

Foto 3.

### CONCLUSIONES

1. La Fm. El Cobre en la zona de Palenque se puede dividir en dos miembros: el inferior denominado San Rafael y el superior denominado Madre Vieja.
2. Las rocas del miembro San Rafael están alteradas principalmente a minerales arcillosos del tipo montmorillonita-moscovita de capas mezcladas.
3. Las rocas del miembro Madre Vieja están alteradas principalmente a minerales del grupo de las zeolitas. Las zeolitas establecidas son: clinoptilolita y mordenita.
4. Se supone para los nuevos minerales formados a partir del vidrio volcánico un proceso diagenético-sedimentario.

### RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio cuantitativo del contenido de arcillas y zeolitas para evaluar los contenidos presentes de estos minerales en las rocas.
2. Realizar un estudio de las propiedades de las tobas alteradas para evaluar su posible utilización industrial.
3. Ampliar este estudio hacia la zona de Bernardo, más al este, donde también aparecen litologías semejantes.

### REFERENCIAS

1. BRITO, A.: "Geología, mineralogía y génesis de las rocas zeolíticas de la antigua provincia de Oriente" en Informe científico-técnico no. 145. Instituto de Paleontología y Geología, La Habana, 1980.

2. CARRALERO, N.: "Levantamiento geológico de la región de Palenque". Trabajo de Diploma, ISMMMoa, 1976.

3. COUTIN, D. P. y otros: "Sobre el descubrimiento en Cuba de rocas zeolíticas de importancia industrial". Publicación especial no. 2, Geología de los yacimientos minerales útiles de Cuba. ACC, 1974.

4. ORTIZ, M.: "Estudio petrográfico y mineralógico de las rocas detríticas de Palenque". Trabajo de Diploma, ISMMMoa, 1976.

5. QUINTANA, R.: "Investigaciones de análisis de fases de los componentes no carbonatados de margas y caolines de la región de Cienfuegos, Cuba Central". Disertación Universidad Ernst-Moritz Arndt, Greifswald, R.D.A, 1980.

6. ROJAS, L.: "Estudio de la composición mineralógica de las rocas vulcanógeno-sedimentarias alteradas en Palenque de Yateras, Guantánamo". Trabajo de Diploma, ISMMMoa, 1981.

7. VLASOV, V. V. y S. A. VOLCOVA: "Análisis rcentgenográfico cuantitativo de las rocas zeolíticas". Instituto de Materias Primas, Moscú, 1980.

8. VOSNESENSKI, A. I. y otros: "Zeolitas en los depósitos oligocénicos del norte de Ustiurt y el norte oeste del Priuralie" en *Litología y Minerales Útiles*, no. 5, 1975 (en ruso).

## APLICACION DE DIFERENTES METODOS MATEMATICOS AL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LOS HORIZONTES NIQUELIFEROS DEL YACIMIENTO "MARTI" EN NICARO

Dr. Oleg Vladimirovich Lepin, Profesor Invitado del Instituto de Minas de Leningrado

Lva Sánchez Sánchez, Ingeniera Instructora, Departamento de Ciencias Geológicas Aplicadas del ISMMMoa

### RESUMEN

El trabajo que se presenta fue realizado en el yacimiento "Martí", en Nicaro, con el objetivo de analizar la utilidad de diversos métodos matemáticos para el estudio de la variabilidad y el cálculo de la red de exploración. Para ello fueron utilizados dos bloques con características geólogo-mineralógicas diferentes, con un total de 188 pozos. El estudio se realizó sobre la base del parámetro geólogo-industrial que manifiesta una máxima variabilidad para estos bloques.

Los métodos matemáticos utilizados fueron:

- Método de Kasakovsky
- Método de Osetsyky
- Método estadístico
- Método de autocorrelación
- Método de los gradientes (propuesto por primera vez)

Estos métodos se aplicaron para la red existente de exploración y de explotación (25-25 m) y para diferentes variantes de una densificación y enrarecimiento experimental.

La comparación de los diferentes métodos por distintas variantes permite concluir que los métodos más eficaces para el cálculo de la densidad de la red son los métodos estadísticos y de autocorrelación, mientras que los restantes sólo pueden utilizarse para el análisis de redes suficientemente densas. Se revela además la eficacia del método de Kasakovsky y la eficacia del método de los gradientes.

### ABSTRACT

The investigation was carried out in the "Martí" deposit, in Nicaro with the objective of analyzing the use of different mathematical methods for the study of the variability and calculation of the exploration net. For this purpose, were selected two blocks with different geolo-mineralogical features, with a total of 188 wells.

The study was based on the geolo-industrial parameter, which presents a maximum variability in this blocks.

The mathematical methods used were:

- Kasakovsky Method
- Osetsyky Method
- Statistical Method
- Self-correlation Method
- Gradients' Method (proposed for the first time)

These methods were applied to the existing exploitation-exploration net (25-25 m) and for different variants of an experimental densification and rarefaction of such net.

The comparison of the different methods through different variants, allows us to conclude that the most efficient methods for the calculation of the density of the net are the statistical and self-correlation methods while the rest can only be used for the analysis of sufficiently dense nets. The efficiency of the Kasakovsky and Gradients methods is also revealed.

Es conocido que una correcta evaluación de la variabilidad del objeto geológico es una condición indispensable en la selección de un sistema racional para su estudio y para garantizar la precisión y confiabilidad necesarias de los resultados de la exploración. Por lo general esta tarea se resuelve prácticamente mediante la aplicación de varios métodos para el análisis de la variabilidad del parámetro geólogo-industrial dado, la comparación de sus resultados y la elección del valor óptimo del índice de variabilidad correspondiente. De todos los métodos utilizables, el papel predominante corresponde al método geológico y los demás se consideran auxiliares y más o menos equivalentes. En este trabajo nos hemos propuesto como objetivo principal la revelación de las ventajas y deficiencias de diferentes métodos matemáticos y la precisión de sus posibles campos de utilización sin despreciar de ninguna manera el método geológico que sirvió de base para geometrizar los cuerpos níquelíferos, y elaborar sus modelos pronósticos. Los estudios así realizados tuvieron por objeto el parámetro geólogo-industrial más importante, que es la potencia del horizonte níquelífero, y abarcaron dos bloques del yacimiento "Martí" pertenecientes a diferentes tipos: el bloque P-16, que tiene por substrato exclusivamente la serpentinita, mientras que las menas del N-17 se han desarrollado tanto sobre serpentinita como sobre "melange". El relieve de la superficie terrestre dentro de ambos bloques se caracteriza por pendientes suaves.

Ambos bloques fueron estudiados detalladamente mediante los pozos de perforación ubicados según una red cuadrada de cuadrícula 25m que han sido explotados completamente.

Partiendo de los datos reales obtenidos en el transcurso de la exploración de dichos bloques hemos confeccionado los planos de isopotas para la potencia del horizonte níquelífero (isopotas) sin subdividirlo conforme a tipos naturales de menas. Ello corresponde perfectamente al sistema adoptado para la extracción y elaboración de esas menas. Aquí conviene señalar que la confección de dichos planos resultó dudosa en algunos sectores de ambos bloques, ya que fueron posibles diferentes variantes de interpretación de los datos reales y la geometrización del cuerpo mineral, lo que se puede considerar como testimonio de la densidad insuficiente de la red de exploración.

