

05.80.03

PROCEEDINGS SERIES

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1980

URANIUM EVALUATION
AND MINING TECHNIQUES

PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
URANIUM EVALUATION AND MINING TECHNIQUES
JOINTLY ORGANIZED BY THE
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY,
THE OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY
AND THE
OAS INTER-AMERICAN NUCLEAR ENERGY COMMISSION
AND HELD IN BUENOS AIRES, 1-4 OCTOBER 1979

Comisión Nacional de Energía Atómica
BIBLIOTECA

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 1980

ESTADISTICA Y GEOESTADISTICA. KRIGISMO Y UTILIZACION DE LAS FUNCIONES HEMIVARIOGRAMICAS EN LA INVESTIGACION ESTRUCTURAL DE LA YACIMIENTOLOGIA DEL URANIO

H.N. LUCERO MICHAUT
Comisión Nacional de Energía Atómica,
Gerencia de Exploración,
Córdoba,
Argentina

Abstract—Resumen

STATISTICS AND GEOSTATISTICS: KRIGING AND USE OF HEMIVARIOGRAM FUNCTIONS IN THE STRUCTURAL INVESTIGATION OF URANIUM DEPOSITS.

After presenting some general conceptual considerations regarding the theory of regionalized variables, the paper deals with specific applications of the intrinsic dispersion law to the determination, description and quantification of structures. It then briefly describes two uranium deposits in Córdoba province, the study of which yielded the basic data and parameters for compiling the geostatistical results presented. Before taking up the matter of structural interpretations, it refers briefly to the mathematical relationship between the number of sampling points available and the number of directions that can be investigated by the variogram method and also emphasizes the need for quantifying regionalization concepts on the basis of a table of absolute dimensionalities. In the case of the "Rodolfo" deposit it presents and comments on the hemivariograms for concentrations, thicknesses and accumulations, drawing attention at the same time to the existence of significant nest-like phenomena (gigogne structures). In this connection there is also a discussion of the case of iterative lenticular mineralization on a natural and a simulated model. The "Schlagintweit" deposit is dealt with in the same way, with descriptions and evaluations of the subjacent structures revealed by the hemivariographic analysis of grades, mineralization thicknesses and accumulations. This is followed by some considerations on the possibility of applying Krige and Matheron correctors in the moderation of anomalous mineralized thicknesses. In conclusion, the paper presents a "range ellipse" for grades; this is designed to supplement the grid of sampling points for the "Rodolfo" deposit by means of Matheronian kriging techniques.

ESTADISTICA Y GEOESTADISTICA. KRIGISMO Y UTILIZACION DE LAS FUNCIONES HEMIVARIOGRAMICAS EN LA INVESTIGACION ESTRUCTURAL DE LA YACIMIENTOLOGIA DEL URANIO.

Después de abordar algunas generalidades conceptuales sobre la teoría de las variables regionalizadas, se tratan en este trabajo determinadas aplicaciones de la ley de dispersión intrínseca a la determinación, descripción y cuantificación de estructuras. Seguidamente se describen en forma somera dos yacimientos uraníferos de la provincia de Córdoba, cuyo estudio

proporcionó los datos y parámetros de base que permitieron la elaboración de las consecuencias geoestadísticas que se exponen. Antes de entrar en el capítulo de las interpretaciones estructurales, se hace una breve referencia a la relación matemática existente entre el número de sondeos de que se dispone y el de las direcciones posibles de investigar variográficamente, a la vez que se plantea la necesidad de cuantificar los conceptos de regionalización basándose en una tabla de dimensionalidades absolutas. Comenzando con el yacimiento "Rodolfo" se exponen y comentan los hemivariogramas de tenores, potencias y sus acumulaciones, señalándose en el mismo la existencia de interesantes fenómenos de folimorfismo interencajante ("structures gigognes"). Se trata también en este punto el caso de mineralizaciones lenticulares iterativas sobre un modelo natural y otro simulado. El yacimiento "Schlagintweit" es tratado en forma similar describiéndose y cifrándose las estructuras subyacentes reveladas por la investigación hemivariográfica de leyes, espesores mineralizados y acumulaciones. Se hacen después algunas consideraciones sobre la posibilidad de aplicar los correctores de Krige y de Matheron en la moderación de potencias mineralizadas anómalas, finalizándose con la determinación de una "elipse de alcance" para tenores, destinada a completar la malla de sondeos del yacimiento "Rodolfo" mediante las técnicas del krigismo matheroniano.

1. INTRODUCCION

Es interesante y feraz en consecuencias la tarea de delimitación y complementación de las nociones de "variable independiente" y "de carácter regionalizado", que cubren el espectro a que alude la primera parte del epígrafe.

La utilización de la "función intrínseca" llevada a representaciones gráficas de base biaritmética, propicia la consecución de una herramienta de positivo empleo en la determinación, por una parte del esquema de distribución reinante y, por otra, del "alcance" o estereo-influencia de una regionalización ligada al fenómeno mineralizador, permitiendo a la vez la detección cifrada de la posible existencia del efecto "nugget" en el mismo; la posesión de estos parámetros de influencia permite la aplicación de los "correctores de leyes" en base a la participación de múltiples aureolas de datos enmarcantes.

Siendo, por definición, la Geoestadística la práctica de la teoría de las variables regionalizadas, su principal campo de acción se refiere al estudio de fenómenos de regionalización y caracterización de las estructuras que les sirven de soporte y a la cuantificación de los errores a los que quedan afectadas las estimaciones emergentes de su aplicación.

Para lograr sus objetivos, la teoría de las variables regionalizadas posee básicamente las siguientes metodologías de trabajo que pueden agruparse por una parte en métodos transitivos, de raíz geométrica, y por la otra en nociones derivadas de la teoría intrínseca que se expresan por la vía probabilística de las Funciones Aleatorias.

En el presente trabajo y en función de un grupo de datos de base, correspondientes a partes de dos yacimientos argentinos ubicados en la provincia

de Córdoba, se ha intentado extraer analíticamente – utilizando el hemivariograma que es una de las principales herramientas propuestas por la teoría intrínseca – la mayor cantidad posible de consecuencias de naturaleza estructural tendientes eventualmente a propiciar la aplicación del krigismo en la asignación local de tenores sujetos a errores minimizados, en un determinado sólido.

Para el logro de las aproximaciones de referencia – y ya en conocimiento de la existencia de algunos detalles estructurales revelados por las observaciones geológicas directas oportunamente realizadas – se ha analizado minuciosamente cada gráfico hemivariográfico experimental en su transición al modelo teórico capaz de brindar en forma directa y numéricamente expresadas, las pautas que se desea investigar.

El estudio de los fenómenos de transición traducidos en ligeras inflexiones de las curvas depuradas resultantes, permite detectar la existencia de estructuras que conforman regionalizaciones de diferentes rangos dentro de un mismo yacimiento, cuyo conjunto puede llegar a identificarse con el caso de verdaderas “estructuras folimórficas interencajantes”¹⁾ o “structures gigognes” de la literatura geoestadística francesa.

Los parámetros emergentes de estos análisis son de dos órdenes: vectoriales, ligados al valor del límite que separa el campo de una regionalización de aquel en el que rige la ley del azar puro; estos parámetros proporcionan las dimensiones métricas de la figura o sólido destinados a amparar un futuro tratamiento krigeano. Los segundos son parámetros escalares identificados con varianzas y covarianzas, poseyendo especial importancia entre las primeras, “ C_0 ” o “efecto pepítico” y “ C ” (C_1 , C_2 , etc.) magnitud que interviene en el cálculo de los “coeficientes de ponderación” “ λ_i ” que minimizan la varianza de estimación y que se obtienen mediante el “Sistema Matheron”; por su complejidad, todos estos cálculos finales deben efectuarse por computación.

2. APLICACIONES DE LA LEY DE DISPERSION INTRINSECA EN LA CUANTIFICACION DE ESTRUCTURAS

Contándose con un buen número de datos de base, referidos a tenores, potencias mineralizadas y acumulaciones potencia-tenor de algunos yacimientos uraníferos ubicados en el ámbito de la Delegación Centro-CNEA, se procedió a efectuar una exhaustiva explotación de los mismos con miras a la extracción de conclusiones geoestadísticas sobre la vertebración espacial de las estructuras de soporte de sus mineralizaciones.

1) $\varphi\omega\lambda\epsilon\acute{o}\delta$ (G.C.), $\varphi\omega\lambda\acute{\iota}\acute{\alpha}$ (G.M.) = nido.

2.1. Modelos naturales estudiados

Los ejemplos que se describirán en este trabajo corresponden a determinados sectores de los yacimientos "Rodolfo" (Valle de Punilla – Córdoba) de tipo estratiforme, y "Schlagintweit" (Sierra de Los Gigantes – Córdoba) de tipo "amas".

El primero se aloja en estratos tércicos de la Formación Cosquín, que a su vez consta de tres miembros: el inferior, compuesto de conglomerados y areniscas feldespáticas de matriz arcillosa, el miembro medio, formado de limos y arcillas calcáreas y el más conspicuo portador del uranio, que en algunos casos llega a alojarse también en el miembro inferior, y el miembro superior que se compone de areniscas arcóscicas y limos calcarenosos que tornándose progresivamente más calcáreos hacia los sectores cuspidales llegan a componer finalmente un horizonte netamente calcáreo y algo tufáceo que se comporta como una verdadera capa-guía a todo lo largo de la continuidad Norte-Sur de la formación; este banco que participa de elementos provenientes tanto de la Sierra Grande (rocas graníticas eopaleozoicas que dieron origen a la Formación Cosquín) como de la Sierra Chica (metamorfitas precámbricas que originaron la Formación Casa Grande, que descansa pseudo-concordantemente sobre la F. Cosquín) constituye un verdadero hito estratigráfico. En general, las sedimentitas portadoras de la mineralización uranífera se encuentran en posición homoclinal en un ángulo de unos 30° hacia el Este, bajo el bloque metamórfico de la Sierra Chica que las suprayace por efecto de una gran fractura compresiva submeridiana que buza en el mismo sentido con una intensidad de aproximadamente 60°; otro juego de fracturas subparalelas a aquella y de más reciente data hace infrayacer al Cuártico bajo los sedimentos tércicos, dando lugar a estructuras de imbricación. Determinados sectores del yacimiento presentan estructuras plegadas de envergadura hectométrica, probablemente ligadas a juegos tafro y/o esfenogénicos operados en el seno del cristalino que les sirve de sustrato.

