

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA GEOLOGICA
MINERA Y METALURGICA**



ESTUDIO COMPARATIVO DE RESERVAS EN CERRO VERDE ENTRE LAS TECNICAS POLIGONAL, KRIGEAGE CLASICO Y KRIGEAGE LOG - NORMAL

T E S I S

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

HOMERO BAELLA SERVAN

LIMA - PERU - 1982

A MIS ABNEGADOS PADRES:
MANUEL Y ZOILA, POR SUS
DESVELOS Y EJEMPLO QUE
SUPIERON INCULCARME.

TESTIMONIOS DE GRATITUD

En la preparación y redacción de esta TESIS he tenido la suerte y el privilegio de verme asesorado, durante esta larga empresa, por un grupo de excepcionales Profesionales.

En primer lugar quiero expresar mi enorme gratitud al Ing. Oscar Bernuy V., que me inició en el estudio de la Geoestadística y brindó su apoyo y orientación necesaria para llegar a la culminación de esta TESIS.

Do^y también las más expresivas gracias a cada uno de los Profesionales que integran los Departamentos de Geoestadística de las Empresas MINERO PERU y CENTROMIN PERU, sin cuya ayuda no hubiera podido tener los conocimientos necesarios para realizar esta TESIS.

No quiero dar cima a este testimonio sin expresar mi mas profundo reconocimiento a las Empresas que me brindaron la oportunidad de la práctica: Minero Perú, Centromín Perú, así como a la Universidad Nacional de Ingeniería.

Homero Baella Serván

Octubre 1980, Lima.

CONTENIDO

INTRODUCCION

RESUMEN

CAPITULO 1 - GENERALIDADES

- 1.1 Breve Comentario sobre la Mina Cerro Verde
 - 1.1.1 Descripción
 - 1.1.2 Proceso Productivo
- 1.2 Información Utilizada
 - 1.2.1 Tabulación de la Información
- 1.3 Definición de Conceptos Previos
 - 1.3.1 Reservas Estimadas y Reservas Seleccionadas
 - 1.3.2 Tres Tipos de Selección
 - 1.3.3 Incidencia de la Evaluación de Recursos en el Grado de Recuperación de los Beneficios Económicos

CAPITULO 2 - ESTUDIO GEOESTADISTICO

- 2.1 Apreciaciones Teóricas
- 2.2 Estudio Estructural de Datos
 - 2.2.1 Medias
 - 2.2.2 Varianzas
 - 2.2.3 Coeficientes de Correlación
 - 2.2.4 Histogramas
 - 2.2.5 Diagramas de Leyes Medias y Varianzas según Profundidad
 - 2.2.6 Variogramas
- 2.3 Técnicas de Krigeage
 - 2.3.1 Krigeage Clásico
 - 2.3.2 Krigeage Log-Normal

Contenido - Continuación -**CAPITULO 3 - COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS ESTIMADOS CON EL METODO GEOESTADISTICO CON LOS RESULTADOS REALES OBTENIDOS.**

- 3.1 Curvas de Leyes Medias de Bloques Recuperados Bajo Leyes de Corte Sobre Leyes Reales y Estimadas.
- 3.2 Curvas de Tonelaje de Bloques Recuperados Bajo Leyes de Corte sobre Leyes Reales y Estimadas.
- 3.3 Curvas de la Cantidad de Metal de Bloques Recuperados Bajo Leyes de Corte sobre Leyes Reales y Estimadas.
- 3.4 Comprobación de los Parámetros Geoestadísticos Calculados con los Resultados Experimentales.

