



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



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1978

CNEA-AC-31/78

V. EVALUACION Y CALCULO DE RESERVAS

5. GEOESTADISTICA Y ESTIMACION DE
RESERVAS DE YACIMIENTOS DE
URANIO

2a. Parte: ESTIMACION DE RESERVAS DE
YACIMIENTOS DE URANIO

NESTOR C. DAVIDS

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1979



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



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA V-5

GEOESTADISTICA Y ESTIMACION DE RESERVAS

DE YACIMIENTOS DE URANIO

2a. Parte

ESTIMACION DE RESERVAS DE YACIMIENTOS DE URANIO

NESTOR C. DAVIDS

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

I. INTRODUCCION

La evaluación de yacimientos es tema de fundamental importancia en el ámbito del negocio minero, porque expresa en términos numéricos el grado de éxito alcanzado por la prospección minera. En el conjunto de etapas de la evaluación propiamente dicha, la estimación de reservas y los estudios de factibilidad de la explotación constituyen el preámbulo obligado para la extracción y beneficio del mineral.

La estimación de reservas tiene por objeto la determinación más exacta posible del volumen del mineral y de su calidad. El volumen, que obviamente deberá estar definido en su posición espacial y morfología, se determina mediante la exploración física del yacimiento, sea por laboreos, sondeos o por ambos a la vez, de modo que los límites del cuerpo mineralizado puedan ser medidos en las tres dimensiones del espacio. La calidad se estima en base al muestreo sistemático de la masa mineral, del que surge la ley media que asociada al volumen tiene significación económica.

El método clásico de estimación de reservas ha perdido parte de su vigencia en virtud del constante progreso de la Geoestadística, cuyo origen se debe buscar en los primeros trabajos de investigadores sudafricanos 30 años atrás, con nombres de verdadera relevancia como KRIGE, SICHEL y DE WIJS. En la década del 50, la escuela francesa desarrolló nuevos conceptos de aplicación en yacimientos de baja ley, gracias a la inspiración de investigadores como MABILE, FORMERY, MATHERON, CARLIER, SERRA, etc. La teoría de las variables regionalizadas presentada por MATHERON en 1965 y las investigaciones que conduce en el Centro de Morfología Matemática de Fontainebleau, han significa

do un aporte fundamental para la consolidación de la Geoestadística. En la actualidad, se han generalizado sus aplicaciones en todos los países con industria minera desarrollada, especialmente en el campo de la minería del uranio.

En el presente trabajo se dará un breve panorama de los principales capítulos de la estimación de reservas, cuyos fundamentos fueron expuestos por el Dr. LUCERO. Se mencionarán las definiciones de las categorías de mineral según el método, los tenores de corte y la conducta práctica para el cálculo de los parámetros necesarios en la estimación de reservas.

II. 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 la exploración realizada 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 geoestadístico, puesto que el primero carece de los medios desarrollados por el segundo para optimizar la estimación de los parámetros básicos del yacimiento y calcular la precisión.

II.1. METODO CONVENCIONAL

Puesto que el tema es tratado extensamente en el presente Curso, sólo se recordarán aquí las definiciones con el objeto de efectuar una breve comparación con las del método geoestadístico.

II.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, muestreos 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.

II.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.

II.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.

II.1.4. Mineral Potencial. Las apreciaciones para el cálculo de este mi-

neral 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.

II.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:

II.2.1. Reservas. Corresponden a cuerpos mineralizados reconocidos por laboreos 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.

II.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.

II.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 %.

II.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 %.

II.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 sumatoria 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 del 100 % en más o en menos. El término Recursos no figura más como una categoría particu-

lar y se reserva su uso para designar estimaciones muy generales de carácter regional (comunicación epistolar de CARLIER al autor).

III. RESERVAS Y RECURSOS SEGUN COSTOS DEL CONCENTRADO

La definición de los conceptos básicos para la calificación de los recursos uraníferos se ha canalizado a través de reuniones internacionales realizadas a partir de 1960, en las cuales se procedió a rever los conceptos vigentes en la materia. 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, estableciéndose cinco rangos con costos que van desde 5 a 500 dólares por libra de U_3O_8 .

