



C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1979

05.79.10 al
05.79.14



COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA
Y COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR

CURSO LATINOAMERICANO DE EVALUACION DE INDICIOS URANIFEROS

TOMO II

1º de Agosto - 30 de Noviembre

BUENOS AIRES

1979



COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA
COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR



CURSO LATINOAMERICANO
DE EVALUACION DE INDICIOS URANIFEROS

Buenos Aires, 1° de Agosto - 30 de Noviembre de 1979

CNEA-AC-19/79

EVALUACION Y CALCULO DE RESERVAS

GEOESTADISTICA Y ESTIMACION DE RESERVAS DE
YACIMIENTOS DE URANIO

NESTOR C. DAVIDS

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
AGOSTO-NOVIEMBRE 1979

EVALUACION Y CALCULO DE RESERVAS
GEOESTADISTICA Y ESTIMACION DE RESERVAS DE
YACIMIENTOS DE URANIO

NESTOR C. DAVIDS

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

I. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto resumir las etapas del cálculo de reservas de yacimientos uraníferos mediante las técnicas desarrolladas por la Geoestadística. Puesto que en la actualidad es muy frondosa la bibliografía disponible sobre el tema, se recordarán sólo los conceptos esenciales a los fines de la mejor comprensión del texto y se dará una idea de las operaciones que se deben complementar para llegar a la estimación de reservas, siguiendo el orden lógico de las mismas, como así también las planillas y cuadros que se utilizan para ordenar la información hasta la presentación de los resultados finales. Cabe agregar que toda estimación debe estar asimismo apoyada en un conjunto de gráficos que contribuya a aclarar aspectos tan importantes como la morfología y ubicación espacial de los cuerpos mineralizados, sobre los cuales no se particularizará por no ser objeto del trabajo; su conocimiento es de orden general y por otra parte su calidad y detalle dependen en algún modo del criterio personal del informante.

Las metodologías establecidas por la Geoestadística se han difundido rápidamente a costa de las usadas por los métodos convencionales. En el caso de los depósitos de uranio, las diferencias se anotan ya en las primeras etapas que se cumplen para la mejor definición de los parámetros fundamentales: potencia y ley media. En efecto, la aplicación de conceptos estadísticos y el desarrollo de la teoría de las variables regionalizadas ha provisto de nuevos elementos para resolver o caracterizar más

adecuadamente distintos aspectos de la minería del uranio.

El método usado en la CNEA desde 1964 ha sido inicialmente desarrollado por el Commissariat à l'Energie Atomique, pero su origen se reconoce en trabajos de investigadores sudafricanos de hace unos 30 años, continuados luego por los franceses en la década del 50.

Las estimaciones de reservas con base estadística ofrecen fundamentalmente dos ventajas:

- 1) En lo que concierne a la estimación de las reservas, el conocimiento del tipo de distribución de potencias, leyes y acumuladas, que conduce a la determinación de la precisión mediante el cálculo de las varianzas.
- 2) La aplicación de métodos indirectos de muestreo válidos gracias a la correlación radimetría-tenor (ra-t), de utilización permanente en las distintas etapas de la minería del uranio.

Existen medios además para resolver otros importantes problemas, tales como el cálculo de la densidad del muestreo, la malla óptima de perforaciones, la corrección de la ley en una exploración por sondeos, la relación de perforaciones testigadas y no testigadas en un plan de exploración, etc.

II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Se recordarán en forma sumaria los conceptos básicos, especialmente los de variable regionalizada y varianza.

La variable regionalizada es una función de espacio, cuyo valor varía de un lugar a otro con cierta apariencia de continuidad evidenciada frecuentemente por una tendencia media de los puntos a tomar valores próximos cuanto más cercanos están entre sí. La ley y la potencia son, por ejemplo, variables regionalizadas. La Geoestadística es el estudio de las correlaciones espaciales entre las leyes, potencias u otros fenómenos geológicos, basado en la teoría de las variables regionalizadas. La herramienta fundamental para estudiar estas correlaciones es la función variograma.

La variable regionalizada supone el conocimiento de dos volúmenes geométricos: el campo geométrico o espacio geométrico total del yacimiento y la base geométrica o volumen para el cual el valor de la variable está definido (volumen de la muestra). Se entiende que en la definición práctica del campo geométrico deben existir condiciones de homogeneidad física, que son las que van a determinar, en nuestro caso, la existencia de una masa mineralizada que conforme un yacimiento.

La distribución de una variable regionalizada se caracteriza por medio de la varianza, que no es independiente ni del campo geométrico ni de la base geométrica y en general será mayor

cuanto menor sea esta última. En efecto, es fácil comprender que cuanto menor sea la muestra (base geométrica) mayores serán las variaciones posibles de la ley y por consiguiente mayor será el valor de la varianza. Los cambios de forma, orientación y dimensión de la base geométrica determinan distintos valores para ésta. El problema más importante de la Geoestadística será determinar cómo fluctúa la varianza en función del campo geométrico y de la base geométrica, como lo establece su definición: "La Geoestadística, en el sentido más amplio, es el estudio en su campo natural de las leyes de distribución de variables regionalizadas que presentan una significación geológica".

La noción de distribución es el punto de partida para la comprensión de los conceptos que siguen, y se refiere a la forma como fluctúan los valores en estudio alrededor de la mediana. Estos valores pueden ser las potencias (h) de un paño o yacimiento, las leyes o tenores (x ó t) y las acumuladas (producto de ley por potencia), que se pueden entonces estudiar mediante la ley normal o de Gauss-Laplace para determinar sus características. En el caso particular del uranio, se ha definido que son los logaritmos de las potencias, leyes o acumuladas los que responden aproximadamente a la ley normal, hablándose entonces de la ley lognormal. Para mayor comodidad, en adelante nos referiremos siempre a determinaciones sobre leyes o tenores, que se designarán indistintamente por las letras x ó t.

De lo dicho surge que son dos los valores a determinar: la mediana γ y la distribución o varianza σ^2 . Conocidos estos parámetros, podemos luego calcular el error de la estimación, o sea su precisión.

La mediana es un valor tal que hay tantas leyes mayores como menores que ella, o lo que es lo mismo hay tantos valores a la izquierda como a la derecha. Es lo que en Estadística se llama un parámetro de posición (Figs. 1, 2 y 3).

La distribución, varianza o fluctuación expresa la mayor o menor dispersión de los valores alrededor de la mediana. Matemáticamente, se define como el promedio de los cuadrados de los desvíos de las leyes en relación a su media aritmética. Para la estimación de yacimientos se usa la varianza logarítmica, que se escribe:

$$\sigma^2 = \frac{\sum n_i (\ln x_i - \ln \bar{x})^2}{N} \quad \text{siendo:}$$

σ^2 = varianza

x_i = valor medio de cada clase logarítmica

\bar{x} = media aritmética de los tenores

n_i = frecuencia de la clase logarítmica

\ln = logaritmo natural

N = número total de datos (muestras)

Si tenemos un conjunto de leyes surgidas del muestreo de una galería o de un paño, podemos graficar el tipo de distribución llevando los datos a un sistema de coordenadas ortogonales, en cuya abscisa pondremos las leyes obtenidas y en la ordenada la frecuencia para cada valor, es decir, las veces que se repite cada uno de ellos. Si la densidad de datos es elevada y los intervalos de clase son pequeños, obtendremos la curva de frecuencias, dos ejemplos de las cuales se ilustran en las figuras 1 y 2, correspondiendo el caso de la figura 1 a leyes muy dispersadas o con elevada fluctuación, y el de la figura 2 a leyes poco dispersadas. La Estadística nos provee así del método para cifrar cada tipo de distribución de modo que, al compararlas con otras, las diferencias quedan establecidas en números por medio de la varianza σ^2 ; su raíz cuadrada, σ , se llama desvío tipo o desviación típica, constituyendo una de las características más importantes de la población, entendiéndose por tal a un conjunto de individuos u objetos con características subceptibles de observación o medición y cuya distribución se estudia.

En los casos de las figuras citadas, se han representado casos ideales de curvas simétricas, pero en la práctica es común que sean asimétricas.

De esta manera contamos ya con un medio de comparación numérica de distintas distribuciones, que permite cifrar el concepto generalmente intuitivo de la variación de las leyes alrededor de su valor medio. Así, por simple comparación de los valores de la varianza sabremos si las leyes de un yacimiento son más fluctuantes que las de otro.

Conociendo los parámetros fundamentales de la población podemos calcular la precisión de la estimación, para lo cual debemos conocer previamente otro parámetro de gran importancia que se llama coeficiente de dispersión absoluto y que se designa con la letra α . Representa el contraste de los tenores dentro del yacimiento, expresado independientemente del volumen de las muestras consideradas. Esto se explica porque, si tomamos un número cualquiera de muestras en un paño y calculamos la varianza de sus leyes, el valor será diferente según las muestras tengan el tamaño de la cabeza de un alfiler o tengan, por ejemplo, 100 Kg cada una. En efecto, si consideramos que el mineral está constituido por partículas de mineral puro y de estéril, cuanto más pequeña sea la muestra mayor será el contraste de sus tenores, es decir, mayores serán las diferencias de ley entre una muestra y otra. Significa ésto que la varianza será mayor para las muestras pequeñas que para las grandes, indicando que ese contraste de leyes está ligado al volumen de las muestras. El problema consiste por lo tanto en expresar cómo los tenores de un paño, sector o yacimiento son más contrastados que los de otro cuando las dimensiones de

las muestras son distintas. El parámetro que expresa ese carácter intrínseco del mineral es el coeficiente α , que se calcula mediante la fórmula de MATHERON - WIJS:

$$\sigma^2 = 3 \alpha \ln \frac{D}{d} \text{ de donde } \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \ln \frac{D}{d}}$$

significando:

D: Equivalente lineal del volumen del yacimiento

d: Equivalente lineal del volumen de la muestra

El cálculo de la precisión expresa finalmente el grado de error que se comete en el curso de la estimación. Es necesario desde el momento que las leyes medias calculadas son meros estimadores de las leyes medias reales, que son desconocidas. Así, si estamos calculando la ley media de un paño reconocido por sus cuatro costados, se cometen dos errores importantes cuando:

- 1°) Se adjudica a la galería la ley media resultante de su muestreo;
- 2°) Se toma como ley media del paño la resultante de las galerías que lo limitan.

El doble error que se comete al extrapolar tales datos se cifra mediante las varianzas de muestreo (σ_u^2) y de extensión (σ_v^2) respectivamente. La suma de ambas se llama varianza de estimación (σ_E^2); su raíz cuadrada es el desvío tipo de estimación σ_E y mide el error total. A partir de este desvío tipo, se determinan los valores máximo y mínimo de fluctuación de la ley alrededor de la media aritmética ponderada.

En lo que respecta a la estimación de las reservas, queda por definir aún el nivel de la precisión. Acabamos de ver que el desvío tipo de estimación nos da el error resultante, pero no está aclarado si el error calculado se debe esperar en el 50 % de los casos, en el 80 o en el 100 %. Esta probabilidad, es decir, el nivel de certidumbre que nos dirá en qué porcentaje de casos podemos esperar que se cumpla lo calculado, está definido por el valor del desvío tipo de estimación. Para comprenderlo, nos remitimos al esquema de la ley normal con su curva en campana (Fig. 3), en la cual la mediana μ divide a la superficie encerrada entre la curva y la abscisa en dos mitades de igual área. De esa superficie, el valor de un desvío tipo define un sector que representa el 68 % del área total, 2σ representa el 95 % y 3σ el 99,8 %, es decir, prácticamente la certeza de que lo calculado será realidad, lo que está esquematizado en la figura 3.

Supongamos que la ley calculada tenga por valor 1,20 %.

para la media aritmética ponderada y que $\sigma_E = 0,15$. Los límites de fluctuación de la ley media serán:

Al nivel del 68 %:

$$1,20 (1 + \sigma_E) = 1,20 \cdot 1,15 = 1,38 \%$$

$$1,20 (1 - \sigma_E) = 1,20 \cdot 0,85 = 1,02 \%$$

Al nivel de 95 %:

$$1,20 (1 + 2\sigma_E) = 1,20 \cdot 1,30 = 1,56 \%$$

$$1,20 (1 - 2\sigma_E) = 1,20 \cdot 0,70 = 0,84 \%$$

Al nivel del 99,8 %:

$$1,20 (1 + 3\sigma_E) = 1,20 \cdot 1,45 = 1,74 \%$$

$$1,20 (1 - 3\sigma_E) = 1,20 \cdot 0,55 = 0,66 \%$$

Quiere decir ésto que el 68 % de las muestras estudiadas tendrán su ley media comprendida entre 1,02 y 1,38 %, o también que la ley media máxima que es dable esperar será de 1,74 % y la mínima de 0,66 %.

La aplicación más corriente y quizás más significativa se encuentra en el campo de la correlación estadística radiométrica-tenor (ra-t). La particularidad del mineral de uranio de emitir radiaciones es aprovechada para realizar el muestreo "indirecto", que consiste en la determinación de la ley en base a la radiactividad por medio de la correlación. En este caso la muestra es, por lo tanto, la radiactividad. El manejo e interpretación de las recetas debe ser confiado a personal idóneo, pues el desconocimiento u olvido de ciertos conceptos geoestadísticos puede acarrear graves errores. Su importancia surge de su intervención desde la primera etapa de la exploración hasta la contabilización del fino extraído en el curso de la explotación. Son de uso diario en el control de la ley en diversas etapas y en algunos casos son indispensables para la evaluación del yacimiento, como sucede en yacimientos reconocidos mediante perforaciones que no es posible testigar.

La correlación entre la radiactividad y la ley es fácil de constatar, pues a un aumento de la primera corresponde un incremento de la segunda y viceversa, verificándose igual relación cuando se trata de la disminución del valor. Es lo que se conoce como correlación positiva.

Si de un conjunto de muestras tenemos sus valores radiométricos (ra) y sus leyes determinadas químicamente (t), llevando los datos a un sistema de coordenadas ortogonales cada muestra estará representada por un punto y el conjunto de puntos así determinados formará lo que se llama una nube estadística. Según vemos en los esquemas de las figuras 4, 5 y 6, la forma de la nube indi

ca en primera instancia el grado de correlación que existe. En la Fig. 4 los puntos están muy próximos a una línea, sugiriendo la existencia de una relación cercana a la funcional que de ser rigurosa estaría representada por una recta, de modo que a un valor de la abscisa correspondería un único valor en la ordenada. En la Fig. 5 los puntos están ampliamente distribuidos formando una nube circular, lo que indica falta de correlación o independencia entre ambos caracteres, puesto que a un valor de "ra" corresponden muchos valores de "t". En la Fig. 6 se representa finalmente el caso en que la nube toma aproximadamente la forma de una elipse, en la cual a un valor de la abscisa corresponden pocos valores en la ordenada.

Tanto en la Fig. 4 como en la 6 se puede trazar una recta tal que los valores de "t" estimados por ella a partir de los valores de "ra", sean buenas aproximaciones de los valores reales de "t". Esto se expresa de otra manera diciendo que la distribución se ajusta a una recta, que toma el nombre de recta de regresión de la variable "t" en relación a la variable "ra" (recta "a" en las figuras 4, 5 y 6). Además de esta recta "a" podemos trazar otra recta "b" que es la recta de regresión de "ra" en función de "t". El ángulo que forman ambas rectas mide el grado de correlación y cuanto menor sea más achatada resultará la elipse y más nos acercaremos a la relación funcional. Sería éste el caso de la Fig. 4, mientras que en la Fig. 5 las rectas forman un ángulo de 90° que indica falta total de correlación (mineral en desequilibrio radiactivo).

El grado de correlación se mide mediante el coeficiente "r", que varía entre +1 (correlación positiva) y -1 (correlación negativa). Para el mineral uranífero en equilibrio el coeficiente varía solamente entre 0 y +1, es decir, no existe la correlación negativa que se produciría cuando a un aumento de la radiactividad correspondiera una disminución del tenor. Para dar una idea gráfica del intervalo positivo de la variación, diremos que la figura 2 corresponde a la correlación 0 y que en la figura 4 "r" está entre +0,9 y +1.

Con la explicación precedente estamos en condiciones de comprender de qué manera se aprovecha la radiactividad para deducir la ley del mineral.

La conducta práctica a seguir para el cálculo de varianzas, coeficiente de dispersión, coeficiente de correlación, precisión de la estimación, etc, será dada más adelante en el desarrollo de los ejemplos. Conviene insistir en que los yacimientos de uranio responden a la ley lognormal, es decir, que son los logaritmos de las leyes, potencias o acumuladas los que se ajustan a la ley normal o de Gauss-Laplace. Por consiguiente todas las varianzas que se calculan son exclusivamente logarítmicas.

