test estadísticos, mencionados en párrafos anteriores, y siguiendo este procedimiento con los variogramas, se ha optimizado el muestreo de varias vetas de oro de la Franja Pataz - Buldibuyo, definiendo distancias de muestreo entre 1.5 y 3.5 metros.

SELECCIÓN DE LA MALLA MAS APARENTE A PARTIR DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Para ilustrar este caso vamos a referirnos a la Fig. 5, en la cual se muestra todas las mallas alternativas que se pueden construir a partir de una malla de 10*10 metros, que es la malla original de muestreo. Se ha calculado los parámetros estadísticos para cada configuración, los cuales figuran en el cuadro de la parte inferior de la Fig. 5. Claramente se observa que la malla 10*50 es la que presenta la mayor variación de sus parámetros con respecto a la malla de 10*10; mientras que las que menos discrepancias presentan son las mallas 10*20 y 14.1*14.1. Uno de los parámetros más indicativos viene a ser la varianza de estimación, la cual usualmente se expresa como error relativo (E.R.%). Como se puede ver, este parámetro en todos los casos está por debajo de 35 %, el cual se considera aceptable; sin embargo es preferible elegir los que presentan el menor error relativo (mallas 10*20 o 14.1*14.1).

Mas adelante vamos a introducir el concepto de anisotropía; sin embargo podemos adelantarnos un poco considerando la información del estudio variográfico en este ejemplo. Dicho estudio nos indica que hay una distribución anisótropa en la zona de estudio, donde la mineralización tiene menos continuidad en la dirección E-W, con relación a la N-S, de tal manera que la menor distancia de muestreo debería estar en esa dirección, con lo cual la malla más aceptable sería la de 10*20 metros o incluso la de 10*30 metros; las cuales, por ser mas espaciadas, son las más económicas manteniendo la calidad de la información.

FIGURA 7
CONFIGURACIÓN DE DIFERENTES
PANELES PARA UNA MISMA MALLA REGULAR



LA VARIANZA DE EXTENSION Y LA CONFIGURACION DE PANELES EN MALLA REGULAR

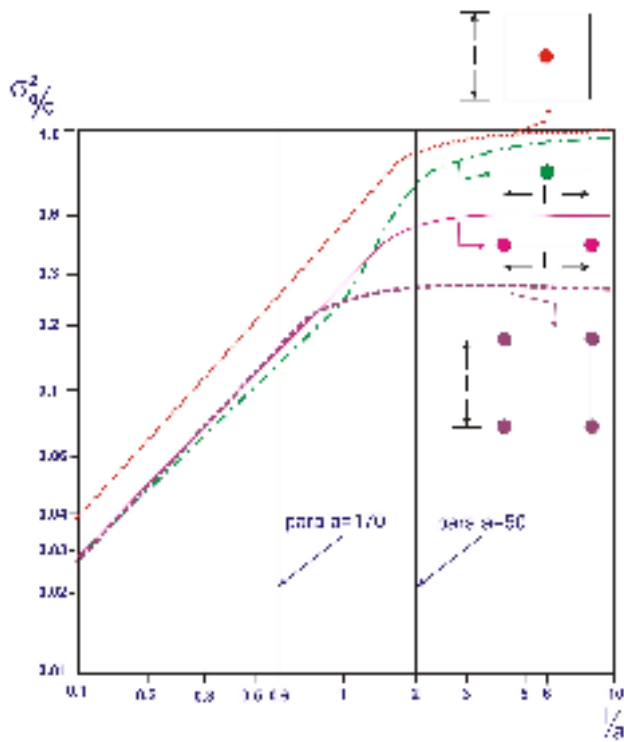
Vamos a suponer que tenemos una malla de exploración diamantina de 100 X 100 metros, como la mostrada en la fig. 7. La mayoría, por costumbre más que por otra razón, prefiere configurar los paneles con el taladro al centro; sin embargo hay otras alternativas que definitivamente son mejores, las cuales se pueden configurar sin modificar la malla de exploración. Por ejemplo, podemos configurar paneles como el de la esquina superior derecha con cuatro taladros en cada vértice; también es posible

comprometer sólo a dos taladros tal como se muestra en la parte inferior izquierda y hasta 5 taladros (esquina inferior derecha). Intuitivamente sabemos que todas estas alternativas son definitivamente mejores que la usual del taladro centrado, ya que presentan mejor soporte, es decir involucran a más valores a la hora de la estimación de la ley media del panel.