No obstante lo anteriormente expuesto, la variante del plano de isopotas definitivamente adoptado se utilizó a título de un modelo geométrico exacto del objeto que se va a estudiar. Ello permitió utilizar el método de densificación experimental de la red de exploración existente, así como obtener datos complementarios sobre la potencia del horizonte níquelífero en los puntos de dicha red donde faltaban perforaciones realizadas. Además se ha efectuado el enrarecimiento sucesivo de la red existente, utilizándose diferentes posiciones del punto inicial de la red enrarecida.

En cada variante de la red de exploración así obtenida la variabilidad de la potencia del horizonte níquelífero se estudiaba con ayuda de los métodos estadísticos de V. V. Bogatsky, de D. A. Kasakovsky,

de gradientes y de autocorrelación. Además para las cuadrículas de la red inicial y de algunas variantes de redes enrarecidas se calcularon las "cifras rojas" relativas según el método de A. I. Osetsky.

El método de gradientes fue elaborado por nosotros y representa una variedad del método de D. A. Kazakovsky, con el fin de excluir la desventaja principal del mismo, que es la falta de consideración de la distancia entre los puntos de observación durante el cálculo del índice de variabilidad. Para lograrlo, en el método de gradientes, en lugar de diferencias secundarias se determinan las diferencias del gradiente de variación del parámetro que se va a estudiar por cada 100 m de distancia que separan los puntos de observación vecinos ( $\Delta G_i$ ) por la fórmula:

$$\Delta G_i = 100 \frac{|X_i - 1| - X_i}{l_1} - \frac{X_i - |X_i + 1|}{l_2}$$

donde:

$X_i - 1$ ,  $X_i$  y  $X_i + 1$  = valores del parámetro en dos puntos sucesivos del perfil dado

$l_1$  y  $l_2$  = distancias entre los puntos de observación vecinos, en m

El índice de variabilidad de este método ( $\mu^1$ ) es la relación entre el promedio de los valores absolutos de las diferencias del gradiente y el valor medio del parámetro que se va a estudiar ( $\bar{X}$ ):

$$\mu^1 = \frac{\sum_{i=1}^k |\Delta G_i|}{K \bar{X}}$$

donde:

K - número de diferencias del gradiente que se utilizaron en los cálculos

Los resultados de los cálculos realizados se dan en las Tablas 1 a la 4 y se presentan en las Figuras 1 a la 6. Analizándolas, podemos extraer las siguientes conclusiones:

**1. Método de autocorrelación.** En el bloque P-16 no se observa la correlación de los valores contiguos de la potencia del horizonte níquelífero en ninguna dirección para la red 25x25 m, mientras que en el bloque N-17 ella se puede considerar probada en ambas direcciones aunque se manifiesta muy débil ( $r = 0,29-0,33$ ). Al densificarse la red, la correlación de los valores contiguos de este parámetro se establece con suficiente exactitud en ambos bloques

para las redes de 17,5x17,5 m y 12,5 m. Cuando la red inicial se enrarece, la correlación de los valores contiguos de la potencia se pierde por completo y ya las redes de 35x35 m no se observa en ninguna variante. Por lo tanto, podemos pretender que el radio de autocorrelación máximo sea del orden de 20 m para el bloque P-16 y de 30 m para el bloque N-17; ello corresponde a la distancia máxima admisible entre los pozos de perforación durante la exploración de explotación de los sectores análogos de este yacimiento.

**2. Método estadístico.** Por el valor de coeficiente de variación total ambos bloques se deben considerar irregulares, siendo un tanto más alta la variabilidad de la potencia del horizonte níquelífero, y 4 veces mayor el valor medio de este parámetro en el bloque N-17 comparado con el P-16. La dispersión y la densificación de la red influyen poco sobre el coeficiente de variación de la potencia, y el cuerpo mineral pertenece siempre al mismo grupo según su variabilidad, salvo los casos de la red de 12,5x12,5 m y una variante de la red de 50x50 m para el bloque P-16 cuando el cuerpo mineral tiene que considerarse regular.

El cálculo del coeficiente de variación casual realizado por la fórmula  $V_c = V \sqrt{1 - \tau^2}$  mostró que la proporción de la variabilidad regular con respecto a la total es pequeña y modifica poco la idea sobre la regularidad de la potencia del cuerpo mineral, a excepción de los casos que corresponden a la red muy densa (12,5x12,5 m).

El error relativo de la evaluación de la potencia media del horizonte níquelífero es inferior al 6% para la red efectivamente realizada, y a 10% al aumentar la distancia entre los pozos de perforación hasta 35 m. Notemos que este error se calculó sobre la base del coeficiente de variación casual, siendo igual a 0,67 la probabilidad de confianza ( $t = 1$ ).

Se sabe bien que el método estadístico se utiliza ampliamente para determinar la densidad necesaria de la red de exploración, para lo cual se recomienda la siguiente fórmula:

$$n = \frac{V_c \cdot t}{\delta}$$

donde:

n - número necesario de cruces de prospección

t - coeficiente que tiene en cuenta la probabilidad de confianza adoptada

$\delta$  - error máximo admisible de la evaluación del valor medio del parámetro que se va a estudiar

Sin embargo, hasta ahora no existe un enfoque único en lo referente a las magnitudes de los errores admisibles de la exploración y a la probabilidad requerida con la cual se deben garantizar los resul-

tados confiables de la misma, por lo que se hace difícil la argumentación de la densidad racional de la red de exploración. En este trabajo hemos adoptado como error máximo admisible de la determinación de la potencia media del horizonte níquelífero en un bloque independiente: 10%. A partir de ello podemos realizar los cálculos correspondientes utilizando el valor real del coeficiente de variación para la red de 25x25 m, lo que nos da los siguientes resultados:

Bloque N-17:

$$a) t = 1, n = \frac{59,6 \cdot 1^2}{10} \cong 36$$

$$b) t = 2, n = \frac{59,6 \cdot 2^2}{10} \cong 144$$

Como el área del bloque es igual a 50,625 m<sup>2</sup>, la distancia necesaria entre las perforaciones (Tablas 1 y 2) ubicadas según una red cuadrada será:

$$a) \text{ si } t = 1 \quad l = \sqrt{\frac{50,625}{36}} \cong 37,5 \text{ m}$$

$$b) \text{ si } t = 2 \quad l = \sqrt{\frac{50,625}{144}} \cong 19,0 \text{ m}$$

Bloque P-16:

$$a) t = 1, n = \left(\frac{45,7 \cdot 1}{10}\right)^2 \cong 21$$

$$b) t = 2, n = \left(\frac{45,7 \cdot 2}{10}\right)^2 \cong 84$$

El área del bloque es igual a 37 425 m<sup>2</sup> y la distancia necesaria entre los pozos de perforación se determina como sigue:

$$a) \text{ si } t = 1 \quad l = \sqrt{\frac{37 425}{21}} \cong 42$$

$$b) \text{ si } t = 2 \quad l = \sqrt{\frac{37 425}{84}} \cong 21$$

Sin embargo, como ya mostramos anteriormente, al igualarse las distancias entre los puntos de observación a 37,5 m y 42 m los valores contiguos de la potencia del horizonte níquelífero son variables aleatorias independientes, y por consiguiente, resulta imposible la geometrización espacial del cuerpo mineral. Más aún, inclusive la red de 25x25 m no pudo garantizar la confección univariante del plano de isopotas. Por eso podemos hacer constar que para el yacimiento "Martí" los cálculos estadísticos de la densidad necesaria de la red de exploración tienen que realizarse adoptando el coeficiente de probabilidad igual a 2, es decir, con una probabilidad de



confianza de 0,95, ya que ello garantiza una correcta determinación de la densidad requerida de la red (del orden de 20 m).

