



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

V. EVALUACION Y CALCULO DE RESERVAS

4. EVALUACION DE YACIMIENTOS DE URANIO POR METODOS ESTADISTICOS

Dr. NESTOR C.DAVIDS

Dr. HECTOR O.COLON

EVALUACION DE YACIMIENTOS DE URANIO POR METODOS ESTADISTICOS

NESTOR C. DAVIDS - HECTOR O. COLON

Comisión Nacional de Energía Atómica

1. GENERALIDADES

El método cuyos principios se describen muy someramente a continuación fué desarrollado por el Commissariat à l'Énergie Atomique, al cabo de por lo menos 10 años de estudios y ensayos, y se aplica en la Comisión Nacional de Energía Atómica de la Argentina desde el año 1964.

El aporte de la Estadística se verifica especialmente en el terreno del conocimiento de la precisión con que se conoce la ley del mineral, y en la posibilidad de determinarla en base a su radiactividad, contribuyendo a solucionar asimismo importantes problemas de carácter técnico en el campo de la exploración. Por tratarse de una técnica nueva que en general no ha trascendido el ámbito de esta Comisión, se ensayará en primer lugar una breve explicación de los conceptos que la fundamentan.

La Estadística ha desarrollado métodos para estudiar y comprender los fenómenos aleatorios, determinando las leyes a que responden u obedecen estos fenómenos. La mayor parte está regida por la ley de Gauss-Laplace o de la "curva de campana", que representa fundamentalmente una dis-

tribución simétrica alrededor de un valor medio llamado mediana. 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 yacimiento, las leyes o tenores (x o 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 o t.

De lo dicho surge que son dos los valores a determinar: la mediana \bar{y} 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.

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:

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

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

Log =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 (Anexo 1), 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 comparárlas 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 el conjunto de individuos 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.

2. LA PRECISION DE LA ESTIMACION

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 esto 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 como 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:

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

significando:

D : Equivalente lineal del volumen del yacimiento

d : Equivalente lineal del volumen de la muestra

El conocimiento de la precisión está ligado a la determinación de los errores que se cometen 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. Luego, si estamos calculando la ley media de un paño reconocido por sus cuatro costados, se cometen dos errores importantes cuando:

1º) Se adjudica a la galería la ley media resultante de su muestreo;

2º) 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 y por medio de una simple operación, 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 que porcentaje de casos podemos esperar que se cumpla lo calculado, está definido por el valor del desvío tipo de estimación. Para comprenderlo, volveremos al esquema de la ley normal con su curva en campana, en la cual la mediana γ divide a la superficie encerrada entre la curva y la abscisa en dos mitades de igual área. De esa superficie,

el valor del 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 %:

$$1,20 (1 + \sigma_E) = 1,20 \cdot 1,15 = 1,38 \text{ ‰}$$

$$1,20 (1 - \sigma_E) = 1,20 \cdot 0,85 = 1,02 \text{ ‰}$$

Al nivel del 95 %:

$$1,20 (1 + 2\sigma_E) = 1,20 \cdot 1,30 = 1,56 \text{ ‰}$$

$$1,20 (1 - 2\sigma_E) = 1,20 \cdot 0,70 = 0,84 \text{ ‰}$$

Al nivel del 99,8 %:

$$1,20 (1 + 3\sigma_E) = 1,20 \cdot 1,45 = 1,74 \text{ ‰}$$

$$1,20 (1 - 3\sigma_E) = 1,20 \cdot 0,55 = 0,66 \text{ ‰}$$

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 ‰.

3. LAS CATEGORIAS DE RESERVAS

En el curso de diversas reuniones internacionales realizadas a partir de 1960, en las que se debatió el tema de los recursos uraníferos, se procedió a rever los conceptos vigentes en materia de calificación de las distintas categorías de mineral. 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 "yellow cake", estable-

ciéndose cinco rangos con costos que van desde 5 a 500 dólares la libra de U_3O_8 .

En 1965, el Organismo Europeo de Energía Nuclear elaboró un informe sobre los recursos uraníferos del mundo, el que estableció la siguiente escala de precios para el concentrado comercial:

1. Entre 5 y 10 dolrs/lb U_3O_8
2. Entre 10 y 15 dolrs/lb U_3O_8
3. Entre 15 y 30 dolrs/lb U_3O_8

Esta escala fué adoptada por la Comisión Nacional de Energía Atómica y en base a ella se calculan las reservas uraníferas argentinas. En cuanto a las categorías de mineral, se adoptó el método francés para aquellos yacimientos que cuentan con suficiente densidad y regularidad de datos, el que distingue:

"Reservas"

"Recursos"

"Perspectivas"

"Eventual sobre indicios"

"Eventual regional"

La terminología francesa, al introducir el concepto de probabilidad para un determinado nivel de certidumbre, define de manera más precisa las categorías básicas (Reservas, Recursos, Perspectivas), que a primera vista podrían parecer asimilables o equiparables a las del Geological Survey. Sin embargo, los conceptos son diferentes y por ende no es posible llegar a la equiparación de términos. Las definiciones de CARLIER, autor del método, se basan en criterios geoestadísticos.

3.1. RESERVAS

Corresponden a cuerpos mineralizados reconocidos por trabajos mineros o por sondeos testigados. Están

caracterizadas por la posibilidad de calcular la precisión con la cual son conocidas. El valor de la varianza de estimación debe ser menor que 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 varianza no puede ser calculada, pero si existen evidencias geológicas que aseguran la continuidad del campo mineralizado, éste puede ser clasificado igualmente en Reservas.

3.2. RECURSOS

Corresponden a cuerpos mineralizados reconocidos:

1) Por los mismos trabajos que las Reservas pero con un reconocimiento muy impreciso ($\sigma_E > 50 \%$).

2) Por sondeos en formaciones filonianas, y eventualmente en formaciones sedimentarias, con una recuperación de testigos nula o insuficiente, Las leyes son determinadas a menudo por radiactividad, sin recta de correspondencia 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 varianza permite solamente fijar ideas muy generales y carece de significación matemática.

3.3. PERSPECTIVAS

Corresponden a las extrapolaciones hacia profundidad de formaciones reconocidas hasta un cierto nivel bajo forma 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 de-

ben 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 %.

3.4. EVENTUAL SOBRE INDICIOS

Se clasifican así las posibilidades fundadas sobre 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 %.

3.5. 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 regional las cifras estimadas como Reservas, Recursos, Perspectivas y Eventual sobre indicios, se tendrá la cifra -que estima el Eventual regional.