En detalle la mineralización se presenta en agrupaciones de forma elongada, de entre 3 y 20 mm de longitud, compuestas de cristales de aspecto micáceo (carnotita y tyuyamunita) de tamaños individuales comprendidos entre 0,5 y 6 mm; las mismas aparecen implantadas preferentemente en aquellas áreas donde el material pelítico de ganga se encuentra decolorado, o bien en geodas de contracción de arcilla con calcita secundaria, casos en que la carnotita ocupa los espacios porales residuales. Estas agrupaciones carecen de lineación definida y de todo control lineal o planar, dado que los sedimentos albergantes no poseen "estructuras sedimentarias notorias". A su vez, la frecuencia local de estas agrupaciones da lugar a la formación de verdaderos lentes de limitaciones muy indefinidas que se disponen subparalelamente a la estratificación. La longitud de estos lentes varía entre 10 y 20 m y sus potencias, siempre proporcionales a la misma, oscilan entre 5 y 10 m. Un análisis variográfico posterior (Lucero M.,

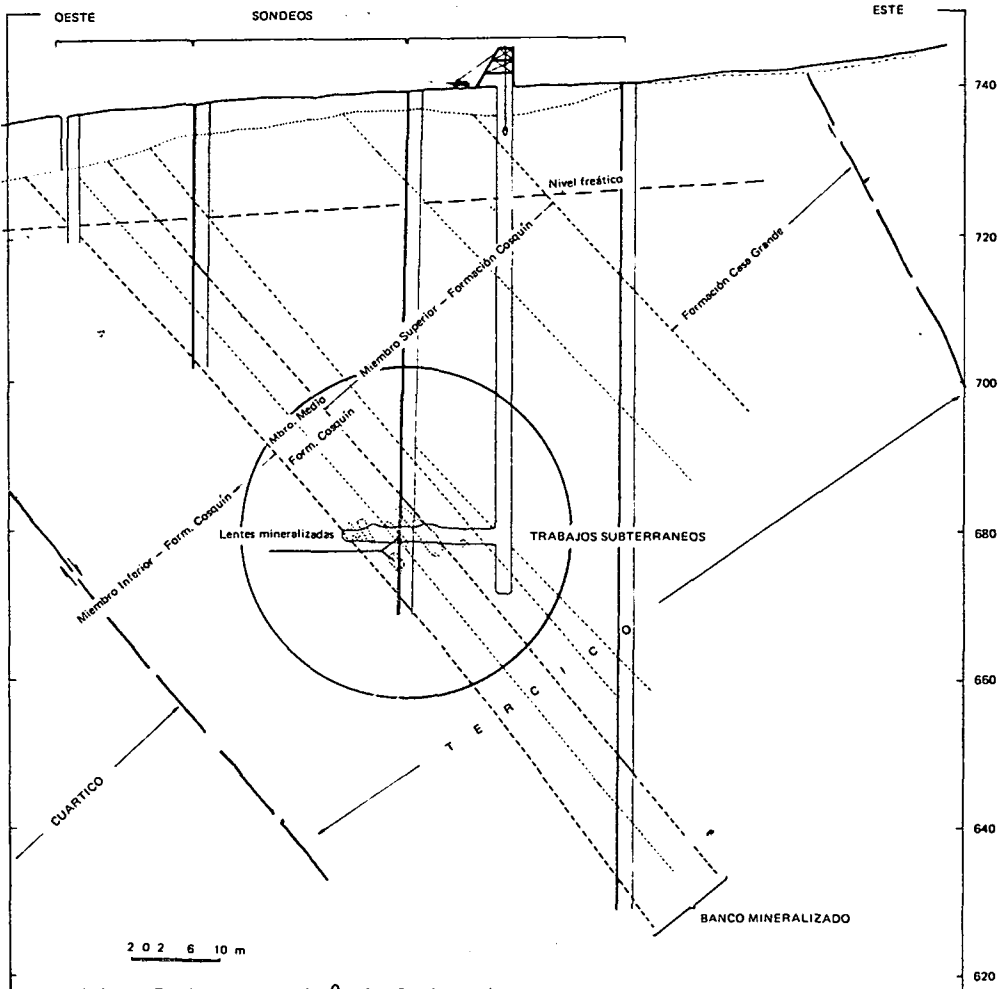
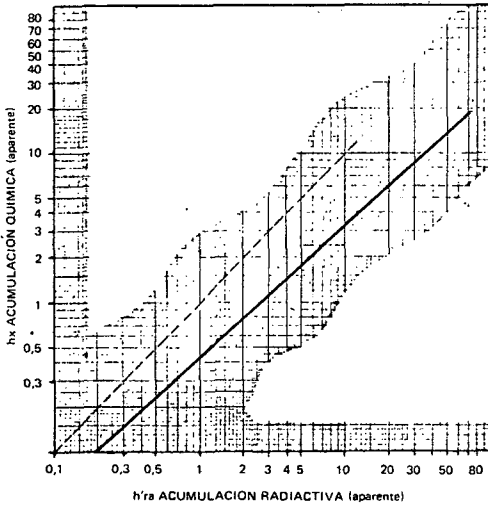


FIG.1. Perfil transversal N^o 13. Exploración yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

1973) permitió interpretar que "la longitud de onda del fenómeno mineralizador" era del orden de los 15 m, que coincide con el valor del "alcance" de 7,5 m obtenido por otra vía, que se establece en este trabajo.

En general se trata de sucesiones de lentes que desaparecen después de cierto recorrido sobre banco, siendo inmediatamente reemplazadas por otras hacia abajo, arriba o a continuación de la anterior, ocurriendo todo ello mayormente dentro de los límites de un paquete que en el sector Sur posee un espesor medio de unos 9 m y en el Norte, hasta 11 y 13 m. En todo el yacimiento no se advierten cambios sensibles de estas potencias generales de banco hacia profundidad (Fig. 1).



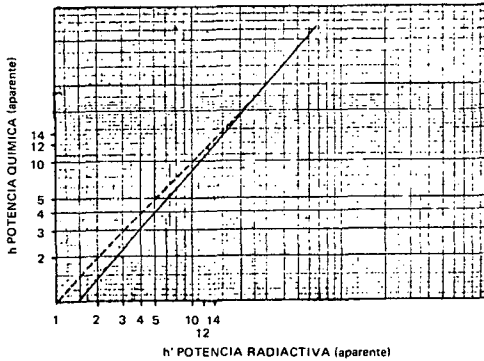
Recta $h'ra/hx$

$$hx \begin{cases} \gamma = 2,38 \\ \sigma^2 = 0,856 \\ \sigma = 0,925 \end{cases} \quad h'ra \begin{cases} \gamma = 7,15 \\ \sigma^2 = 0,990 \\ \sigma = 0,995 \end{cases} \quad h'ra/hx \begin{cases} \sigma^2 = 0,0562 \\ N = 19 \end{cases}$$

$$r = \frac{\sigma^2 h'ra + \sigma^2 hx - \sigma^2 h'ra/hx}{2(\sigma h'ra \cdot \sigma hx)} = 0,9723; \quad p = r \frac{\sigma hx}{\sigma h'ra} = 0,9038$$

$$d = \frac{0,434}{2} (1-r^2) \sigma^2 hx = 0,01015 = 1 \text{ mm}$$

$$\text{Precisión} \begin{cases} 1 \text{ medida: } \sigma^2_w = \sigma^2 hx (1-r^2) = 467,7 \cdot 10^{-4} \\ \text{(a 95\%)} \quad 2\sigma_w = 43,2\% \\ N \text{ medidas: } \sigma^2_w = \frac{\sigma^2 hx (1-r^2)}{N} + \frac{\sigma^4 hx (1-r^4)}{2N} = 45 \cdot 10^{-4} \\ \text{(a 95\%)} \quad 2\sigma_w = 13,4\% \end{cases}$$



Recta h'/h

$$h \begin{cases} \gamma = 5,29 \\ \sigma^2 = 0,295 \\ \sigma = 0,543 \end{cases} \quad h' \begin{cases} \gamma = 6,42 \\ \sigma^2 = 0,220 \\ \sigma = 0,469 \end{cases} \quad h'/h \begin{cases} \sigma^2 = 0,01265 \\ N = 19 \end{cases}$$

$$r = \frac{\sigma^2 h' + \sigma^2 h - \sigma^2 h'/h}{2(\sigma h' \cdot \sigma h)} = 0,986; \quad p = r \frac{\sigma h}{\sigma h'} = 1,1427$$

$$d = \frac{0,434}{2} (1-r^2) \sigma^2 h = 0,0018 = 0,2 \text{ mm}$$

$$\text{Precisión} \begin{cases} 1 \text{ medida: } \sigma^2_w = \sigma^2 h (1-r^2) = 82,6 \cdot 10^{-4} \\ \text{(a 95\%)} \quad 2\sigma_w = 18,2\% \\ N \text{ medidas: } \sigma^2_w = \frac{\sigma^2 h (1-r^2)}{N} + \frac{\sigma^4 h (1-r^4)}{2N} = 5,6 \cdot 10^{-4} \\ \text{(a 95\%)} \quad 2\sigma_w = 4,8\% \end{cases}$$

FIG.2. Método Lea-estadístico.

El yacimiento “Rodolfo” ha sido explorado sobre una longitud meridiana de 2200 m mediante una malla de sondeos de 100 m por ≈ 40 , homotética del depósito, y sus reservas, estimadas a través de instrumentos evaluativos de raíz estadística fundados en correlaciones radiactividad/tenor, principalmente mediante el sesgo logestadístico de la combinación de dos rectas complementarias de correspondencia, una de ellas “potencia radiactividad/potencia real” y la otra correspondiente a las acumulaciones “potencia aparente X radiactividad/potencia real X tenor” (Fig. 2). A la vez y muy localmente se efectuó una exploración subterránea mediante galerías al nivel - 60 m (Fig. 1) muestreándose metro a metro en canaleta y en dirección Norte-Sur sobre un recorrido de ≈ 40 m; a este grupo de muestras, químicamente analizadas, se agregó a continuación otro

complementario correspondiente a parte de las chimeneas existentes, cuyos tenores y potencias fueron estimados radiométricamente y los que en base a la uniformidad de comportamiento estructural geológicamente comprobado por observaciones directas, se proyectaron sobre la horizontal a los efectos de poder comprobar mediante el concurso de un procedimiento de simulación, y sobre una longitud algo mayor, la conducta variográfica de toda la secuencia.