**3. Método de V. V. Bogatsky.** El índice de irregularidad de la potencia del horizonte níquelífero tiene valores muy semejantes para ambos bloques, y las redes de diferentes densidades caracterizan los objetos estudiados como poco variables, siendo el bloque P-16 un tanto más regular. El error relativo de la evaluación de la potencia media ( $\Delta$ ) resulta menor que el calculado por el método estadístico, pero es del mismo orden y varía de manera análoga al densificar o dispersar la red de exploración.

Así pues, el método de V. V. Bogatsky no tiene ninguna ventaja con respecto al estadístico y además es menos exacto, por cuyo motivo hay que prescindir de su utilización en los cálculos que se deben realizar de manera confiable. Por otra parte, este método puede aplicarse en las etapas iniciales de la prospección geológica con el fin de obtener fácil y rápidamente una característica aproximada de la variabilidad del objeto que estudiar.

**4. Método de D. A. Kazakovsky.** Para la red existente (25x25 m) el índice de variabilidad  $\mu$  para el bloque N-17 es casi dos veces más grande que para el P-16 y de acuerdo con ello el índice de grado de exploración es una vez y media más bajo. Si se hace la densificación experimental de la red, los valores de ambos índices llegan a ser semejantes, y si la red se enrarece, la diferencia se mantiene sólo hasta la distancia entre los pozos de perforación igual a 35 m, y luego los índices de variabilidad y de grado de exploración resultan análogos para ambos bloques. Se nota una rápida disminución del índice de variabilidad al densificar la red inicial, y sus valores medios casi son invariables para las diferentes redes enrarecidas. El primer fenómeno es bien comprensible, ya que la red inicial fue adoptada como absolutamente representativa, lo que significa que ella descubre todas las inflexiones de la superficie topográfica que expresa la variabilidad de la potencia. Ello quiere decir que la densificación de esta red traerá consigo un brusco aumento del número de diferencias secundarias sin incrementar sus valores absolutos, o sea, provocará la disminución del índice de variabilidad. En cuanto a los valores medios de este índice poco variable que se observan para las redes enrarecidas, ello es la consecuencia de la deficiencia principal del método de D. A. Kazakovsky que fue señalada anteriormente. Por otra parte, para diferentes variantes de la ubicación espacial de la misma red rarificada, el índice de variabilidad concreto puede oscilar dentro de límites muy amplios (de 1,5 a 7,0 veces) y ello hace irracional su aplicación práctica en los cálculos vinculados con la determinación de la densidad óptima de la red de exploración y con la evaluación de la confiabilidad de los resultados de la prospección geológica.

La comparación de los valores del índice de variabilidad, tanto medios (Figura 1) como concretos (Tablas 3 y 4) calculados para diferentes etapas de desarrollo de la red de exploración en el transcurso de la búsqueda, exploración preliminar detallada y de explotación, no permite precisar el momento en que la red de exploración corresponde más plenamente a las par-

ticularidades del bloque que se va a estudiar y se ubica de manera más representativa.

**5. Método de gradientes.** La diferencia de los índices de variabilidad para distintas variantes de la red de la misma densidad es muy grande, y desde ese punto de vista el método de gradientes no tiene ninguna ventaja comparado con el método de D. A. Kazakovsky, por cuya razón no se puede recomendar para los cálculos de la distancia necesaria entre los cruceros de prospección. Por otra parte, de las Tablas 3 y 4 y la Figura 2 se deduce que los valores del índice de variabilidad calculados según este método disminuyen de manera regular tanto al densificar la red inicial como al rarificarla. Este fenómeno se manifiesta claramente cuando se comparan tanto los valores medios de este índice como sus valores concretos determinados para las variantes correspondientes de diferentes densidades, lo que permite utilizar dicho método para comparar los resultados obtenidos durante la realización de diferentes estadios y etapas de estudio del yacimiento con el fin de extraer una conclusión argumentada acerca de la red que será suficiente por su densidad y representativa por su ubicación espacial.

**6. Método de A. I. Osetsky.** Analizando las Figuras 3 y 4 podemos revelar fácilmente la estructura heterogénea de la variabilidad de la potencia del horizonte níquelífero; en ambos bloques estudiados se observan tanto cuadrículas donde el carácter de la variabilidad de este parámetro es sencillo y casi rectilíneo (las "cifras rojas" son inferiores a 10%), como cuadrículas donde este índice es complejo (las "cifras rojas" varían de 10 a 20%) y en una cuadrícula del bloque M-17 la variabilidad de la potencia es muy compleja (la "cifra roja" es igual a 24,6%). Las cuadrículas complejas por el carácter de la variabilidad de este parámetro forman el 16% del número total de las mismas en cada bloque sin establecerse alguna regularidad suficientemente clara en su ubicación espacial.

Por lo tanto, el método de A. I. Osetsky indica la densidad insuficiente de la red real (25x25 m) en ciertos sectores de los bloques estudiados que requieren su densificación parcial hasta obtener las distancias entre los pozos de exploración iguales a 17,5 m. Este método es aplicable si la red realizada corresponde más o menos a las particularidades del objeto que se va a estudiar y permite la geometrización espacial del mismo. De no ser así, el método de A. I. Osetsky puede llevarnos a conclusiones absolutamente falsas exigiendo la densificación de la red en las zonas con un carácter sencillo de la variabilidad de la potencia del cuerpo mineral y permitiendo considerar simples sus sectores más complejos (Figuras 5 y 6).

Resumiendo lo anteriormente expuesto tenemos que admitir que el método estadístico se debe considerar principal entre otros métodos matemáticos utilizables para el análisis de la variabilidad del horizonte níquelífero del yacimiento "Martí". El método de autocorrelación puede ser de gran ayuda complementando el estadístico, y permitiendo revelar el componente casual de la variabilidad. Una determinación confiable de la densidad necesaria de la red de exploración por el método estadístico se logra si el error máximo admisible de la evaluación de la potencia media se iguala a 10% y la probabilidad de confianza corresponde a 0,95.

Después de realizada la exploración de todo el bloque según la red así argumentada, es racional utilizar el método de los gradientes para evaluar la representatividad de su ubicación espacial, y el método de A. I. Osetsky para revelar la heterogeneidad de la estructura de la variabilidad de este parámetro dentro del bloque y seleccionar las cuadrículas que necesitan una densificación ulterior de la red.

Los métodos de V. V. Bogatsky y D. A. Kazakovsky no se recomiendan para su utilización práctica en el análisis de la variabilidad de la potencia del horizonte níquelífero ni en la argumentación de la densidad racional de la red de exploración.