Es también necesario establecer que cuando se habla de las reservas de un yacimiento en sentido general, refiriéndose al tonelaje que razonablemente se puede extraer y justificado por las diferentes consideraciones técnico-económicas, se alude a la suma de Reservas + Recursos solamente, ya que las Perspectivas están basadas en criterios puramente geológicos debiendo ser confirmadas por la exploración.

4. CLASIFICACION DEL MINERAL SEGUN EL GRADO DE DESARROLLO.

Una vez establecidas las categorías de reservas, sobre el mineral se efectúan sucesivas diferenciaciones que corresponden a las distintas etapas en la evolución del material, basadas en consideraciones técnico-económicas. De

acuerdo con la nomenclatura francesa se distinguirán:

- 1 - Mineral geológico
- 2 - Mineral económico
- 3 - Mineral a extraer
- 4 - Mineral a tratar

4.1. MINERAL GEOLOGICO

Se considera como tal a todo mineral cuya acumulada sea mayor o igual que 0,15 ‰, es decir que responda a la doble condición de que su ley sea mayor o igual que 0,15 ‰ y que su potencia no sea inferior al metro. No deben figurar en esta categoría sino las formaciones situadas en una zona de interés económico reconocido, indicando así que no trata de pequeñas unidades dispersas en el yacimiento.

4.2. MINERAL ECONOMICO

Conocido comúnmente como mineral de explotación, es aquel cuya ley es igual o superior al tenor de corte de fondo pero bajo 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, transporte, tratamiento, etc.). El tenor de corte de fondo es la ley mínima de arranque por debajo de la cual la explotación no es rentable, o lo que es lo mismo, a partir de la cual el mineral no paga sus gastos de extracción, transporte y tratamiento. 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 geográfica (zoneografía) utilizando los valores de las acumuladas.

4.3. MINERAL A EXTRAER

El concepto de mineral a extraer a partir de la determinación de mineral económico, está ligado a la existencia de sectores pobres en el yacimiento (paños o pilares). Se refiere concretamente a sectores que, en el curso de la

explotación, se revelan como de ley inferior a la de corte de fondo e incapaces por lo tanto de pagar los gastos posteriores a su extracción. Por lo tanto, deben ser abandonados, debiendo su tonelaje ser restado al calculado como económico para obtener en definitiva el mineral a extraer. Según la importancia del sector a abandonar, la ley por debajo de la cual ya no es rentable su explotación se llamará de "corte-paño" o de "corte-pilar", las que serán obviamente inferiores a la de corte de fondo puesto que ya no deben pagar los gastos de preparación.

4.4. MINERAL A TRATAR

Para obtener el mineral a tratar se efectúa una última selección sobre el material sacado a superficie mediante vagonetas 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 parte posible de mineral no rentable. La operación se realiza por medio de túneles o cilindros contadores instalados a la salida de piques o galerías de extracción, razón por la cual se la designa como corte en superficie. La ley de corte en superficie será inferior a las anteriores puesto que sólo resta pagar el transporte y el tratamiento.

5. EJEMPLO DE ESTIMACION

Para la estimación de las reservas de un paño, de un sector o de la totalidad de un yacimiento, los pasos iniciales son los mismos del cálculo convencional hasta la determinación de las medias de potencia y ley. La División Reservas Nucleares de C.N.E.A. ha puesto en vigencia una serie de planillas con el objeto de seguir ordenadamente los cálculos, que no necesitan explicación detallada. Difiere

ren sólo las planillas de Cálculo de varianzas, el Cuadro Analítico de Reservas y el Cuadro Resumen General, basadas en las similares del Commissariat. La primera (Anexo 10) sirve para determinar los parámetros fundamentales de población estadística, y la segunda para definir en cada sector o paño los tonelajes y leyes de las distintas categorías de mineral. Para ilustrar sobre su aplicación se agrega un ejemplo teórico en los anexos 6 a 12, de los cuales solamente se hará una breve explicación referente al cálculo de varianzas y al Cuadro Analítico de Reservas, que figuran en los anexos 10 y 11.

La planilla de cálculo de varianzas ha sido normalizada de modo tal 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 realizar. 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 0,60 de la lista de muestras del Anexo 6 se colocará en la clase limitada por 0,501 y 0,631; el 4,51 en la clase 3,98-5,01, etc. De esta manera, a medida que se ubiquen los valores se formarán cuadrados cruzados por una diagonal que representan cinco muestras, facilitando la tarea del recuento final para cada clase. El número de individuos que hay en una clase se llama frecuencia de la misma 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 α . En el presente ejemplo, tenemos un paño rectangular de 52 x 30 x 1,02 m, siendo esta última magnitud

la potencia media. Para la muestra, la dimensión mayor es el 1,02, la intermedia es el ancho de la canaleta (5 cm.) y la menor su profundidad (2 cm.). Se aclara que el logaritmo (log) utilizado es el de base neperiana.

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 la planilla de cálculo de x (Anexo 10) se tiene:

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

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

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

Significa que, al nivel de σ_E , en el 68 % de los casos la ley media fluctuará entre 2,18 % y 2,10 %, 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 lo que respecta al Cuadro Analítico de Re-

servas, 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 estimados en las planillas anteriores -cuyos resultados se inscriben en la línea horizontal 2 (mineral económico)- se calcularán su cesivamente 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. Comprende tres renglones que corresponden a las etapas sufridas por el mineral: económico (el previsto), sacado (en planchada) y entregado (a planta). 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 individuali zando 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 ori ginadas 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 co rrespondiente 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 cuando a mineral se refiere; la ley final se obtendrá divi

diendo el fino por el mineral. Para aclarar, tomemos el Cubo 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

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 por lo menos el coeficiente α debe ser igual 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 fidedigno 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 tonelajes que se entregarán a planta, con leyes por encima del tenor de corte en superficie, o sea lo que resta de deducir el material que se desestima en boca-mina mediante túnel radimétrico. Para ello se requiere conocer previamente la correlación ra-t. Este rendimiento corresponde por tanto a una cifra que deberá ser dada por la experiencia minera. Sólo en el caso de faltar ésta puede ser reemplazada por el ábaco de Formery, como en el ejemplo del paño I.