En 1965, el Organismo Europeo de Energía Nuclear elaboró un informe en el que se estableció la siguiente escala de precios para el concentrado:

Entre 5 y 10 u\$s/lb U_3O_8

Entre 10 y 15 u\$s/lb U_3O_8

Entre 15 y 30 u\$s/lb U_3O_8

Esta escala fue adoptada por la CNEA y en base a ella se calculan los recursos uraníferos argentinos. Pero el constante incremento de las necesidades energéticas mundiales y los progresos obtenidos en el beneficio de minerales de baja ley -entre otros factores- han producido fluctuaciones en el mercado internacional que obligaron a los organismos internacionales a coordinar la permanente actualización de las categorías de los Recursos en relación con la evolución de los costos. En el informe de diciembre de 1977 elaborado por NEA/OIEA quedó establecida esta nueva escala de costos:

< 80 u\$s/Kg U	equivalente a	< 30 u\$s/lb U_3O_8
80-130 " " "	" "	30-50 " " "
> 130 " " "	" "	> 50 " " "

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

III.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.

III.2. RECURSOS ADICIONALES ESTIMADOS

Se refieren al uranio adicionable 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.

En la misma publicación se prevé que las estimaciones restringidas a estas dos categorías son incompletas y que será necesario crear una tercera categoría para ubicar los recursos potenciales, que tendrá lógicamente un grado de certeza menor que los Recursos Adicionales Estimados. Para una mejor ilustración del tema, se transcribe el cuadro comparativo "Correlación aproximada de términos usados en los principales sistemas de clasificación de Recursos", en el cual se esquematizan las clasificaciones del Dpto. de Energía, Minas y Recursos de Canadá (1), del U.S. ERDA (2) y de NEA/IAEA (3).

	DEMOSTRADO		SUPUESTO		ESPECULATIVO	
(1)	MEDIDO	INDICADO	INFERIDO	PRONOSTICADO	En áreas c/manif.	En áreas vírgenes
(2)	RESERVAS		RECURSOS POTENCIALES PROBABLES		RECURSOS POTENCIALES POSIBLES Y ESPECULATIVOS	
(3)	RAZONABLEMENTE ASEGURADOS		ADICIONALES ESTIMADOS			

IV. LOS TENORES DE CORTE

La determinación de la porción del yacimiento "geológico" que resultará económicamente aprovechable se hace por medio de los tenores de corte. Es obvia, por consiguiente, su importancia en el contexto del negocio minero. De la sumatoria 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 yacimien

to geológico, considerado como la acumulación anormal de metal en 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 explotable 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.

E = Costo por tonelada de la explotación.

T = " " " del transporte mina-planta.

P = " " " 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, paga los 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:

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

V. 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.

V.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.

V.2. MINERAL ECONOMICO

Conocido comúnmente como mineral de explotación, 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.

V.3. MINERAL A EXTRAER

El concepto de mineral a extraer está ligado a la existencia de sectores pobres en el yacimiento y a la aplicación de los coeficientes de pérdidas y dilución que se producen en el curso de la explotación. En efecto, del volumen de mineral económico previsto se deben deducir los sectores que tienen ley inferior a la de corte de fondo, además de las deducciones que correspondan por las pérdidas propias del método de explotación. En lo que respecta a los sectores pobres, la ley por debajo de la cual ya no es rentable su extracción se llamará de "corte-paño" o de "corte pilar", las que serán obviamente inferiores a las de corte de fondo y se deberán calcular para cada paño en particular.

V.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 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.

VI. CONDUCTA PRACTICA EN LA ESTIMACION DE RESERVAS

El principal aporte de la Geoestadística en la estimación de reservas se verifica en el conocimiento del grado de dispersión de las leyes, potencias y acumuladas, en el cálculo de la precisión y en la posibilidad de determinar leyes y potencias por medio de un muestreo "indirecto" como es la correlación radiactividad-tenor. La varianza es la herramienta más importante para medir la dispersión estadística de las variables regionalizadas; por medio de la función variograma se estudian los incrementos de tales variables, obteniendo una expresión de las correlaciones y de la estructura espacial del campo mineralizado, de la existencia o no de anisotropías en la mineralización y de la continuidad y regularidad de ésta. En el campo de la precisión, por medio de la varianza logarítmica se estiman los errores de muestreo y de análisis y de las extrapolaciones que se cometen en el curso de la estimación; en virtud de su carácter de adicionables, la suma de todas estas varianzas conduce finalmente a la estimación del error total.