III. LAS CATEGORIAS DE RESERVAS

Los tonelajes de mineral que surgen de la estimación se califican, cualquiera sea el método adoptado, en categorías diferentes que dependen de la malla de exploración y por ende del grado de certidumbre alcanzado en el conocimiento del volumen y de la ley media. Es en este terreno, precisamente, donde se verifica la diferencia fundamental entre el método clásico y el geostatístico, puesto que el primero carece de los métodos desarrollados por el segundo para optimizar la estimación de los parámetros básicos del yacimiento y calcular la precisión.

III.1. METODO CONVENCIONAL

Sólo se recordarán las definiciones por ser sus conceptos de conocimiento general.

III.1.1. Mineral Medido

Es aquél cuyo tonelaje se computa en base a dimensiones reveladas en los afloramientos, trincheras, labores subterráneas y perforaciones y cuya ley se computa a partir de resultados de un muestreo detallado. Los sitios para inspección geológica, muestras y mediciones están tan próximos y la naturaleza geológica tan bien definida, que tanto el tamaño, la forma y el contenido mineral del cuerpo quedan bien establecidos. Tanto el tonelaje como las leyes calculadas se juzgan exactas dentro de un límite de error a establecer, y dicho error no debe ser superior a un 20 % en más o en menos.

III.1.2. Mineral Indicado

Es aquél cuyo tonelaje y ley se calculan en parte a base de mediciones y muestreos o datos de producción, y en parte por la continuación del cuerpo sobre una distancia razonable basada en evidencias geológicas. Los lugares disponibles para la inspección geológica, mediciones y muestreos, están demasiado alejados entre sí o de lo contrario inadecuadamente espaciados para delinear completamente el cuerpo mineralizado o para establecer su ley media.

III.1.3. Mineral Inferido

Es aquél cuyas estimaciones cuantitativas se basan en gran parte en un conocimiento amplio de las características geológicas del depósito, para el cual hay pocos o ningún dato de muestreo y mediciones. La estimación se basa en una continuidad supuesta o en una repetición para la cual hay evidencia geológica incluyendo la comparación con depósitos de tipo similar.

III.1.4. Mineral Potencial

Las apreciaciones para el cálculo de este mineral están

basadas exclusivamente en observaciones geológicas, apoyadas por informaciones de recopilación sobre estructuras o áreas favorables demarcadas por geofísica, presencia de anomalías radiactivas dispersas, existencia de yacimientos en el área y sus relaciones de control geológico con el resto de la zona a evaluar, etc. Estas estimaciones no pueden ser definidas bajo un determinado porcentaje de error dado su carácter meramente especulativo.

III.2. METODO GEOESTADISTICO

La escuela francesa, al introducir métodos de estudio del grado de dispersión de las leyes (o potencias, o acumuladas) y establecer la probabilidad en los niveles de certidumbre, define de manera más precisa las categorías distinguiendo Reservas, Recursos, Perspectivas, Eventual sobre indicios y Eventual regional. Las dos primeras, en especial, podrían parecer sinónimas de las del método convencional, pero los conceptos son diferentes y no se las debe considerar equiparables. Las definiciones de estas categorías, adoptadas por la CNEA en 1964, se basan tanto en el error que se comete en la estimación como en criterios geológicos y son las siguientes:

III.2.1. Reservas

Corresponden a cuerpos mineralizados reconocidos por la boreos mineros o por perforaciones testigadas. Están caracterizadas por la posibilidad de calcular la precisión con la cual son conocidas. El valor del desvío tipo de estimación debe ser menor que 0,50 al nivel del 68 % de probabilidades. Si este valor es sobrepasado, el yacimiento es rebajado a la categoría de Recursos. Sin embargo, hay casos en que esta probabilidad no puede ser calculada, pero si existen evidencias geológicas que aseguran la continuidad del campo mineralizado, éste puede ser clasificado igualmente como Reservas.

III.2.2. Recursos

Corresponden a cuerpos mineralizados investigados:

- 1) Por los mismos trabajos que en el caso de las Reservas pero con un reconocimiento muy impreciso, de modo que el desvío tipo de estimación resulta mayor que 0,50.
- 2) Por sondeos en formaciones filonianas y eventualmente en formaciones sedimentarias, con una recuperación de testigos nula o insuficiente. Las leyes están determinadas a menudo por radiactividad sin recta de correlación sólidamente establecida. No es posible calcular la precisión de la estimación -salvo en el caso 1- pero se admite que es normal equivocarse en un 50 %. Este valor de la desviación permite solamente fijar ideas muy generales y carece de significación matemática.

III.2.3. Perspectivas

Corresponden a las extrapolaciones hacia profundidad de formaciones reconocidas hasta un cierto nivel con categoría de Reservas o de Recursos. Esta extrapolación está fundada en razonamientos de analogía con otros yacimientos similares cercanos: extensión del depósito, profundidad comprobada, etc, es decir, que se está en el dominio de las especulaciones puramente geológicas. Cabe aclarar que las extrapolaciones laterales y sobre el rumbo de la corrida deben ser muy prudentes, por cuanto en estos casos los criterios de analogía tienen muy poco valor. Se admite que el error posible es de +100 % a -100 %.

III.2.4. Eventual sobre indicios

Se clasifican así los volúmenes cuya existencia se infiere de indicios superficiales reconocidos sólo por trincheras. Las extrapolaciones hacia profundidad se hacen por analogía con yacimientos vecinos, admitiéndose como normal un error entre +200 % y -100 %.

III.2.5. Eventual regional

Está basado sobre consideraciones de geología regional y para su cálculo no es posible fijar regla alguna. Su determinación está prácticamente reservada al geólogo que posea un completo conocimiento de la geología y de las manifestaciones uraníferas de la zona. Es una cifra hipotética sobre lo que se estima como potencial regional, que surge de los diversos trabajos efectuados en el campo de la prospección, exploración y explotación. Si se sustrae de este potencial las cifras estimadas como Reservas, Recursos, Perspectivas y Eventual sobre indicios, se tendrá la cifra que estima el Eventual regional.

De una breve comparación de las definiciones de mineral Medido y de Reservas, surge que para el primero el requerimiento básico está dado por la malla del reconocimiento y que el error aceptado carece de nivel de certidumbre, es decir, que no se sabe si el 20 % de error aceptado no será sobrepasado en el 50 % de los casos, en el 80 % o en el 100 %. En la práctica, por lo tanto, se toma generalmente como Medido sólo aquel volumen reconocido y muestreado en sus cuatro costados. Para definir Reservas, en cambio, son importantes los valores de dispersión de las leyes al requerirse un determinado nivel de certidumbre; así, si la dispersión de las leyes es reducida de modo que la fluctuación que cabe esperar se aleja poco de la ley media calculada, el grado de certidumbre dado por la desviación típica de estimación permitirá calificar como Reservas un tonelaje que en el método convencional debería ser clasificado como Indicado. Tal es el caso, por ejemplo, de un paño centrado sobre una sola galería. Como parecidas consideraciones caben para la comparación entre mineral Indicado y los Recursos, queda claro que las diferencias conceptuales entre ambos métodos radican fundamentalmente en las dos primeras categorías, cuya sumato-

ria constituye las reservas que están en condiciones de ser extraídas económicamente en un plazo inmediato. El mineral Inferido y las Perspectivas, en cambio, pueden ser considerados equivalentes por cuanto en ambos casos se necesita la exploración adicional para corroborar el volumen y la ley.

Es conveniente aclarar que la División Reservas del Commissariat à l'Energie Atomique propuso internamente reformas en la terminología recién mencionada en el año 1969, distinguiendo Reservas I, Reservas II, Perspectivas I y Perspectivas II, equivalentes las dos primeras a las Reservas y Recursos originales pero exigiendo la precisión al nivel de certidumbre del 95 % y no del 68 %. En general, las Reservas corresponden a los recursos para los cuales se dispone de una imagen precisa del contexto estructural que contiene la mineralización, además de un número de medidas de tenores y de potencias que permiten el cálculo de la precisión de la estimación en función de la repartición geométrica de las muestras. En cambio, para las Perspectivas se opera con toda suerte de consideraciones geológicas, correspondiendo a mineralizaciones de las cuales no se dispone de muestras, o en todo caso de muestras poco representativas como son las de trincheras o de algunos sondeos aislados. Desde el punto de vista de la precisión, no existe la noción de varianza de estimación, pero se admite en general un error de 100 % en más o en menos. El término Recursos no figura más como una categoría particular y se reserva su uso para designar estimaciones muy generales de carácter regional.

IV. LOS RECURSOS URANIFEROS SEGUN EL OIEA

La definición de los conceptos básicos para la calificación de los recursos uraníferos se ha canalizado a través de reuniones internacionales a partir de 1960. Esta calificación, originalmente realizada en base a las leyes del mineral, era diferente para cada país por cuanto cada uno fijaba el tenor límite de acuerdo a sus propias conveniencias político-económicas. Como consecuencia de ello, en la Conferencia de Ginebra de 1964 se fundamentó la conveniencia de considerar como factor principal el costo de obtención del concentrado comercial. En el informe de diciembre de 1977 elaborado por NEA/OIEA* quedó establecida la escala de costos actualmente en vigencia:

< 80 U\$S/Kg U	equivalente a	< 30 U\$S/lb U ₃ O ₈ ,
80-130 " " "	" "	30-50 " " "
>130 " " "	" "	> 50 " " "

* NEA: Nuclear Energy Agency

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica

Para cada rango de costos se distinguen dos categorías de Recursos: Razonablemente Asegurados y Adicionales Estimados.

IV.1. RECURSOS RAZONABLEMENTE ASEGURADOS

Se denomina así al mineral de uranio contenido en depósitos conocidos de tal ley, geometría y tonelaje, que su recuperación es posible dentro de los rangos de costos dados mediante las tecnologías de explotación y procesamiento corrientes. Las estimaciones de tonelaje y ley están basadas en datos específicos de muestreo y en el conocimiento de las características del mineral. Los Recursos Razonablemente Asegurados tienen un elevado grado de certeza de existencia y en la categoría de costos de menos de 80 U\$S/Kg U son considerados como RESERVAS.

IV.2. RECURSOS ADICIONALES ESTIMADOS

Se refieren al uranio adicional a los Recursos Razonablemente Asegurados cuya existencia se supone, principalmente sobre la base de evidencias geológicas directas, en extensiones de depósitos bien explorados, en depósitos poco explorados, y en depósitos no descubiertos cuya existencia se prevé en unidades geológicas bien definidas con depósitos conocidos. Tales depósitos pueden ser identificados y delimitados y el uranio subsecuentemente recuperado dentro de los rangos de costos dados. Las estimaciones de tonelaje y ley están basadas principalmente en el conocimiento de las características de los depósitos en sus sectores mejor estudiados o en depósitos similares. La seguridad que se puede adjudicar a las estimaciones en esta categoría es menor que en los Recursos Razonablemente Asegurados.

Una tercera categoría prevista ya en la citada publicación se menciona actualmente con la designación de Recursos Especulativos, con un grado de certeza lógicamente inferior a los Adicionales Estimados.

V. LOS TENORES DE CORTE

Este importante capítulo, directamente vinculado con la economía del yacimiento, ya ha sido tratado por otros autores y por lo tanto será brevemente mencionado.

La determinación de la porción del yacimiento "geológico" que resultará económicamente aprovechable se hace por medio de los tenores de corte de los cuales el primero, tenor de explotabilidad, define en primera instancia la explotabilidad del yacimiento al ser comparado con el tenor medio estimado. Es obvia, por consiguiente, su importancia en el contexto del negocio minero.

De la suma de los costos de explotación, transporte y tratamiento surgen los valores que conducen, artificialmente si

se quiere, a la delimitación del "yacimiento económico" sobre la base de un fenómeno natural como es el yacimiento geológico, considerado como la acumulación anormal de metal en un punto dado de la corteza terrestre. Pero en la definición de los límites de ambos influyen permanentemente los avances de las técnicas de explotación y beneficio, lo que lleva a considerar hoy de interés económico concentraciones que pocos años atrás eran desechadas.

Los tenores de corte tienen en cuenta solamente las inversiones que restan realizar desde el momento que se toma la decisión de explotar, es decir, que el yacimiento será explotado si el metal que de él se extraerá paga tales inversiones. Se distinguen, básicamente, los siguientes tenores desde el punto de vista económico:

Tenor de explotabilidad (t_e)

Tenor de corte de fondo (t_{cf})

Tenor de corte en superficie (t_{cs})

El tenor de explotabilidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$t_e = \frac{A + E + T + P}{R \cdot U}$$

en la cual:

A = Inversiones referidas a la tonelada de mineral por acceso, infraestructura minera, planta de tratamiento, etc que aún quedan por realizar.

E = Costo por tonelada de la explotación.

T = Costo por tonelada del transporte mina-planta.

P = Costo por tonelada del tratamiento mecánico y químico.

R = Porcentaje de recuperación de la planta.

U = Valor del Kg de uranio en el concentrado comercial.

El tenor de corte de fondo indica cuál es el tonelaje que, una vez realizado el laboreo de acceso hasta el mineral, debe ser extraído porque paga los gastos de explotación que resta efectuar y los de transporte y tratamiento. Es decir, que estará dado por la eliminación del factor A de la fórmula anterior:

$$t_{cf} = \frac{E + T + P}{R \cdot U}$$

El tenor de corte en superficie se refiere al mineral que,

una vez arrancado; debe pagar sus gastos de transporte y tratamiento. Por consiguiente, para obtenerlo se debe eliminar de la fórmula el factor E puesto que la explotación ya está completada:

$$t_{cs} = \frac{T + P}{R \cdot U}$$

VI. CALIFICACION DEL MINERAL SEGUN EL GRADO DE DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

Una vez establecidos los tenores de corte y las categorías de reservas, sobre el mineral se efectúan sucesivas diferenciaciones que designan distintas etapas en la evolución de la explotación. De acuerdo con la nomenclatura francesa se distinguirá:

Mineral geológico.
Mineral económico.
Mineral a extraer.
Mineral a tratar.

VI.1. MINERAL GEOLOGICO

Define el volumen de mineral que posee una ley igual o superior a la mínima que puede ser tratada por la planta; la potencia será la que corresponda a dicha ley en el yacimiento y carece de definición previa. Es la representación más aproximada del yacimiento geológico.

VI.2. MINERAL ECONOMICO

Conocido comúnmente como mineral explotable, es aquél cuya ley es igual o mayor que el tenor de corte de fondo pero con la abertura mínima de explotación. Su determinación está regida entonces por factores técnicos (ubicación del paño a extraer, método de explotación, etc) y económicos (costos de explotación, etc). El tenor de corte de fondo es la ley mínima de arranque por debajo de la cual la explotación no es rentable. Es ésta la primera y más importante selección de mineral que se efectúa ya que permite definir los sectores explotables. Se cumple generalmente mediante una selección zoneográfica.

VI.3. MINERAL A EXTRAER

El concepto de mineral a extraer está ligado a las exigencias del método de explotación y a la incorporación de mineral muy pobre o estéril al mineral económico. En efecto, del volumen estimado para éste se deben deducir los volúmenes que quedarán sin arrancar por razones de seguridad (puentes y pilares), pero además se debe tener en cuenta la dilución que se produce en el curso de la explotación con la consiguiente repercusión en la ley media estimada.

Cabe mencionar que en esta etapa de los trabajos podría resultar factible la aplicación de nuevos tenores de corte, conocidos como "corte-paño" y "corte-pilar", referidos a pequeñas unidades dentro del paño cuya explotación puede resultar económica a pesar de tener ley inferior a la de corte de fondo.

VI.4. MINERAL A TRATAR

Para obtener el mineral a tratar se efectúa una última selección sobre el material sacado a superficie mediante vagones o skips. Efectivamente, muchas de estas unidades de extracción llevan mineral que no paga sus gastos de transporte y tratamiento, por lo que se lo somete a una selección por radiactividad para eliminar la mayor cantidad posible de mineral no rentable. La operación se realiza por medio de túneles contadores instalados a la salida de piques o galerías de extracción, razón por la cual el tenor límite se llama de corte en superficie, el que será inferior a los anteriores puesto que sólo resta pagar el transporte y el tratamiento.