6. LA CORRELACION RADIATIVIDAD-TENOR

Acabamos de hacer mención de la correlación ra-t. Estos dos caracteres del mineral, radiactividad y tenor, están ligados por una dependencia estadística. En efecto, es fácil descubrir que entre ambos existe una cierta relación, pues a un incremento de la radiactividad corresponde un aumento de la ley y viceversa. Podemos decir entonces que existe una correlación entre ambos caracteres del mineral uranífero.

Si de un conjunto de muestras tenemos sus valores radimétricos (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 determina en primera instancia el tipo 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 figura 5 los puntos están ampliamente distribuidos formando una nube circular, lo que indica falta de correlación o independencia entre ambos caracteres, pues-

to que a un valor de r_a corresponden muchos valores de t . En la figura 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 figura 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 r_a , 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 r_a (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 r_a en relación a 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 figura 4, mientras que en la figura 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 de correlación "r", que varía de +1 (correlación positiva) a -1 (correlación negativa). Para el mineral uranífero, sin embargo, este coeficiente varía solamente entre 0 y +1, es decir, no existe la correlación negativa, que se produciría en el caso de que al aumento de la radiactividad correspondiera una disminución del tenor. Para dar una idea gráfica del intervalo positivo de la variación, diremos que la figura 5 corresponde al valor 0 y que la figura 4 está entre +0,9 y +1.

Con la explicación que precede estamos pues en condiciones de comprender de que manera se aprovecha la radiactividad para conocer la ley del mineral. Conociendo

el coeficiente de correlación r , se puede calcular la recta de correspondencia $ra-t$ mediante la cual se determina la ley del mineral sin recurrir al muestreo físico del mismo.

En la práctica se procede en primer término a muestrear y analizar un determinado número de muestras, que juntamente con la radimetría de las mismas sirven para calcular la recta de correspondencia. El número de muestras a analizar se puede calcular previamente en base a los valores de varianza, es decir, que este número de muestras variará de acuerdo al tipo de distribución.

Una vez en poder de los valores radimétricos y químicos de cada muestra preparada, se procede a calcular la varianza de los tenores (σ_t^2), la varianza de las radiactividades (σ_{ra}^2) y la varianza de la relación entre ambas, datos que nos permiten calcular el coeficiente r mediante la siguiente fórmula:

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

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 datos obtenidos a un papel bilogarítmico (no olvidar que se trabaja con los logaritmos de la ley y de la radiactividad), podemos entonces trazar nuestra recta de la siguiente manera (ver figura 7):

En la intersección de los valores de las medianas tenemos el primer punto de la recta (A), a partir del cual, con el valor de tangente determinado por p , trazamos la recta R que se llama de regresión. La recta de correspondencia C estará desplazada hacia arriba, en el sentido de la ordenada, en una medida 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.

Como es natural pensarlo, las determinaciones de las leyes realizadas mediante la recta estarán afectadas de un cierto error, pues 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 ya citada, y que se recuerda aquí:

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

Como el segundo término del numerador es sólo correctivo, se puede desestimar. 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 las rectas 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 sondeos y en el control de la producción.

La recta de correspondencia es lo que se llama una variable regionalizada. Estando basado su cálculo en el estudio del tipo de distribución de la ley, se debe tener presente que la varianza puede ser diferente de un sector a otro del yacimiento. Por lo tanto, no se debe usar indiscriminadamente una sola recta para todo un yacimiento, salvo que esté demostrada su perfecta isotropía.

El número de muestras a analizar para construir una recta de correspondencia 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 el campo económico, pues hay ciertas muestras, como las vagonetas para controlar la producción o los camiones para controlar la ley enviada a la planta, que son onerosas por su volumen sobre todo si se trabaja en un yacimiento que aún no posee una planta adecuada de molienda. 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 muestras es igual a 0,1 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 $\sigma_w = 1 \%$, se obtiene aproximadamente el número de muestras por la fórmula siguiente, que es el primer término de la varianza de correspondencia radiométrica 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:

$$10^{-4} = \frac{0,1 (0,1)}{N} \quad \text{de donde } N = 100$$

Vale decir, que para obtener en promedio la precisión fijada de antemano del 1 %, se deben analizar 100 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 testigados, 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 MR/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

<u>ra (MR/HR)</u>	<u>t (‰)</u>	<u>t/ra</u>
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
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 calcula las medianas y las varianzas de ra, t y t/ra (Anexos 2, 3 y 4). Luego, con las fórmulas ya citadas se calculan el coeficiente de correlación, la pendiente, la traslación de la recta. Finalmente, se dibuja la recta en papel bilogarítmico (Anexo 5), 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 MR/HR, la ley

será de 0,66 ‰, y si es de 1,0 MR/HR el tenor resulta de 1,40 ‰.

7. CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de la varianza es por lo tanto de fundamental importancia tanto en la estimación de leyes, potencias y tonelajes, como para resolver otros importantes aspectos técnicos de la exploración y explotación, resolviendo problemas tales como el cálculo de la malla óptima de sondeos en un yacimiento estratiforme, relación entre sondeos testigados y no testigados, determinación de las leyes de sondeos en malla regular en base a conceptos goestadísticos, etc.

Así, para conocer la malla de sondeos a realizar en un yacimiento estratiforme delgado que responda a una precisión fijada, se puede llegar a una determinación satisfactoria conociendo el valor de la varianza de las leyes en base a un ábaco, que da el valor de la varianza de extensión del sondeo. Este problema es importante cuando se está en la primera etapa de la investigación de un yacimiento de tal naturaleza. La relación entre sondeos testigados y no testigados en el curso de una exploración, surge de una ecuación de tercer grado donde intervienen los precios de los respectivos tipos de sondeos y las varianzas de las leyes, resolviendo un importante problema técnico-económico de la investigación. Finalmente, se citará el método conocido por "Corrector de Matheron" para estimar la ley de un paño reconocido por un sondeo axial, que tiene en cuenta la geografía del reconocimiento, y en el que intervienen con diferente peso las leyes de los sondeos vecinos según su ubicación con respecto al sondeo estudiado.

El presente no es sino un breve esbozo de las técnicas desarrolladas con base estadística, que tiende a presentar fundamentalmente dos de las mayores ventajas que

ofrece el método:

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 dos parámetros: la mediana y la varianza;

2) La aplicación de métodos indirectos de muestreo válidos gracias a la correlación r_{a-t} , de uso permanente en la minería del uranio.