El segundo depósito se identifica con el yacimiento "Schlagintweit" correspondiente a una masa de tipo "amas" en ambiente de rocas intrusivas sobresaturadas, muy tectónicamente afectada y poseedora de una mineralización mayormente autunítica alojada en fracturas (diaclasas y fallas de muy diversa actitud espacial). Sobre la índole de la mineralización pueden mencionarse las siguientes circunstancias: tiene carácter monomineral, carece de ganga y es aparentemente supergénica (dos acompañantes ocasionales presentes como rareza, uranofano y fosfuranulita, son también supergenos). La mineralización está confinada entre la superficie y una determinada profundidad que no excede los 40–50 m; posee una ubicación preferencial con respecto a las grandes líneas de fracturación que pudieron actuar como trampas en la confluencia de algunos accidentes que forman estructuras diédricas en las que sus planos jugaron en un sentido el papel de avenidas y en otro el de pantallas de contención. Las evaluaciones se efectuaron en base a relaciones de correspondencia radiactividad/tenor (Lucero M., 1978). Este depósito, de unos 600 m de NO a SE por 200 de NE a SO, ha sido explorado según una malla regular de 20 X 20, salvo en un pequeño sector en el que se implantó una malla un tanto más densa.

2.2. Elección de direcciones a investigar

Un análisis variográfico completo requiere la investigación del comportamiento de los parámetros correspondientes (tenores, potencias mineralizadas o acumulaciones potencia-ley) en todas las direcciones posibles del campo mineralizado en estudio; sin embargo no tiene mucho sentido llevar esta tarea hasta el límite de las posibilidades materiales, dado el gran número de variables existentes. Teóricamente el número de direcciones posibles de investigar es muy grande y en general equivale a un 30% del total de puntos, en esquemas comprendidos entre los 50 y 500 puntos de base que figuran sobre abscisas en el gráfico de la Fig. 3 (materializados en un campo mineralizado mediante perforaciones o sus cuadrículas enmarcantes), observándose un ligero incremento de ese porcentaje al disminuir la cantidad de sondeos. Estas relaciones son ciertas para esquemas idealizados de puntos dispuestos en red cuadrada regular y encerrados dentro de una planta de traza circular a efectos de poder contabilizar su número con el mayor rigorismo posible. Estas circunstancias pueden llegar a reproducirse en la práctica, siempre que tales unidades (impactos de perforaciones o unidades de malla enmarcantes) se encuentren uniformemente distribuidas dentro de un

CUADRO I. RANGOS DE DIMENSIONALIDAD ABSOLUTA PARA 60 ORDENES TERRESTRES

Hiperescala Orden	km	Megaescala Orden	km	Macroescala Orden	m	Microescala Orden	mm	Nanoescala Orden	μ	Picoescala Orden	Å
1	6377.000	11	6227.539	21	6.082	31	5.939	41	5.800	51	56.600
2	3188.500	12	3113.770	22	3.041	32	2.970	42	2.900	52	28.300
3	1594.250	13	1556.885	23	1.520	33	1.485	43	1.450	53	14.150
4	797.125	14	779.442	24	0.760	34	0.742	44	0.725	54	7.075
5	398.562	15	389.221	25	0.380	35	0.371	45	0.362	55	3.538
6	199.281	16	194.611	26	0.190	36	0.186	46	0.181	56	1.769
7	99.641	17	97.305	27	0.095	37	0.093	47	0.090	57	0.884
8	49.820	18	48.653	28	0.048	38	0.046	48	0.045	58	0.442
9	24.910	19	24.326	29	0.024	39	0.023	49	0.023	59	0.221
10	12.455	20	12.163	30	0.012	40	0.012	50	0.012	60	0.110

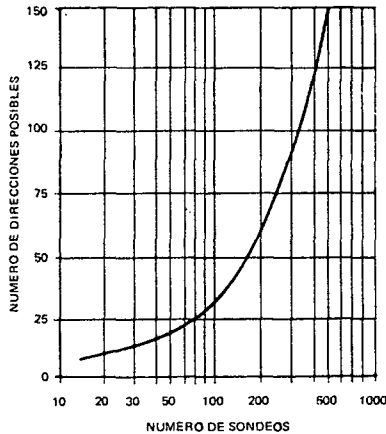


FIG. 3. Direcciones posibles de investigar variográficamente sobre retículos de sondeos.

sistema bien regular, según red compacta y carente de espacios vacíos. El mencionado gráfico muestra las relaciones comprobadas, existentes entre los mencionados parámetros; en él, a partir de cierto número finito de impactos ordenados en una red de las características anotadas, puede obtenerse el número aproximado de direcciones posibles de investigar, según los diferentes rumbos que pueden pasar por los diversos alineamientos determinados por la trama regular del sistema. En los casos de cuerpos mineralizados de tipo amas, o por lo menos poseedores de espesores relativamente significativos, se hace necesario complementar la información con investigaciones del mismo carácter efectuadas según la vertical. En los casos presentados no ha sido posible llevar esta suerte de investigación sobre más de cuatro direcciones horizontales como máximo, y en solo uno de ellos extenderla en forma muy aleatoria a la dimensión vertical.

2.3. La interpretación estructural

Ante la evidente necesidad del empleo de una terminología de índole cuantitativa capaz de describir dimensionalmente las estructuras de diferentes rangos que se presentan en el estudio de las regionalizaciones, se propone la adopción de la “Tabla de escalas de dimensionalidades absolutas para 60 órdenes terrestres” (véanse Cuadros I y II).

Como puede verse, no es probable que se tropiece con una “nanoestructura” ni con una “hiperestructura” encontrándose casi todos los casos posibles de “regionalizaciones estructurales de los fenómenos mineralizadores” entre las categorías de “micro y megaestructura”; de esta manera, una regionalización del

CUADRO II. ALGUNAS APLICACIONES PRACTICAS DE LA DIMENSIONALIDAD ABSOLUTA

Ordenes	Ejemplos
1- 3	Continentes
4- 6	Islas, mares, etc.
7-10	Rasgos geológicos regionales
11-13	Ambientes regionales de depósitos
14-20	Depósitos minerales, campos petrolíferos, etc.
21-30	(Minería) potencias mineralizadas, etc.
31-....	Petrografía, mineralogía ...

orden de los 6 mm (detectable solo por observaciones directas de detalle y que en un variograma podría aparecer como un simple "efecto pepítico") correspondería a una "microregionalización" de orden 31, una estructura de ≈ 3 m sería una "macroregionalización" de orden 22, y una estructura mayor, de por ejemplo 800 m, se identificaría con una "megaregionalización" de orden 14, etc. etc.

2.3.1. *Yacimiento "Rodolfo". Comportamiento de los tenores, potencias y acumulaciones*

Comenzando por este depósito, se describirán los resultados obtenidos de los diferentes exámenes variográficos realizados. Contándose con un grupo moderadamente numeroso de sondeos implantados según una malla de 100 por 40 m, se efectuaron cuatro investigaciones de hemivarianzas en las siguientes direcciones: N-S, E-O, NE-SO, y NO-SE; naturalmente podrían haberse agregado otras direcciones más pero el volumen de información que hubieran aportado habría sido tan pequeño que sus resultados carecerían de la fiabilidad necesaria.

La Fig. 4 revela las siguientes circunstancias anomalíarías ligadas al andamiaje íntimo que constituye la infraestructura del espacio sujeto a este tipo de investigación.

En presencia de un "campo", es decir el dominio dentro del cual juega la variable en estudio en función de un argumento "d" definido, y de un "soporte", identificado con el volumen del tipo de muestra en base al cual haya sido explorado el depósito, se estará en condiciones de aplicar los formulismos conducentes al empleo de la función intrínseca, o hemivariograma, o sea, y por

definición, el error medio cuadrático que se comete al atribuir a la variable Y en el punto x el valor de Y en el punto $x + d$: $\gamma(d) = 1/2 E [Y(x + d) - Y(x)]^2$.

Recordando que el concepto de "tenor" independizado de su "soporte" carece de sentido, será necesario en primer lugar describir el tipo de muestra empleado en el reconocimiento del campo. En este caso se ha tratado de testigos de perforaciones (y radiotestigos) que en términos de equivalencia lineal poseerían una dimensión de ≈ 2 m, valor que comparado con el E.L. del total explorado (≈ 2250 m) resulta tan insignificante que induce a considerar a este soporte como de carácter meramente puntual.

Analizando en primer lugar la dirección N-S que es la más rica en datos de base por corresponder con mucho a la mayor elongación del campo mineralizado objeto de una exploración efectuada en base a un distanciamiento de " d " = 100 m, se observa la existencia de un efecto pepítico " C_0 " un tanto acentuado. Dado el relativamente pequeño volumen del "soporte" y la gran dimensión del argumento " d " que se hace desplazar a lo largo de todo el campo, es muy probable que este efecto — evidenciado en la brusca discontinuidad de la función $\gamma(d)$ que determina una tangente vertical en el origen — tenga sus verdaderas raíces en la existencia de una miniestructura que la escala explorativa es incapaz de poner en evidencia en el gráfico variográfico.

Dado que otra investigación más localizada de hemivarianzas, llevada a cabo a una escala 1/100 de la que se está tratando y que será objeto de posteriores consideraciones, tampoco pudo detectar el "alcance" de este posible fenómeno de transición, es probable que su magnitud pueda recaer en el campo dimensional de una microregionalización o bien en el de una macroregionalización de orden inferior (entre 25 y 30). Esta primera estructura, cuyos parámetros relativos a las magnitudes de "meseta" (C_x) y "alcance" (a_x) no es posible definir en base a varianzas sin el concurso de una investigación complementaria de mucho detalle, sería la de más pequeño orden existente en este yacimiento.