VII. CONDUCTA PRACTICA EN LA ESTIMACION DE RESERVAS

En este capítulo se expondrán las principales operaciones ha realizar en el curso de una estimación de reservas, referidas en primer término a un yacimiento explorado mediante labores mineras que cuenta con muestreo sistemático y luego sobre un yacimiento explorado con perforaciones. De esta manera se tendrá oportunidad de calcular distintos tipos de varianzas y dos formas diferentes de llegar a la precisión, se construirá una recta de correspondencia ra-t y se realizará una aplicación del Corrector de Matheron. Con las aplicaciones al cálculo se complementarán asimismo las nociones básicas citadas en el punto II.

VII.1. YACIMIENTO EXPLORADO MEDIANTE LABORES MINERAS

Se dará un ejemplo que resulta ilustrativo para señalar la diferencia de criterio entre el método convencional y el geostatístico en la definición de mineral Medido y de Reservas. El ejemplo consiste en un paño basado en una sola galería de 52 metros de longitud, con influencia de 15 metros hacia arriba y hacia abajo, de la cual se extrajeron 24 muestras en canaleta con equidistancia de 2 metros.

Como el muestreo se hace fraccionado, la primera etapa a cumplir consiste en el cálculo de la potencia y de la ley media aritmética ponderada para cada muestra y para cada precio del concentrado, para los cuales las consideraciones técnico-económicas habrán dado ya lugar al cálculo del correspondiente tenor de corte de fondo.

En el Anexo 1 figuran los datos del muestreo y en el Anexo 2 se ejemplifican los cálculos para cada precio del concentrado. En la muestra 22, por ejemplo, para menos de 30 U\$S/lb sólo

la fracción A tiene ley superior al t_{cf} (0,47 %); como el paño en cuestión será explotado por métodos subterráneos se toma un metro como potencia mínima de explotación, por lo que de la fracción B ingresará al cálculo sólo lo necesario para completar el metro. Para 30-50 U\$S/lb, en cambio, se tomarán íntegras las fracciones A y B por cuanto ambas superan el tenor de corte, y para > 50 U\$S/lb ingresan las tres fracciones. Realizada esta selección, en el Anexo 3 se anotan los resultados obtenidos para cada muestra y se llega a la potencia y ley media correspondientes a cada categoría de costos; en este anexo se prevé también el cálculo de algún mineral acompañante (Cu, V, etc) que pudiera resultar de interés. En el Anexo 4, Resumen del Paño, se estiman ya el tonelaje de mineral y su contenido en uranio -que en la CNEA es referido siempre a U_3O_8 - figurando además los datos de la distribución y de la precisión.

En los Anexos 5 y 6 se calculan las varianzas y la precisión para la ley y para la acumulada solamente, porque en virtud de la escasa potencia del nivel mineralizado no interesa la precisión sobre el volumen, que se expresa mediante el desvío tipo de estimación de "h" (σ_{Eh}).

La planilla de cálculo de varianzas ha sido normalizada de tal modo que las operaciones a realizar resultan fáciles y accesibles a un discreto grado de preparación matemática. Las fórmulas están desarrolladas e indicados los pasos a seguir. Los datos se agrupan en clases cuyos logaritmos varían entre sí en 0,1. Cada muestra se ubicará dentro de la clase correspondiente identificándola con un trazo. Así, el valor de 0,60 de la lista de muestras del Anexo se colocará en la clase limitada por 0,501 y 0,631; el 4,51 en la clase 3,98-5,01, etc. Se facilita el recuento de los individuos por clase formando figuras de hasta 5 valores.

El número de individuos que hay en una clase se llama frecuencia y se coloca en la columna "n". A partir de la columna del logaritmo del límite inferior de cada clase, están indicadas las operaciones necesarias para obtener la mediana, la varianza y el desvío tipo, cuyas fórmulas están desarrolladas. Conocidos estos parámetros, restan los cálculos que se refieren a la precisión de la estimación, para lo cual es necesario conocer previamente el coeficiente alfa, que se calculará con la fórmula de MATHERON-WIJS. En el presente ejemplo, tenemos un paño rectangular (para < 30 U\$S/lb) de 52 x 30 x 1,02 m, siendo esta última magnitud la potencia media. Para la muestra, la dimensión mayor es 1,02, la intermedia es el ancho de la canaleta (5 cm) y la menor su profundidad (2 cm).

El valor "m" que interviene en el cálculo de los límites de la precisión corresponde, según lo que se está calculando, a la ley media estimada para el paño (si se trabajó con x), al tonelaje de mineral (si se trabajó con h) o al de fino (si se trabajó con hx), puesto que h es el estimador del mineral y hx lo

es del metal. En el Anexo 5 se calculó la precisión de la ley (x) con estos resultados:

$$\sigma_E = 0,332 = 33,2 \%$$

$$2\sigma_E = 0,664 = 66,4 \%$$

$$m_{ap} = 1,64 \%$$

Significa que, al nivel de σ_E , en el 68 % de los casos la ley media fluctuará entre 2,18 ‰ y 1,10 ‰, o lo que es igual, que en el 68 % de la población estudiada la variación de la ley media es de un 33 % de 1,64 (es decir 0,54). Resulta así que lo que se hace al aplicar la fórmula es sumar o restar a la ley media ponderada el porcentaje de error posible, obtenido con el cálculo de la varianza de estimación (recordar el concepto de que la varianza expresa una fluctuación alrededor de un valor medio). Luego:

$$1,64 + 0,54 = 2,18$$

$$1,64 - 0,54 = 1,10$$

Aquí es oportuno hacer resaltar la importancia que tiene el método de muestreo y el número de muestras, que deben ser extraídas en forma sistemática, de modo que no haya posibilidad de selección o de preferencia al tomarlas y en cantidad tal que sean representativas de la población que van a caracterizar.

En el Anexo 6 se realizó idéntico cálculo para la acumulada hx.

En lo que respecta al Cuadro Analítico de Reservas, se adapta perfectamente a las necesidades del cálculo convencional, de manera que su empleo es general. En él, a partir de los tonelajes de mineral y de fino estimado en las planillas anteriores -cuyos resultados se inscriben en la línea horizontal 2 (mineral económico)- se calcularán sucesivamente las cantidades "a extraer" y "a tratar", que corresponden a la etapa final de la estimación.

La primera columna vertical sirve para diferenciar con distintos colores las tres categorías adoptadas para la estimación: rojo para Reservas, verde para Recursos y amarillo para Perspectivas (o eventualmente para medido, indicado e inferido).

Las columnas 3, 4 y 5 están previstas para el tonelaje explotado, el que se deducirá de las previsiones efectuadas para el cubo, en particular si se lo explotó parcialmente.

Entre las columnas 6 y 17 se inscribirán los resultados ya obtenidos anteriormente, observándose que los renglones 3 y 4 están sombreados para evitar su uso erróneo.

El sector Previsiones comienza individualizando el método de explotación. Los porcentajes de pérdida se calculan sobre los tonelajes de las columnas 11 y 12, y salvo casos especiales, se considerarán solamente las originadas en las características del método de explotación. La dilución se estimará sobre lo que resta en las columnas 11 y 12 luego de disminuir el tonelaje en el porcentaje correspondiente a pérdidas, y no sobre el total. Para obtener "tonelaje y ley antes del corte de pilares" bastará, por lo tanto, restar las pérdidas y sumar la dilución en cuanto a mineral se refiere; la ley final se obtendrá dividiendo el fino por el mineral. Para aclarar, tomemos el Paño I y sigamos el cálculo a partir de la previsión:

Mineral previsto. . . .	3.341
Mineral perdido	-334
Tonelaje que resta. . .	3.007
Mineral de dilución . .	+601
Tonelaje final	3.608

Este cálculo se puede efectuar mas rápidamente multiplicando sucesivamente el mineral previsto por 0,9 y 1,2, con lo cual en el primer paso se resta el 10 % y en el segundo se suma el 20 %.

Resta entonces aplicar la pérdida al fino, que de 5.480 Kg se reduce a 5.206 Kg. Luego, dividiendo el fino por el mineral (columnas 31 y 30) se obtiene la ley media del mineral económico: 1,44 %.

Los porcentajes a aplicar sobre las pérdidas y la dilución son dados por la experiencia minera y de acuerdo a las condiciones propias de cada paño y al método elegido para su explotación.

Restan estimar los tonelajes "a extraer" de las columnas 39 y 41, según el rendimiento en mineral y en metal de los tenores de corte de fondo. Para determinar el rendimiento de una ley de corte se puede usar un criterio estadístico, la experiencia minera o la zoneografía. El primero se refiere al uso de un ábaco especial (FORMERY), para lo cual la repartición de los tenores debe ser lognormal y el campo mineralizado debe ser isótropo, es decir, que el coeficiente α debe ser igual por lo menos para galerías y chimeneas.

La determinación del rendimiento de un tenor de corte en base al ábaco debe ser reemplazada toda vez que sea posible por la basada en la zoneografía o en la experiencia minera. La zoneografía, al delimitar zonas de isotenor, da la posibilidad de calcular el mineral y el metal a extraer con un criterio geológico. Obviamente, por sobre toda consideración, la experiencia minera dará el dato más fideligno para la previsión, especialmente si se trata de un yacimiento irregular.

La etapa final de elaboración de las previsiones es el cálculo del mineral y metal "a tratar". Se refiere a los toneladas que se entregarán a planta, con leyes superiores al tenor de corte en superficie, o sea lo que queda al deducir el material que se desestima en boca-mina mediante túnel radimétrico.

Los resultados finales, sea de un yacimiento o de un conjunto de ellos, se presentan en el Resumen General de Reservas (Anexo 8) que no necesita de aclaraciones sobre su utilización.

En lo que se refiere a la precisión global de un yacimiento, cuando se poseen los datos de cada paño se la obtiene ponderando las varianzas por su respectivo tonelaje de fino en el caso de la ley y de la acumulada:

$$\sigma_G^2 = \frac{\sum (\sigma_{E_i}^2 U_i^2)}{(\sum U)^2}$$

Para el ejemplo desarrollado se tienen los siguientes datos para la categoría Reservas (Anexo 7):

Paño	Mineral (t)	Fino (t)	\bar{x} ‰	$\sigma_{E_x}^2$	$\sigma_{E_{hx}}^2$
I	3.341	5,5	1,64	0,109	0,123
II	1,379	2,6	1,52	0,144	0,130
III	4.813	6,0	1,24	0,176	0,160
	9.533	14,1	1,48		

Reemplazando en la fórmula se tiene:

$$\sigma_{G_x}^2 = \frac{0,109 \times 5,5^2 + 0,144 \times 2,6^2 + 0,176 \times 6^2}{14,1^2} = 0,0534 \quad \sigma_{G_x} = 0,231$$

$$\sigma_{G_{hx}}^2 = \frac{0,123 \times 5,5^2 + 0,13 \times 2,6^2 + 0,16 \times 6^2}{14,1^2} = 0,0521 \quad \sigma_{G_{hx}} = 0,228$$

Las fluctuaciones probables de la ley y del fino al ni-

vel del 95 % son por lo tanto:

$$\begin{aligned} 1,48 \times 1,462 &= 2,16 \% \\ 1,48 \times 0,538 &= 0,80 \% \\ 14,1 \times 1,456 &= 20,5 \text{ t} \\ 14,1 \times 0,544 &= 7,7 \text{ t} \end{aligned}$$

El ejemplo dado, referido a un paño de explotación subterránea que cuenta con una sola labor, sirve para ilustrar sobre lo expresado en la página 10 al comparar el método convencional con el geostatístico. En efecto, de acuerdo al primero el mineral debería ser catalogado como Indicado, pero con el segundo el valor de la precisión permite calificarlo como Reservas.

VII.2. YACIMIENTO EXPLORADO MEDIANTE PERFORACIONES

En este caso algunos pasos difieren del ejemplo que se acaba de describir. En primer lugar, la considerable diferencia de costo entre perforaciones testigadas y no testigadas determina la necesidad de utilizar la radiactividad para la estimación de potencia y ley a partir del perfilaje gamma, con el método geostatístico o con el desarrollado por la U.S. Atomic Energy Commission. Para el primero es necesario ejecutar previamente una serie de perforaciones testigadas que servirán de base para la correlación, mientras que para el segundo es necesario contar con centros de calibración del instrumental de perfilaje. Una vez de terminados los valores de potencia y ley en cada perforación, se deberán realizar las plantas y perfiles zoneográficos para interpretar la morfología y ubicación espacial de los cuerpos mineralizados, lo que permitirá ubicar los límites del yacimiento a ubicar según el tenor de corte elegido. Si el yacimiento es isótropo, es aconsejable el "Krigage" o corrección de la ley de cada perforación con el método de Matheron, que permite asimismo obtener la precisión. La superficie de influencia de cada perforación, en éste caso, dependerá de la malla de exploración mientras que con el método convencional se recurrirá a los polígonos o triángulos que también dependen de la longitud de la malla, pero que pueden arrojar resultados muy diferentes relacionados con el problema de la sobreestimación o de la subestimación del paño.

El primer problema que se plantea en la estimación de reservas de un yacimiento tabular investigado por perforaciones es la determinación de sus dos parámetros fundamentales: potencia y ley medias, magnitudes que dependen en alto grado del correcto testigado por lo menos en un determinado porcentaje de perforaciones, de manera que se puedan conocer por medio de mediciones directas o a partir de la interpretación del perfilaje gamma, lo que a su vez exige una excelente respuesta del instrumental utilizado en éste. En el caso de contar con una buena recuperación de testigos del nivel mineralizado, tanto la potencia como la ley se conocerán por medición directa; si la extracción de testigos no fuera factible -por problemas litológicos o de equipo- será

necesario deducir potencia y ley del perfilaje para lo cual se aplican dos métodos fundamentales: la correlación radimetría-tenor (ra-t) y la técnica desarrollada por la Atomic Energy Commission, que se explican a continuación:

VII.2.1. Recta de correspondencia ra-t

En la práctica se procede en primer término a extraer y analizar un determinado número de "muestras patrón" (no inferior a 30), de cada una de las cuales se conocerá entonces la potencia, la ley química y los valores de radiactividad. Una vez en poder de estos datos se procede a calcular la varianza de las leyes (σ_t^2), de las radiactividades (σ_{ra}^2) y de la relación entre ambas ($\sigma_{t/ra}^2$).

El coeficiente de correlación "r" se calcula mediante la fórmula:

$$r = \frac{\sigma_t^2 + \sigma_{ra}^2 - \sigma_{t/ra}^2}{2 \sigma_t \cdot \sigma_{ra}}$$

La pendiente "p" de la recta estará dada por la fórmula:

$$p = \frac{\sigma_t}{\sigma_{ra}} r$$

que nos da el valor de la tangente. Si llevamos los valores obtenidos a un papel bilogarítmico (no olvidar que se trabaja con los logaritmos de las leyes y de las radiactividades) podemos trazar nuestra recta de la siguiente manera (ver Fig.7):

En la intersección de los valores de las medianas tenemos el primer punto de la recta (A); el segundo punto se determina midiendo 10 cm en el sentido de la abscisa desde "A" hacia la derecha y luego, en el sentido de la ordenada, el valor 10 p en centímetros. La recta R que pasa por los puntos A y B se llama de regresión; la recta de correspondencia C estará desplazada hacia arriba, en el sentido de la ordenada, en una medida en milímetros que está dada por la fórmula:

$$d = \frac{0,434 (1 - r^2) \sigma_t^2}{2} E$$

donde E es el módulo del papel bilogarítmico en milímetros (100 en nuestro caso). Como es natural pensarlo, las determinaciones de las leyes realizadas mediante la recta estarán afectadas por un cierto error, puesto que no estamos en el caso de una relación funcional. Este error, o si se prefiere la precisión de la recta, se puede conocer aplicando la fórmula de la varianza de correspondencia radimétrica:

$$\sigma_w^2 = \frac{2 \sigma_t^2 (1-r^2) + \sigma_t^4 (1 - r^4)}{2 N}$$

De esta manera se llega a determinar el valor $2\sigma_w$, vale decir, el error que se comete en una serie de determinaciones de leyes al nivel del 95 %.

La aplicación de la recta de correspondencia es de rigor en la minería del uranio. Cuando se ha constatado el equilibrio radiactivo del mineral, la recta permite conocer con rapidez y poco costo el tenor del mineral, siendo particularmente útil en los reconocimientos por perforaciones y en el control de la producción. Es una variable regionalizada y por lo tanto no se debe usar indiscriminadamente una sola recta para todo un yacimiento, salvo que esté demostrada su isotropía.