El presente es un breve resumen de los capítulos principales de la estimación de reservas basada en conceptos geoestadísticos, por lo que será una relación muy sucinta de aspectos prácticos de la misma.

La información base para el cálculo de reservas debe estar integrada por:

- Plano topográfico-geológico en escala adecuada.
- Planta con ubicación del laboreo y/o sondeos.
- Perfiles con ubicación de labores y/o sondeos.
- Plano de muestreo.
- Planillas técnicas de los sondeos.
- Planillas de muestreo.

Como el muestreo se hace fraccionado -se trate de canaletas o de testigos de sondeos- la primera etapa a cumplir consiste en el cálculo de la potencia y de la ley media 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. A los efectos prácticos, se da un ejemplo completo basado en un paño centrado 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. En el anexo 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 10 u\$s/lb sólo la fracción A tiene ley superior al tenor de corte de fondo (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 15 u\$s/lb, en cambio, se toman íntegras las fracciones A y B por cuanto superan

el tenor de corte, y para 30 u\$s/lb ingresan las 3 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 correspondiente 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.

Para el cálculo de la precisión debemos conocer previamente un parámetro de gran importancia que se llama coeficiente de dispersión absoluto (alfa), que representa el contraste de los tenores dentro del yacimiento, expresado in dependientemente del volumen de las muestras consideradas. Esto se explica por que, si tomamos un número cualquiera de muestras en un paño y calculamos la va rianza de sus leyes, el valor será diferente según las muestras tengan el tama ño 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 mues tra y otra. Significa ésto que la varianza será mayor para las muestras peque ñas 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 ex presa ese carácter intrínseco del mineral es el coeficiente α , que se calcula mediante la fórmula de MATHERON - WIJS:

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

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^2_u) y de extensión (σ^2_v) respectivamente. La suma de ambas se llama varianza de estimación (σ^2_E); 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 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, en la cual la mediana divide a la superficie en 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.

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:

A nivel del 68 %:

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

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

A nivel de 95 %:

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

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

A 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 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. 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 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 alfa, que se calculará con la fórmula de MATHERON-WIJS. En el presente ejemplo, tenemos un paño rectangular (para 10 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). 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 el Anexo 5 se calculó la precisión de la ley (\bar{x}) con estos resultados:

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

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

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

Significa que, el 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 incriben 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 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 queda al deducir el material que se desestima en boca-mina mediante túnel radimétrico. Para ello se requiere calcular previamente la correlación radimétrica-tenor para el túnel.

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 4 al comparar el método convencional con el geoestadístico. 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.

En lo que concierne a yacimientos explorados mediante perforaciones, algunos pasos de la estimación 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 geoestadístico o con el desarrollado por la Atomic Energy Commission. Para el primero es necesario ejecutar previamente una serie de perforaciones testigadas -cuyo número se puede calcular- que servirán de base para establecer la correlación, mientras que con el segundo se requiere la construcción de "pozos-patrón", artificiales, que integran verdaderos centros de calibración del instrumental de perfilaje. Una vez determinados los valores de potencia y ley del o de los niveles en cada perforación, se deberán realizar las zoneografías sobre perfiles y en planta, de las que surgirá la interpretación de la morfología de los cuerpos mineralizados, de su ubicación espacial y del área a cubrir 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. Una vez definidos los valores de potencia y ley se asignará el área de influencia a cada sondeo, sea con el método de los polígonos o en base a la malla del reconocimiento.

Los caminos abiertos por la Geoestadística para optimizar la estimación de la ley, del volumen, del metal, de la precisión, son muy variados y dependen de la distribución, del tipo de yacimiento, de la metodología de la exploración, etc, por lo que descripción escapa al objeto de este breve resumen. Su conocimiento detallado y buen manejo está ya reservado a verdaderos especialistas en la materia.

VII. 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. Librart, Buenos Aires, 1971.
- DAVIDS, N.C., Estimación de reservas de los yacimientos Dr. Baulíes 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.
- 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.