- Observando el gráfico, es posible detectar en el "modelo teórico" o "hemivariograma medio" emergente del experimental de base, una ligera pero notoria inflexión, determinante de un valor de "meseta" $C_2 = 0,022$ y de un "alcance" $a_2 = 175$ m; este último valor se identificaría en el caso de que el campo fuese isótropo, con el radio de la zona de influencia de una muestra y marca la presencia de otra estructuración de mayor rango que la anterior y correspondiente a una megaregionalización de orden 16-17 (Fig.4).
- Continuando con el análisis de la representación variográfica según la dirección N-S, surge la existencia de una tercera regionalización de gran envergadura que concurre a la reconstrucción estructural del espacio, siendo su parámetro escalar de valor de "meseta" o "palier", $C_3, 0,022$ y el "alcance" de la transición, a_3 , de 870 m.

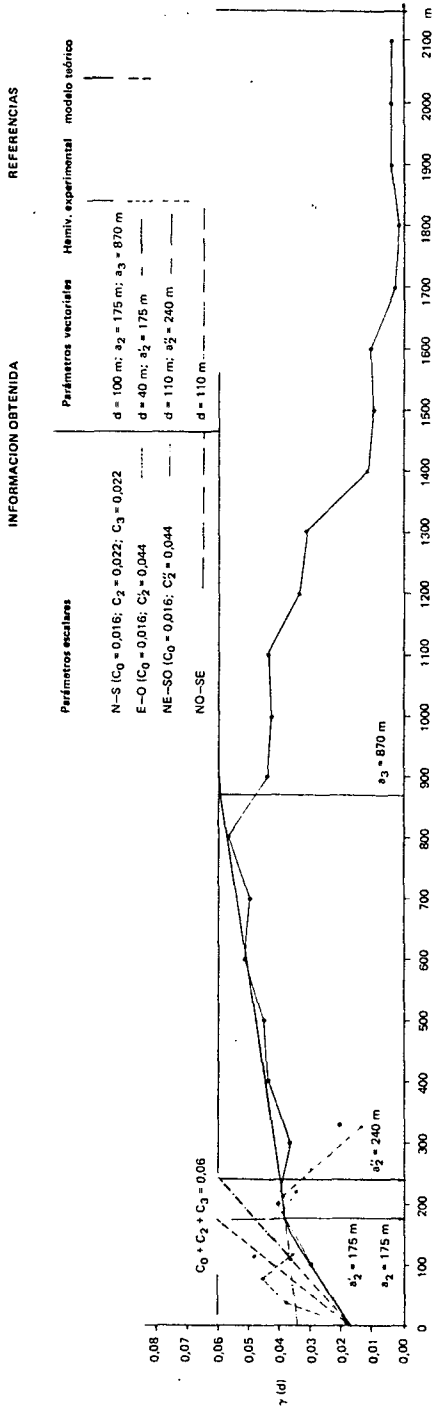


FIG. 4. Hemivariograma de tenores, megaregionalizaciones. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

Hacia la derecha de la posición de “ a_3 ” se nota un paulatino decrecimiento de los valores de varianzas por falta progresiva de información; en el caso de que se hubiese contado con un mayor volumen absoluto de datos, sería de esperar: 1) una periodicidad del fenómeno iterativo megaregionalizante en un orden de 1,5 km como longitud de onda del hecho físico-químico mineralizador, y 2) que la siguiente cúspide del fenómeno de tipo deriva que entrañaría tal estructuración podría hallarse entre las hemivarianzas $\gamma(d_{24})$ y $\gamma(d_{30})$ que no es posible calcular dado que la exploración en base a “ d ” = 100 m no supera actualmente los 2100 m de longitud meridiana.

Antes de tratar las restantes direcciones se incluirán los resultados de otro estudio basado en la extracción de muestras metro a metro en trabajos subterráneos de un pequeño sector del mismo yacimiento (Fig. 1); se trata de un muestreo “en canaleta” efectuado en forma un tanto selectiva sobre una continuidad de lentes mineralizadas separadas por breves tramos poseedores de leyes relativamente más bajas.

En la Fig. 5a puede verse el comportamiento de las hemivarianzas y su resultado final expresado en un esquema iterativo de tipo deriva, que poseedor de un efecto pepítico $C_0 = 0,01$ señala la posible existencia de miniestructuras — probablemente las mismas a las que se aludió más arriba — que también escaparon al examen realizado a esta escala bastante detallada de trabajo; el valor de C_1 es de 0,05. En el relativamente breve recorrido del argumento “ d ” = 1 m a través de parte del campo en estudio, se advierte la presencia reiterada de una macroregionalización de orden 21 ($a_1 = 7,5$ m) que indica la existencia de un pulso o ritmo del fenómeno mineralizador, de alrededor de unos 15 m.

Incorporando este fenómeno al del gráfico 4, se obtiene (Fig. 6) un panorama más completo del cúmulo de regionalizaciones de diferente rango que coexisten según la dirección en este caso investigada (N-S).

Resumiendo, se tropieza: a) en primer lugar, con una microregionalización, o macroregionalización de orden inferior, puesta en evidencia cualitativa por los efectos “nugget” acusados por los gráficos 4, 5a, y 6; b) en segundo, con una macroregionalización de orden 21, poseedora de un alcance $a_1 = 7,5$ m; c) en tercero, con una megaregionalización de orden 16–17 ($C_2 = 0,022$ y $a_2 = 175$ m) y, finalmente, d) con una segunda megaregionalización de orden 14 ($C_3 = 0,022$ y $a_3 = 870$ m) que se identifica con la estructura de mayor rango existente en el campo según la dirección señalada.

Esta relación de regionalizaciones de diferentes rangos dentro de un mismo campo indica la existencia de un evidente “*folimorfismo*” de carácter *interencajante*, de sumo interés desde el punto de vista estructural de la mineralización del depósito.

El examen del comportamiento de los tenores en la dirección Este–Oeste, según la cual el módulo de desplazamiento del argumento “ d ” es de solo 40 m, brinda muy pocos elementos de base, dado que siendo la dimensión transversal

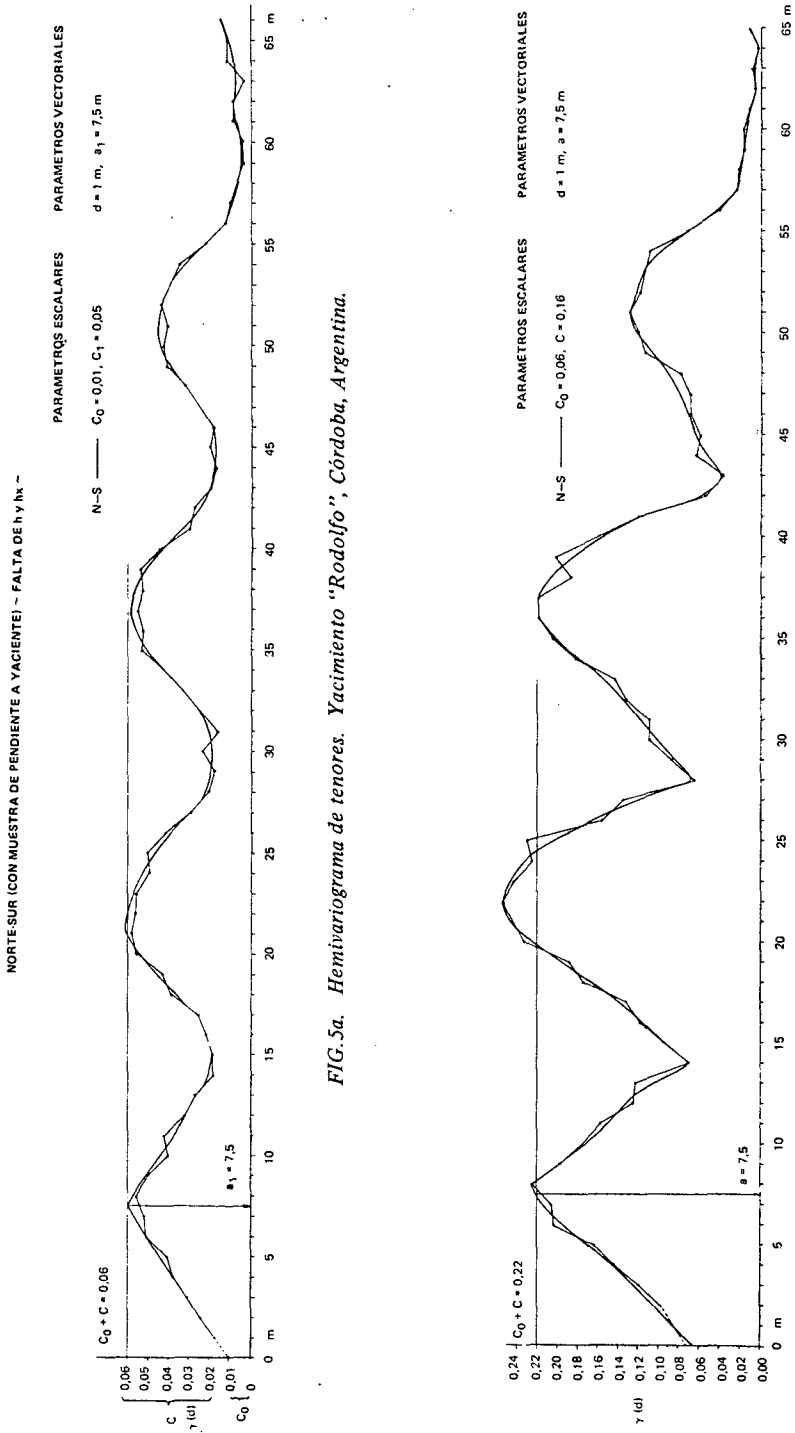


FIG. 5a. Hemivariograma de tenores. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

FIG. 5b. Hemivariograma de acumulaciones potencia-tenor. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