El número de muestras patrón para construir una recta no es arbitrario. Como es lógico, un número muy grande de muestras puede no ser mayormente beneficioso para obtener una mayor precisión, influyendo en cambio negativamente en la faz económica, pues hay ciertas muestras, como los camiones para controlar la ley enviada a planta, que son onerosas por su volumen. En contraposición, un número demasiado reducido de muestras puede influir negativamente en la precisión de la recta y además no ser representativa de la población. Por lo tanto, es necesario estimar previamente el número de muestras (canaletas, vagonetas, skips, etc) que se deben analizar químicamente para obtener la precisión deseada. Daremos un ejemplo, partiendo de la hipótesis de que la varianza de las leyes es igual a 0,8 y que el coeficiente de correlación es muy elevado: $r = 0,95$ (es decir que $r^2 = 0,9$). Si se acepta para la media de la recta de correspondencia un error $2\sigma_w = 10 \%$, se obtiene aproximadamente el número de muestras por la fórmula siguiente, que es el primer término de la varianza de correspondencia radimétrica que ya se ha citado:

$$\sigma_w^2 = \frac{\sigma_t^2 (1 - r^2)}{N}$$

donde σ_t^2 es la varianza de las leyes de las muestras y N el número de muestras. Partiendo de los valores numéricos precedentes se encuentra (si $2 \sigma_w = 0,10$ resulta $\sigma_w^2 = 0,0025$):

$$25 \cdot 10^{-4} = \frac{0,8 (0,1)}{N} \text{ de donde } N = 32$$

Vale decir, que para obtener en promedio la precisión fijada de antemano del 10 %, se deben analizar 32 muestras.

La recta de correspondencia es de uso diario en yacimientos uraníferos. Con ella se controla la ley de los frentes de exploración y de explotación, se adjudica tenor a los sondeos no tes

tigados, se controla el fino que se extrae por boca-mina y el que se despacha a planta en camiones. En lo que concierne al tiempo de vigencia de cada correlación calculada, se aclara que el muestreo sistemático de los distintos frentes debe ser permanente de modo de reemplazar la recta en uso trimestralmente. Así, por ejemplo, si se trata del control de la producción de un sector de la mina realizado por medio de un túnel radimétrico, se pone en vigencia la recta por tres meses, al cabo de los cuales, en base al muestreo efectuado durante tal período se construye una nueva recta que reemplazará a la anterior sirviendo además para hacer un reajuste de la producción del trimestre que acaba de vencer.

Con el fin de ilustrar y hacer más comprensible el procedimiento de cálculo de una recta de correspondencia, se da a continuación un ejemplo completo sobre un total de 32 muestras que fueron analizadas química y también radimétricamente con un detector Eberline, que mide la radiactividad en ME/HR. Los datos de base son:

<u>ra (MR/HR)</u>	<u>t (‰)</u>	<u>t/ra</u>
1,51	2,20	1,45
0,55	0,90	1,63
0,61	0,80	1,31
1,41	2,20	1,56
1,23	1,80	1,46
1,58	2,00	1,27
1,63	2,30	1,41
1,57	2,80	1,78
1,46	0,60	1,30
0,53	0,70	1,32
0,58	0,90	1,55
0,60	0,80	1,33
0,48	0,70	1,46
0,28	0,40	1,43
0,31	0,40	1,29
0,31	0,40	1,29
0,32	0,40	1,25
0,30	0,50	1,67
0,45	0,60	1,33
0,61	0,90	1,47
0,41	0,50	1,22
1,15	1,80	1,56

<u>ra (MR/HR)</u>	<u>t (%.)</u>	<u>t/ra</u>
1,70	2,20	1,29
0,65	1,30	2,00
1,71	2,50	1,46
0,95	1,40	1,47
1,35	1,60	1,18
0,45	0,90	2,00
0,66	0,70	1,06
3,25	3,70	1,14
0,58	0,70	1,20
0,45	0,60	1,33

En posesión de estos datos, como ya se dijo más arriba, en las planillas correspondientes se calculan las medianas y las varianzas de ra, t y t/ra (Anexos 9, 10 y 11). Luego, con las fórmulas ya citadas se calculan el coeficiente de correlación, la pendiente y la traslación de la recta. Finalmente, se dibuja la recta en papel bilogarítmico (Anexo 12), con la cual podemos ya inferir el tenor de un mineral conociendo solamente el valor de su emisión radiactiva. Así, por ejemplo, si la radiactividad es de 0,45 HR/HR, la ley será de 0,66 % y si es de 1,0 MR/HR el tenor resulta de 1,40 %.

VII.2.2. Método de la U.S. Atomic Energy Commission

Está basado en la proporcionalidad de la acumulada hx con el área que encierra la curva del perfilaje gamma (A), corregida por un factor K de calibración del equipo, o sea:

$$hx = A.K$$

El método tiene validez empírica y fue desarrollado con ayuda de modelos de sondeos contruídos con capas de mineral de ley conocida alternando con material estéril.

El valor de calibración K se determina para cada equipo en centros de calibración contruídos al efecto. El área A se calcula con los valores digitales del perfilaje y la potencia h se determina gráficamente. Conocidos estos tres valores se puede entonces despejar x (ley). A continuación se ejemplifica el procedimiento con ayuda de la Fig. 8, donde se puede observar la determinación de la potencia que se realiza tomando la mitad de los picos superior e inferior (I_2 e I_{11}) y trazando a partir de su intersección con el flanco de la curva la paralela a la abscisa (línea cortada) hasta tocar la ordenada eje del sondeo; la diferencia de profundidad entre ambas es la potencia mineralizada: $11,90 - 9,20 = 2,70$ m. Para el cálculo de A se divide el área en dos margi

nales (A_M) y una central (A_C). El área central está dada por la suma de las intensidades I tomadas cada 20 cm a partir del límite superior de h y hasta el valor que queda inmediatamente por encima de su límite inferior (en este caso I_{13}) o coincidente con éste. Los valores digitales del perfilaje son:

$I_1 = 2300$	$I_5 = 3300$	$I_9 = 3600$
$I_2 = 2500$	$I_6 = 6000$	$I_{10} = 3700$
$I_3 = 1600$	$I_7 = 4500$	$I_{11} = 4400$
$I_4 = 1600$	$I_8 = 3000$	$I_{12} = 3800$
$I_{13} = 3100$	$A_C = \sum I_n = 43400$	

Las áreas marginales están dadas por la suma de dos valores: E_1 y E_2 , el primero coincidente con la intersección del límite superior de h con el flanco de la curva (1200) y el segundo ubicado 20 cm por debajo del último punto del área central (I_{13}), que aquí resulta de 1100 i/s. El resultado de esta suma se debe multiplicar siempre por el factor constante 1,38, obteniéndose así el valor del área marginal que resulta de 3174. Adicionando el valor ya obtenido para el área central se tiene por lo tanto el área total A .

Siendo el valor de $K = 0,0000614$, para obtener la ley bastará despejar el factor x de la fórmula:

$$x = \frac{A.K}{h} = \frac{46574 \cdot 0,0000614}{2,70} = 1,06 \%$$

VII.2.3. El Corrector de MATHERON

Cuando en un yacimiento explorado por perforaciones se extrae un testigo del mineral y se obtiene su ley, ésta es luego tomada como ley media del volumen de influencia de la perforación. Si se comparan los volúmenes de la muestra y del paño, se concluye fácilmente que el primero es infinitamente pequeño en relación al segundo y que en consecuencia la ley de la muestra representará muy mal a la ley del paño. KRIGE fue el primero en investigar el tema, concluyendo que en general los tenores altos sobrevalúan y los débiles subevalúan. Elaboró un método para "corregir" la ley del paño "A" centrado por la perforación -de donde proviene el nombre de "krigeage" difundido por la escuela francesa para el método en general- teniendo en cuenta las leyes de los sondeos vecinos. Pero Krige adjudica igual incidencia a todos los sondeos sin considerar la distancia a que se encuentran con respecto al sondeo central que se corrige. MATHERON salva este aspecto tomando en consideración la ubicación y distancia de los sondeos periféricos para estimar la ley de un paño reconocido por una perforación axial. Por esta razón, el Corrector de Matheron es más geográfico que estadístico. Para su aplicación el yacimiento debe ser isótropo y estar reconocido por una red ortogonal

de perforaciones.

El método está explicado detalladamente por CARLIER quien además de los conceptos fundamentales presenta 26 de los casos más comunes a resolver según que la malla esté completa o no, incluyendo al sondeo central. Tomaremos como ejemplo un caso de malla completa como el representado en la Fig. 9, que tiene una red de 9 sondeos dispuestos regularmente sobre una malla ortogonal, cada uno con sus datos de potencia y ley ya determinados. En esta red distinguiremos: el sondeo central que llamaremos A; los sondeos de la primera aureola que llamaremos B y los de la segunda que llamaremos C. La influencia del sondeo A llegará hasta la semidistancia a los vecinos; si estamos en presencia de un yacimiento isótropo, la ley del cuadrado central estará influenciada en función de la distancia y ubicación de los sondeos B y C en un determinado porcentaje, que es el que precisamente calcula el método. En una palabra, al cubo central no se le debe adjudicar la ley de A que es un dato puntual, sino que ésta debe ser corregida en virtud de las variaciones que se prevé que ocurren entre A y B, y A y C. Por todo ello se dice que el sondeo A debe ser corregido, ya que el volumen del testigo es despreciable en relación al volumen que llevará su misma ley. Se asigna entonces distinto peso a los sondeos A, B y C, basándose en la relación potencia media/longitud de la malla (h/a) que designaremos con la letra "x". Asimismo, llamaremos:

- \bar{h} : potencia media
- a : longitud de la malla
- u : ley del sondeo A
- v : ley media de los sondeos B
- w : ley media de los sondeos C
- $1 - \lambda - \mu$: peso del sondeo A
- λ : peso de los sondeos B
- μ : peso de los sondeos C
- z : estimador de la ley del sondeo A

La ley corregida del sondeo A está dada por la fórmula:

$$z = (1 - \lambda - \mu)u + \lambda v + \mu w$$

En el Anexo 13 se presenta el gráfico que, en base al valor x, nos da los valores de λ y μ . Para cada caso están calculadas las fórmulas que permiten conocer el valor asintótico de x cuando es pequeño o grande y queda fuera de los límites del gráfico. Ilustraremos el ejemplo más complicado con los siguientes datos:

$$\begin{array}{ll} \bar{h} = 1,02 \text{ m} & u = 0,20 \% \\ a = 25 \text{ m} & v = 0,21 " \end{array}$$

$$x = 0,04 \text{ m}$$

$$w = 1,37 \%$$

Siendo muy pequeña la relación x , los valores de λ y μ no están dados por la curva y se deben calcular con las fórmulas:

$$\lambda = \frac{(0,4277 - \ln x) (0,5173 - 1/4 \ln x)}{0,9121 - 1,4739 \ln x + 9/16 (\ln x)^2} \longrightarrow \frac{4}{9}$$

$$\mu = \frac{(0,4277 - \ln x) (0,0841 - 1/4 \ln x)}{0,9121 - 1,4739 \ln x + 9/16 (\ln x)^2} \longrightarrow \frac{4}{9}$$

Reemplazando con los valores anotados se obtiene $\lambda = 0,42$ y $\mu = 0,28$, con lo que se tienen los datos exigidos por la fórmula del estimador z :

$$z = 0,30 \cdot 0,20 + 0,42 \cdot 0,21 + 0,28 \cdot 1,37 = 0,53 \%$$

Luego, la ley que se asigna al volumen de influencia de la perforación A es de 0,53 % y no de 0,20 %.

Reiterando el procedimiento para cada sondeo corrigen sus respectivas leyes, con las cuales se obtiene finalmente la estimación del fino para el sector cubierto por la red de sondeos.

También es posible conocer la precisión de la estimación, con el valor $1/3 \alpha \sigma_k^2$ dado por la curva del gráfico.

σ_k^2 es la varianza de extensión del estimador z , que en el presente caso, por ser x muy pequeño, se debe calcular con la fórmula:

$$1/3 \alpha \sigma_k^2 = 0,1777 - \ln x - (\lambda + \mu) (0,4277 - \ln x)$$

Despejando σ_k^2 y reemplazando α con el valor 0,15 se obtiene $\sigma_k^2 = 0,377$, cuya raíz cuadrada 0,61 es el desvío tipo de estimación del paño A en base a los 9 sondeos considerados, lo que significa que cabe esperar una fluctuación de la ley dentro de los siguientes límites:

$$0,53 e^{-\sigma E} = 0,53 \cdot e^{-0,61} = 0,53 \cdot 0,54 = 0,29 \%$$

$$0,53 e^{+\sigma E} = 0,53 \cdot e^{+0,61} = 0,53 \cdot 1,84 = 0,97 \%$$

La ejecución del plan de perforaciones según una malla irregular no permite la aplicación del corrector, concebido para una malla cuadrada en yacimientos isótropos. Es decir, que existen condiciones a respetar. Si estas condiciones no existieran, se procederá a operar con el método convencional recurriendo a la asignación de superficie de influencia según polígonos construí

dos sobre la semidistancia a los sondeos vecinos -en cuyo caso la potencia y la ley del sondeo serán las del paño- o según triángulos que permiten promediar los valores de sus vértices.

Una vez en posesión de los valores definitivos de potencia, ley y superficie en cada paño, es fácil calcular los tonelajes de mineral y de fino que se asentarán en las planillas finales ya descriptas.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- BLAIS, R. and CARLIER, A., Applications of geostatistics in ore evaluation, CIM Special Vol. 9, pp. 41-68, Montréal, 1968.
- CARLIER, A., Contribution aux méthodes d'estimation des gisements d'uranium, Thèse Fac. Sc. de l'Univ. de Paris, 1964.
- DAVID, M., The notion of extension variance and its application to the grade estimation of stratiform deposits, AIME Special Vol: "A decade of digital computing", pp. 63-81, New York, 1969.
- DAVIDS, N.C., Normas generales para la estimación de reservas, Inf. Inéd. CNEA, Buenos Aires, 1966.
- DAVIDS, N.C., Estimación de reservas del yacimiento Don Otto. Inf. Inéd. CNEA, Buenos Aires, 1963.
- DAVIDS, N.C., La Estadística aplicada al cálculo de reservas de yacimientos, IIIas. Jor. Geol. Arg., 1968.
- DAVIDS, N.C., El Corrector de Matheron. Su aplicación en el yacimiento Huemul. Inf. Inéd. CNEA, Buenos Aires, 1968.
- DAVIDS, N.C., Aplicaciones de la Geoestadística en la CNEA, 1er. Simp. Nac. Geol. Econ., pp. 407-417, Ed. Librat, Buenos Aires, 1971.
- DAVIDS, N.C., Estimación de reservas de los yacimientos Dr. Bautiñes y Los Reyunos, Inf. Inéd. CNEA, Buenos Aires, 1972.
- DAVIDS, N.C., Yacimiento Cerro Cóndor, Dpto. Paso de Indios, Prov. del Chubut, Inf. Inéd. CNEA, Buenos Aires, 1978.
- DODD, P.H.; DROULLARD, R.F.; MUDRA, P.J. and SCOTT, J.H., Quantitative interpretation of gamma-ray logs, U.S. Atomic Energy Comm., 1959.
- DE WIJS, H.J., Statistics of ore distribution, J. of the Roy, Netherlands Geol. and Min. Soc., 1952.
- FORMERY, P., Cours de Géostatistique, Ecole Polytechnique, Univ. de Montréal, 1964.
- GY, P., L'échantillonnage des minerais en vrac, Revue de l'Ind. Min., pp. 1-186, Saint-Etienne, France, 1967.
- JOURNEL, A.G., Geological reconnaissance to exploitation. A decade of applied Geostatistics, NATO, Advanced Study Institute, Rome, 1975.

KRIGE, D.G., A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand, M. Sc. Thesis, Univ. of the Witwatersrand, 1951.

LUCERO, H.N. y DAVIDS, N.C., Aplicación de criterios geoestadísticos al cálculo de reservas uraníferas. IVas. Jorn. Geol. Arg., 1969.