TABLA 1. Resultados del cálculo del coeficiente de autocorrelación ( $T_a$ ), los coeficientes de variación ( $V$  y  $V_c$ ), del índice de irregularidad ( $II$ ) y error de la evaluación de la potencia media del cuerpo mineral ( $\delta$  y  $\Delta$ ) para las redes de diferente densidad.

Yacimiento "Martí", grupo IV, bloque N-17

Densidad de la red, m	Variante	Número de pozos (N)	Número de parejas de pozos (N)	Potencia media del cuerpo (m)	Coeficiente de autocorrelación ( $T_a$ )	Error del coeficiente de autocorrelación $m_{T_a} = \frac{1 - T_a^2}{\sqrt{n}}$	$T_a \sqrt{n-1}$	Coeficiente de variación, %		Error relativo, % ( $\delta$ )	Índice de irregularidad (II)	Error relativo, % ( $\Delta$ )
								Total (V)	Casual (V)			
12,5 x 12,5	-	361	342	7,93	0,65	0,03	11,9					
			342	0,53	0,04	9,8	46,0	37,1	2,0	2,9	1,1	
17,5 x 17,5	-	181	161*	7,91	0,46	0,06	5,8					
			161*	0,38	0,07	4,8	54,3	49,2	3,7	2,9	2,1	
25 x 25	-	100	90	7,93	0,33	0,09	3,1					
			90	0,29	0,10	2,8	62,7	59,6	6,0	2,9	3,8	
35 x 35	1	50	40*	7,90	0,13	0,18	0,8					
			40*	0,12	0,16	0,7	58,1	58,1	8,3	2,5	6,1	
	2	50	40*	7,88	0,19	0,15	1,2					
			40*	0,27	0,15	1,7	67,7	67,7	9,6	2,9	7,8	
50 x 50	1	25	20	7,94	0,06	0,22	0,3					
			20	0,05	0,23	0,2	64,2	64,2	12,9	2,2	10,0	
	2	25	20	8,18	0,09	0,22	0,4					
			20	0,07	0,22	0,3	51,0	51,0	10,2	2,5	12,5	
	3	25	20	8,38	0,13	0,22	0,6					
			20	0,11	0,22	0,5	69,8	69,8	14,0	2,5	12,5	
4	25	20	7,46	0,15	0,21	0,7						
		20	0,12	0,22	0,5	61,8	61,8	12,4	3,1	17,5		

Numerador: dirección Norte-Sur (o NO-SE con el signo \*)

Denominador: dirección Oeste-Este (o SO-NE con el signo \*)

TABLA 2. Resultados del cálculo del coeficiente de autocorrelación ( $T_a$ ), los coeficientes de variación ( $V$  y  $V_c$ ), del índice de irregularidad ( $II$ ) y error de la evaluación de la potencia media del cuerpo mineral ( $\delta$  y  $\Delta$ ) para las redes de diferente densidad.

Yacimiento "Martí", grupo V, bloque P-16

Densidad de la red, m	Variante	Número de pozos (N)	Número de parejas de pozos (N)	Potencia media del cuerpo (m)	Coeficiente de autocorrelación ( $T_a$ )	Error del coeficiente de autocorrelación $m_{T_a} = \frac{1 - T_a^2}{\sqrt{n}}$	$T_a \sqrt{n-1}$	Coeficiente de variación, %		Error relativo, % ( $\delta$ )	Índice de irregularidad (II)	Error relativo, % ( $\Delta$ )
								Total (V)	Casual (V)			
12,5 x 12,5	-	285	271	2,00	0,77	0,02	12,6					
			268	0,69	0,03	11,3	37,0	25,1	1,5	2,6	1,1	
17,5 x 17,5	-	143	127*	2,00	0,38	0,08	4,3					
			126*	0,50	0,07	5,6	41,1	36,9	2,9	2,5	2,1	
25 x 25	-	80	72	1,90	0,25	0,12	2,1					
			70	0,09	0,12	0,8	45,7	45,7	5,2	2,6	4,1	
	1	40	30*	1,98	0,03	0,18	0,2					
			31*	0,27	0,17	1,5	46,0	46,0	7,3	2,0	5,1	
35 x 35	2	40	31*	1,86	0,06	0,18	0,3					
			22*	0,35	0,19	1,5	45,7	45,7	7,2	2,6	8,2	
	1	20	16	1,84	0,12	0,25	0,5					
			15	0,48	0,20	1,8	48,0	48,0	10,8	2,0	10,5	
50 x 50	2	20	16	2,12	0,22	0,24	0,9					
			15	0,09	0,26	0,3	48,6	48,6	10,9	1,9	9,5	
	3	20	16	1,82	0,18	0,24	0,7					
			15	0,27	0,24	1,0	55,0	55,0	12,3	2,7	17,9	
4	20	16	1,88	0,09	0,25	0,4						
		15	0,15	0,25	0,6	36,5	36,5	8,2	1,9	9,5		

\* Numerador: dirección Norte-Sur (o NO-SE con el signo\*)

Denominador: dirección Oeste-Este (o SO-NE con el signo\*)

TABLA 3. Resultados de los cálculos de los índices de variabilidad ( $\mu$ ) y el grado de exploración (R) por el método de D. A. Kazakovsky y del índice de variabilidad ( $\mu'$ ) por le método de gradientes para redes de diferente densidad

Yacimiento "Martí", grupo IV, bloque N-17

Densidad de la red, m	Número total de pozos	Número de pozos de la variante	Índice	VARIANTES								Valor Medio
				1	2	3	4	5	6	7	8	
12,5	361	361	$\mu$	0,25								0,25
12,5			R	1,14								1,14
			$\mu'$	2,00								2,00
17,5	181	181	$\mu$	0,56								0,56
17,5			R	0,32								0,32
			$\mu'$	3,20								3,20
25,0	100	100	$\mu$	1,07								1,07
25,0			R	0,09								0,09
			$\mu'$	4,28								4,28
35,0	100	50	$\mu$	1,18	1,12							1,15
35,0			R	0,04	0,04							0,04
			$\mu'$	3,37	3,20							3,29
50,0	100	25	$\mu$	0,82	1,27	1,17	0,87					1,03
50,0			R	0,03	0,02	0,02	0,03					0,02
			$\mu'$	1,64	2,54	2,34	1,74					2,06
70,0	100	12	$\mu$	0,77	1,05	0,74	1,37	1,63	1,01	0,87	1,25	1,17
70,0			R	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		13	$\mu'$	1,10	1,50	1,00	1,97	2,33	1,44	1,24	1,79	1,55

Notas: 1 Las variantes 1 y 2 de la red de 50,0 x 50,0 m corresponden a la variante 1 de la red de 35 x 35 m, y las variantes 3 y 4, a la variante 2.

2 La correspondencia de las variantes de la red de 70 x 70 m a las de la red de 50,0 x 50,0 m es la siguiente: variantes 1 y 2 = variante 1; variantes 3 y 4 = variante 2; variantes 5 y 6 = variante 3; variantes 7 y 8 = variante 4.

TABLA 4. Resultados de los cálculos de los índices de variabilidad ( $\mu$ ) y del grado de exploración (R) por el método de D. A. Kazakovsky y del índice de variabilidad ( $\mu'$ ) por el método de gradientes, para las redes de diferente densidad.