- MABILE, J., Notions du calcul des probabilités et des statistiques de gisements, Rapport CNE N° 170, Paris, 1956.
- MATHERON, G., Applications des méthodes statistiques à l'évaluation des gisements, Ann. des Mines. pp. 50-75, Paris, 1955.
- MATHERON, G., Traité de Géostatistique Appliquée, Tome 1 (1962), Tome 2 (1963), Ed. Technip, Paris.
- MATHERON, G., Les variables régionalisées et leur estimation. Ed. Masson et Cie., Paris, 1965.
- MATHERON, G., Présentation des variables régionalisées, Ins.Sup.Tec., Lisboa, 1967.
- MATHERON, G., Le Krigeage universel. Les cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Ed. CMM, Ecole Nat. Sup. des Mines, Paris, 1969.
- MATHERON, G., The theory of regionalized variables and its applications. Les cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Ed. CMM, Ecole Nat. Sup. des Mines, Paris, 1971.
- SERRA, J., Echantillonnage et estimation locale des phénomènes de transition miniers, Thèse Univ. de Nancy, France, 1967.
- SICHEL, H.S., The estimation of means and associated confidence limits for small samples from lognormal populations, Inst. of Min. and Metall., Johannesburg, 1966.

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>LAS CATEGORIAS DE RESERVAS</u>	
II.1. <u>METODO CONVENCIONAL</u>	
II.1.1. <u>Mineral Medido</u>	2
II.1.2. <u>Mineral Indicado</u>	2
II.1.3. <u>Mineral Inferido</u>	2
II.1.4. <u>Mineral Potencial</u>	2
II.2. <u>METODO GEOESTADÍSTICO</u>	
II.2.1. <u>Reservas</u>	3
II.2.2. <u>Recursos</u>	3
II.2.3. <u>Perspectivas</u>	3
II.2.4. <u>Eventual sobre indicios</u>	4
II.2.5. <u>Eventual regional</u>	4
III. <u>RESERVAS Y RECURSOS SEGUN COSTOS DEL CONCENTRADO</u>	
III.1. <u>RECURSOS RAZONABLEMENTE ASEGURADOS.</u>	5
III.2. <u>RECURSOS ADICIONALES ESTIMADOS.</u>	6
IV. <u>LOS TENORES DE CORTE</u>	6
V. <u>CALIFICACION DEL MINERAL SEGUN EL GRADO DE DESARROLLO DE LOS TRABAJOS</u>	
V.1. <u>MINERAL GEOLOGICO</u>	8
V.2. <u>MINERAL ECONOMICO</u>	8
V.3. <u>MINERAL A EXTRAER</u>	8
V.4. <u>MINERAL A TRATAR</u>	8
VI. <u>CONDUCTA PARACTICA EN LA ESTIMACION DE RESERVAS.</u>	9
VII. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	15

Formulario Nº 3.4.13-5-75

C.N.E.N. AGENCIA DE EXPLORACION DELEGACION		CÁLCULO DE POTENCIAS Y LEYES MEDIAS PONDERADAS PARA MUESTRAS FRACIONADAS										YACIMIENTO SECTOR LABOR C SONDEO		OBSERVACIONES	
MUESTRA PROGRESO	SONDEO	I PRECIO DEL CONCR.		II PRECIO DEL CONCR.		III PRECIO DEL CONCR.		IV PRECIO DEL CONCR.		V PRECIO DEL CONCR.		VALORES PARA EL CALCULO			U.S.S./I
		h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂		
		I DATOS ORIGINALES DEL MUESTREO		II PRECIO DEL CONCR.		III PRECIO DEL CONCR.		IV PRECIO DEL CONCR.		V PRECIO DEL CONCR.		VALORES PARA EL CALCULO			
		FRAC.	h	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂	h ₁	h ₂		
2		A	0,26	2,10	0,546	0,26	0,546	A	0,26	0,45	0,090	0,26	0,546	0,26	
		B	0,45	0,20	0,090	0,45	0,090	B	0,45	0,26	2,132	0,45	0,090	0,45	
		C	0,26	8,20	2,132	0,26	2,132	C	0,26	1,00	2,768	0,26	2,132	0,26	
		Σ	0,97		2,768	1,00	2,768		1,00			1,00	2,768	2,76	
4		Unica	0,85	0,10	0,085	1,00	0,085		1,00			1,00	0,085	0,08	
6		Unica	1,10	0,60	0,660	1,10	0,660		1,10			1,10	0,660	0,60	
8		Unica	0,80	0,20	0,160	1,00	0,160		1,00			1,00	0,160	0,16	
10		Unica	1,50	0,15	0,225	1,00	0,150		1,00			1,00	0,150	0,15	
12		A	0,57	2,30	1,311	0,57	1,311	A	0,57	0,38	0,038	0,57	1,311	0,57	
		B	0,38	0,10	0,038	0,38	0,038	B	0,38	1,00	1,349	0,38	0,038	0,38	
		Σ	0,95		1,349	1,00	1,349		1,00			1,00	1,349	1,34	
14		A	0,57	3,70	2,109	0,57	2,109	A	0,57	0,45	0,045	0,57	2,109	0,57	
		B	0,45	0,10	0,045	0,45	0,045	B	0,45	1,02	2,154	0,45	0,045	0,45	
		Σ	1,02		2,154	1,02	2,154		1,02			1,02	2,154	2,11	
16		A	0,96	4,70	4,512	0,96	4,512	A	0,96	0,04	0,004	0,96	4,512	0,96	
		B	0,54	0,10	0,054	0,04	0,004	B	0,04	1,00	4,516	0,04	0,004	0,04	
		Σ	1,50		4,516	1,00	4,516		1,00			1,00	4,516	4,51	