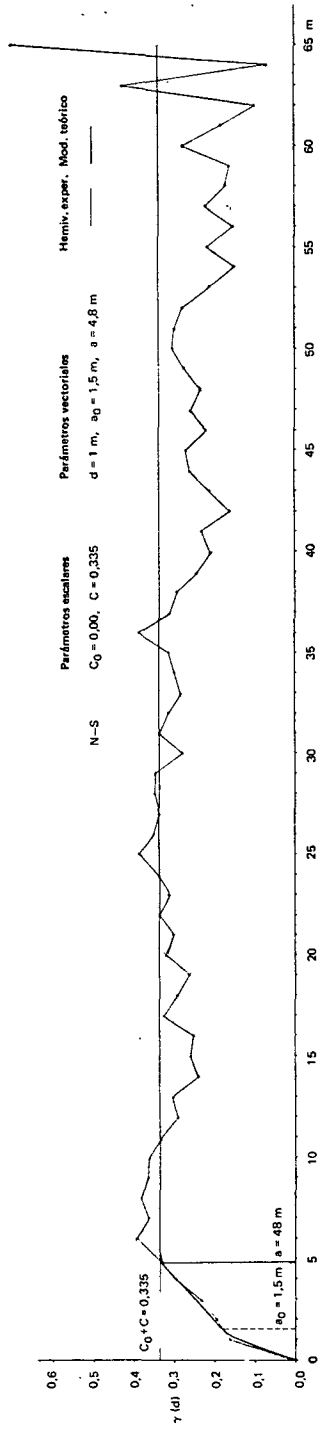


FIG. 5c. Hemivariograma de potencias mineralizadas. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

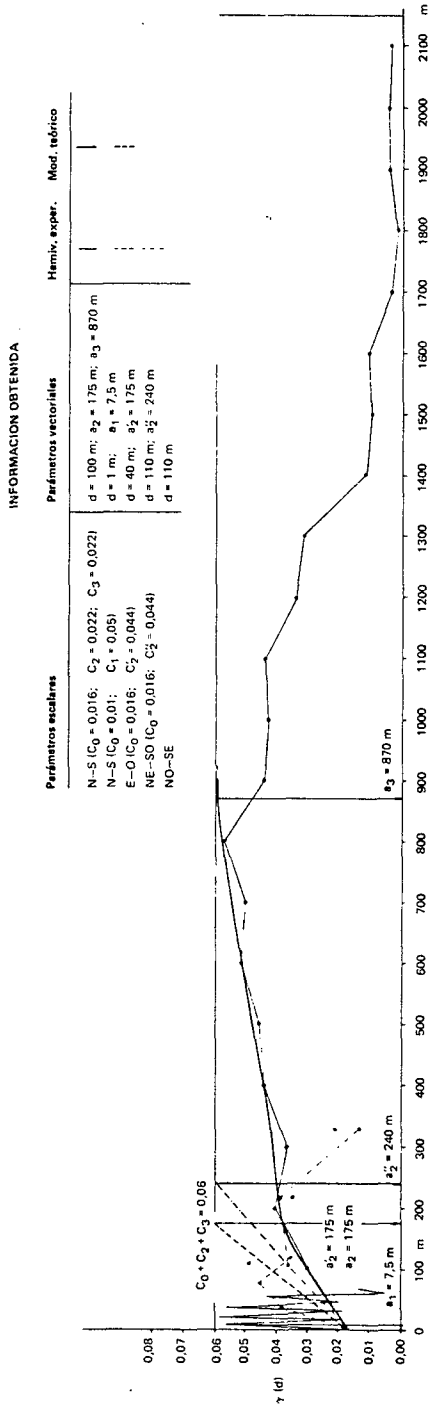


FIG. 6. Hemivariograma de tenores. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

media del depósito de 140–160 m no fue posible obtener más de tres varianzas en total.

Siendo tan escaso el número de datos disponibles, las consecuencias emergentes del trazado del hemivariograma medio poseen un cariz un tanto especulativo que ha sido reforzado por algunas observaciones geológicas directas; es así como se ha aceptado la existencia de una estructura de carácter iterable y correspondiente a la dimensión megaescalar (orden 16–17), poseedora de un efecto de pepita $C_0 = 0,016$ (que parece corresponder a una miniestructura), una meseta $C_2' = 0,044$ y un alcance transicional de $a_2' = 175$ m, coincidente con el de una importante estructura detectada sobre la dirección N–S y con la cual puede ser identificada.

En cuanto a la dirección NE–SO (que es en realidad N 22° E–S 22° O) con “d” = 110 m, por las mismas causas mencionadas para la anterior, posee solo tres valores de varianza, siendo el carácter de su alcance de transición también bastante aleatorio, aunque cuenta con el apoyo de observaciones geológicas previas; conservando el valor del efecto pepítico, el de la meseta C_2'' sería de 0,044 como en el caso anterior, y el de a_2'' de unos 240 m que aparentemente miden otra dimensión de la misma estructura de mesetas C_2 , C_2' y C_2'' .

La restante dirección NO–SE no brindó ninguna información.

Tanto las conclusiones emergentes de las observaciones según la dirección E–O como de la NE–SO, parecen confirmar la existencia del foliomorfismo que en forma tan evidente puso de manifiesto la N–S, no solamente en cuanto a la mineralización responsable del efecto pepítico (ya determinada por observación geológica directa) como a la correspondiente a los alcances a_2 , a_2' y a_2'' .

La macroregionalización de rango intermedio entre las dos que se acaban de mencionar, vale decir la detectada por el muestreo metro a metro (radiométricamente comprobada en los trabajos subterráneos) se hace también perceptible en la dirección Este–Oeste, coincidente con la exploración por chimeneas a que ya se hiciera referencia.

En cuanto a la megaregionalización mayor, caracterizada por $C_3 = 0,022$ y $a_3 = 870$ m, solo es detectable en sentido N–S, dado que por su dimensión excedería la estrecha envergadura del depósito según la dirección E–O en la cual el yacimiento ha sido decapitado por la erosión hacia el Oeste y tectónicamente cercenado en profundidad hacia el Este.

El hemivariograma de tenores (Fig. 4), especialmente el que investiga la dirección N–S, parece ajustarse mejor a un esquema de transición matheroniano que por ejemplo a uno formeryano o wijsiano, entre los más frecuentes.

En efecto, la traza idealizada en base a la aplicación de la ecuación esquemática correspondiente así lo evidencia, siendo sus valores los siguientes:

	Hemivarianzas y sus corresp. covarianzas ²	
$\gamma(d_1) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0235	0,0365
$\gamma(d_2) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0285	0,0315
$\gamma(d_3) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0378	0,0222
$\gamma(d_4) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0442	0,0158
$\gamma(d_5) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0498	0,0102
$\gamma(d_6) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0543	0,0057
$\gamma(d_7) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0577	0,0023
$\gamma(d_8) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0596	0,0004
$\gamma(d_{d \geq \omega}) = C_0 + C(1,5 - 0,5)$	= 0,06	0,00
$\gamma(d_9) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,05999	0,00001
$\gamma(d_{10}) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0585	0,0015
$\gamma(d_{11}) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0550	0,0050
$\gamma(d_{12}) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0493	0,0107
$\gamma(d_{13}) = C_0 + C[3/2 d/\omega - (d/\omega)^3 \times 0,5]$	= 0,0412	0,0188
	etc.	etc.

Si bien los "alcances" de la primera megaregionalización poseen idénticos valores para las direcciones N-S y E-O (175 m) no sucede lo mismo con la tercera, que evidencia un "alcance" un tanto mayor (240 m); esta circunstancia, que da lugar a una representación en elipse, indica que se está en presencia de una "anisotropía geométrica" en el yacimiento, caracterizada por la diversidad de los "alcances" bajo conservación del valor de la "meseta", y por el hecho de que una conveniente variación de direcciones puede restablecer el cuadro isotrópico realmente existente.

Con respecto a los restantes parámetros, potencias mineralizadas y acumulaciones potencia-tenor de este yacimiento, solo se ha contado con los datos emergentes de la exploración lineal subterránea mencionada, lográndose obtener los dos siguientes gráficos (Figs 5 b y 5 c).

En cuanto a las acumulaciones (Fig. 5 b) puede observarse que en forma muy semejante al hemivariograma de tenores, tiene lugar una sucesión reiterada de estructura que la intervención de las potencias no ha logrado borrar. Se observa la misma estructura, de alcance $a = 7,5$ brindada por los tenores, siendo en el caso de las acumuladas $C_0 = 0,06$ y $C = 0,16$. Como puede verse, persiste en la representación el efecto péptico enmascarante de una estructura de rango menor que escapó por razones de escala al muestreo monométrico realizado.

El hemivariograma de potencias mineralizadas presenta otra conformación bastante diferente, observándose solo una pequeña estructura poseedora de un

² Siendo $\gamma(d) = C_0 + tg\alpha \cdot d$
y la covarianza $= C_0 + C - \gamma(d) = C_0 + C - C_0 - tg\alpha \cdot d = C - tg\alpha \cdot d$.

alcance transicional $a = 4,8$ m (macroregionalización de orden 21–22) y a partir de este punto, una suerte de pequeñas variaciones que podrían interpretarse como las irregularidades de una formación mesetiforme de gran desarrollo longitudinal que hace pensar en la existencia de alguna estacionaridad de carácter local y en la carencia de signos de deriva.

Podría también señalarse una dudosa estructura de rango inferior, de 1,5 m de alcance que correspondería a una macroregionalización de orden 23. En general puede decirse que el tramo en el que se observa dependencia entre las funciones es bastante breve, alcanzándose rápidamente el dominio de la independencia propia de las funciones aleatorias. Se trata de una función de carácter continuo, carente de efecto pepítico por lo tanto y poseedora de un valor de $C = 0,335$. Se considera para ambos gráficos que el ajuste esquemático es de carácter sensiblemente matheroniano, como en el caso de los tenores.

Es interesante señalar que para el caso de estructuras lenticulares más o menos regularmente localizadas en el espacio basta efectuar un simple perfil de tenores en el que se trace la isopleta de la ley media para obtener una medida directa de la dimensión de las estructuras existentes.

El perfil de un modelo simulado (Fig. 7 b) muestra que la longitud de onda del fenómeno mineralizador, medido, por ejemplo, entre las progresivas 3,5 m y 13,5 m brinda un valor de 10 m para la estructura existente, cifra que coincide con la proporcionada por el hemivariograma del mismo modelo (Fig. 7 c); en efecto el “alcance” que mide el radio de la regionalización es de 5 m.

El modelo natural de “Rodolfo” proporciona un ejemplo real de lo dicho. Su perfil de tenores (Fig. 7 a) medido, por ejemplo entre las progresivas 37,5 y 53 m, brinda una estructura de 15,5 m, coincidente con la evidenciada por su hemivariograma (Fig. 5 a) donde el alcance “a” es igual a 7,5 m.