Yacimiento "Martí", grupo V, bloque P-16

Densidad de la red, m	Número total de pozos	Número de pozos en la variante	Índice	VARIANTES								Valor Medio
				1	2	3	4	5	6	7	8	
12,5	285	285	$\mu$	0,24								0,24
12,5			R	1,15								1,15
			$\mu'$	1,92								1,92
17,5	143	143	$\mu$	0,39								0,39
17,5			R	0,37								0,37
			$\mu'$	2,22								2,22
25,0	80	80	$\mu$	0,61								0,61
25,0			R	0,13								0,13
			$\mu'$	2,44								2,44
35,0	80	40	$\mu$	0,79	0,66							0,73
35,0			R	0,05	0,06							0,05
			$\mu'$	2,26	1,89							2,08
50,0	80	20	$\mu$	0,89	0,58	0,94	0,60					0,75
50,0			R	0,02	0,03	0,02	0,03					0,03
			$\mu'$	1,78	1,16	1,88	1,20					1,50
70,0	80	10	$\mu$	0,76	1,09	0,70	1,17	1,30	0,17	0,71	0,58	0,81
70,0			R	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	0,01	0,01
			$\mu'$	1,09	1,56	1,00	1,67	1,86	0,24	1,02	0,83	1,17

Nota: La correspondencia de las variantes de las redes de exploración de diferente densidad es la misma que para el bloque N-17 en la Tabla 3.

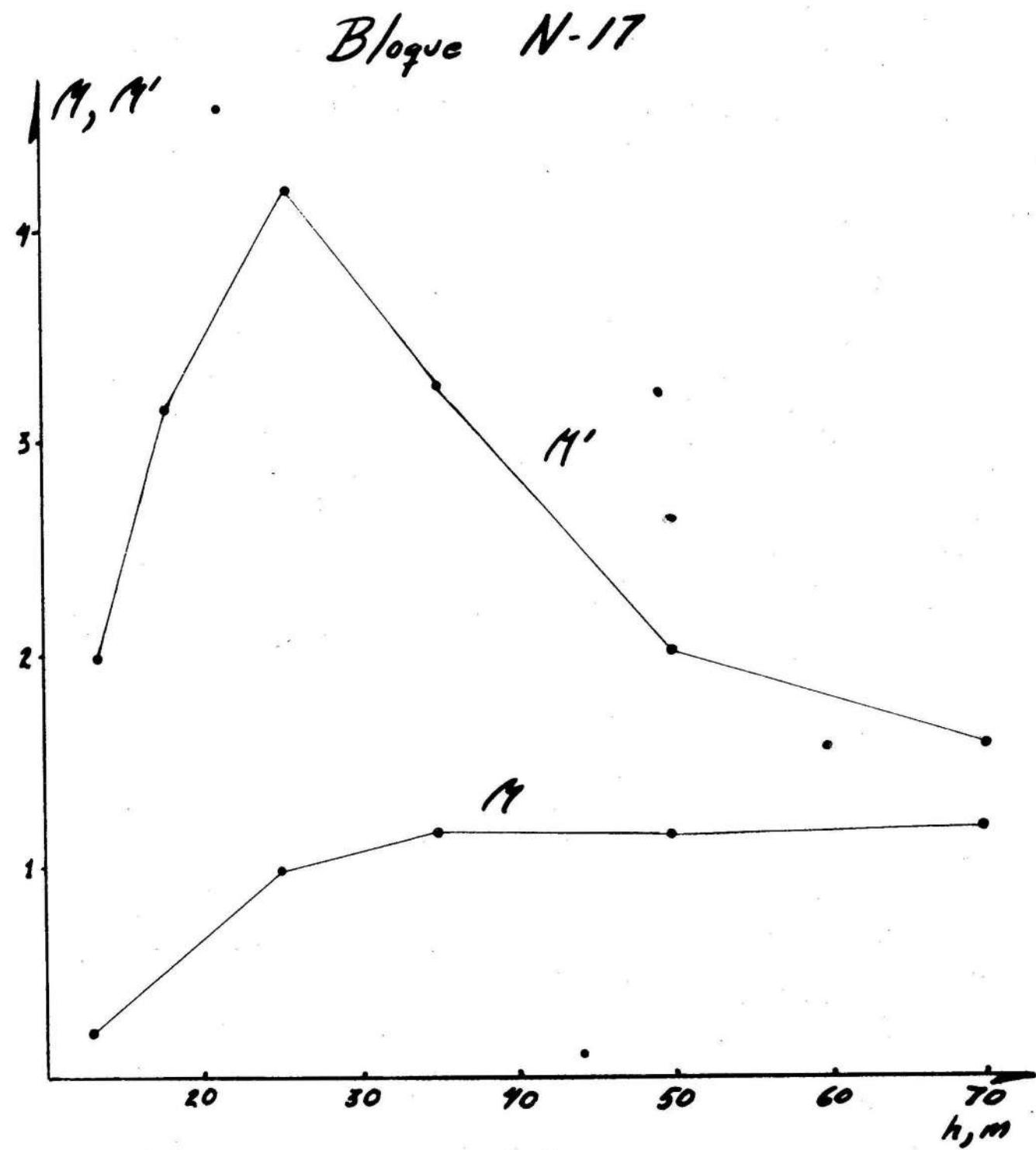
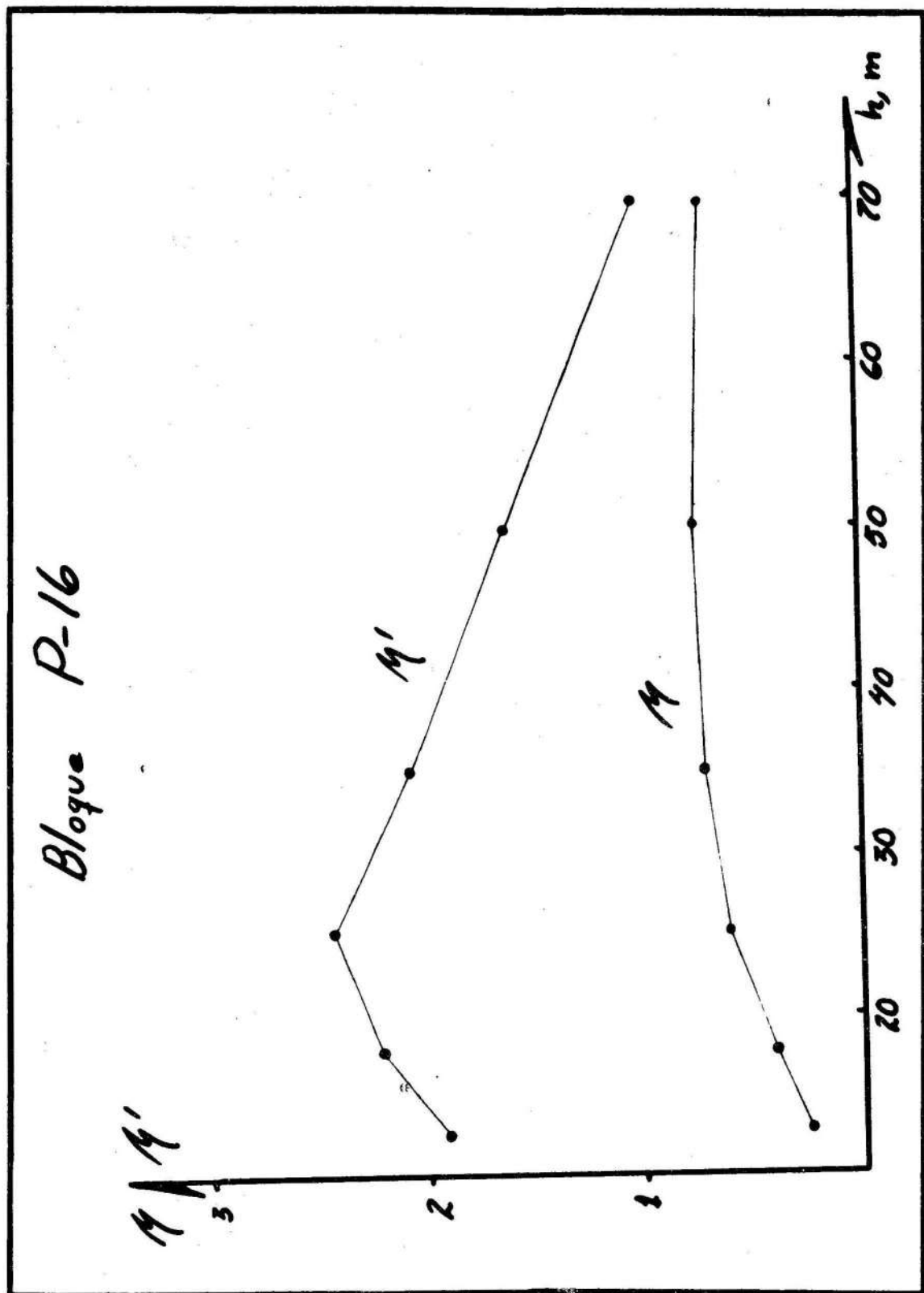