Por último, es oportuno hacer resaltar que los conceptos y técnicas estadísticas deben usarse siempre como adecuado complemento a la geología, y no para suplantarla.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- CARLIER, A., Le gisement des schistes uranifères de St-Hyppolite, Naciones Unidas, Ginebra, 1958.
- 2.- CARLIER, A., Contribution aux méthodes d'estimation des gisements d'uranium, Thèse, Fac. Sc. de l'Univ. de Paris, 1964.
- 3.- CARRAT, G.H., BERBEZIER, Utilisation de la radioactivité pour le triage et l'évaluation d'un gisement d'uranium, Rapport C.E.A. n° 938, Saclay, 1958.
- 4.- DAVIDS, N.C., Normas generales para la estimación de reservas, Inf. inéd. C.N.E.A., Buenos Aires, 1966.
- 5.- DAVIDS, N.C., La Estadística aplicada al cálculo de reservas de yacimientos, IIIas. Jorn. Geol. Arg., 2 (1968) 173.
- 6.- DAVIDS, N.C., El Corrector de Matheron. Su aplicación en el yacimiento Huemul, Inf. inéd. C.N.E.A., Buenos Aires, 1968.
- 7.- FORMERY, P., ZIEGLER, V., Application des méthodes mathématiques à l'étude des gisements d'uranium, Naciones Unidas, Ginebre, 1958.
- 8.- GY, P., L'échantillonnage des minerais. Erreur comise dans le prélèvement d'un échantillon sur un lot de minerai, Revue de l'Ind. Min., n° 4, 1954.
- 9.- LEVEAU, M., Détermination graphique des éléments d'une distribution lognormale lorsqu'on utilise l'ajustement de la droite de Henry, Ann. Mines, 1957.
- 10.- LUCERO, H.N., Método Log-estadístico francés de interpretación de sondeos de A. Carlier. Su aplicación al yacimiento Rodolfo (Córdoba), Inf. inéd. C.N.E.A., Buenos Aires, 1966.

- 11.- LUCERO, H.N., Método Jaquet de interpretación de sondeos (para zoneografía y tenores). Su aplicación al yacimiento Rodolfo (Córdoba), Inf. inéd. C.N.E.A., Buenos Aires, 1966.
- 12.- LUCERO, H.N., DAVIDS, N.C., Aplicación de criterios geostatísticos al cálculo de reservas uraníferas, IVas. Jorn.Geol. Arg., 1 (1969) 435.
- 13.- MABILE, J., Notion du calcul des probabilités et des statistiques de gisement, Rapport C.E.A. n° 170, Paris, 1956.
- 14.- PATTERSON, J.A., Statistical method of calculating and analyzing ore reserves, Annual Meeting of the AIME, New York, 1958.
- 15.- MATHERON, G., Traité de géostatistique appliquée, Mémoire du Bureau de Rech. Géol. et Min., n° 14, Paris, 1962.
- 16.- MONJALLON, A., Introduction à la méthode statistique, Vuibert, Paris, 1961.
- 17.- MOTHES, J., Estadística aplicada a la ingeniería, Ariel, Barcelona, 1960.

I N D I C E

1.	GENERALIDADES.....	1
2.	LA PRECISION DE LA ESTIMACION.....	4
3.	LAS CATEGORIAS DE RESERVAS.....	6
3.1.	RESERVAS.....	7
3.2.	RECURSOS.....	8
3.3.	PERSPECTIVAS.....	8
3.4.	EVENTUAL SOBRE INDICIOS.....	9
3.5.	EVENTUAL REGIONAL.....	9
4.	CLASIFICACION DEL MINERAL SEGUN EL GRADO DE DE- SARROLLO.....	9
4.1.	MINERAL GEOLOGICO.....	10
4.2.	MINERAL ECONOMICO.....	10
4.3.	MINERAL A EXTRAER.....	10
4.4.	MINERAL A TRATAR.....	11
5.	EJEMELO DE ESTIMACION.....	11
6.	LA CORRELACION RADIOACTIVIDAD-TENOR.....	16
7.	CONSIDERACIONES FINALES.....	23
	BIBLIOGRAFIA.....	25

FIGURAS CITADAS EN EL TEXTO

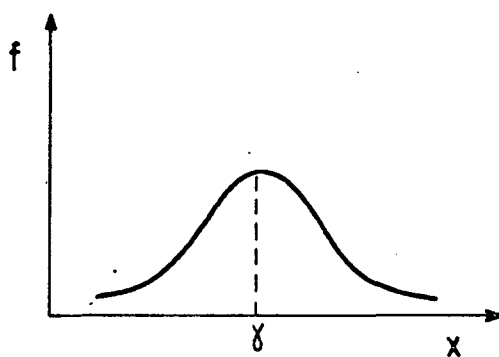


FIGURA 1

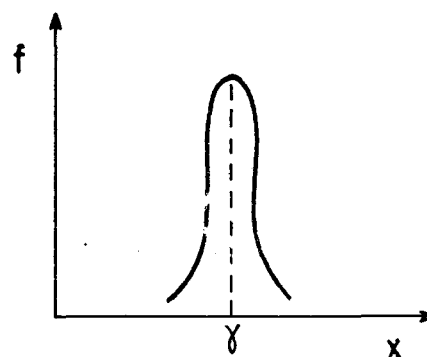


FIGURA 2

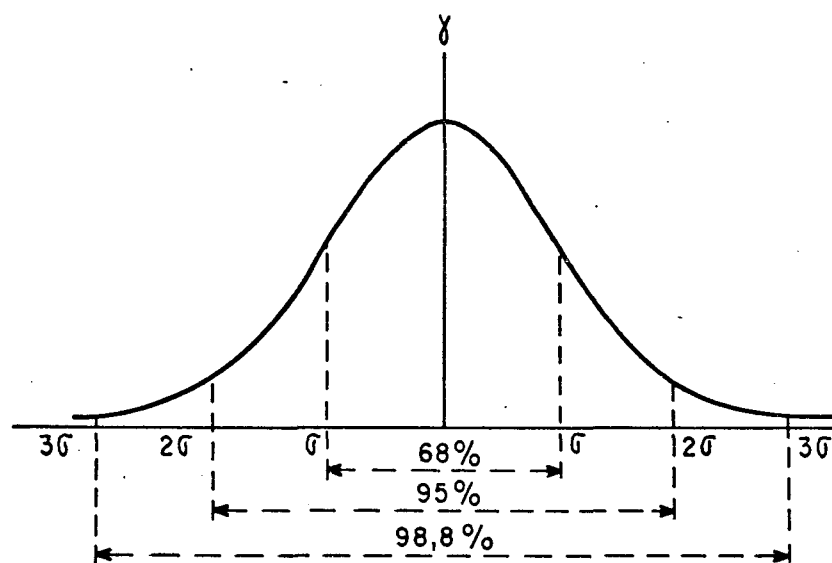


FIGURA 3

FIGURAS CITADAS EN EL TEXTO

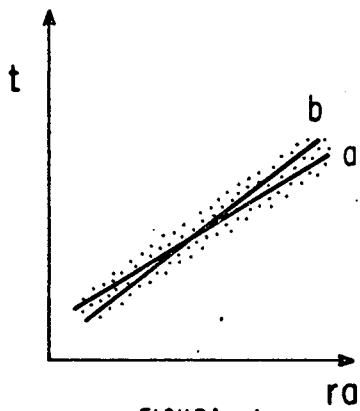


FIGURA 4.