Esta metodología sería válida sólo para este tipo de estructuras y carece de la versatilidad y riqueza en consecuencias que caracteriza a las de raíz geoestadística elaboradas por la vía variográfica.

2.3.2. *Yacimiento Schlagintweit. Comportamiento de tenores, potencias y acumulaciones*

A los efectos de jugar estadísticamente con los tenores y potencias acumuladas, se ha hecho uso de un grupo de datos de base correspondientes a sondeos distanciados cada 10 m, malla cuadrada según la cual se ha explorado un determinado sector del depósito. Se han efectuado exámenes variográficos solamente sobre dos direcciones, la NO–SE correspondiente a la mayor elongación del amas, y la ortogonalmente relacionada con ésta; se ha agregado una tercera dirección identificada con la vertical, que por razones que más adelante se expondrán no suministró la información buscada.

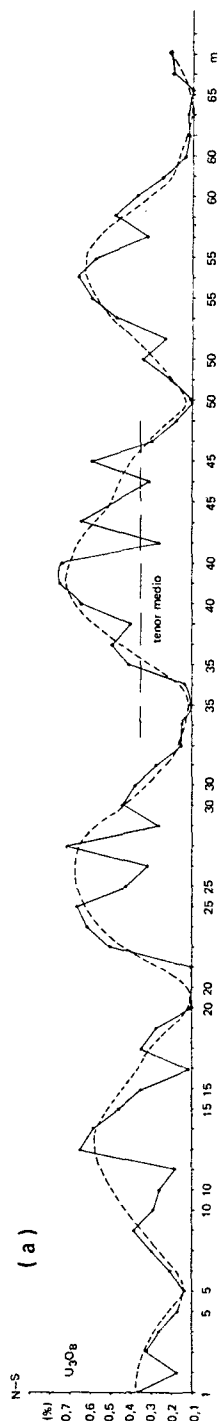


FIG. 7a. Perfil de tenores de un modelo natural. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

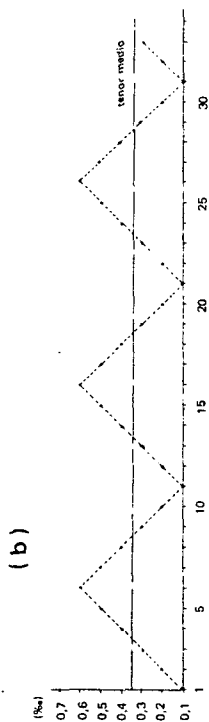


FIG. 7b. Perfil de tenores de un modelo simulado. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

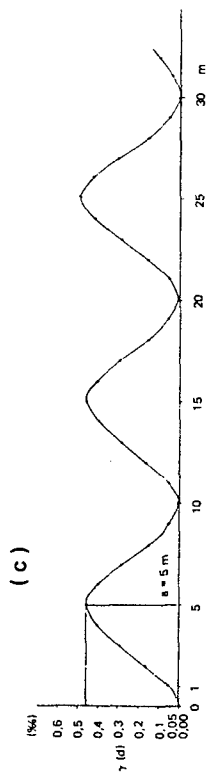


FIG. 7c. Hemivariograma del modelo simulado. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

En cuanto a la caracterización del “soporte” que brinda sentido a la noción de tenor, de acuerdo a la exploración realizada, puede también considerarse como de índole puntual.

Referente a las potencias mineralizadas, se ha tomado todo el desarrollo del yacimiento en sus dos dimensiones extremas coincidentemente con las direcciones más arriba mencionadas, pero respetando la vigencia de un argumento “d” igual a 20 m sobre ambas.

Comenzando por el hemivariograma de tenores que en base al amplio venero brindado por la representación biaritmética parece también ajustarse bastante bien a un esquema de Matheron, se tendría que una primera observación del gráfico de la Fig. 8 permite la cuantificación de un efecto pepítico $C_0 = 0,023$ que probablemente — como en los casos anteriores — se encuentre delatando la existencia de alguna miniestructura que la escala de reconocimiento no ha logrado poner en evidencia mensurable.

Tomando en consideración la dirección NO–SE, más dotada en cuanto a datos de base, se observa la presencia de una primera estructura caracterizada por un valor de meseta de $C = 0,03$ y uno de alcance de $a = 18$ m, correspondiente a una megaregionalización de orden 19–20.

Una segunda estructura portadora de un valor de $C_1 = 0,02$ y de $a_1 = 84$ m se hace presente como la de mayor envergadura del depósito, correspondiendo a otra megaregionalización de orden 18–19; a partir de la posición de a_1 en adelante, el valor de las varianzas comienza a decrecer rápidamente por insuficiencia de información.

La otra dirección estudiada, la NE–SO, posee menor número de elementos de base por lo cual sólo se pudieron conformar cinco valores de varianzas, encontrándose las dos últimas basadas en muy pocos elementos; por esa razón, los valores de alcance logrados no poseen la fiabilidad de aquellos brindados por la primera dirección. No obstante y con las reservas correspondientes al caso, se aceptaron los siguientes parámetros $C' = 0,05$ y $a' = 28$ m.

Con respecto a la dirección vertical puede decirse lo siguiente: de acuerdo a la profundidad media explorada (≈ 36 m) y el intervalo decamétrico adoptado (por problemas de rendimiento precisional de la recta de correlación empleada) las probabilidades de enfrentamientos para el cálculo de varianzas son muy escasas y disminuyen muy rápidamente con los distanciamientos sucesivos. Por otra parte puede notarse que las últimas varianzas, especialmente la cuarta, es el resultado de la comparación de niveles poseedores de leyes muy bajas y muy similares entre sí, en razón de que la parte superior del depósito se encontraría empobrecida por probable arrastre mecánico del mineral, y la inferior lo es naturalmente por corresponder a sectores basales próximos a niveles de transición con el estéril franco.

Podría haberse logrado mejores resultados, en caso de haberse dispuesto de un numeral de leyes correspondientes a intervalos de influencia menores, por

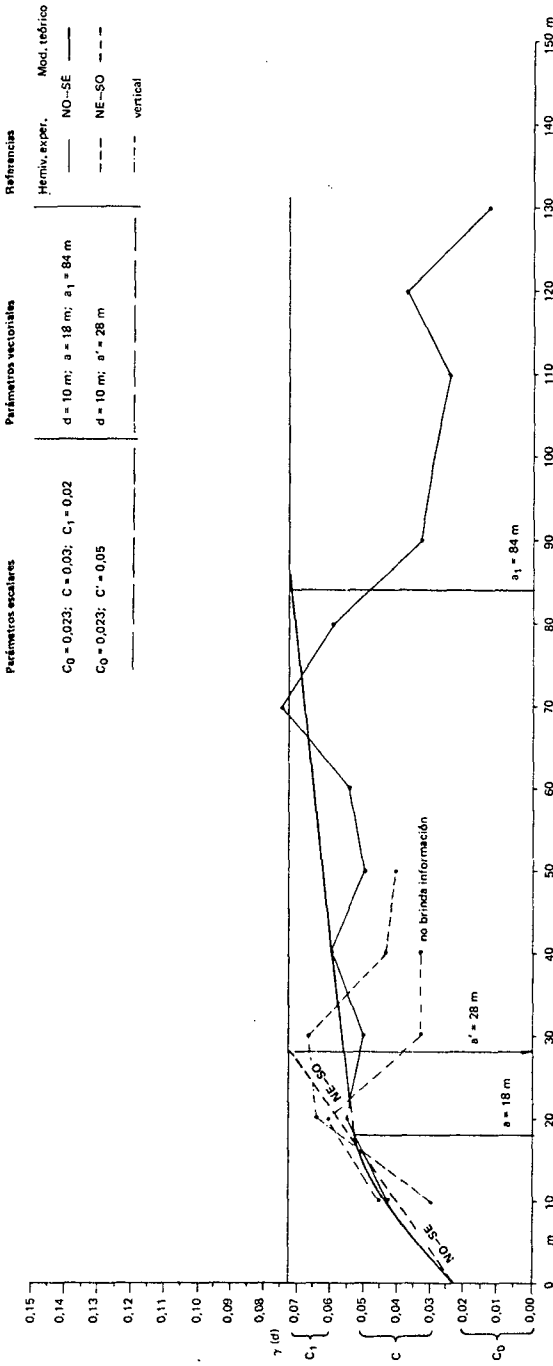


FIG. 8. Megaregionalizaciones en el yacimiento "Schlagentweit", Córdoba, Argentina.

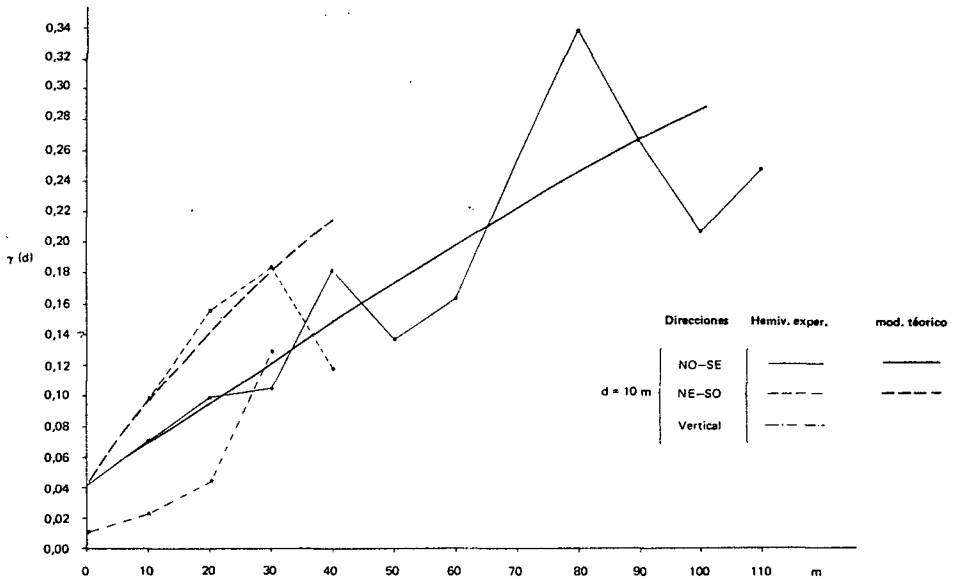


FIG.9. Hemivariograma de acumulaciones potencia-tenor. Yacimiento "Schlagintweit", Córdoba, Argentina.

ejemplo pentamétricos, pero con tenores químicamente obtenidos. Puede decirse que este examen no brindó ninguna información positiva en el aspecto hemivariográfico.