Podemos demostrar esto empleando la geoestadística. Para ello comparemos la configuración del taladro centrado y la de los cuatro valores (uno en cada vértice).

Como se trata de “extensiones” comunes, por lo general existen ábacos que nos permiten calcular fácilmente la varianza correspondiente. El que necesitamos está en la fig. 8. Se puede notar que, la configuración del taladro centrado siempre nos da el mayor error. Por ejemplo para un variograma con $C = 1$ y un alcance $a = 170$, la estimación de reservas con el panel centrado nos dará un error de 0.27; mientras que para los paneles con los taladros en los vértices nos da prácticamente la mitad (0.14). Esta diferencia se hace mayor cuando configuramos paneles con “l” mayores que el alcance “a”; como es el caso de $a = 50$, donde tenemos errores de 0.80 y 0.28 respectivamente; lo cual es una gran diferencia. Luego de conocer esto nadie debería usar la configuración del taladro centrado.

FIGURA 8

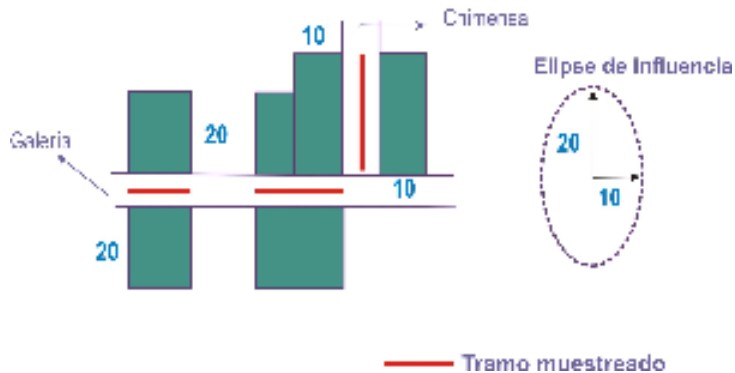


MODELOS ESFERICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE VARIANZAS DE EXTENSIONES ELEMENTALES

En el mismo ábaco de la fig. 8, también se comparan dos configuraciones por tramos, una con las muestras en los extremos y la otra con la muestra en el centro del tramo. Resulta obvio que el error involucrado al estimar (extender) la ley de un tramo desde la ley centrada es mayor que el error que resulta al asignar la ley a partir de puntos de muestreo en los extremos del tramo; esto es válido para distancias de muestreo mayores que los del alcance del variograma respectivo.

Para casos algo mas complicados debemos utilizar la fórmula (2), que sólo se basa en el variograma y en las características geométricas de los paneles, mas no en los valores que puedan tener los taladros. Lo cual nos permite estimar el error a priori: ¡antes de perforar el primer metro!

FIGURA 9
DIMENSIONAMIENTO EN
ESTRUCTURAS TABULARES



RELACION COSTO BENEFICIO

En la fig. 9 se ilustra otra interesante aplicación, que relaciona las diferentes mallas con sus respectivos costos. Para construir el gráfico se ha planteado los errores, calculados con la fórmula (2), para varias mallas posibles, desde 50 X 50 hasta 200 X 200; además, se ha planteado también el costo de cada malla de exploración.

Es fácil de ver que si hubiéramos terminado una campaña de perforación de 70.5 X 70.5 (cuyo error es como 5), sería innecesario realizar una siguiente campaña de 50 X 50, ya que prácticamente no disminuiría el error substantivamente (alrededor de 4), a pesar de que nos gastaríamos, innecesariamente, una cantidad adicional similar a la de la campaña anterior. Por otro lado, si contáramos con un presupuesto como de 2, y nuestra meta es alcanzar un error máximo de 30, pensaríamos en realizar dos campañas sucesivas: la primera de 200 X 200 y a continuación una, sobrepuesta, de 141 X 141. De esta manera estaríamos optimizando la gestión de nuestro presupuesto.

EL CONCEPTO DE ANISOTROPIA DE UNA DISTRIBUCION Y SU APLICACION EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL MUESTREO

Raras veces las distribuciones resultan **isótropas** (Fig. 11), lo cual quiere decir que los variogramas en todas sus direcciones son similares. Esto es inusual, ya que casi siempre los procesos geológicos son "direccionales", es decir, por lo general tienen una dirección o componente preferencial, concepto relacionado principalmente al flujo o flujos de mineralización.