G.N.E.A.		CALCULO DE POTENCIAS Y LEYES MEDIAS PONDERADAS PARA MUESTRAS FRACCIONADAS										YACIMIENTO						
GERENCIA DE EXPLORACION												SECTOR						
DELEGACION		LABOR O SONDEO																
MUESTRA PROGRES.	SONDEO	I DATOS ORIGINALES DEL MUESTREO				II PRECIO DEL CONC.				III PRECIO DEL CONC.				IV PRECIO DEL CONC.				OBSERVACIONES
		h	h ₁	h ₂	h ₃	h	h ₁	h ₂	h ₃	h	h ₁	h ₂	h ₃	h	h ₁	h ₂	h ₃	
		U.S./%				U.S./%				U.S./%				U.S./%				
		h ₁ = 1,10 h ₂ = 0,47 % h ₃ = 0,34 %				h ₁ = 0,74 h ₂ = 0,31 % h ₃ = 0,15 %				h ₁ = 0,37 h ₂ = 0,15 % h ₃ = 0,15 %								
18	A	0,66	3,70	2,442	A	0,66	2,442	A	0,66	2,442	A	0,66	2,442	A	0,66	2,442		
	B	0,48	0,35	0,168	B	0,34	0,119	B	0,48	0,168	B	0,48	0,168	B	0,48	0,168		
	Σ	1,14		2,561		1,00	2,561		1,14	2,610		1,14	2,610		1,14	2,610	2,28	
20	A	0,80	2,90	2,320	A	0,80	2,320	A	0,80	2,320	A	0,80	2,320	A	0,80	2,320		
	B	0,38	3,60	1,368	B	0,38	1,368	B	0,38	1,368	B	0,38	1,368	B	0,38	1,368		
	Σ	1,18		3,688		1,18	3,688		1,18	3,688		1,18	3,688		1,18	3,688	3,12	
22	A	0,52	1,00	0,520	A	0,52	0,520	A	0,52	0,520	A	0,52	0,520	A	0,52	0,520		
	B	0,67	0,40	0,268	B	0,48	0,192	B	0,67	0,268	B	0,67	0,268	B	0,67	0,268		
	C	0,60	0,20	0,120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Σ	1,79		0,712		1,00	0,712		1,19	0,788		1,19	0,788		1,19	0,908	0,50	
24	A	0,45	0,35	0,157	A	0,45	0,157	A	0,45	0,157	A	0,45	0,157	A	0,45	0,157		
	B	0,23	7,60	1,748	B	0,23	1,748	B	0,23	1,748	B	0,23	1,748	B	0,23	1,748		
	C	0,34	1,20	0,408	C	0,34	0,408	C	0,34	0,408	C	0,34	0,408	C	0,34	0,408		
	D	0,72	0,18	0,130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Σ	1,74		2,313		1,02	2,313		1,02	2,313		1,02	2,313		1,02	2,443	1,40	
26	A	0,57	0,80	0,456	A	0,57	0,456	A	0,57	0,456	A	0,57	0,456	A	0,57	0,456		
	B	0,44	4,80	2,112	B	0,44	2,112	B	0,44	2,112	B	0,44	2,112	B	0,44	2,112		
	C	0,40	0,20	0,080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Σ	1,41		2,568		1,01	2,568		1,01	2,568		1,01	2,568		1,01	2,648	1,87	