Recapitulando, se tiene que aparte de la posible miniestructura puesta de manifiesto en un efecto pepítico de $C_0 = 0,023$, un tanto acentuado, hay razones para suponer la existencia de otras dos estructuras que a diferencia de aquella son de carácter cuantificable: la primera de ellas, detectada por la investigación NO-SE con un valor de "alcance" de 18 m y por la NE-SO con uno de 28 m, y la segunda, señalada únicamente por la dirección NO-SE y poseedora de un "alcance" " a_1 " de 84 m, no confirmada según la dirección ortogonal por simple falta de información.

También en este caso aunque con menor peso informativo que en el del yacimiento "Rodolfo", podría señalarse la existencia de ciertas características "folimórficas" que una investigación de mayor detalle contribuiría probablemente a consolidar.

Es interesante señalar por otro lado que las dos medidas del "alcance" estructural de la primera regionalización mensurable mencionada, ya indican la existencia de una "anisotropía geométrica" traducible gráficamente en una elipse con elongación mayor de NE a SO.

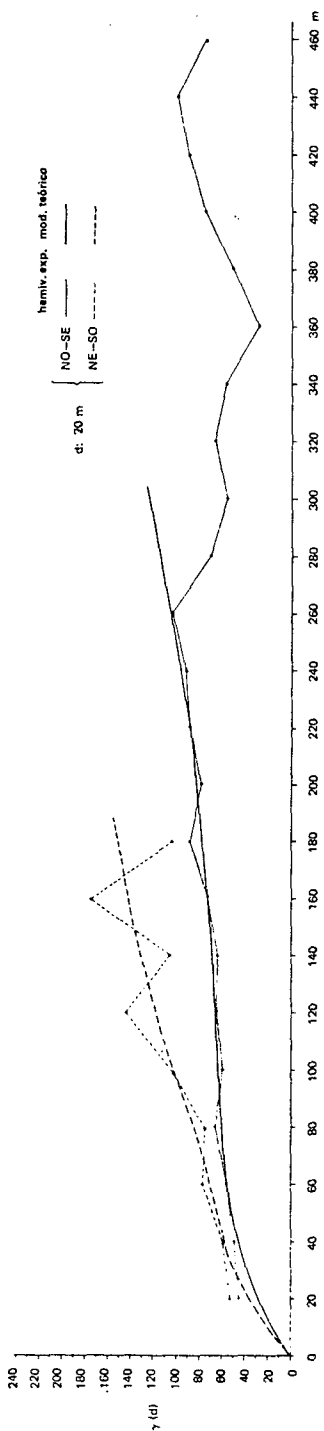


FIG. 10. Hemivariograma de potencias mineralizadas. Yacimiento "Schlagmitweit", Córdoba, Argentina.

Seguidamente se describirán las breves experiencias emergentes del análisis de la representación variográfica de las acumulaciones potencia-tenor (Fig. 9).

En su elaboración han intervenido los mismos sondeos utilizados en el hemivariograma de tenores, es decir los correspondientes a un breve sector del yacimiento que fuera explorado según malla de 10×10 m.

Como puede observarse en la Fig. 9, los gráficos de acumulaciones hacen suponer, tanto según la dirección NO-SE como según la NE-SO, que la distribución parecería encontrarse en esquema "wijsiano" caracterizado por una varianza a priori al infinito y regido por la ecuación hemivariográfica: " $\gamma(d) = 3 \alpha \text{Ln } d$ ", de donde el único parámetro deducible es el del coeficiente de dispersión intrínseco.

La dirección vertical no brindó ninguna información aprovechable.

En lo relativo al comportamiento hemivariográfico de la dimensión "potencias mineralizadas" se aclarará que a los efectos de poder contar con el mayor número posible de datos, se utilizaron los sondeos equidistantes 20 m entre sí a lo largo y ancho de todo el yacimiento, eliminando con fines de regularización algunos impactos correspondientes al sector más densamente explorado.

Los resultados de la representación, que pueden verse en Fig. 10, indican que también en este caso el hemivariograma señala que ambas distribuciones parecen ajustarse sensiblemente a un esquema de De Wijs, por lo que caben para el caso las mismas consideraciones del punto anterior.

3. EMPLEO DE LOS PARAMETROS EMERGENTES DEL HEMIVARIOGRAMA EN EL KRIGISMO

Durante el proceso de una evaluación o como consecuencia de interrogantes surgidos con posterioridad a la misma, pueden plantearse determinados problemas tales como los siguientes, susceptibles de ser resueltos mediante la intervención del krigismo en sus diferentes formas y matices: a) puede suceder que en algún sector de un depósito explorado mediante perforaciones se dude de la realidad objetiva de un tenor "monstruo" (por defecto o por exceso) que desentone en forma muy acusada con respecto a los de los puntos vecinos o bien con la medianía del depósito; b) que el mismo problema se plantee con respecto a una "potencia mineralizada" sujeta a análogas incertidumbres; c) que falte un sondeo en el seno de una malla, y que se desee "integrarlo" atribuyéndole determinados valores de tenor y potencia; d) el siguiente caso que es una muy amplia extensión del último, consiste en que se considere necesario densificar artificialmente una malla de sondeos, intercalando datos deducidos de los parámetros de los realmente existentes, etc. etc.

El problema a) tiene solución mediante el “*Corrector de Krige*” (de fundamento estadístico) en base a varianzas generales válidas para la totalidad de un yacimiento, y a la certeza de encontrarse en lognormalidad y en esquema wijsiano, o bien con el “*Corrector de Matheron*” (de raíz geométrico-geográfica) en su empleo más corriente en base de las dos primeras aureolas de perforaciones que enmarcan al sondeo-problema; en este espacio no será tratado ninguno de estos dos métodos, que ya lo han sido en otros trabajos. También puede resolverse el caso mediante la aplicación del krigismo basado en los desarrollos de Matheron aplicables a un número “n” de sondeos vecinos, y ligado exclusivamente a la magnitud de las regionalizaciones existentes.

El caso b), a pesar de constituir un problema que se presenta con suma frecuencia en la práctica, resulta extraño comprobar que no parece haber sido nunca objeto de una atención muy especial, según se desprende de la bibliografía consultada.

De acuerdo a algunas experiencias comprobatorias realizadas, se ha podido establecer que si se conocen los principales hitos geoestadísticos relativos a los “espesores mineralizados” de un yacimiento, vale decir, “la varianza a priori de potencias”, “el coeficiente de dispersión intrínseco de potencias” y “los equivalentes lineales”, 1) del yacimiento, 2) del volumen de influencia de los sondeos, y 3) de la muestra, basta aplicar la conocida fórmula de Krige para moderar un espesor considerado como “anómalo” por exceso o por defecto, *con respecto a la potencia media de todo el depósito*.

De otra manera, empleando en la misma forma el “*Corrector de Matheron*” basado en la existencia de solo dos aureolas de sondeos circundantes ya citado, y previo cálculo de la *potencia media* de cada aureola (en este caso, la ponderación debe hacerse por los tenores) se consiguen análogos efectos moderadores, pero esta vez *con respecto a los espesores medios de los sondeos vecinos*. (Lucero M., 1978.)

Caso c) – En la resolución de este problema pueden aplicarse las dos metodologías de Matheron citadas en el caso a), es decir, la basada en las dos aureolas circundantes, y la del krigismo para un número de sondeos vecinos únicamente limitado por los valores de “alcance” variográficamente obtenidos.

Caso d) – Este problema, que puede presentarse ante la necesidad de tener que planificar una explotación, requiere para su solución, por una parte un minucioso trabajo de análisis geoestadístico de comportamientos hemivariográficos en base a los datos de la exploración realizada y por otra una voluminosa tarea complementaria de programación y computación sin cuyo concurso sería prácticamente insoluble.

La primera parte de este trabajo debe efectuarse bajo criterios eminentemente geológicos y capaces de limitar los dominios dentro de los cuales pueden aplicarse los valiosísimos aportes de las matemáticas aplicadas derivadas de la teoría de las variables regionalizadas. Un límite geológico, ya sea de orden tectónico,

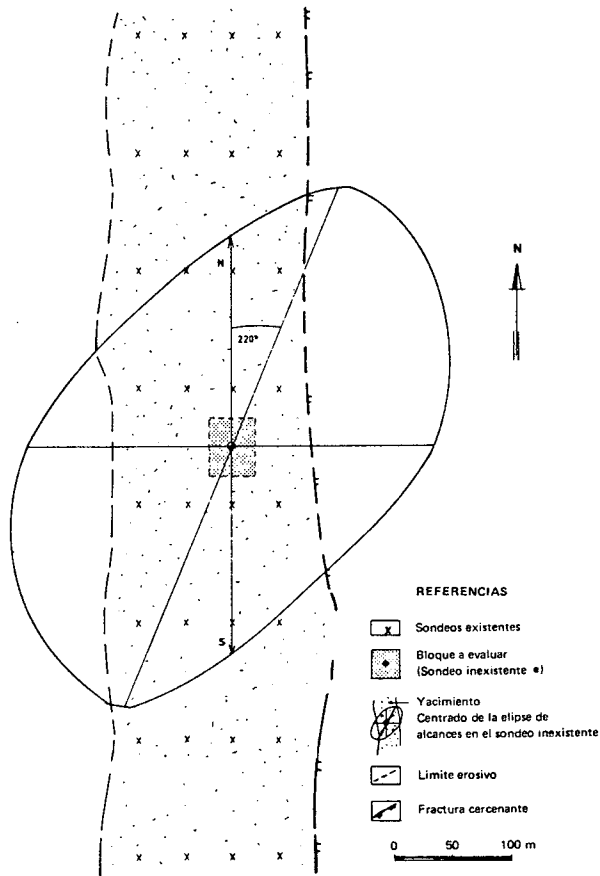


FIG.11. Ejemplo esquemático de evaluación de un bloque fuera de malla mediante krigismo con sistema Matheron. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

intrusivo, transicional etc., debe constituir una barrera infranqueable para especulaciones metodológicas de base matemática que pueden llegar a caer en el vacío por falta de continuidad de las geoestructuras que constituyen su soporte natural.