FIGURA 10
RELACION ENTRE LA PRECISION Y EL COSTO
ASOCIADO A DIFERENTES MALLAS DE
PERFORACION

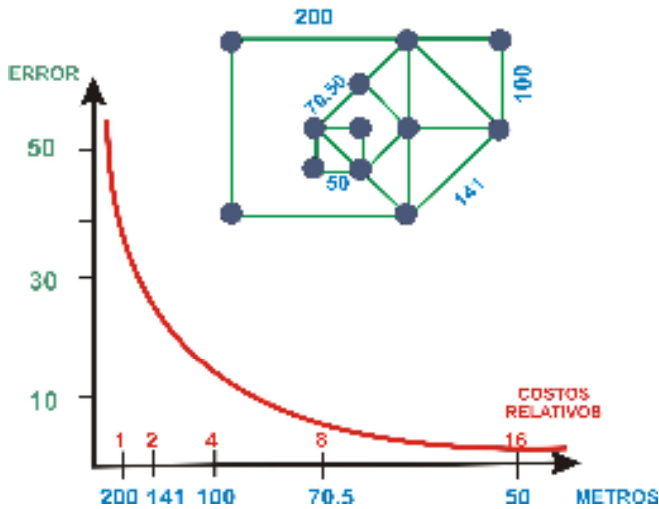
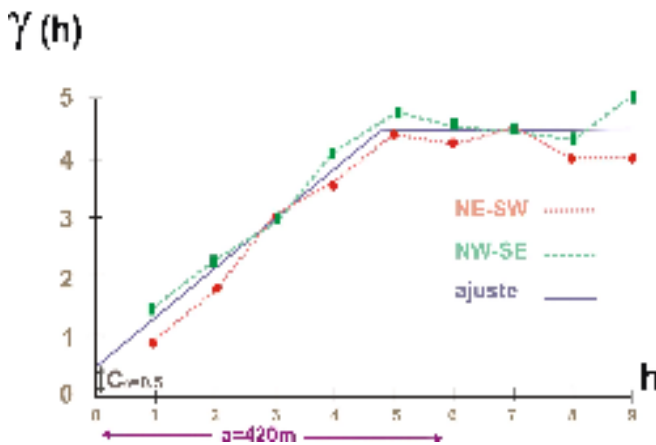


FIGURA 11
EJEMPLO DE REGIONALIZACION ISOTROPA

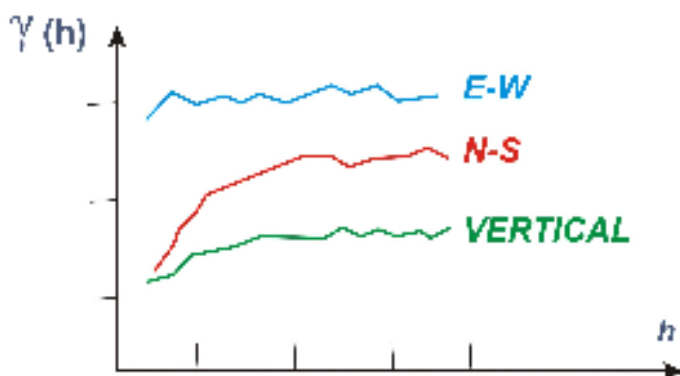
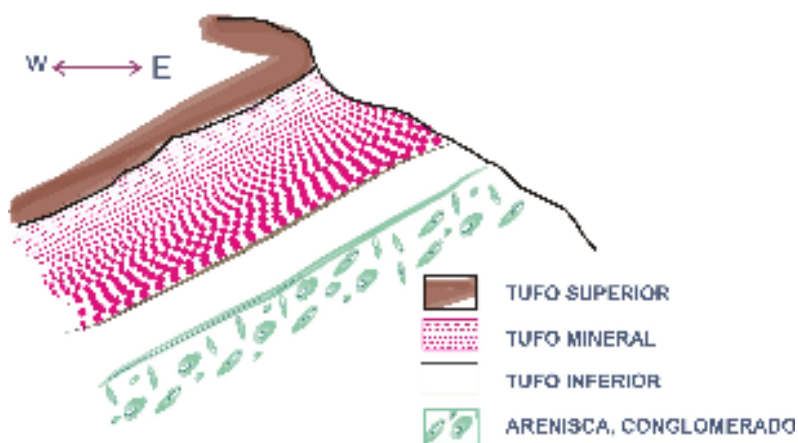


se configura paneles con dimensiones menores o iguales que $2a$, tal como se ha procedido en la Fig. 9. Si quisiéramos cubicar más reservas probadas, deberíamos diseñar subniveles cada 40 metros (dos veces el alcance en a_v); mientras que la separación ideal entre chimeneas deberá ser 20 metros (dos veces el alcance en a_h). Estos conceptos se pueden aplicar también para dimensionar el reconocimiento con taladros diamantinos desde las labores subterráneas.