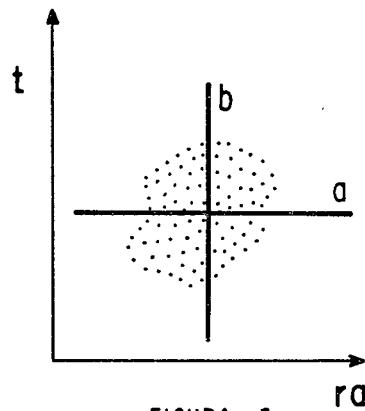


FIGURA 5

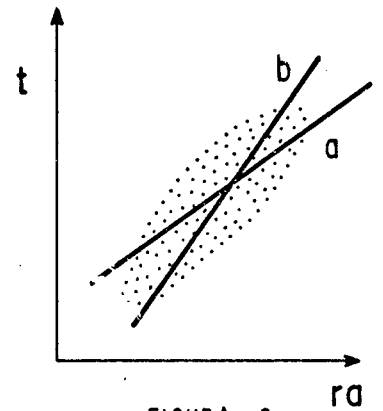


FIGURA 6

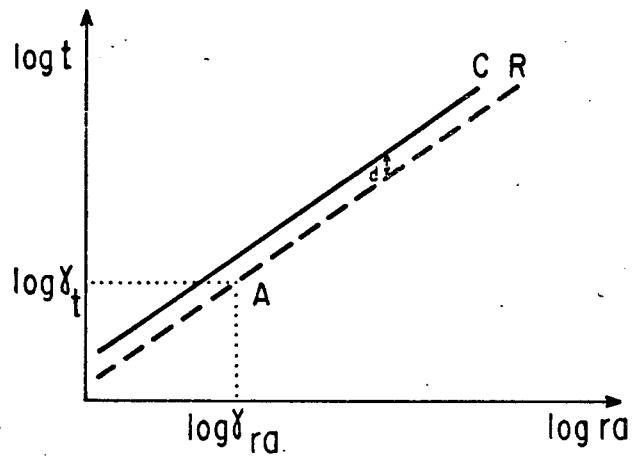


FIGURA 7

DEPENDENCIA

YACIMIENTO

Estudiado el:

Muestra

Objeto del estudio: RECTA EBERLINE ANEXO 2

Tipo:

Dato estudiado: ra

por:

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	□U		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	- 7,2		
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			$\Sigma n \log x$	$\Sigma n \log x^2$

Mediana γ

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

antilog $\frac{-0,143}{1,657}$

ANEXO 2

$\gamma = 0,719$

Varianza σ^2

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

$$\frac{\sum n \log x \cdot \log G}{N \log G} = \frac{1,19}{32} = 0,037$$

$$\sigma^2 = 1,45 - 2 \cdot 0,037 = 0,776$$

$\sigma^2 = 0,434$

$\sigma = 0,659$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$m_a =$

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)

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

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

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

1. Varianzas de muestreo

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

$\sigma_u^2 =$

$\sigma_y^2 =$ 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 ANEXO 3

Tipo:

Dato estudiado:

X

por:

Volumen:

Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acumulada	n	Límite inferior x	Log x	n log x	$\overline{n \log x^2}$
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	OL		32	6	0,398	-0,4	-2,4	0,96
0,631	U		26	3	0,501	-0,3	-0,9	0,27
0,794	□		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	U		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		$\Sigma n \log x$	$\Sigma n \overline{\log x^2}$

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{-1,20}{+0,05} = -0,637 = \log G$$

antilog 0,013

$$\bar{x} = 1,030$$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \overline{\log x}^2}{N \log G^2} = \frac{2,54}{2,50} = 1,016$$

$$\frac{\sum n \log x \cdot \log G}{N} = \frac{0,04}{32} = 0,00125$$

$$1,016 - 2 \cdot 0,00125 = 0,993 = 0,413$$

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

$$\sigma = 0,643$$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$$m_a =$$

$$m_1 =$$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

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

$$m_{12} =$$

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

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

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.

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

1. Varianzas de muestreo

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

$$\sigma_u^2 =$$

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 guarteo: $\sigma_q^2 = \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) C d^3$ (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: $\sigma_0^2 = \sigma_{q_1}^2 + \sigma_{q_2}^2 + \dots + \sigma_{q_n}^2 = \sum \sigma_{q_i}^2$

$$\sigma_q^2 =$$

DEPENDENCIA	YACIMIENTO	Estudiado el:	Muestra
Objeto del estudio:	RECTA EBERLINE ANEXO 4	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	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		Σ n log x Σ n log x ²

Mediana γ

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

antilog 0,153

$\frac{\gamma}{\gamma_{ra}} = 1,422$

Varianza σ^2

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

$\frac{\sigma^2}{\sigma_{ra}^2} = 0,026$

$\frac{\sigma}{\sigma_{ra}} = 0,162$

Desvío tipo σ

$m_a =$

$m_a =$

Media aritmética

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{ax}}{m'_b}$$

$m_{ap} =$

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

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

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.

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

1. Varianzas de muestreo

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

$\sigma_u^2 =$

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

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.