Hoje N°

V. 1256/14

RESUMEN DEL PAÑO

RESERVAS

Formulario N° 319
7 9 68

C. N. E. A.

GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

YACIMIENTO

SECTOR

PAÑO I

METAL

DELEGACION

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

tef 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

$V = S \cdot \bar{h} = 1,591$ m³

ESTIMADOR DEL MINERAL M

$M = V \cdot \delta = 3,341$ t

ESTIMADOR DEL METAL F

$F = M \cdot \bar{x}_p = 5,480$ kg

DATOS RELATIVOS A LA DISTRIBUCION

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

PRECISION

Sobre el tenor Sobre el metal

Al 68 % $\sigma_{Eh} = 0,332$ $\sigma_{Ehx} = 0,352$

Al 95 % $2 \sigma_{Eh} = 0,664$ $2 \sigma_{Ehx} = 0,704$

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

tef 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

$V = S \cdot \bar{h} = 1,622$ m³

ESTIMADOR DEL MINERAL M

$M = V \cdot \delta = 3,341$ t

ESTIMADOR DEL METAL F

$F = M \cdot \bar{x}_p = 5,480$ kg

DATOS RELATIVOS A LA DISTRIBUCION

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

PRECISION

Sobre el tenor Sobre el metal

Al 68 % $\sigma_{Eh} =$ $\sigma_{Ehx} =$

Al 95 % $2 \sigma_{Eh} =$ $2 \sigma_{Ehx} =$

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

tef 0,15 %
Fecha / /

DATOS BASICOS

N = 24 $\Sigma h = 28,14$
L = 52 m $\Sigma hx = 41,009$
H = 30 m $\bar{h} = 1,17$ m
S = 1,560 m² $\bar{x}_p = 1,45$ %
 $\delta = 2,1$

ESTIMADOR DEL VOLUMEN V

$V = S \cdot \bar{h} = 1,825$ m³

ESTIMADOR DEL MINERAL M

$M = V \cdot \delta = 3,341$ t

ESTIMADOR DEL METAL F

$F = M \cdot \bar{x}_p = 5,480$ kg

DATOS RELATIVOS A LA DISTRIBUCION

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

PRECISION

Sobre el tenor Sobre el metal

Al 68 % $\sigma_{Eh} =$ $\sigma_{Ehx} =$

Al 95 % $2 \sigma_{Eh} =$ $2 \sigma_{Ehx} =$

DEPENDENCIA		YACIMIENTO		Estudiado el:			Muestra	
Objeto del estudio:		por:			Tipo:	Volumen:
Dato estudiado: x %					
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	/		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	L		17	3	1,0	0,0	-3,3	
1,58	L		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	L		9	3	1,99	0,3	0,9	0,27
3,16	L		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

$$\frac{\sum n \log^2 x}{N \log G^2} = \frac{3,990}{3,957} = \frac{0,033}{\downarrow} : 24 = 0,154 \cdot 5,3 = 0,869$$

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

$$\sigma = 0,933$$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$$m_a =$$

$$m_a =$$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

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

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

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 # $A + B + \frac{C}{2} = 52 + 30 + \frac{0,51}{2} = 82,51$
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.