I N D I C E

	<u>Págs.</u>
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>CONCEPTOS FUNDAMENTALES</u>	2
III. <u>LAS CATEGORIAS DE RESERVAS</u>	8
III.1. <u>METODO CONVENCIONAL</u>	8
III.1.1. <u>Mineral Medido</u>	8
III.1.2. <u>Mineral Indicado</u>	8
III.1.3. <u>Mineral Inferido</u>	8
III.1.4. <u>Mineral Potencial</u>	8
III.2. <u>METODO GEOESTADISTICO</u>	9
III.2.1. <u>Reservas</u>	9
III.2.2. <u>Recursos</u>	9
III.2.3. <u>Perspectivas</u>	10
III.2.4. <u>Eventual sobre indicios</u>	10
III.2.5. <u>Eventual regional</u>	10
IV. <u>LOS RECURSOS URANIFEROS SEGUN EL OIEA</u>	11
IV.1. <u>RECURSOS RAZONABLEMENTE ASEGURADOS</u>	12
IV.2. <u>RECURSOS ADICIONALES ESTIMADOS</u>	12
V. <u>LOS TENORES DE CORTE</u>	12
VI. <u>CALIFICACION DEL MINERAL SEGUN EL GRADO DE DESARROLLO DE LOS TRABAJOS</u>	14
VI.1. <u>MINERAL GEOLOGICO</u>	14
VI.2. <u>MINERAL ECONOMICO</u>	14
VI.3. <u>MINERAL A EXTRAER</u>	14
VI.4. <u>MINERAL A TRATAR</u>	15
VII. <u>CONDUCTA PRACTICA EN LA ESTIMACION DE RESERVAS</u>	15
VII.1. <u>YACIMIENTO EXPLORADO MEDIANTE LABORES MINERAS</u>	15
VII.2. <u>YACIMIENTO EXPLORADO MEDIANTE PERFORACIONES</u>	20
VII.2.1. <u>Recta de correspondencia ra-t</u>	21
VII.2.2. <u>Método de la U.S. Atomic Energy Commission</u>	24
VII.2.3. <u>El Corrector de MATHERON</u>	25
VIII. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	29

C.M.E.A.
GERENCIA DE EXPLORACION
DELEGACIÓN

CÁLCULO DE POTENCIAS Y LEYES MEDIAS PONDERADAS PARA MUESTRAS FRACCIONADAS

YACIMIENTO
SECTOR
LABOR O SONDEO

te = 1,10 te = 0,74 te = 0,37
tcf = 0,47 tcf = 0,31 tcf = 0,15

MUESTRA PROGRES. O SONDEO	I DATOS ORIGINALES DEL MUESTREO					II PRECIO DEL CONC. < 30 U S / £			III PRECIO DEL CONC. 30-50 U S / £			IV PRECIO DEL CONC. > 50 U S / £			OBSERVACIONES			
	FRAC.	h	x	VALORES PARA EL CÁLCULO		FRACCIÓN	h	hx	x %	FRACCIÓN	h	hx	x %	FRACCIÓN		h	hx	x %
				RADIM.	GUIM.													
2	A	0,26	2,10		0,26	A	0,26	0,546		A	0,26	0,546		A	0,26	0,546		
	B	0,45	0,20		0,45	B	0,45	0,090		B	0,45	0,090		B	0,45	0,090		
	C	0,26	8,20		0,26	C	0,26	2,132		C	0,26	2,132		C	0,26	2,132		
	Σ	0,97			1,00		1,00	2,768	2,76		1,00	2,768	2,76		1,00	2,768	2,76	
4	Unica	0,85	0,10		1,00		1,00	0,085	0,08		1,00	0,085	0,08		1,00	0,085	0,08	
					1,10		1,10	0,660	0,60		1,10	0,660	0,60		1,10	0,660	0,60	
6	Unica	0,80	0,20		1,00		1,00	0,160	0,16		1,00	0,160	0,16		1,00	0,160	0,16	
					1,00		1,00	0,150	0,15		1,00	0,150	0,15		1,50	0,225	0,15	
12	A	0,57	2,30		0,57	A	0,57	1,311		A	0,57	1,311		A	0,57	1,311		
	B	0,38	0,10		0,38	B	0,38	0,038		B	0,38	0,038		B	0,38	0,038		
	Σ	0,95			1,00		1,00	1,349	1,34		1,00	1,349	1,34		1,00	1,349	1,34	
14	A	0,57	3,70		0,57	A	0,57	2,109		A	0,57	2,109		A	0,57	2,109		
	B	0,45	0,10		0,45	B	0,45	0,045		B	0,45	0,045		B	0,45	0,045		
	Σ	1,02			1,02		1,02	2,154	2,11		1,02	2,154	2,11		1,02	2,154	2,11	
16	A	0,96	4,70		0,96	A	0,96	4,512		A	0,96	4,512		A	0,96	4,512		
	B	0,54	0,10		0,04	B	0,04	0,004		B	0,04	0,004		B	0,04	0,004		
	Σ	1,50			1,00		1,00	4,516	4,51		1,00	4,516	4,51		1,00	4,516	4,51	

CALCULO DE POTENCIAS Y LEYES MEDIAS PONDERADAS PARA MUESTRAS FRACCIONADAS

C.N.E.A.

GERENCIA DE EXPLORACION

YACIMIENTO

SECTOR

LABOR O SONDEO

DELEGACIÓN

te = 1,10
tel = 0,47

te = 0,74
tel = 0,34

te = 0,37
tel = 0,15

te = 0,37
tel = 0,15

te = 0,37
tel = 0,15

te = 0,37
tel = 0,15

MUESTRA PROGRES.	I DATOS ORIGINALES DEL MUESTREO					II PRECIO DEL CONC. < 30 U S / E				III PRECIO DEL CONC. 30-50 U S / E				IV PRECIO DEL CONC. > 50 U S / E				OBSERVACIONES
	FRAC.	h	r	h x r	n x	FRACCION SELEC.	h	hx	h x %	FRACCION SELEC.	h	hx	h x %	FRACCION SELEC.	h	hx	h x %	
18	A	0,66	3,70	2,442	2,442	A	0,66	2,442	2,442	A	0,66	2,442	2,442	A	0,66	2,442	2,442	
	B	0,48	0,35	0,168	0,168	B	0,34	0,119	0,168	B	0,48	0,168	0,168	B	0,48	0,168	0,168	
	Σ	1,14		2,561	2,561		1,00		2,56		1,14	2,610	2,28		1,14	2,610	2,28	
20	A	0,80	2,90	2,320	2,320	A	0,80	2,320	2,320	A	0,80	2,320	2,320	A	0,80	2,320	2,320	
	B	0,38	3,60	1,368	1,368	B	0,38	1,368	1,368	B	0,38	1,368	1,368	B	0,38	1,368	1,368	
	Σ	1,18		3,688	3,688		1,18		3,12		1,18	3,688	3,12		1,18	3,688	3,12	
22	A	0,52	1,00	0,520	0,520	A	0,52	0,520	0,520	A	0,52	0,520	0,520	A	0,52	0,520	0,520	
	B	0,67	0,40	0,268	0,268	B	0,48	0,192	0,268	B	0,67	0,268	0,268	B	0,67	0,268	0,268	
	Σ	0,60	0,20	0,120	0,120	-	-	-	0,71		-	0,768	0,66		1,79	0,908	0,50	
24	A	0,45	0,35	0,157	0,157	A	0,45	0,157	0,157	A	0,45	0,157	0,157	A	0,45	0,157	0,157	
	B	0,23	7,60	1,748	1,748	B	0,23	1,748	1,748	B	0,23	1,748	1,748	B	0,23	1,748	1,748	
	Σ	0,72	0,18	0,130	0,130	-	-	-	2,26		-	2,313	2,26		1,74	2,443	1,40	
26	A	0,57	0,80	0,456	0,456	A	0,57	0,456	0,456	A	0,57	0,456	0,456	A	0,57	0,456	0,456	
	B	0,44	4,80	2,112	2,112	B	0,44	2,112	2,112	B	0,44	2,112	2,112	B	0,44	2,112	2,112	
	Σ	0,40	0,20	0,080	0,080	-	-	-	2,54		-	2,568	2,54		1,41	2,648	1,87	

Formulario N° F.A. 13-5-72

CÁLCULO DE POTENCIAS Y LEYES MEDIAS PONDERADAS PARA MUESTRAS FRACCIONADAS

YACIMIENTO
SECTOR
LABOR O SONDEO

C.N.E.A.
GERENCIA DE EXPLORACION
DELEGACION

$t_e = 1,10$ $t_e = 0,74$ $t_e = 0,37$
 $t_{ef} = 0,47\%$ $t_{ef} = 0,31\%$ $t_{ef} = 0,15\%$
 / 19 / 19 / 19 Fecha / / 19 Fecha / / 19 Fecha / / 19

MUESTRA PROGRES. O SONDEO	I DATOS ORIGINALES DEL MUESTREO					II PRECIO DEL CONC. $U\$/S/\%$				III PRECIO DEL CONC. $30-SO\$/S/\%$				IV PRECIO DEL CONC. $>50\ U\$/S/\%$				OBSERVACIONES
	FRAC.	h	x	RADIM	QUIM.	h	hx	x %	h	hx	x %	h	hx	x %	h	hx	x %	
28	A	0,37	2,90			0,37	1,073		0,37	1,073		0,37	1,073		0,37	1,073		
	B	0,39	vest.			0,39	—		0,39	—		0,39	—		0,39	—		
	C	0,40	0,34			0,24	0,081		0,40	0,136		0,40	0,136		0,40	0,136		
	D	0,20	0,15			—	—		—	—		—	—		—	—		
	Σ	1,36				1,00	1,154	1,15	1,16	1,209	1,04	1,36	1,239	0,91	1,36	1,239	0,91	
30	A	0,25	0,20			0,25	0,050		0,25	0,050		0,25	0,050		0,25	0,050		
	B	0,28	9,40			0,28	2,632		0,28	2,632		0,28	2,632		0,28	2,632		
	C	0,30	vest.			0,30	—		0,30	—		0,30	—		0,30	—		
	D	0,32	0,15			0,17	0,025		0,17	0,025		0,17	0,025		0,32	0,048		
	Σ	1,15				1,00	2,707	2,70	1,00	2,707	2,70	1,15	2,730	2,37	1,15	2,730	2,37	
32	Unica	0,95	1,50			1,00	1,425	1,42	1,00	1,425	1,42	1,00	1,425	1,42	1,00	1,425	1,42	
	Unica	0,98	1,20			1,00	1,176	1,17	1,00	1,176	1,17	1,00	1,176	1,17	1,00	1,176	1,17	
36	Unica	1,10	0,90			1,10	0,990	0,90	1,10	0,990	0,90	1,10	0,990	0,90	1,10	0,990	0,90	
	Unica	1,00	0,80			1,00	0,800	0,80	1,00	0,800	0,80	1,00	0,800	0,80	1,00	0,800	0,80	
40	Unica	1,00	1,40			1,00	1,400	1,40	1,00	1,400	1,40	1,00	1,400	1,40	1,00	1,400	1,40	
	Unica	1,05	2,10			1,05	2,205	2,10	1,05	2,205	2,10	1,05	2,205	2,10	1,05	2,205	2,10	
44	Unica	1,10	1,70			1,10	1,870	1,70	1,10	1,870	1,70	1,10	1,870	1,70	1,10	1,870	1,70	
	Unica	1,10	1,70			1,10	1,870	1,70	1,10	1,870	1,70	1,10	1,870	1,70	1,10	1,870	1,70	

Hoja N°

V 1256/14

Cálculo de Potencia y Ley Media

C. N. E. A.
Gerencia de Materias Primas

Yacimiento

Sector

Lado

Fecha / / 196

Penon I

Lado A

Fecha / / 196

Delegación

Fecha / / 196

Fecha / / 196

Fecha / / 196

Muestra, Progresiva o Sonda	Precio del Conc. hasta 30 US\$/Libra				Precio del Conc. 30-50 US\$/Libra				Precio del Conc. > 50 US\$/Libra			
	h	U ₃ U ₃ o/oo	h x	h x U ₃ U ₃	h	U ₃ U ₃ o/oo	h x	h x U ₃ U ₃	h	U ₃ U ₃ o/oo	h x	h x U ₃ U ₃
2	1,00	2,76	2,76	2,768	1,00	2,76	2,76	2,768	1,00	2,76	2,76	2,768
4	1,00	0,08	0,08	0,085	1,00	0,08	0,08	0,085	1,00	0,08	0,08	0,085
6	1,10	0,60	0,60	0,650	1,10	0,60	0,60	0,650	1,10	0,60	0,60	0,650
8	1,00	0,16	0,16	0,160	1,00	0,16	0,16	0,160	1,00	0,16	0,16	0,160
10	1,00	0,15	0,15	0,150	1,00	0,15	0,15	0,150	1,50	0,15	0,225	0,225
12	1,00	1,34	1,34	1,342	1,00	1,34	1,34	1,342	1,00	1,34	1,34	1,342
14	1,02	2,11	2,11	2,154	1,02	2,11	2,11	2,154	1,02	2,11	2,11	2,154
16	1,00	4,51	4,51	4,516	1,00	4,51	4,51	4,516	1,50	3,04	4,566	4,566
18	1,00	2,56	2,56	2,561	1,14	2,28	2,28	2,610	1,14	2,28	2,610	2,610
20	1,18	3,12	3,12	3,688	1,18	3,12	3,12	3,688	1,18	3,12	3,688	3,688
22	1,00	0,71	0,71	0,712	1,19	0,66	0,66	0,778	1,79	0,50	0,908	0,908
24	1,02	2,26	2,26	2,313	1,02	2,26	2,26	2,313	1,74	1,40	2,443	2,443
26	1,01	2,54	2,54	2,568	1,01	2,54	2,54	2,568	1,41	1,87	2,648	2,648
28	1,00	1,15	1,15	1,154	1,16	1,04	1,04	1,209	1,36	0,91	1,239	1,239
30	1,00	2,70	2,70	2,707	1,00	2,70	2,70	2,707	1,15	2,37	2,730	2,730
32	1,00	1,42	1,42	1,425	1,00	1,42	1,42	1,425	1,00	1,42	1,425	1,425
34	1,00	1,17	1,17	1,176	1,00	1,17	1,17	1,176	1,00	1,17	1,176	1,176
36	1,10	0,90	0,90	0,990	1,10	0,90	0,90	0,990	1,10	0,90	0,990	0,990
38	1,00	0,80	0,80	0,800	1,00	0,80	0,80	0,800	1,00	0,800	0,800	0,800
40	1,00	1,40	1,40	1,400	1,00	1,40	1,40	1,400	1,00	1,40	1,400	1,400
42	1,05	2,10	2,10	2,205	1,05	2,10	2,10	2,205	1,05	2,10	2,205	2,205
44	1,10	1,70	1,70	1,870	1,10	1,70	1,70	1,870	1,10	1,70	1,870	1,870
46	1,00	1,71	1,71	1,710	1,00	1,71	1,71	1,710	1,00	1,71	1,710	1,710
48	1,00	1,20	1,20	1,200	1,00	1,20	1,20	1,200	1,00	1,20	1,200	1,200
Σ	24,58			40,321	25,07			40,490	28,14			41,009

N = 24
h = A: N = 1,02 m
U₃ U₃ o/oo = B: A = 1,64

N = 24
h = A: N = 1,04 m
U₃ U₃ o/oo = B: A = 1,61

N = 24
h = A: N = 1,17 m
U₃ U₃ o/oo = B: A = 1,45

o/oo = C: A =
o/oo = C: A =
o/oo = C: A =

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{0,900}{24} = \frac{0,037}{+0,037} = \log G$$

antilog 0,037

$$\gamma = 1,222$$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \overline{\log x}^2}{N \log G^2} = \frac{3,990}{0,033} = \frac{N}{3,957} : 24 = 0,164 \cdot 5,3 = 0,869$$

$$\sigma^2 = 0,869$$

$$\sigma = 0,933$$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$m_a =$

$$m_a =$$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{hx}}{m'_h} = \frac{40,321}{24,70}$$

$$m_{ap} = 1,64$$

A. Cálculo del coeficiente de dispersión absoluto α (Fórmula de Matheron-Wijs)

$$\sigma^2 = 3 \alpha \ln \frac{D}{d}$$

D = equivalente lineal del volumen del yacimiento $\# A + B + \frac{C}{2} = 52 + 30 + \frac{0,51}{2} = 82,51$
d = equivalente lineal del volumen de la muestra $\# a + b + \frac{c}{2} = 1,02 + 0,05 + \frac{0,01}{2} = 1,08$
C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \ln \frac{D}{d}} = \frac{0,869}{3 \ln \frac{82,51}{1,08}} = \frac{0,869}{13} = 0,066$$

1. Varianzas de muestreo

a) de canaletas (por exceso): $\sigma_u^2 = \frac{\sigma^2}{N} + \frac{\sigma^4}{2N} \approx \frac{0,869}{24} + \frac{0,755}{40} = 0,036 + 0,015$
b) de correspondencia radimétrica: $\sigma_w^2 = \frac{2 \sigma_y^2 (1 - r^2) + \sigma_y^4 (1 - r^4)}{2n}$

$$\sigma_u^2 = 0,051$$

σ_y^2 = Varianza de las leyes de las vagonetas, skips, etc.
n = Número de vagonetas.
r = Coeficiente de correlación Radiactividad-Ley.

$$\sigma_w^2 =$$

c) de cuarteo: $\sigma_d^2 = \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) C d^3$ (fórmula de G y)

- P' = Peso de la muestra.
- P = Peso del lote a muestrear.
- C = Parámetro de muestreo.
- d = Diámetro del tamiz que retiene 5-10 % de los productos a la granulometría de P.