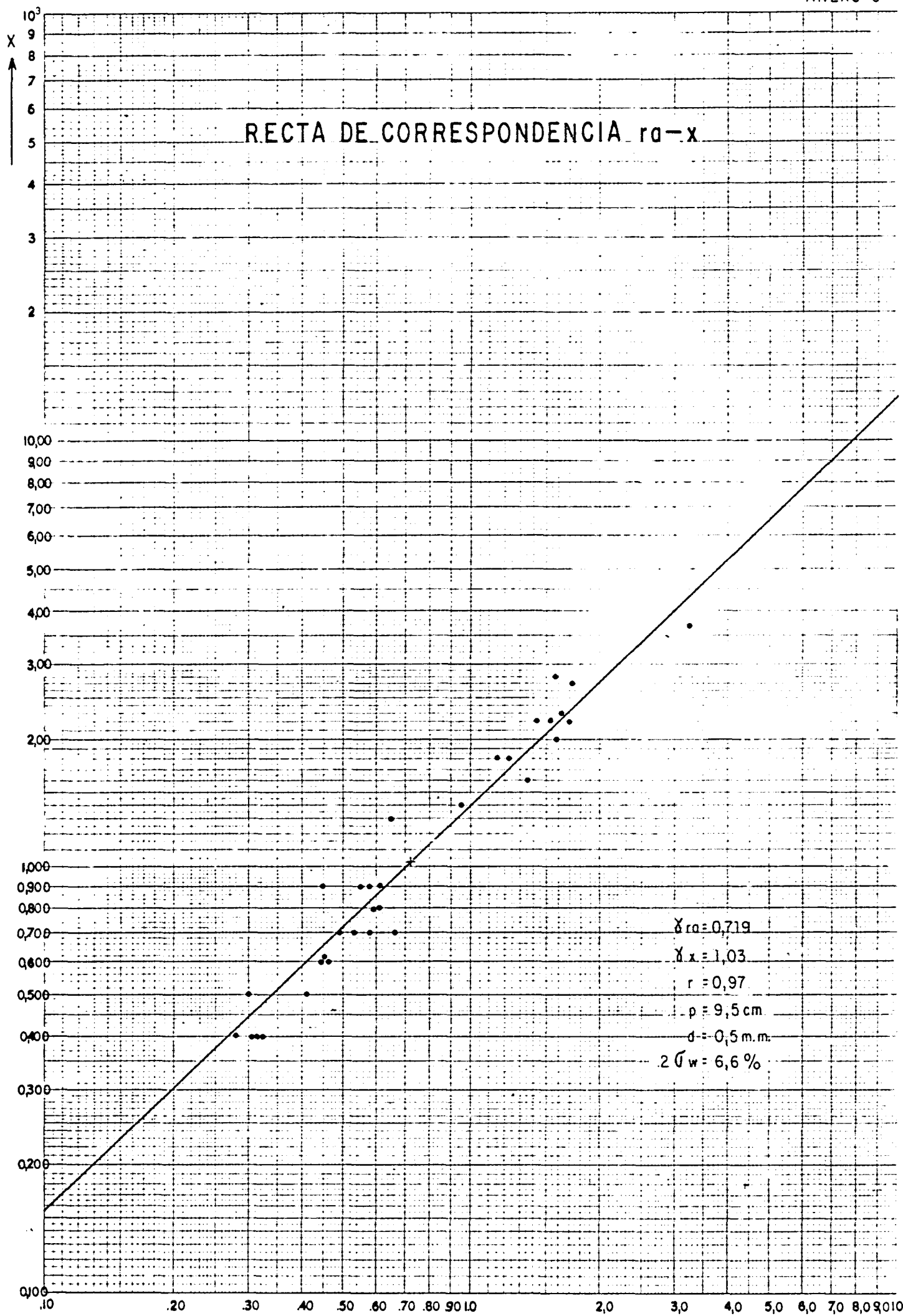
P = Peso del lote a muestrear.

C = Parámetro de muestreo.

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

Varianza global: $\sigma_0^2 = \sigma_{q1}^2 + \sigma_{q2}^2 + \dots + \sigma_{qn}^2 = \sum \sigma_{qi}^2$

$\sigma_q^2 =$



Planilla de Muestreo

Delegación
Formulario No 312
1-9-66

No de Muestra o de Suelo	Progresiva o Profundidad	Laboratorio	Fracción	MUESTRA ORIGINAL				REMUESTRO				OBSERVACIONES	
				POTENCIA (h)		LEY (X) 0,00		POTENCIA (h)		LEY (X) 0,00			
				Medida	Interpretada del Perfilaje	Química	U: Oq	Interpretada del Perfilaje	Química	U: Oq	Interpretada del Perfilaje		Otro Elemento
4506	2		A	0,26		2,10							
4507	"		B	0,45		0,20							
4508	"		C	0,26		8,20							
4509	4		Unica	0,35		5,10							
4510	6		"	1,10		0,60							
4511	8		"	0,80		0,20							
4512	10		"	1,50		0,15							
4513	12		A	0,27		2,30							
4514	"		B	0,38		0,10							
4515	14		A	0,57		3,70							
4516	"		B	0,45		0,10							
4517	16		A	0,95		4,70							
4518	"		B	0,54		0,10							
4519	18		A	0,66		3,70							
4520	"		B	0,48		0,35							
4521	20		A	0,80		2,90							
4522	"		B	0,38		3,60							
4523	22		A	0,52		1,00							
4524	"		B	0,67		0,40							
4525	"		C	0,60		0,20							
4526	24		A	0,45		0,35							
4527	"		B	0,23		7,60							
4528	"		C	0,34		1,20							
4529	"		D	0,72		0,18							
4530	26		A	0,57		0,80							
4531	"		B	0,44		4,80							
4532	"		C	0,40		0,20							
4533	28		A	0,37		2,90							
4534	"		B	0,39		West							
4535	"		C	0,40		0,34							
4536	"		D	0,20		0,15							
4537	30		A	0,25		0,20							
4538	"		B	0,25		9,40							

RESUMEN DEL PAÑO

C. N. E. A.

GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

YACIMIENTO

SECTOR

ANEJO 9

DELEGACION

PAÑO I

METAL

Formulario N° 319
2 9 68

RESERVAS

Valor del concentrado:
hasta 10 U\$S/libra

tcf 0,47 %
Fecha / /

DATOS BASICOS

N = 24 $\Sigma h = 24,58$
L = 52 m $\Sigma hx = 40,321$
H = 30 m $\bar{h} = 1,02$ m
S = 1.560 m² $\bar{x}_p = 1,64$ %
 $\delta = 2,1$

ESTIMADOR DEL VOLUMEN V

V = S · $\bar{h} = 1.591$ m³

ESTIMADOR DEL MINERAL M

M = V · $\delta = 3.341$ t

ESTIMADOR DEL METAL F

F = M · $\bar{x}_p = 5.480$ kg

DATOS RELATIVOS A LA DISTRIBUCION

$\sigma_h^2 = \sigma_x^2 = 0,869$ $\sigma_{hx}^2 = 0,959$
 $\sigma_h = 0,933$ $\sigma_{hx} = 0,979$
 $\alpha_h = 0,066$ $\alpha_{hx} = 0,073$