Fig. 2.

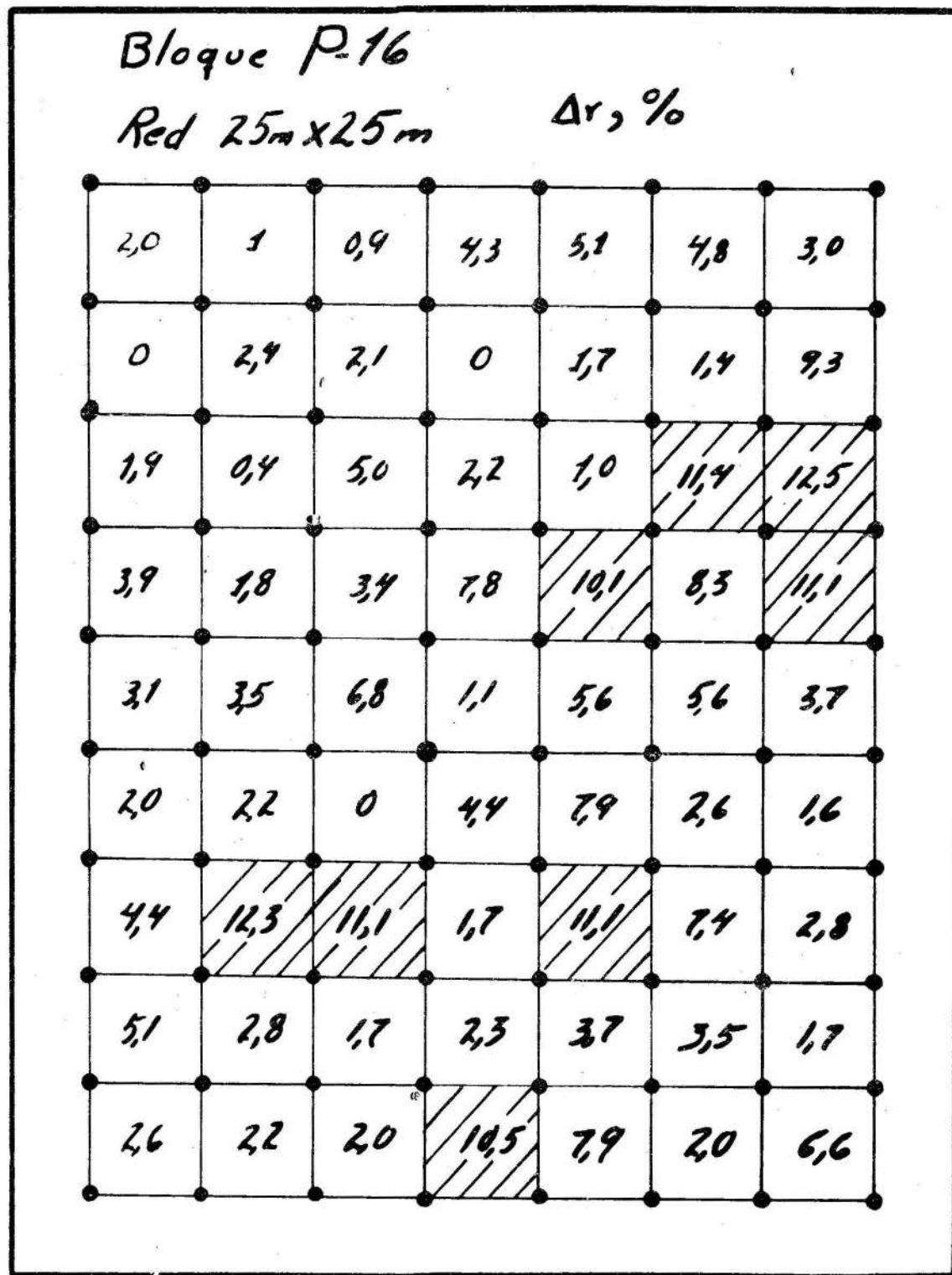


Fig. 3.