Para aclarar esto vamos a referirnos a la fig. 10 (simplificada a partir de CANCHAYA & BERNUY 1983), en la cual se muestra varios tramos de muestreo a lo largo de galerías y chimeneas sobre una veta. Como los flujos mineralizantes generalmente son sub-verticales, el patrón de distribución a lo largo de las chimeneas será diferente al de las galerías; lo cual quedará expresado en los respectivos variogramas y principalmente en el alcance a . Para el caso se ha obtenido $a_h = 10$ y $a_v = 20$. Por lo tanto tenemos una distribución **anisótropa** y consecuentemente debemos definir una elipse de influencia, tomando como ejes los valores de a_h y a_v .

Cualquier variable está estructurada dentro del alcance a de su respectivo variograma, mas allá de él su comportamiento, por ser al azar, será impredecible. Por lo tanto para cubicar reservas probadas

FIGURA 12
DISTRIBUCIÓN ANISÓTROPA



VARIOGRAMAS EN VARIAS DIRECCIONES

diseminada, la cual aumenta paulatinamente del techo al piso. Este patrón de distribución queda claramente expresado en los variogramas direccionales, que se obtuvieron a partir de muestras de este manto; los cuales están graficados en la mitad inferior de la fig. 12. Tal como era de esperar, los tres variogramas son diferentes, presentando no sólo diferentes mesetas (anisotropía zonal) sino además anisotropía geométrica (diferentes alcances).

La dirección E-W corresponde a un variograma casi de efecto de pepita puro y con la mas alta varianza; podríamos percibir esta irregularidad de la mineralización imaginando que recorreremos el manto, con un analizador químico portátil, a lo largo de cualquier línea horizontal paralela a la dirección E-W indicada.

Hay dos tipos de anisotropía: zonal y geométrica. Cuando los variogramas en varias direcciones presentan diferentes alcances tenemos **anisotropía geométrica**; mientras que cuando presentan diferentes mesetas se trata de **anisotropía zonal**.

En la figura 12 estamos mostrando otro ejemplo ilustrativo. Se trata de una sección, perpendicular al rumbo, de un manto tufáceo potente que contiene mineralización del tipo

Por el contrario, si recorremos el manto a lo largo de una línea perpendicular a la hoja (N-S) notaremos una gran continuidad de los valores y una mínima variación estructural de los mismos; lo cual está plenamente expresado en el variograma respectivo, que muestra la mejor estructuración y el mayor alcance de los tres mostrados en la fig. 12. Un recorrido similar en dirección vertical, permite comprender porqué el variograma en esa dirección tiene mejor estructura y menos varianza que el de la dirección E-W.

Es una idealización muy peligrosa suponer que los patrones de distribución son isotropos, ya que los millares de estudios variográficos de diferentes tipos de yacimientos, en la bibliografía mundial, nos indican que la mayor parte de los patrones de distribución son anisotropos.

El concepto de anisotropía geométrica tiene relación directa con el denominado "radio de alcance" de los métodos tradicionales; que como ya hemos visto sólo se podrá usar en regionalizaciones isotropas. Es mas apropiado hablar de elipse (para bloques bidimensionales) o elipsoide de alcance (para bloques tridimensionales). Consecuentemente, y salvo en justificadas excepciones, las mallas de perforación deberían ser rectángulos o paralelepípedos; y no necesariamente cuadrados o cubos, como generalmente se usa.

BIBLIOGRAFIA

ALFARO, M. (2002) Introducción al Muestreo Minero.- Inst. Ings. Minas Chile; 82 p.

CANCHAYA, S. & BERNUY, O. (1983) Estudio geoestadístico de las vetas 'A' y 'Z' de la Mina Bella Unión-Hualgayoc.- Bol. Soc. geol. Perú, **72**: 29-47.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, CH. J. (1978) Mining Geostatistics.- Academic Press (London); 600 p.

MATHERON, G. (1962) Traité de Géostatistique Appliquée, T. 1. Mém. B.R.G.M. **14**; 333p, T.2; Le Krigeage.- Mém. B.R.G.M. **24**, 171p.

MATHERON, G. (1963) Principles of Geoestatistics.- Econ. Geol. **58**: 1246-1266.