PRECISION

Sobre el tenor Sobre el metal
Al 68 % $\sigma_{Ex} = 0,332$ $\sigma_{Ehx} = 0,352$
Al 95 % $2 \sigma_{Ex} = 0,664$ $2 \sigma_{Ehx} = 0,704$

Valor del concentrado:
10-15 U\$S/libra

tcf 0,31 %
Fecha / /

DATOS BASICOS

N = 24 $\Sigma h = 25,07$
L = 52 m $\Sigma hx = 40,490$
H = 30 m $\bar{h} = 1,04$ m
S = 1.560 m² $\bar{x}_p = 1,61$ %
 $\delta = 2,1$

ESTIMADOR DEL VOLUMEN V

V = S · $\bar{h} = 1.622$ m³

ESTIMADOR DEL MINERAL M

M = V · $\delta = 3.341$ t

ESTIMADOR DEL METAL F

F = M · $\bar{x}_p = 5.480$ kg

DATOS RELATIVOS A LA DISTRIBUCION

$\sigma_h^2 = \sigma_x^2 = \sigma_{hx}^2 =$
 $\sigma_h = \sigma_x = \sigma_{hx} =$
 $\alpha_h = \alpha_x = \alpha_{hx} =$

PRECISION

Sobre el tenor Sobre el metal
Al 68 % $\sigma_{Ex} =$ $\sigma_{Ehx} =$
Al 95 % $2 \sigma_{Ex} =$ $2 \sigma_{Ehx} =$

Valor del concentrado:
15-30 U\$S/libra

tcf 0,15 %
Fecha / /

DATOS BASICOS

N = 24 $\Sigma h = 28,14$
L = 52 m $\Sigma hx = 40,974$
H = 30 m $\bar{h} = 1,17$ m
S = 1.560 m² $\bar{x}_p = 1,45$ %
 $\delta = 2,1$

ESTIMADOR DEL VOLUMEN V

V = S · $\bar{h} = 1.825$ m³

ESTIMADOR DEL MINERAL M

M = V · $\delta = 3.341$ t

ESTIMADOR DEL METAL F

F = M · $\bar{x}_p = 5.480$ kg

DATOS RELATIVOS A LA DISTRIBUCION

$\sigma_h^2 = \sigma_x^2 = \sigma_{hx}^2 =$
 $\sigma_h = \sigma_x = \sigma_{hx} =$
 $\alpha_h = \alpha_x = \alpha_{hx} =$

PRECISION

Sobre el tenor Sobre el metal
Al 68 % $\sigma_{Ex} =$ $\sigma_{Ehx} =$
Al 95 % $2 \sigma_{Ex} =$ $2 \sigma_{Ehx} =$

DEPENDENCIA

YACIMIENTO

ANEXO 10 (I) Estudiado el:

Muestra

Objeto del estudio:

Tipo:

Dato estudiado:

 x %

por:

Volumen:

Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acu. mulada	n	Límite inferior x	Log x	n log x	$n \log x^2$
0,1					0,079	-1,1		
0,126	/		24	1	0,1	-1,0	-1,0	1,00
0,158	/		23	1	0,126	-0,9	-0,9	0,81
0,199					0,158	-0,8		
0,251	/		22	1	0,199	-0,7	-0,7	0,49
0,316					0,251	-0,6		
0,398					0,316	-0,5		
0,501					0,398	-0,4		
0,631	/		21	1	0,501	-0,3	-0,3	0,09
0,794	/		20	1	0,631	-0,2	-0,2	0,04
1,0	L		19	2	0,794	-0,1	-0,2	0,02
1,26	U		17	3	1,0	0,0	-3,3	
1,58	U		14	3	1,26	0,1	0,3	0,03
1,99	L		11	2	1,58	0,2	0,4	0,08
2,51	U		9	3	1,99	0,3	0,9	0,27
3,16	U		6	5	2,51	0,4	2,0	0,80
3,98					3,16	0,5		
5,01	/		1	1	3,98	0,6	0,6	0,36
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	+4,2	
N: Número de muestras ponderadas,				24			+ 0,9	3,99
N': Número de muestras no ponderadas,				N			$\Sigma n \log x$	$\Sigma n \log x^2$

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

antilog 0,087

$$\gamma = 1,222$$

Varianza σ^2

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

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

Desvío tipo σ

$$\sigma = 0,933$$

Media aritmética

$$m_a =$$

$$m_a =$$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{hx}}{m'_h} = \frac{40,321}{24,00}$$

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

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

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

$D =$ 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.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \log \frac{D}{d}} = \frac{0,869}{3 \log 76} = \frac{0,869}{13} = 0,066$$

1. Varianzas de muestreo

a) de canaletas (por exceso): $\sigma_u^2 = \frac{\sigma^2}{N} + \frac{\sigma^4}{2N^2} \approx \frac{0,869}{24} + \frac{0,755}{40} = 0,036 + 0,015$ $\sigma_u^2 = 0,051$

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

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

$$\sigma_q^2 =$$

2. Varianzas de extensión

a) de filón reconocido por galerías en dirección: $\sigma_v^2 = \alpha \frac{\pi S}{2 L^2} = 0,066 \frac{3,34 \cdot 1550}{2 \cdot 2704} = \sigma_v^2 = 0,059$

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

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.

$\sigma_v^2 =$

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

ley de la "tranche" (ver ábaco).

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

$\sigma_E^2 = 0,110$

Desvío de estimación:

$\sigma_E = 0,332$

$2\sigma_E = 0,664$

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

Si σ_E es grande

Si σ_E es pequeño

Máximo = $m \cdot e^{+\sigma_E}$ =

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

Mínimo = $m \cdot e^{-\sigma_E}$ =

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

Si $2\sigma_E$ es pequeño

Máximo = $m \cdot e^{+2\sigma_E}$

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

Mínimo = $m \cdot e^{-2\sigma_E}$

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:

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

DEPENDENCIA		YACIMIENTO		Estudiado el:		Muestra		
Objeto del estudio:		ANEXO 10 (II)		por:		Tipo:		
Dato estudiado: <u>bx</u>						Volumen:		
Clase log	NUMERO DE INDIVIDUOS POR CLASE	%	Frecuencia acumulada	n	Límite inferior x	Log x	n log x	$\frac{1}{n} \log x^2$
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	0,158	-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	0,160
1,0	L		19	2	0,794	-0,1	0,200	0,040
1,26	U		17	3	1,0	0,0	-	
1,58	U		14	3	1,26	0,1	0,300	0,090
1,99	L		11	2	1,58	0,2	0,400	0,160
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	2,300	

N: Número de muestras ponderadas.