Los datos suministrados por los exámenes hemivariográficos son de dos órdenes, a saber: los adimensionados que consisten en varianzas (hemivarianzas en el caso) y sus covarianzas, y los de naturaleza vectorial, que miden en las diferentes direcciones investigadas las dimensiones de las estructuras presentes en el espacio.

Los primeros se refieren a la posición de las diversas "mesetas" o "paliés" que definen en ese campo particular las estructuras detectadas por el análisis;

puede visualizarse el diferente comportamiento de los parámetros “C” en relación a los respectivos “C₀” – en caso de ser estos últimos diferentes entre una y otra dirección estudiadas – mediante la confección de gráficos orientados cardinalmente y construidos a una escala cualquiera.

Los segundos cuantifican métricamente el desarrollo material de la regionalización (o regionalizaciones interencajantes en casos que como el presente se comportan foliomórficamente) existente en el campo estudiado.

Los parámetros escalares que el geoestadístico extrae de los gráficos hemivariográficos constituyen una parte muy esencial de los datos en base a los cuales y por computación aplicada al “sistema Matheron” se obtendrán los coeficientes de ponderación “λ_i” que finalmente proporcionarán la ley del sondeo-problema (en este caso, inexistente en el sentido material).

Los parámetros vectoriales identificados con los “alcances” que en las diferentes direcciones investigadas posee una determinada regionalización, posibilita la construcción de gráficos (circulares en casos isotrópicos o en elipse³ en el de anisotropías geométricas); tales gráficos, confeccionados a la misma escala de representación del yacimiento y convenientemente centrados en el bloque cuya ley se desea estimar (Fig. 11) permiten determinar visualmente el número de sondeos capaces de ejercer una influencia fiable (zona de interdependencia de las funciones intervinientes) en la obtención de la ley buscada, de la que por otra parte se conocerá razonablemente el grado de precisión con que ha sido lograda.

En el presente caso y como puede verse en las Figs 11 y 12, el número de sondeos que intervienen en la estimación de la ley de un bloque hipotético extrarreticular⁴ es de 14, muy superior al de 8 que en el mejor de los casos puede ofrecer el empleo común del Corrector de Matheron basado en solo dos aureolas circundantes.

Una vez representados dentro de la elipse todos los sondeos intervinientes y el bloque a estimar, se une linealmente cada sondeo con el teóricamente centrado en ese bloque, y con cada uno de los restantes sondeos (Fig. 12)⁵.

³ En el Centro de Computación (a cargo del Lic. en Física Nuclear J.P. Girardi) del Instituto de Investig. Mineras de la U.N. de S. Juan, dirigido por C. Rudolph, donde el suscripto tuvo la oportunidad de trabajar en equipo, se encuentran en etapas de investigación interesantes problemas de krigismo aplicados al yacimiento “Bajo de la Alumbra-Calamarca”, que serán objeto de una tesis doctoral.

⁴ Se ha supuesto el caso de que en el yacimiento “Rodolfo”, explorado según una malla de 100 X 40 m se haya presentado la necesidad de densificar la información en base a su transformación en otra red de 50 X 40 m; se ha escogido para efectuar el krigismo, la regionalización más conspicua, registrada por tres diferentes direcciones de investigación y poseedora de una dimensionalidad megaescalar de orden 16.

⁵ Procediendo con un rigorismo metodológico no justificado por el carácter meramente expositivo de estas aproximaciones, habría que rebatir la capa mineralizada a la horizontal, o corregir los “alcances” de posición no meridiana a los efectos de deformar convenientemente la elipse.

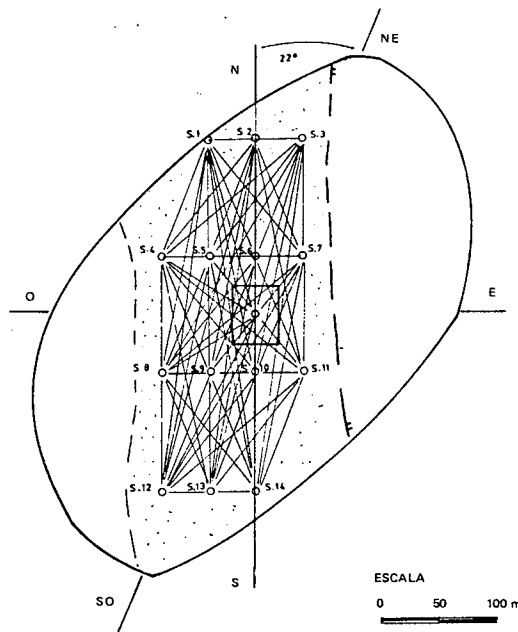


FIG.12. Trazado de las líneas sondeos-bloque y sondeo-sondeos. Yacimiento "Rodolfo", Córdoba, Argentina.

De esta manera, el sondeo 1 se une con el del bloque a estimar y con los sondeos 2, 3, 4 ... 14, calculándose luego mediante computación el valor de las covarianzas de las siguientes relaciones:

- 1) *muestra-muestra* (sondeo 1- sondeo 2, sondeo 1- sondeo 3, etc. etc.);
- 2) *muestra con respecto a sí misma* (sondeo 1- sondeo 2, sondeo 2-sondeo 2, etc), valor que por identificarse con el del parámetro "C" de "meseta" se mantendrá invariable para todo el conjunto;
- 3) *muestra-bloque* (sondeo 1-bloque, sondeo 2-bloque ... sondeo 14-bloque),

calculándose por último los "coeficientes ponderadores lambda", todo lo que conduce finalmente a la estimación de la ley del bloque-problema. Esta operación debe repetirse para cada cuadrícula (bloque) hasta completar las exigencias impuestas por la nueva malla de sondeos que reemplazará a la primitiva.

En los casos de cuerpos mineralizados de tipo "amas", en los que aparte de las direcciones horizontalmente investigadas se cuenta con un buen examen según la dimensión vertical, el problema del krigismo se torna particularmente

complejo; en este caso, en lugar de una elipse capaz de satisfacer un esquema geológico estratiforme, será necesario hacer jugar un "elipsoide" que desplazándose de arriba hacia abajo y en todas direcciones según la horizontal y conforme a la necesidad de ir siendo centrado en cada bloque-problema, dará lugar a un número excesivo de cálculos, circunstancia que solamente un buen apoyo de ordenador puede obviar.

BIBLIOGRAFIA

- CARLIER, A., Contribution aux méthodes d'estimation des gisements d'uranium, Rapport CEA 2332, Francia (1964).
- DAVID M., "Geostatistical ore estimation. A step by step case study", Int. Symp. on Decision-Making in the Mineral Industry, Montreal, 1970, CIM, Special Vol. No. 12 (1970).
- DAVID, M., Comunicaciones epistolares (Ecole Polytechnique, Montréal) (1978).
- DERAISME, J., Estimation géostatistique du filon d'Eagle (Colombie Britannique), Centre de morphologie mathématique, Francia, Informe interno (1973).
- JOURNEL, A., Géostatistique et applications minières, Centre de morphologie mathématique, Fontainebleau, Francia, Informe interno (1971).
- JOURNEL, A.G., Géostatistique et exploration séquentielle – (Ni latéritique de Prony, Nouvelle Calédonie), Centre de morphologie mathématique, Fontainebleau, Francia (1973).
- KRIGE, D., Analyse statistique des principaux risques en relation avec l'investissement dans les nouvelles mines d'or d'Afrique du Sud (traducción al francés de Duval R., Levy R. y Matheron G.), CEA, Francia (1955).
- KRIGE, D., Comunicaciones verbales (1972).
- KRIGE, D., "Computer applications in investment analysis, ore evaluation and planning", 11th Int. Symp. on Computer Applications in the Mineral Industry, Tucson, Arizona, EE.UU. (1973).
- KRIGE, D., "A review of the development of geoestatistics in South Africa", Advanced Geostatistics in the Mining Industry, Reidel Publ. Co., Sudáfrica (1976).
- LUCERO MICHAUT, H.N., "Application of geostatistical criteria to uranium ore reserve estimation", Int. Symp. on Decision-Making in the Mineral Industry, Canadian Inst. of Mining and Metallurgy, CIM, Special Volume No. 12, Montreal (1970).
- LUCERO MICHAUT, H.N., DAVIDS NESTOR, C., Application de critères géostatistiques au calcul de réserves uranifères des gisement argentins, CEA, France, C.I.P.R.A. (número 2, 3 et 4) (1972–73).
- LUCERO MICHAUT, H.N., "A step towards the effective determination of the dimensions of both sides of a borehole grid system and its best orientation by means of the coefficient of absolute dispersion in anisotropic mineralized fields", Matematické Metody y Geologii (Int. Symp. Ilornická Příbram ve Věde a Technice, 1973), Scientiae Rerum Montanarum, Checoslovaquia (1973).
- LUCERO MICHAUT, H.N., Composición de errores aleatorios y sistemáticos en una etapa de evaluación estadística de una mena cuprífera hipotética. Corrección de una deriva sistemática mediante relaciones de correlación logarítmica, Rev. Asoc. Geol. Argentina (en prensa), Buenos Aires (1978).

- LUCERO MICHAUT, H.N., “Geoestadística y estimación de reservas de uranio. Las metodologías geoestadísticas como instrumentos de investigación”, Curso Latinoamericano de Capacitación para la Prospección y Exploración de Yacimientos Uraníferos-O.E.A., CIEN, CNEA, Buenos Aires (1978).
- MATHERON, G., “Cours de géostatistique”, Les Cahiers du Centre de morphologie mathématique de Fontainebleau, Fascicule 2, Francia (1969).
- NEMEC, V., “The law of structural patterns; its application with special regard to mathematical geology”, Kansas Geological Survey, EE.UU. (1970).
- SERRA, J., Un critère nouveau de découverte de structures, Le variogramme, Sciences de la Terre, Nancy, Francia (1968).
- SERRA, J., Les structures gigognes, Morphologie mathématique et interprétation métallogénique, Centre de morphologie mathématique, Fontainebleau, Francia (1968).