Varianza global: $\sigma_0^2 = \sigma_{q_1}^2 + \sigma_{q_2}^2 + \dots + \sigma_{q_n}^2 = \sum \sigma_{q_i}^2$

$$\sigma_0^2 =$$

2. Varianzas de extensión

Anexo 5 (3)

a) de filón reconocido por galerías en dirección: $\sigma_v^2 = a \frac{\pi}{2} \frac{S}{L^2} = 0,066 \frac{3,74 \cdot 1550}{2 \cdot 2704} = \sigma_v^2 = 0,059$

b) de sondeos: $\sigma_v^2 = \frac{\sigma_s^2 - \sigma_z^2 - \frac{3a}{2}}{N}$

σ_s^2 = Varianza logarítmica de los sondeos en el yacimiento.

σ_z^2 = Varianza logarítmica de las zonas de influencia en el yacimiento.

N = Número de sondeos.

c) de "amas": ley de la "section" (ver 2 a).

ley de la "tranche" (ver ábaco).

Varianza de estimación $\sigma_E^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2 = 0,051 + 0,059 = 0,110$

Desvío de estimación:

$\sigma_v^2 = 0,059$
$\sigma_v^2 =$
$\sigma_E^2 = 0,110$
$\sigma_E = 0,332$
$2\sigma_E = 0,664$

A. Precisión al nivel de certidumbre de 68 % $\pm \sigma_E$

Si σ_E es grande

Máximo = $m \cdot e^{+\sigma_E} = 2,28\%$

Mínimo = $m \cdot e^{-\sigma_E} = 1,18\%$

Si σ_E es pequeño

Máximo = $m \cdot (1 + \sigma_E) = 1,64(1+0,332) = 2,18\%$

Mínimo = $m \cdot (1 - \sigma_E) = 1,64(1-0,332) = 1,10\%$

B. Precisión al nivel de certidumbre de 95 % $\pm 2\sigma_E$

Si $2\sigma_E$ es grande

Máximo = $m \cdot e^{+2\sigma_E} = 3,18\%$

Mínimo = $m \cdot e^{-2\sigma_E} = 0,84\%$

Si $2\sigma_E$ es pequeño

Máximo = $m \cdot (1 + 2\sigma_E) = 1,64(1+0,664) = 2,72\%$

Mínimo = $m \cdot (1 - 2\sigma_E) = 1,64(1-0,664) = 0,55\%$

C. Construcción de una recta de correspondencia de y en x

$r = \frac{\sigma_y^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{y/x}^2}{2\sigma_y\sigma_x} =$

$P = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} r$, pendiente de la recta sobre papel bilog.

La recta de regresión (R) pasa por el punto A (Log γ_y , Log γ_x).

La recta de correspondencia (C) está trasladada hacia arriba de:

$d = \frac{0,434(1 - r^2)\sigma_y^2}{2}$ Emm, siendo E el módulo del papel bilog.

Precisión de la recta de correlación según 1 b = $2\sigma_w$ (al nivel de certidumbre 95 %) =

DEPENDENCIA	YACIMIENTO	Estudiado el:	Muestra
Objeto del estudio:		por:	Tipo:
Dato estudiado: ..hx.....			Volumen:

Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acumulada	n	Límite inferior x	Log x	n log x	$\frac{---^2}{n \log x}$	
0,1	/		24	1	0,079	-1,1	1,100	1,210	
0,126					0,1	-1,0			
0,158	/		23	1	0,126	-0,9	0,900	0,810	
0,199	/		22	1	0,168	-0,8	0,800	0,640	
0,251					0,199	-0,7			
0,316					0,251	-0,6			
0,398					0,316	-0,5			
0,501					0,398	-0,4			
0,631					0,501	-0,3			
0,794	L		21	2	0,631	-0,2	0,400	0,080	
1,0	L		19	2	0,794	-0,1	0,200	0,020	
1,26	U		17	3	1,0	0,0	-		
1,58	U		14	3	1,26	0,1	0,300	0,030	
1,99	L		11	2	1,58	0,2	0,400	0,080	
2,51	U		9	3	1,99	0,3	0,900	0,270	
3,16	□		6	4	2,51	0,4	1,600	0,640	
3,98	/		2	1	3,16	0,5	0,500	0,250	
5,01	/		1	1	3,98	0,6	0,600	0,360	
6,31					5,01	0,7			
7,94					6,31	0,8			
10,0					7,94	0,9			
12,6					10,0	1,0			
15,8					12,6	1,1			
19,9					15,8	1,2			
25,1					19,9	1,3			
31,6					25,1	1,4			
39,8					31,6	1,5			
50,1					39,8	1,6			
63,1					50,1	1,7			
79,4					63,1	1,8			
100					79,4	1,9			
					100	2,0	+300		
N: Número de muestras ponderadas.				24				0,900	4,390
N': Número de muestras no ponderadas.				N				$\Sigma n \log x$	$\Sigma n \log x$

Formulario No 31 -1-78

Mediana γ

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{0,900}{24} = \frac{0,037}{+0,05} = \log G$$

antilog 0,037

$\gamma = 1,222$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \log^2 x}{N \log G^2} = \frac{4,380}{\frac{0,033}{4,357} : 24} = 0,131 \cdot 5,3 =$$

$\sigma^2 = 0,959$

$\sigma = 0,979$

Desvío tipo σ

$m_a = 1,620$

$m_a = 1,620$

$m_{10} =$

Media aritmética

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{10}}{m'_2}$$

A. Cálculo del coeficiente de dispersión absoluto α (Fórmula de Matheron-Wijs)

$D =$ equivalente lineal del volumen del yacimiento $= A + B + \frac{C}{2} = 82,51$
 $d =$ equivalente lineal del volumen de la muestra $= a + b + \frac{c}{2} = 1,08$
 C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \ln \frac{D}{d}} = \frac{0,959}{3 \ln \frac{82,51}{1,08}} = \frac{0,959}{13} = 0,073$$

1. Varianzas de muestreo

a) de canaletas (por exceso): $\sigma_a^2 = \frac{\sigma^2}{N^2} + \frac{\sigma^4}{2N^2} = \frac{0,959}{24^2} + \frac{0,919}{2 \cdot 24^2} = 0,039 + 0,019$
 b) de correspondencia radimétrica: $\sigma_w^2 = \frac{2\sigma^2(1-r^2) + \sigma^4(1-r^2)}{2n}$

$\sigma_a^2 = 0,058$

$\sigma_y^2 =$ Varianza de las leyes de las vagonetas, skips, etc.

$n =$ Número de vagonetas.

$r =$ Coeficiente de correlación Radiactividad-Ley.

$\sigma_y^2 =$

c) de guarteo: $\sigma_d^2 = \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) C d^3$ (fórmula de Gy)

$P' =$ Peso de la muestra.

$P =$ Peso del lote a muestrear.

$C =$ Parámetro de muestreo.

$d =$ Diámetro del tamiz que retiene 5-10 % de los productos a la granulometría de P.

Varianza global: $\sigma_0^2 = \sigma_{a_1}^2 + \sigma_{a_2}^2 + \dots + \sigma_{a_n}^2 = \sum \sigma_{a_i}^2$

$\sigma_0^2 =$

2. Varianzas de extensión

a) de filón reconocido por galerías en dirección: $\sigma_v^2 = a \frac{\pi}{2} \frac{S}{L^2} 0,073 \frac{3,14}{2} = \frac{1560}{2,104}$

$\sigma_v^2 = 0,066$

b) de sondeos: $\sigma_v^2 = \frac{\sigma_s^2 - \sigma_z^2 - \frac{3a}{1}}{N}$

σ_s^2 = Varianza logarítmica de los sondeos en el yacimiento.

$\sigma_v^2 =$

σ_z^2 = Varianza logarítmica de las zonas de influencia en el yacimiento.

N = Número de sondeos.

c) de "amas": ley de la "section" (ver 2 a).

ley de la "tranche" (ver ábaco).

Varianza de estimación σ_E^2 $\sigma_E^2 = \sigma_a^2 + \sigma_v^2 + \sigma_u^2 = 0,058 + 0,066 = 0,124$

$\sigma_E^2 = 0,124$

Desvío de estimación:

$\sigma_E = 0,352$

$2 \sigma_E = 0,704$

A. Precisión al nivel de certidumbre de 68 % $\pm \sigma_E$

Si σ_E es grande

Máximo = $m \cdot e^{+\sigma_E} =$

Mínimo = $m \cdot e^{-\sigma_E} =$

Si σ_E es pequeño

Máximo = $m \cdot (1 + \sigma_E) = 5480(1 + 0,352) = 7408 \text{ Kg}$

Mínimo = $m \cdot (1 - \sigma_E) = 5480(1 - 0,352) = 3551 \text{ Kg}$

B. Precisión al nivel de certidumbre de 95 % $\pm 2 \sigma_E$

Si $2 \sigma_E$ es grande

Máximo = $m \cdot e^{+2\sigma_E} =$

Mínimo = $m \cdot e^{-2\sigma_E} =$

Si $2 \sigma_E$ es pequeño

Máximo = $m \cdot (1 + 2 \sigma_E) = 5480(1 + 0,704) = 9351 \text{ Kg}$

Mínimo = $m \cdot (1 - 2 \sigma_E) = 5480(1 - 0,704) = 1622 \text{ Kg}$

C. Construcción de una recta de correspondencia de y en x

$r = \frac{\sigma_y^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{y/x}^2}{2 \sigma_y \sigma_x} =$

$P = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} r$, pendiente de la recta sobre papel bilog.

La recta de regresión (R) pasa por el punto A ($\ln y_0, \ln x_0$).

La recta de correspondencia (C) está trasladada hacia arriba de:

$d = \frac{0,434 (1 - r^2) \sigma_y^2}{2} E^{mm}$, siendo E el módulo del papel bilog.

Precisión de la recta de correlación según $1 b = 2 \sigma_w$ (al nivel de certidumbre 95 %) =

C.N.E.A.
GERENCIA DE EXPLORACION

CUADRO ANALITICO DE RESERVAS

CATEGORIA	UNIDAD ESTUDIADA	EXPLOTADO			PREVISIONES											
		4 Entregado 3 Sacado 2 Económico (En condiciones de explotación) 1 Geológico ($h \times \geq 0.15$)			2 ECONOMICO (EN CONDICIONES DE EXPLOTACION) 1 GEOLOGICO ($x \geq 0.15$ ‰ U_3O_8 ; $h \times$)											
		Mineral en t	U ₃ O ₈		Densidad Mineral Seco	Ley d. Corte en ‰			Superficie del Cuerpo m ²	Mineral Seco en t	U ₃ O ₈		Coeficiente dispersión absoluto		Preciación %	
			t	‰		Paños Antes Prepar.	Franjas Marg.	Potencia Mineralizada			t	‰	α_x	α_{hx}	σ_{E_i}	$\sigma_{E_{h_i}}$
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
I				2,1			1,02	1.562	3.341	5.480	1,64	0,066	0,073	33	35	
II				2,1			1,00	740	1.379	2.643	1,52	0,085	0,095	38	36	
III				2,1			1,01	2.028	4.813	5.969	1,24	0,064	0,072	42	40	
TOTAL RESERVAS								4.330	9.533	14.092	1,48					
IV				2,1			1,01	994	2.359	7.479	3,17	1,006	1,008	57	54	
V				2,1			1,02	752	1.802	4.578	2,54	1,720	1,801	63	61	
TOTAL RECURSOS								1.746	4.161	12.057	2,89					
VI				2,1			1,05	1.165	2.874	6.812	2,70					
VII				2,1			1,06	2.748	6.678	23.714	3,40					
TOTAL PERSPECTIVAS								3.913	9.552	30.526	3,19					

Formulario N° 316
10 - 3 - 75

CUADRO ANALITICO DE RESERVAS

PREVISIONES

CATEGORIA	UNIDAD ESTUDIADA	CARACTERISTICAS DE LA EXPLOTACION																											
		METODOS DE EXPLOTACION						PERDIDAS Puentes, Pilares, etc.			OTRAS PERDIDAS Reflenos, Transportes, etc.			DILUCCION			TONELAJE Y LEY ANTES DEL CORTE DE PILARES			LEYES DE CORTE EN %									
		Mineral		U ₃ O ₈		Mineral		U ₃ O ₈		Mineral		U ₃ O ₈		Mineral		U ₃ O ₈		Mineral Seco en t		U ₃ O ₈		Pisos Prepar.		Merg.		Pilar Post.		Super.	
		%	Tonelaje	%	t	%	Tonelaje	%	t	%	Tonelaje	%	t	%	Tonelaje	%	t	%	t	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈
1	?	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37									
	I	10	334	5	274					20	601																	0,32	
	II	8	139	8	211					30	480																	0,32	
	III	5	240	5	298					15	685																	0,32	
	TOTAL RESERVAS		713		783						1.766																		
	IV	10	235	10	748					20	424																	0,32	
	V	10	180	10	458					20	324																	0,32	
	TOTAL RECURSOS		416		1.206						748																		
	VI																												
	VII																												
	TOTAL PERSPECTIVAS																												

C.N.E.A. GERENCIA DE EXPLORACION		DELEGACION: PRECIO DEL CONC.:		YACIMIENTO: U\$/lb AL:			
CATEGORIA	UNIDAD ESTUDIADA	PREVISIONES					OBSERVACIONES
		4 A TRATAR 3 (A EXTRAER)					
		MINERAL		U ₃ O ₈			
		Rendimiento %	Peso Seco en t	Rendimiento %	Peso en t	Ley ‰	
1	2	38	39	40	41	42	
	I	87	3.139	98	5,102	1,62	
		100	3.608	100	5,206	1,44	
	II	100	2.079	100	2,431	1,17	
	III	100	5.258	100	5,670	1,08	
	TOTAL RESERVAS	100	10.945	100	13,307	1,21	
	IV	100	2.548	100	6,731	2,64	
	V	100	1.945	100	4,120	2,11	
	TOTAL RECURSOS	100	4.493	100	10,851	2,41	
	VI		2.874		6,812	2,70	
	VII		6.678		23,714	3,40	
	TOTAL PERSPECTIVAS		9.552		30.526	3,19	

RESERVAS RESUMEN GENERAL

OBSERVACIONES

YACIMIENTOS	C - INFERIDO PERSPECTIVAS			A + B			A + B + C			E + A + B + C		
	PRECISION AL NIVEL DE 2 0g	Mineral	Us/Og	Us/Og	Us/Og	M	Us/Og	Us/Og	Us/Og	M	Us/Og	Us/Og
		en t	*/100	en Kg.	*/100	en Kg.	Mineral en t	*/100	en Kg.	*/100	en Kg.	*/100
A		117.000	1,2	145.000		257.000	1,2	335.000		374.000	1,2	452.000
		118.000	1,1	145.000		252.000	1,2	324.000		420.400	1,2	518.000
B						7.100	3,6	25.500		7.100	3,6	25.500
						6.500	4,1	27.700		8.200	4,5	37.700
C						16.000	0,4	7.000		16.000	0,4	7.000
						15.000	0,2	7.400		15.000	0,2	7.400
SUBTOTAL DISTRITO A B C		117.000	1,2	145.000		280.100	1,2	337.500		397.100	1,2	472.100
		118.000	1,1	145.000		283.500	1,2	358.100		423.500	1,2	513.100
B		23.200	1,5	41.000		110.500	1,2	216.000		133.700	1,2	250.000
		22.800	1,5	41.000		101.500	1,2	212.100		133.000	1,2	246.100
F		145.200	1,3	229.000		302.600	1,4	553.500		537.400	1,4	837.600
		143.500	1,3	229.000		294.700	1,5	529.200		521.500	1,5	772.500
SUBTOTAL DISTRITO B F		175.500	1,3	233.000		401.100	1,2	759.600		675.700	1,2	1.022.600
		175.300	1,3	233.000		395.200	1,2	752.300		661.500	1,2	1.015.300
TOTAL		292.600	1,3	378.000		781.200	1,4	1.107.200		1.073.300	1,4	1.485.200
		293.500	1,3	378.000		782.400	1,5	1.189.600		1.063.000	1,5	1.552.400