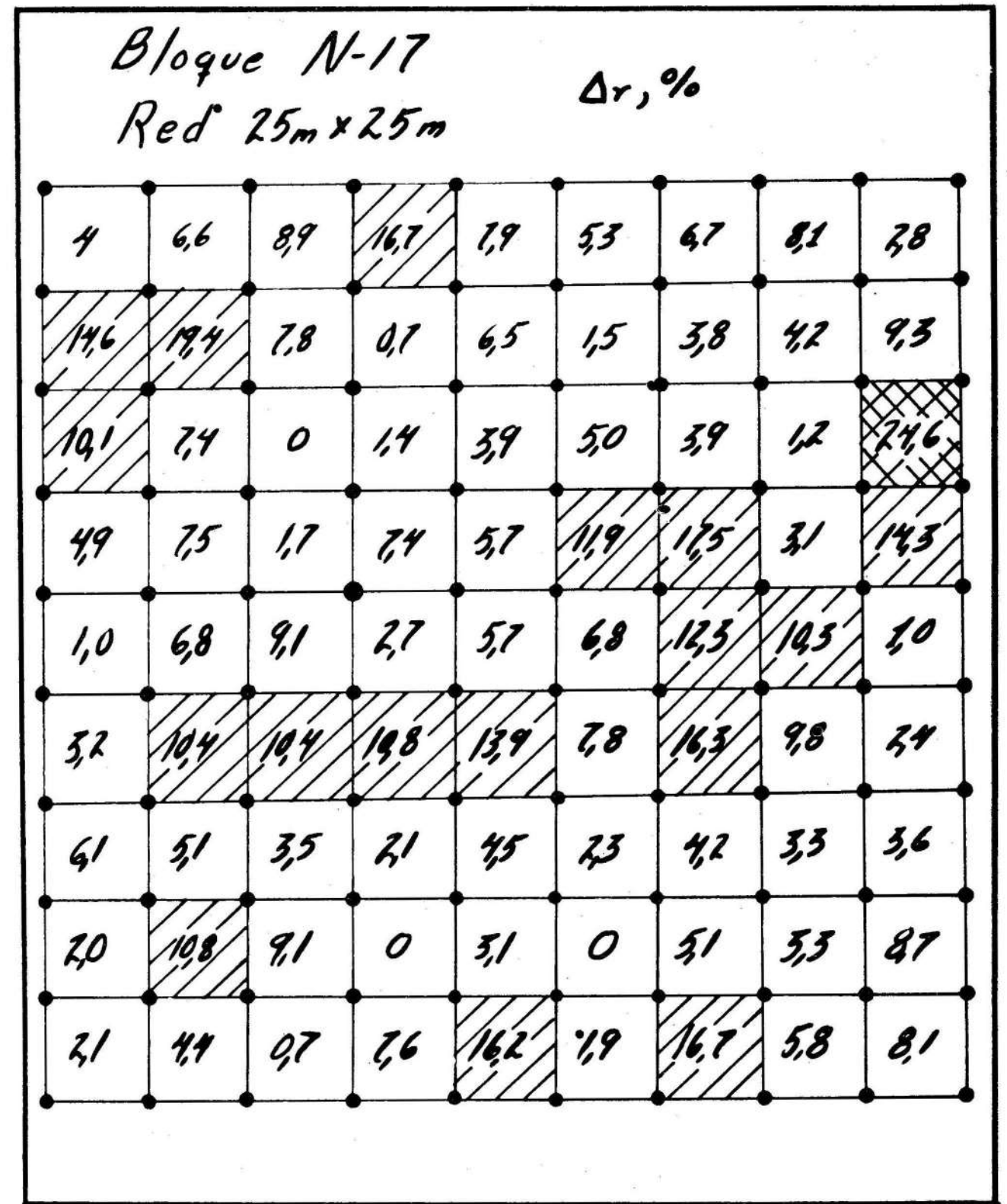


Fig. 4.



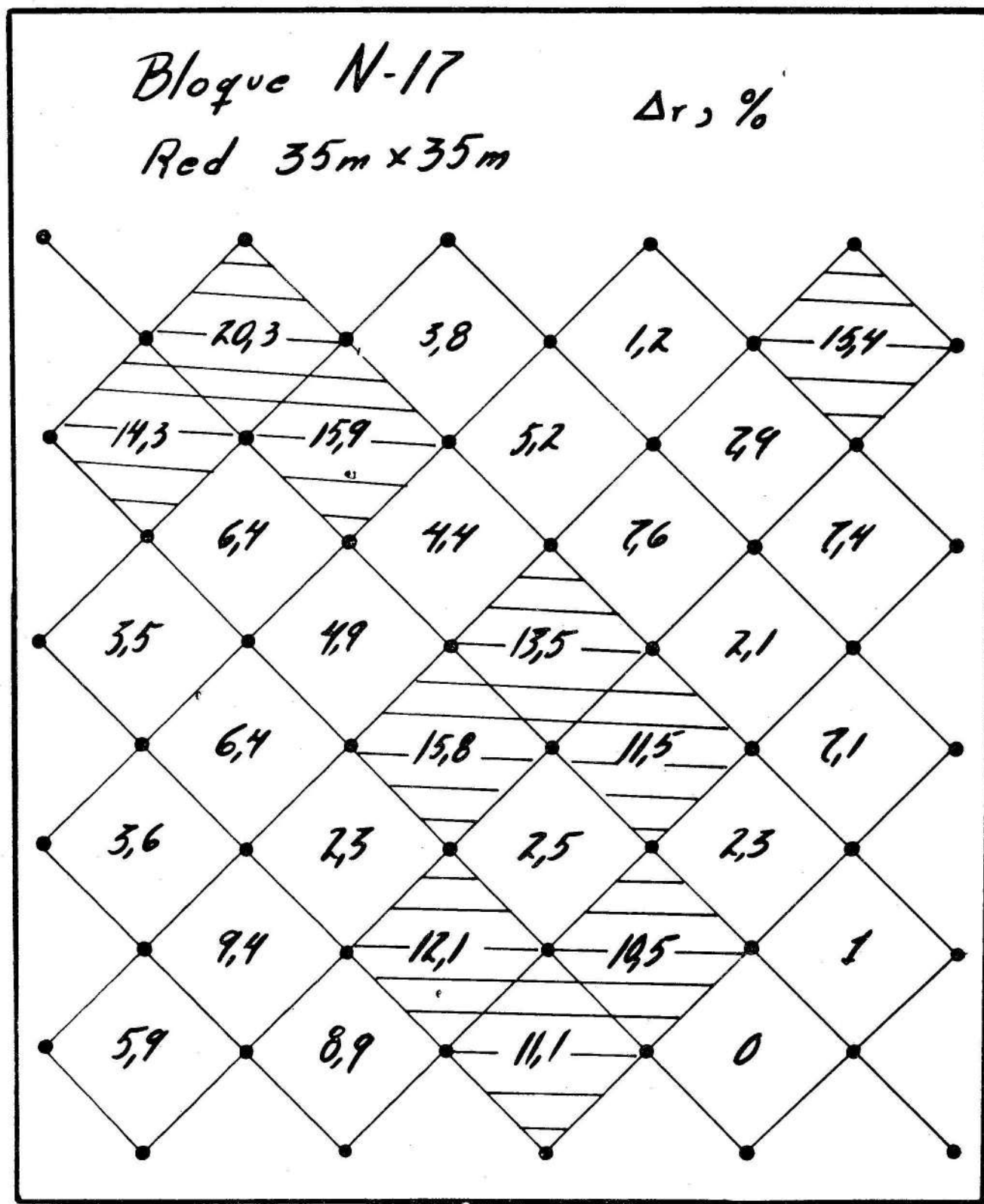


Fig. 5.