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

1. Varianzas de muestreo

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

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

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:				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	0,158	-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	0,080
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.		0,900	4,390
				N':	Número de muestras no ponderadas.		$\Sigma n \log x$	$\Sigma n \log x$
					24			
					N			

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

$$\frac{\sum n \log^2 x}{N \log G^2} = \frac{4,390}{3,033} \cdot \frac{N}{4,357} : 24 = 0,181 \cdot 5,8 =$$

$\sigma^2 = 0,959$

$\sigma = 0,979$

Desvío tipo σ

Media aritmética

$m_a = 1,620$

$m_a = 1,620$

en el caso de la ley: media aritmética ponderada:

$$\frac{m_1 x}{m_1}$$

$m_{10} =$

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

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

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

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

C y c son las dimensiones más pequeñas.

$$\therefore \alpha = \frac{\sigma^2}{3 \text{Log} \frac{D}{d}} = \frac{0,959}{3 \text{Log} \frac{13}{73}} \approx \frac{0,959}{13} = 0,073$$

I. Varianzas de muestreo

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

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

$\sigma_u^2 = 0,058$

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

$n = \text{Número de vagonetas.}$

$r = \text{Coeficiente de correlación Radiactividad-Ley.}$

$\sigma_w^2 =$

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

$P' = \text{Peso de la muestra.}$

$P = \text{Peso del lote a muestrear.}$

$C = \text{Parámetro de muestreo.}$

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

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: $\sigma_v^2 = a \frac{\pi}{2} \frac{S}{L^2} 0,073 \frac{3,14}{2} \frac{150}{2104}$

$\sigma_v^2 = 0,066$

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.

$\sigma_v^2 =$

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

$\sigma_E^2 = 0,124$

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

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 = $m \cdot (1 + 2 \sigma_E) = 5480(1 + 0,704) = 9331 \text{ Kg}$

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 (Log γ_y , Log γ_x).

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

$d = \frac{0,434(1 - r^2) \sigma_y^2}{2} E^{\min}$, 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 Secado 2 Económico (En condiciones de explotación) 1 Geológico (h x ≥ 0.15)			2 ECONOMICO (EN CONDICIONES DE EXPLOTACION) 1 GEOLOGICO (x ≥ 0.15 % U ₃ O ₈ ; h x)												
		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		Precisión %		
			t	%		Paños Antes Prepar.	Franjas Marg.	Potencia Mineralizada			t	%	α _x	α _h	σ _f	σ _E	
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 No. 216
19-3-75

C.N.E.A.

GERENCIA DE EXPLORACION

CUADRO ANALITICO DE RESERVAS

CATEGORIA	UNIDAD ESTUDIADA	PREVISIONES																				
		CARACTERISTICAS DE LA EXPLOTACION																				
		METODOS DE EXPLOTACION	PERDIDAS Puentes, Pilares, etc.				OTRAS PERDIDAS Rellenos, Transportes, etc.				DILUCION				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 Seco	U ₃ O ₈		Franjas Antes Prepar.	Franjas Merg.	Pilar Post. Prepar.	Super.	
		%	Tonelaje	%	t	%	Tonelaje	%	t	%	Tonelaje	%	t	on t	t	%	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈	U ₃ O ₈		
18	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			3.608	5,206	1,44	0,47		0,32			
II		8	139	8	211					30	480			2.079	2,431	1,17	0,47		0,32			
III		5	240	5	298					15	685			5.258	5,670	1,08	0,47		0,32			
TOTAL RESERVAS			713		783						1.766			10.945	13,307	1,21						
IV		10	236	10	748					20	424			2.548	6,731	2,64	0,47		0,32			
V		10	180	10	458					20	324			1.946	4,120	2,11	0,47		0,32			
TOTAL RECURSOS			416		1.206						748			4.494	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						