DEPENDENCIA	YACIMIENTO	Estudiado el:	Muestra
Objeto del estudio: <u>RECTA EBERLINE</u>	<u>ANEXO 9</u>	por:	Tipo:
Dato estudiado: <u>73</u>			Volumen:

Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acumulada	n	Límite inferior x	Log x	n log x	n log x ²
0,1					0,079	-1,1		
0,126					0,1	-1,0		
0,158					0,126	-0,9		
0,199					0,158	-0,8		
0,251					0,199	-0,7		
0,316	□		32	4	0,251	-0,6	-2,4	1,44
0,398	/		28	1	0,316	-0,5	-0,5	0,25
0,501	□L		27	6	0,398	-0,4	-2,4	0,96
0,631	□L		21	7	0,501	-0,3	-2,1	0,63
0,794	L		14	2	0,631	-0,2	-0,4	0,08
1,0	/		12	1	0,794	-0,1	-0,1	0,01
1,26	L		11	2	1,0	0,0	-7,9	
1,58	□		9	4	1,26	0,1	0,4	0,04
1,99	□		5	4	1,58	0,2	0,8	0,16
2,51					1,99	0,3		
3,16					2,51	0,4		
3,98	/		1	1	3,16	0,5	0,5	0,25
5,01					3,98	0,6		
6,31					5,01	0,7		
7,94					6,31	0,8		
10,0					7,94	0,9		
12,6					10,0	1,0		
15,8					12,6	1,1		
19,9					15,8	1,2		
25,1					19,9	1,3		
31,6					25,1	1,4		
39,8					31,6	1,5		
50,1					39,8	1,6		
63,1					50,1	1,7		
79,4					63,1	1,8		
100					79,4	1,9		
					100	2,0	+1,7	

N: Número de muestras ponderadas.	32		- 6,2	3,82
N': Número de muestras no ponderadas.	N		Σ n log x	Σ n log x ²

Mediana γ

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{-6,2}{32} = \frac{-0,193}{+0,05} = \log G$$

antilog $\frac{-0,143}{1,857}$

ANEXO 9 (2)

$\gamma_{50} = 0,719$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \overline{\log x}^2}{N \log G^2} = \frac{3,82}{2,63} = 1,45$$

$$N \log G^2 = \sum n \log x \cdot \log G = -1,19 \quad \downarrow$$

$$2,63 : 32 = 0,082 \quad \cdot 5,3 = 0,434$$

$\sigma_{ra}^2 = 0,434$
$\sigma_{ra} = 0,659$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$m_a =$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{nx}}{m'_n}$$

$m_a =$
$m_{ap} =$

A. Cálculo del coeficiente de dispersión absoluto α (Fórmula de Matheron-Wijs)

$$\sigma^2 = 3 \alpha \ln \frac{D}{d}$$

D = equivalente lineal del volumen del yacimiento = $A + B + \frac{C}{2} =$
d = equivalente lineal del volumen de la muestra = $a + b + \frac{c}{2} =$
C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \ln \frac{D}{d}}$$

1. Varianzas de muestreo

- a) de canaletas (por exceso): $\sigma_a^2 = \frac{\sigma^2}{N'} + \frac{\sigma^4}{2N'}$
- b) de correspondencia radimétrica: $\sigma_w^2 = \frac{2 \sigma_y^2 (1 - r^2) + \sigma_y^4 (1 - r^4)}{2n}$

$\sigma_a^2 =$

σ_y^2 = Varianza de las leyes de las vagonetas, skips, etc.

n = Número de vagonetas.

r = Coeficiente de correlación Radiactividad-Ley.

$\sigma_w^2 =$

- c) de cuarteo: $\sigma_q^2 = \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) C d^3$ (fórmula de Gy)

P' = Peso de la muestra.

P = Peso del lote a muestrear.

C = Parámetro de muestreo.

d = Diámetro del tamiz que retiene 5-10 % de los productos a la granulometría de P.

Varianza global: $\sigma_0^2 = \sigma_{q_1}^2 + \sigma_{q_2}^2 + \dots + \sigma_{q_n}^2 = \sum \sigma_{q_i}^2$

$\sigma_q^2 =$

DEPENDENCIA	YACIMIENTO	Estudiado el:	Muestra
Objeto del estudio:	RECTA EBERLINE	por:	Tipo:
Dato estudiado:	X		Volumen:

Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acumulada	n	Límite inferior x	Log x	n log x	n log x ²
0,1					0,079	-1,1		
0,125					0,1	-1,0		
0,158					0,126	-0,9		
0,199					0,158	-0,8		
0,251					0,199	-0,7		
0,316					0,251	-0,6		
0,398					0,316	-0,5		
0,501	OL		32	6	0,398	-0,4	- 2,4	0,96
0,631	L		26	3	0,501	-0,3	- 0,9	0,27
0,794	L		23	4	0,631	-0,2	- 0,8	0,16
1,0	OL		19	6	0,794	-0,1	- 0,6	0,06
1,26					1,0	0,0	-4,7	
1,58	L		13	2	1,26	0,1	0,2	0,02
1,99	L		11	3	1,58	0,2	0,6	0,12
2,51	OL		8	6	1,99	0,3	1,8	0,54
3,16	/		2	1	2,51	0,4	0,4	0,16
3,98	/		1	1	3,16	0,5	0,5	0,25
5,01					3,98	0,6		
6,31					5,01	0,7		
7,94					6,31	0,8		
10,0					7,94	0,9		
12,6					10,0	1,0		
15,8					12,6	1,1		
19,9					15,8	1,2		
25,1					19,9	1,3		
31,6					25,1	1,4		
39,8					31,6	1,5		
50,1					39,8	1,6		
63,1					50,1	1,7		
79,4					63,1	1,8		
100					79,4	1,9		
					100	2,0	+3,5	

N: Número de muestras ponderadas.	32		- 1,2	2,54
N': Número de muestras no ponderadas.	N		$\Sigma n \log x$	$\Sigma n \log x^2$

Mediana γ

ANEXO 10 (2)

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{-1,20}{+0,05} = -0,037 = \log G$$

antilog 0,013

$\bar{x} = 1,030$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \overline{\log x}^2}{N \log G^2} = \frac{2,54}{0,04} = \frac{N}{2,50} \downarrow$$

$$N \log G^2 = \sum n \log x \cdot \log G = - \frac{2,54}{2,50} : 32 = 0,078 \quad \cdot 5,3 = 0,413$$

$\sigma_x^2 = 0,413$
$\sigma = 0,643$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$m_a =$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{hx}}{m'_h}$$

$m_1 =$
$m_{1,2} =$

A. Cálculo del coeficiente de dispersión absoluto α (Fórmula de Matheron-Wijs)

$$\sigma^2 = 3 \alpha \ln \frac{D}{d}$$

D = equivalente lineal del volumen del yacimiento $\# A + B + \frac{C}{2} =$

d = equivalente lineal del volumen de la muestra $\# a + b + \frac{c}{2} =$

C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \ln \frac{D}{d}}$$

1. Varianzas de muestreo

a) de canaletas (por exceso): $\sigma_u^2 = \frac{\sigma^2}{N} + \frac{\sigma^4}{2N}$

$\sigma_u^2 =$

b) de correspondencia radimétrica: $\sigma_w^2 = \frac{2 \sigma_y^2 (1 - r^2) + \sigma_y^4 (1 - r^4)}{2n}$

σ_y^2 = Varianza de las leyes de las vagonetas, skips, etc.

n = Número de vagonetas.

r = Coeficiente de correlación Radiactividad-Ley.

$\sigma_w^2 =$

c) de garteo: $\sigma_q^2 = \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) C d^3$ (fórmula de G y)

P' = Peso de la muestra.

P = Peso del lote a muestrear.

C = Parámetro de muestreo.

d = Diámetro del tamiz que retiene 5-10 % de los productos a la granulometría de P.

Varianza global: $\sigma_0^2 = \sigma_{q_1}^2 + \sigma_{q_2}^2 + \dots + \sigma_{q_n}^2 = \sum \sigma_{q_i}^2$

$\sigma_0^2 =$

DEPENDENCIA		YACIMIENTO		Estudiado el:		Muestra		
Objeto del estudio:		RECTA EBERLINE ANEXO 11		por:		Tipo:		
Dato estudiado:		X/ra				Volumen:		
Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acumulada	n	Limite inferior x	Log x	n log x	$\frac{1}{n} \log x^2$
0,1					0,079	-1,1		
0,126					0,1	-1,0		
0,158					0,126	-0,9		
0,199					0,158	-0,8		
0,251					0,199	-0,7		
0,316					0,251	-0,6		
0,398					0,316	-0,5		
0,501					0,398	-0,4		
0,631					0,501	-0,3		
0,794					0,631	-0,2		
1,0					0,794	-0,1		
1,26	□L		32	6	1,0	0,0	-	-
1,58	□□□□□□		26	21	1,26	0,1	2,1	0,21
1,99	□		5	3	1,58	0,2	0,6	0,12
2,51	L		2	2	1,99	0,3	0,6	0,18
3,16					2,51	0,4		
3,98					3,16	0,5		
5,01					3,98	0,6		
6,31					5,01	0,7		
7,94					6,31	0,8		
10,0					7,94	0,9		
12,6					10,0	1,0		
15,8					12,6	1,1		
19,9					15,8	1,2		
25,1					19,9	1,3		
31,6					25,1	1,4		
39,8					31,6	1,5		
50,1					39,8	1,6		
63,1					50,1	1,7		
79,4					63,1	1,8		
100					79,4	1,9		
					100	2,0	3,3	
N: Número de muestras ponderadas.				32			3,3	0,51
N': Número de muestras no ponderadas.				N			$\sum n \log x$	$\sum n \log x^2$

Mediana γ

ANEXO 11 (2)

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{3,3}{32} = \frac{0,103}{+ 0,05} = \log G$$

antilog 0,153

$\frac{\sum x}{n} = 1,422$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \overline{\log x}^2}{N \log G^2} = \frac{0,51}{0,34} = \frac{N}{0,17} = 0,005 \cdot 5,3 = 0,026$$

$\frac{\sigma^2}{x^2} = 0,026$
$\frac{\sigma}{x} = 0,152$

Desvío tipo σ

$m_a =$

Media aritmética

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{hx}}{m'_h}$$

$m_a =$
$m_{ap} =$

A. Cálculo del coeficiente de dispersión absoluto α (Fórmula de Matheron-Wijs)

$$\sigma^2 = 3 \alpha \ln \frac{D}{d}$$

D = equivalente lineal del volumen del yacimiento $\# A + B + \frac{C}{2} =$
d = equivalente lineal del volumen de la muestra $\# a + b + \frac{c}{2} =$
C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \ln \frac{D}{d}}$$

1. Varianzas de muestreo

a) de canaletas (por exceso): $\sigma_u^2 = \frac{\sigma^2}{N'} + \frac{\sigma^4}{2N'^2}$

$\sigma_u^2 =$

b) de correspondencia radiométrica: $\sigma_w^2 = \frac{2 \sigma_y^2 (1 - r^2) + \sigma_y^4 (1 - r^4)}{2n}$

σ_y^2 = Varianza de las leyes de las vagonetas, skips, etc.

n = Número de vagonetas.

r = Coeficiente de correlación Radiactividad-Ley.

$\sigma_w^2 =$

c) de cuarteo: $\sigma_q^2 = \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) C d^3$ (fórmula de Gy)

P' = Peso de la muestra.

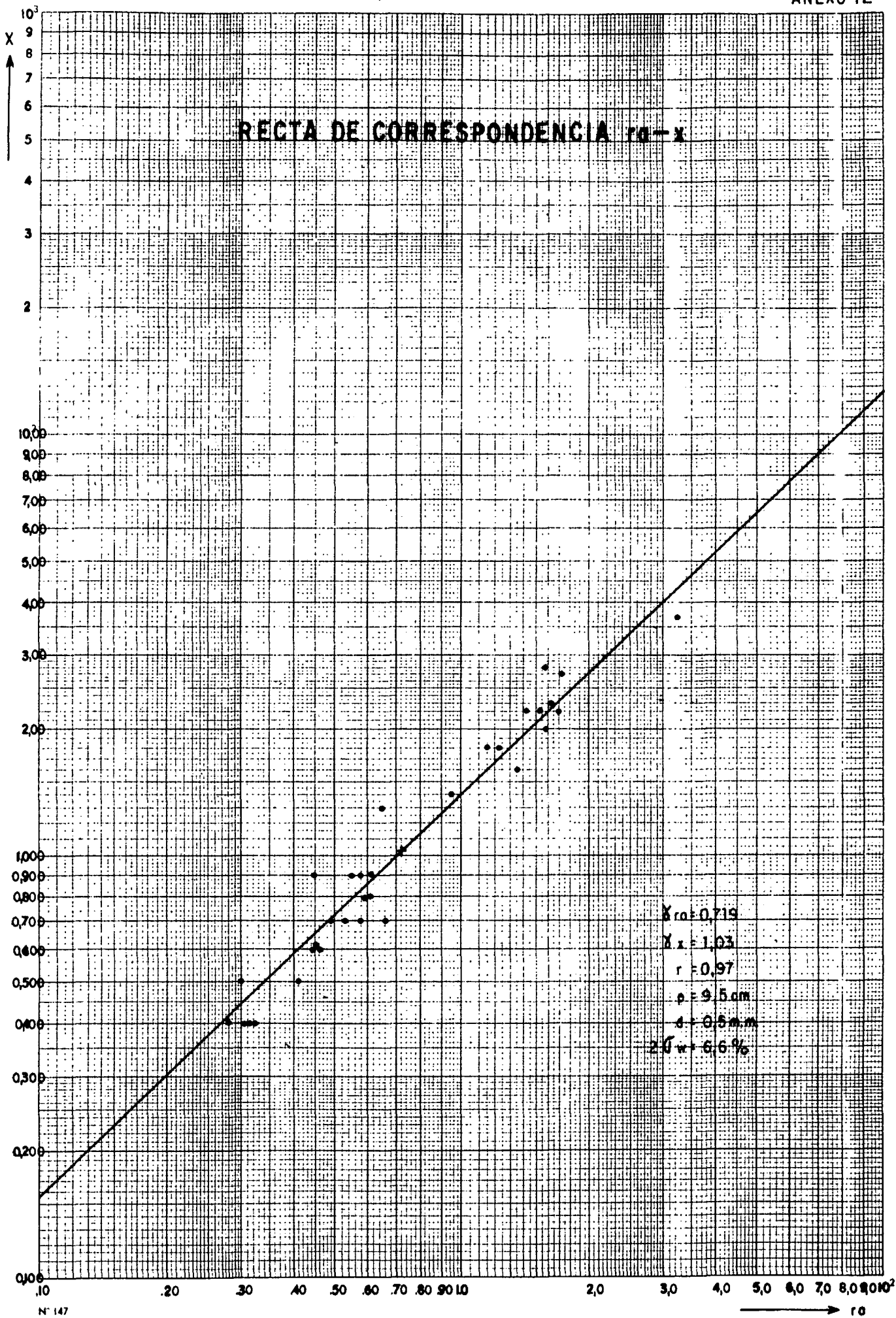
P = Peso del lote a muestrear.

C = Parámetro de muestreo.

d = Diámetro del tamiz que retiene 5-10 % de los productos a la granulometría de P.

Varianza global: $\sigma_0^2 = \sigma_{q_1}^2 + \sigma_{q_2}^2 + \dots + \sigma_{q_n}^2 = \sum \sigma_{q_i}^2$

$\sigma_q^2 =$



Ponderación de la ley de un paño por los datos de los sondeos circundantes.