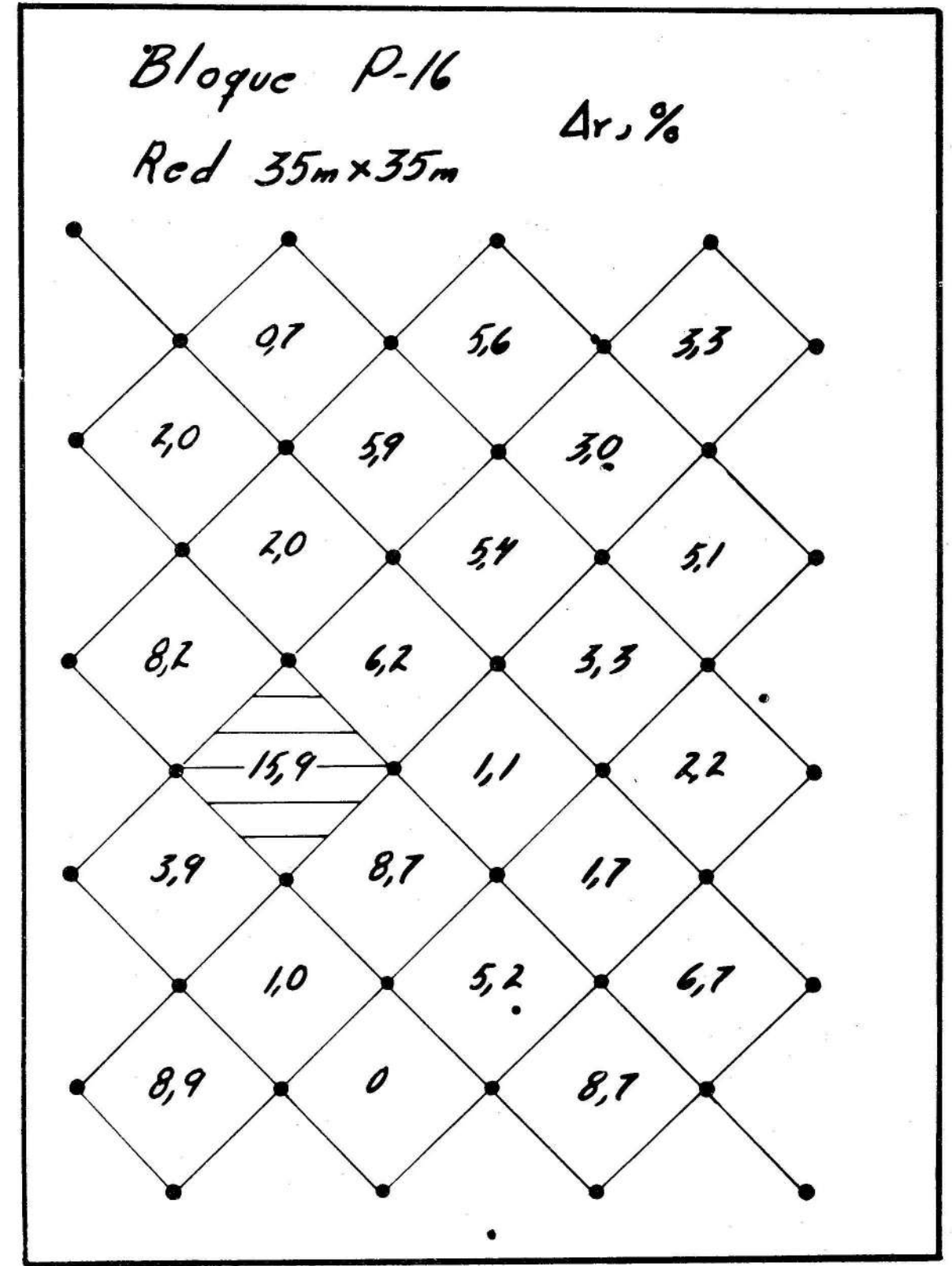


Fig. 6.



## REFERENCIAS

1. VIRIUKOB, V. I. y otros: **Determinación de la red óptima para la exploración preliminar de los yacimientos estratigráficos.** Ed. Nedra, Moscú, 1972.
2. BOGATSKY, V. V. : **Análisis matemático de las redes de exploración.** Gosgeonzdat, Moscú, 1973.
3. VENTSED, E. C. : **Teoría de las probabilidades.** Ed. Nauka, Moscú, 1969.
4. GUDKOV, V. M. : "Determinación y utilización de las características de variabilidad de los indicadores en los yacimientos minerales útiles" en **Métodos matemáticos en geología.** Ed. Nedra, Moscú, 1978.
5. DAVID, D. : **Estadística y análisis de los datos geológicos.** Ed. MIR, Moscú, 1977.
6. KAZDAN, A. B. : **Fundamentos metodológicos para la búsqueda de minerales útiles.** Ed. Nedra, Moscú, 1974.
7. KAZAKOBSKY, D. A. : **Valoración de la exactitud de los resultados en relación con la geometrización y el cálculo de reservas de yacimientos.** Ugletejizdat, Moscú, 1948.
8. MATERON, J. : **Fundamentos de geoestadística aplicada.** Ed. Nedra, Moscú, 1968.
9. OCETSKY, A. I. : **Indicadores de la densidad de las excavaciones de exploración de acuerdo con el carácter del cuerpo investigado.** Ugletejizdat, Moscú, 1961.

CDU : 519.242 : 311.124 : 550 (729.1)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO APLICADO A LA INGENIERÍA GEOLOGICA

Ingeniero Willy R. Rodríguez Miranda, Instructor del Departamento de Geofísica del ISMMMoa

Ingeniera Rosa María Valcarce Ortega, Instructora del Departamento de Geofísica del ISMMMoa

## RESUMEN

El presente trabajo creemos que constituye el primer intento en nuestro país de aplicar las técnicas de clasificación estadística multivariada para resolver tareas concretas en el campo de la ingeniería geológica.

Se demuestra que la utilización del Análisis Euclidiano de Agrupación, resuelve satisfactoriamente tareas como: descripción de calas y construcción de cortes ingeniero-geológicos, las que al ser resueltas por métodos convencionales no están exentas de los criterios subjetivos del interpretador.

Inicialmente, se muestran los aspectos teóricos del Método Euclidiano de Agrupación y posteriormente se discuten los resultados de haber aplicado dicho método de clasificación sobre 31 perfiles litológicos con profundidad promedio de 20 metros, pertenecientes a importantes obras construidas en Ciudad de La Habana.

En nuestro país, que marcha con pasos firmes y seguros por el camino del socialismo, son múltiples y de gran importancia las obras tanto sociales como industriales que se construyen, las cuales exigen cada día más un estudio ingeniero-geológico cuidadoso y profundo.

El presente trabajo muestra cómo interpretar datos ingeniero-geológicos mediante el uso de técnicas de clasificación estadística multivariada, específicamente mediante el Análisis Euclidiano de Agrupación que consiste en clasificar cada muestra de suelo o roca según el grado de similitud que caracteriza a los atributos bajo estudio; ello permite realizar la interpretación de los datos ingeniero-geológicos con la menor influencia posible de los criterios subjetivos del interpretador.

## ABSTRACT

This article represents the attempt made in Cuba to apply the multivariate classification techniques in the solution of special problems in geological engineering.

It is demonstrated that the application of the Euclidian grouping analysis successfully meets tasks such as: description of borings and the construction of engineering geological profiles: which, when designed through conventional methods are not free from subjective interpretations.

Firstly, the theoretical aspects of the Euclidian method are discussed and then are shown the results of the application of such classification methods to 31 lithological profiles, with an average depth of 20 m. All of them are concerned with important facilities constructed in Havana City.

La estadística aplicada ha pasado a desempeñar un papel de primera importancia en las investigaciones actuales, y la ingeniería geológica también encuentra una poderosa herramienta de trabajo en esta ciencia.

## ASPECTOS TEORICOS DEL METODO EUCLIDIANO DE AGRUPACION

Antes de referirnos propiamente a los aspectos teóricos del Método Euclidiano de Agrupación, debemos definir los términos coeficiente de distancia euclidiano y centroide [1, 4].

Coeficiente de distancia euclidiano ( $d_{ij}$ )