N': Número de muestras no ponderadas.

24

N

0,900 4,390

$\Sigma n \log x$ $\Sigma n \log x^2$

Mediana γ

ANEXO 10 (II)

$$\frac{\sum n \log x}{N} = \frac{0,900}{24} = \frac{0,037}{+ 0,95} = \log G$$

antilog 0,037

$$\gamma = 1,222$$

Varianza σ^2

$$\frac{\sum n \overline{\log x}^2}{N \log G^2} = \frac{4,390}{0,033} = \frac{4,357}{: 24} = 0,181 \cdot 5,3 =$$

$$\sigma^2 = 0,959$$

$$\sigma = 0,979$$

Desvío tipo σ

$$m_a = 1,680$$

$$m_a = 1,680$$

Media aritmética

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m'_{ax}}{m'_a}$$

$$m'_{ax} =$$

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

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

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

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

C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \log \frac{D}{d}} = \frac{0,959}{3 \log \frac{76}{70}} \cong \frac{0,959}{1,3} = 0,073$$

1. Varianzas de muestreo

a) de canaletas (por exceso): $\sigma_u^2 = \frac{\sigma^2}{N^2} + \frac{\sigma^4}{2N^2} = \frac{0,959}{24^2} + \frac{0,919}{2 \cdot 24^2} = 0,039 + 0,019$

$$\sigma_u^2 = 0,058$$

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

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

$$\sigma_0^2 =$$

2. Varianzas de extensión

ANEXO 10 (II)

a) de filón reconocido por galerías en dirección: $\sigma_v^2 = \alpha \frac{\pi}{2} \frac{S}{L^2} 0,073 \frac{3,14}{2} \frac{1500}{2704}$

$\sigma_v^2 = 0,066$

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

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 $\sigma_E^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2 = 0,058 + 0,066 = 0,124$

$\sigma_E^2 = 0,124$
$\sigma_E = 0,352$
$2 \sigma_E = 0,704$

Desvío de estimación:

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

Si σ_E es grande

Si σ_E es pequeño

Máximo = $m \cdot e^{+\sigma_E} =$

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

Mínimo = $m \cdot e^{-\sigma_E} =$

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

Si $2 \sigma_E$ es pequeño

Máximo = $m \cdot e^{+2\sigma_E} =$

Máximo = $m \cdot (1 + 2\sigma_E) = 5480(1 + 0,704) = 9337 \text{ Kg}$

Mínimo = $m \cdot e^{-2\sigma_E} =$

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 ($\text{Log } \gamma_y, \text{Log } \gamma_x$).

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 %) =

CUADRO ANALITICO DE RESERVAS

PREVISIONES

CARACTERISTICAS DE LA EXPLOTACION

CATEGORIA	UNIDAD ESTUDIADA	METODOS DE EXPLOTACION	OTRAS PERDIIDAS (Rebolos, Transportes, Etc.)										DILUCION				TONELAJE Y LEY ANTES DEL CURTE DE PILANES				LEYES DE CURTE EN ORO												
			Mineral		Us. Or.		Mineral		Us. Or.		Mineral		Us. Or.		Mineral		Us. Or.		Leys. Prepara.		Leys. Mercuriales		Leys. Pilares		Leys. Superfich.								
			0/0	Tonela.	0/0	Kg.	0/0	Tonela.	0/0	Kg.	0/0	Tonela.	0/0	Kg.	0/0	Tonela.	0/0	Kg.	0/0	U. Or.	0/0	U. Or.	0/0	U. Or.	0/0	U. Or.							
I			10	334	5	274					20	601			3	538	5	256	1	44			0	47			0	32					
II			8	139	8	211					30	480																	0	47			
III			5	240	5	298					15	305																		0	47		
TOTAL RESERVAS			713	713							766					10	245	13	327	1	31												
IV			10	235	10	743					20	424																			0	47	
V			10	180	10	459					30	324																			0	47	
TOTAL RECURSOS			416	1,206						7	8					4	424	10	341	2	41												
VI																																	
VII																																	
TOTAL RESERVAS + RECURSOS			1,129	1,869							2,014					2,748	23	714	3	40													

RESERVAS RESUMEN GENERAL

ANEXO 12 (I)

YACIMIENTOS	E - EXPLOTADO						A - MEDIDO RESERVAS						B - INDICADO RECURSOS						
	4 - ENTREGADO			4 - A ENTREGAR			4 - A ENTREGAR			4 - A ENTREGAR			4 - A ENTREGAR			4 - A ENTREGAR			
	M Mineral en t	Us Os g/oo	Us Os en Kg.	M Mineral en t	Us Os g/oo	Us Os en Kg.	M Mineral en t	Us Os g/oo	Us Os en Kg.	M Mineral en t	Us Os g/oo	Us Os en Kg.	M Mineral en t	Us Os g/oo	Us Os en Kg.	M Mineral en t	Us Os g/oo	Us Os en Kg.	
A																			
	40.000	1,2	49.000	185.000	1,3	241.000													
	40.400	1,2	49.000	189.000	1,4	257.000													
B																			
	1.700	6,5	11.000	5.500	4,3	24.000													
	1.700	6,5	11.000	5.000	4,9	25.000													
C																			
	42.100	1,4	50.000																
	42.100	1,4	50.000	190.500	1,4	232.000													
SUBTOTAL DISTRITO A B C																			
	42.100	1,4	50.000	194.000	1,4	232.000													
	2.600	1,5	3.200																
E																			
	27.700	2,0	55.000	19.200	2,8	53.400													
	27.700	2,0	55.000	17.900	3,1	56.200													
F																			
	69.800	1,6	115.000	202.700	1,5	313.400													
	69.800	1,6	115.000	211.900	1,6	332.200													
SUBTOTAL DISTRITO E F																			
	72.400	1,6	113.800	208.900	1,5	371.800													
	97.500	1,7	170.000	229.300	1,7	324.400													
TOTAL GENERAL																			
	114.500	1,6	172.900	419.400	1,5	653.300													
	139.600	1,7	230.000	423.600	1,6	676.400													
GENERAL																			
	139.600	1,7	230.000																