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

YACIMIENTOS	E - EXPLOTADO						A - RESERVAS						B - RESERVAS										
	4 - ENTREGADO		3 - SACADO		2 - ECONOMICO		1 - GEOLOGICO		4 - A ENTREGAR		3 - A SACAR		2 - ECONOMICO		1 - GEOLOGICO		PRECISION AL NIVEL DE 2 ^o de						
	M Mineral en t	U ₃ O ₈ %/oo	U ₃ O ₈ en kg.	%/oo	en kg.	M Mineral en t	U ₃ O ₈ %/oo	U ₃ O ₈ en kg.	%/oo	en kg.	M Mineral en t	U ₃ O ₈ %/oo	U ₃ O ₈ en kg.	%/oo	en kg.	M Mineral en t	U ₃ O ₈ %/oo	U ₃ O ₈ en kg.	%/oo	en kg.	PRECISION AL NIVEL DE 2 ^o de		
A	40.000	1,2	49.000			155.000	1,3	211.000			72.000	0,2	51.000			73.000	0,2	57.000					
	40.400	1,2	49.000			189.000	1,2	237.000															
	40.400	1,2	49.000																				
B	1.700	5,5	11.000			5.500	4,3	34.000			1.600	1,6	1.600			1.500	1,1	1.700					
	1.700	5,5	11.000			5.000	4,9	25.000															
	1.700	5,5	11.000																				
C																							
SUBTOTAL DISTRITO A B C	42.100	1,4	50.000			190.500	1,4	262.000			92.600	0,3	72.500			92.500	0,3	75.100					
	42.100	1,4	50.000			124.000	1,4	232.000															
	42.100	1,4	50.000																				
E	2.600	1,5	1.300			19.200	2,3	53.400			61.300	1,5	162.600			63.300	2,1	172.900					
	27.700	2,0	35.800			17.900	3,1	55.200															
	27.700	2,0	35.800																				
F	62.800	1,6	115.000			302.700	1,5	332.400			100.200	1,1	235.200			100.200	1,1	235.200					
	62.800	1,6	115.000			211.800	1,6	332.200															
	62.800	1,6	115.000																				
SUBTOTAL DISTRITO E F	72.400	1,9	115.000			339.900	1,5	371.800			212.200	1,4	397.800			212.200	1,4	397.800					
	72.400	1,9	115.000			239.800	1,7	334.400															
	72.400	1,9	115.000																				
TOTAL GENERAL	114.500	1,6	172.200			419.400	1,5	553.200			361.800	1,3	470.400			345.600	1,4	503.200					
	114.500	1,6	172.200			423.800	1,6	575.400															
	114.500	1,6	172.200																				

RESERVAS RESUMEN GENERAL

DELEGACION
PRECIO DEL CONCENTRADO
ACTUALIZADAS AL

OBSERVACIONES

Anexo 8 (2)

YACIMIENTOS	C - PERSPECTIVAS			A + B			A + B + C			E + A + B + C					
	PRECISION AL NIVEL DE 20t			1. A ENTREGAR (Post Corte Superficie) 3. A SACAR (Post Corte Fondo) 2. ECONOMICO (En conductores de Explotación; b de Explotación; z ≥ 1cf 1. GEOLOGICO (x ≥ 0.15 % U, O; lx ≥ 0.15)											
	Us/O ₁	Mineral en t	Us/O ₁ %/aa	Us/O ₂ en Kg	%/aa	en Kg	M Mineral en t	Us/O ₁ %/aa	Us/O ₂ en Kg	%/aa	en Kg	M Mineral en t	Us/O ₁ %/aa	Us/O ₂ en Kg	%/aa
A	117.000	1.2	115.000	1.2	332.000	37.000	1.2	121.500.000			42.000	1.2	121.500.000		
	118.000	1.1	115.000	1.2	334.000	38.000	1.2	122.000.000			43.000	1.2	122.000.000		
B	7.100	1.5	35.000			7.100	1.5	35.000			8.500	1.1	38.500		
	6.500	1.1	27.0			6.500	1.1	27.000			8.200	1.5	37.000		
C	15.000	0.5	7.000			15.000	0.5	7.000			16.800	0.5	7.000		
	13.000	0.5	7.400			13.000	0.5	7.400			15.000	0.5	7.400		
SUBTOTAL A B C	117.000	1.2	115.000			60.100	1.2	117.500			107.100	1.2	122.100		
	118.000	1.1	115.000			61.500	1.2	118.100			108.500	1.2	123.100		
B	23.000	1.5	41.000			23.000	1.5	41.000			24.800	1.5	41.000		
	22.000	1.5	41.000			22.000	1.5	41.000			23.100	1.5	41.000		
P	115.000	1.1	100.000			102.500	1.1	153.500			107.000	1.1	171.500		
	115.000	1.1	100.000			102.500	1.5	102.500			101.500	1.5	102.500		
SUBTOTAL B P	175.000	1.3	211.000			101.100	1.5	172.500			174.200	1.5	212.000		
	175.000	1.3	211.000			102.500	1.7	175.500			102.000	1.6	225.500		
TOTAL	292.000	1.3	378.000			181.200	1.4	435.200			221.400	1.5	475.200		
	291.000	1.3	378.000			183.000	1.5	438.500			222.600	1.5	478.400		