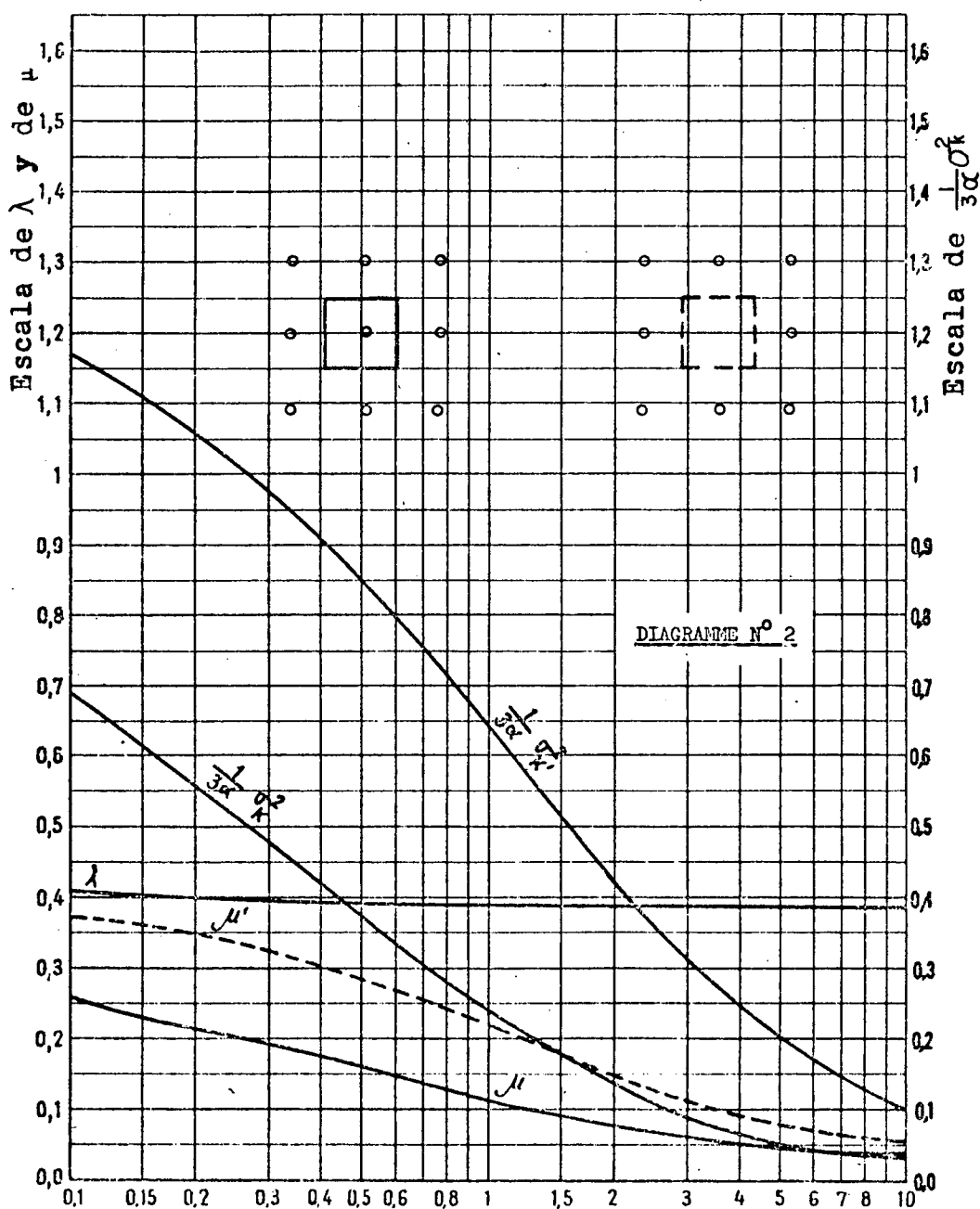
Se llama A al sondeo central del paño (ley u)
 B a los sondeos de la 1a. aureola (ley media v)
 C a los sondeos de la 2a. aureola (ley media w)

El estimador de la ley del paño está dado por: $Z = (1-\mu)u + \mu v + \mu w$

La precisión de este estimador se deduce de la varianza $\frac{1}{3\alpha} \sigma_k^2$

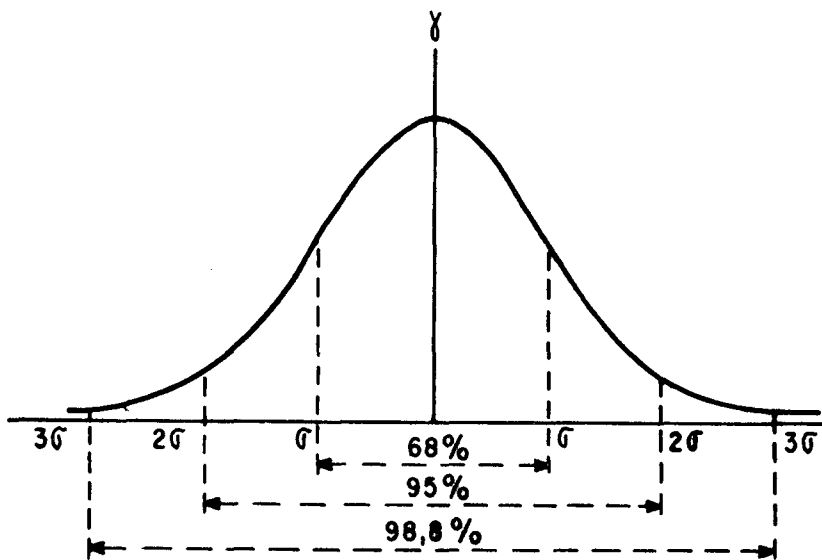
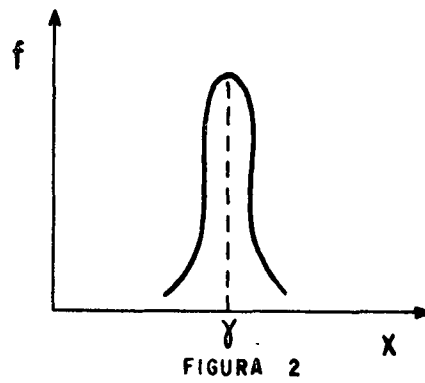
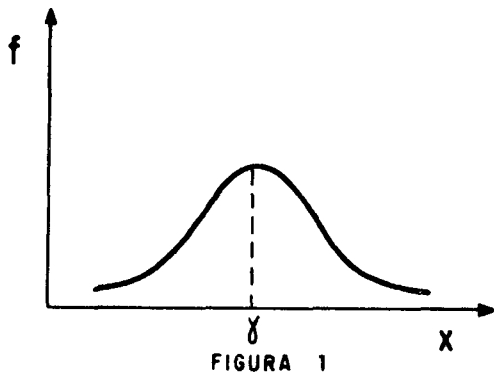
Cuando el sondeo central falta:

$$Z' = (1-\mu')v + \mu'w \quad \text{varianza} \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_k^2$$



$$x = \frac{h}{a} = \frac{\text{potencia media}}{\text{longitud de malla}}$$

FIGURAS CITADAS EN EL TEXTO



FIGURAS CITADAS EN EL TEXTO

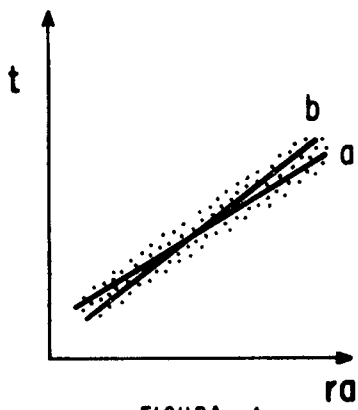


FIGURA 4

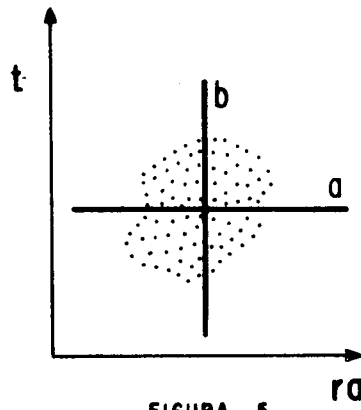


FIGURA 5

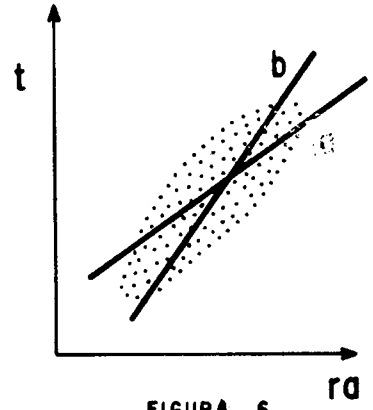


FIGURA 6

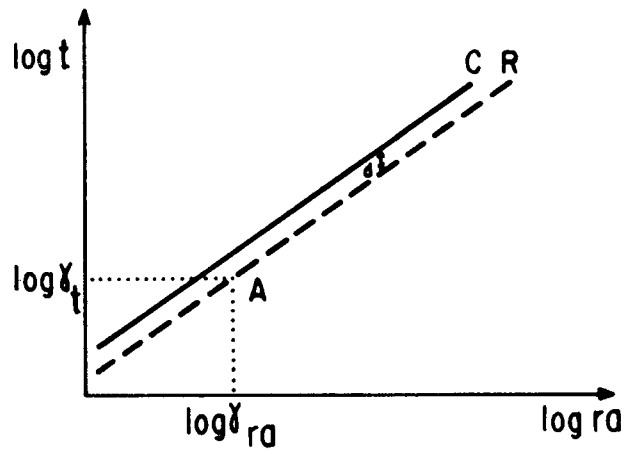


FIGURA 7

DETERMINACION DE POTENCIA Y LEY PARTIENDO DE LA CURVA DEL PERFILAJE GAMMA

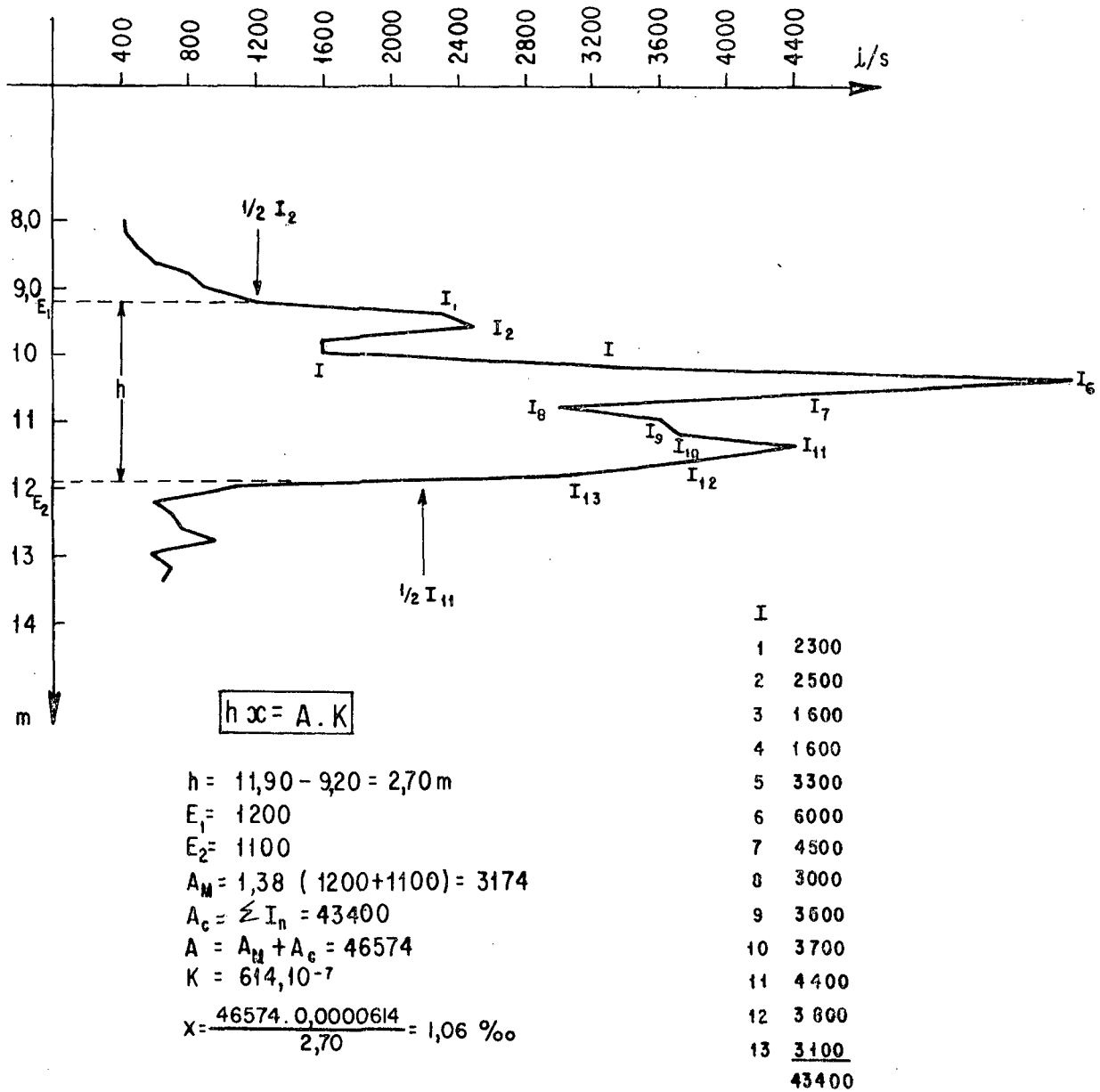
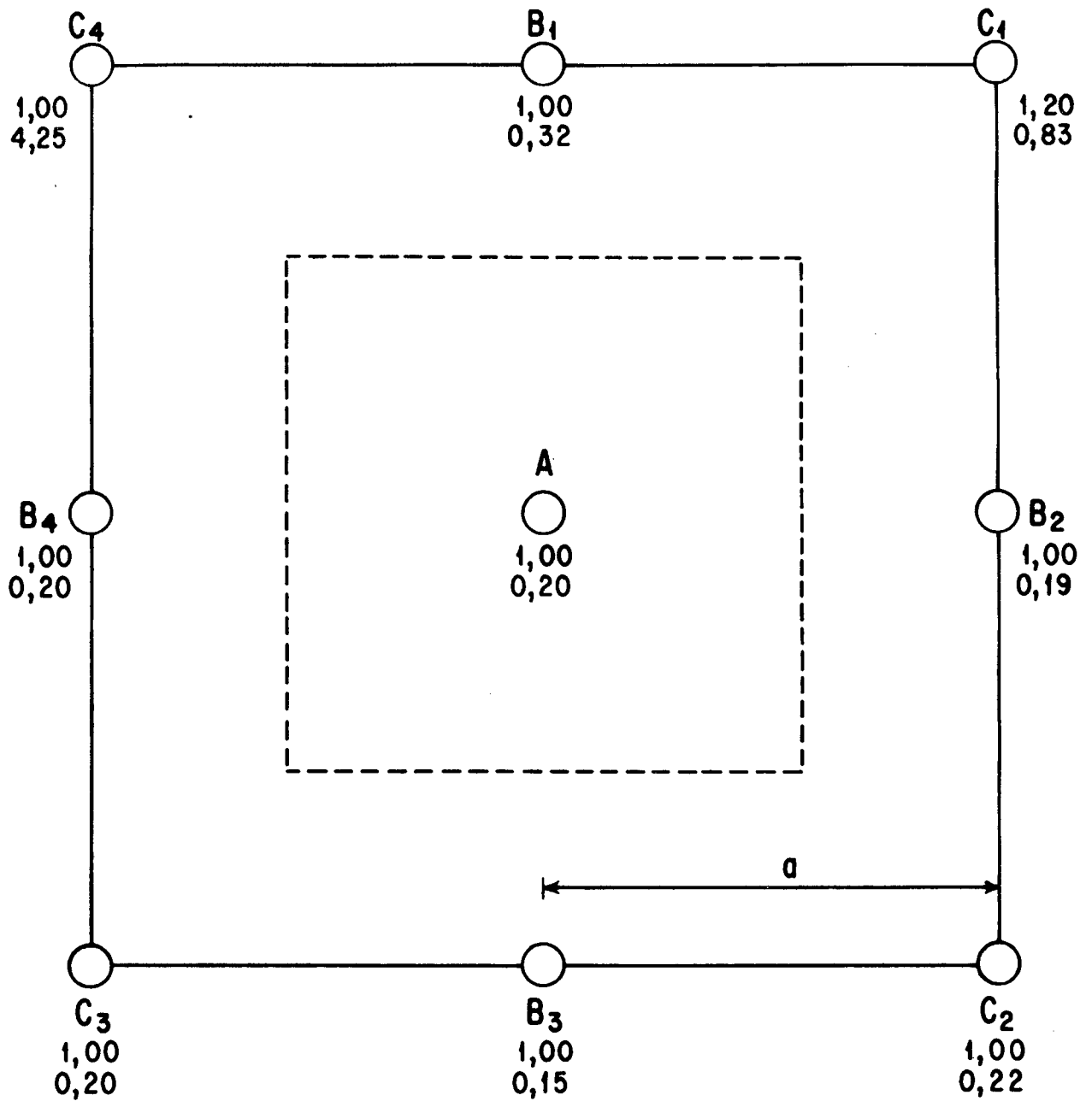


Fig. 8



REFERENCIAS

A sondeo central

B_i sondeos de la primera aureola

C_i sondeos de la segunda aureola

A número del sondeo

1,00 potencia en metros

0,20 ley ‰

área de influencia del sondeo central

a longitud de la malla

Fig. 9