CAPITULO 4 - COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS ESTIMADOS POR EL METODO POLIGONAL CON LOS RESULTADOS REALES OBTENIDOS.**CAPITULO 5 - COMPARACION ENTRE LOS METODOS KRIGEAGE CLASICO, KRIGEAGE LOG-NORMAL Y POLIGONAL.**

- 5.1 A nivel de la Media
- 5.2 A nivel de la Varianza de Dispersión
- 5.3 A nivel de la Varianza de Estimación
- 5.4 A nivel del Coeficiente de Correlación
- 5.5 A nivel de las Curvas Ley Media, Tonelaje, Cantidad de Metal en Función de la Ley de Corte.
- 5.6 A nivel de las Curvas de Beneficio Previsto, Efectivamente Recuperado y Optimo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**BIBLIOGRAFIA****ANEXOS:**

- 1. Reducción del Variograma a una Variabilidad Uniforme.

Contenido - Continuación

ANEXOS - Cont.

2. Cálculos de las Varianzas de Estimación y Dispersión a Diferentes Niveles de Reconocimiento y Análisis.
3. Aspectos Conceptuales del Método Poligonal
4. Fundición de Beneficio Económico con que se ha trabajado
5. Selección de Reservas en el Caso de la Minería Subterránea.

ILUSTRACIONES

PLANO 1 - Ubicación de los Paneles de Estimación

CUADROS:

1. Determinación del no Sesgamiento Simple
2. Coeficientes de Correlación entre los Estimadores
3. Ley Media, Tonelaje, Cantidad de Metal en Función de la Ley de Corte (Poligonal, Krigeage Log-Normal y Real) (Minería Superficial)
4. Ley Media, Tonelaje, Cantidad de Metal en Fundición de la Ley de Corte para el Método de Krigeage Clásico (Minería Superficial y Subterránea).
5. Verificación de los Resultados Teóricos Esperados por los Resultados Experimentales.
6. Comparación de la Estimación Local por los Diferentes Métodos.
- 7, 8 Cuadros Comparativos entre los Beneficios Previstos, Efectivamente Recuperados, Optimos para los Métodos de Poligonos y Krigeage Log-Normal, Krigeage Clásico.
9. Ley Media, Tonelaje, Cantidad de Metal en Función de la Ley de Corte para el Método de Krigeage (Minería Subterránea).

GRAFICOS:

1. Histogramas de las Variables

Contenido - Continuación.

Gráficos - Continuación.

- a. Cobre Soluble
- b. Log Cobre Soluble
2. Histogramas de las Variables
 - a. Cobre Insoluble
 - b. Log Cobre Insoluble.
3. Histogramas de Leyes Estimadas por los Diferentes Métodos e Histograma de los Valores Reales.
4. Leyes Medias y Varianzas según Profundidad.
5. Variograma del Cobre Total (Primer Nivel de Análisis)
6. Variograma Tridimensional de la Variable Cobre Soluble (Segundo Nivel de Análisis).
7. Variograma Tridimensional de la Variable Sulfuro Superior (Segundo Nivel de Análisis).
8. Variograma Tridimensional Téorico y Experimental de las Variables Log Cobre Soluble y Sulfuro Superior (Cobre Insoluble).
9. Variogramas Experimentales y Teórico de los Sondajes de Disparo.
10. Variogramas Teóricos a Diferentes Niveles de Reconocimiento.
- 11,12 Gráficos Comparativos de Evaluación de Reservas entre los Métodos Poligonal, Krigeage Log-Normal, Krigeage Clásico Caso Minería Superficial.
13. Histograma de los Sondajes de Disparo
- 14,15. Curvas de Beneficio Económico Previsto, Efectivamente Recuperado y Optimo, para los Métodos Poligonal, Krigeage, Log-Normal y Krigeage Clásico. Caso de Minería Subterránea.
- 16,17. Gráfico Comparativo de Evaluación de Reservas entre los Métodos Poligonal, Krigeage Log-Normal y Krigeage Clásico. Caso Minería Subterránea.
18. Curvas de Comparación entre los Beneficios Estimado y Optimo, para los Métodos Poligonal y Krigeage Log-Normal caso de Minería Superficial.
19. Curvas de Comparación entre los Beneficios Estimador y Optimo, para el Método del Krigeage Clásico. Caso de Minería Superficial.

INTRODUCCION

El abastecimiento de materias primas minerales a las diferentes ramas de la industria, la creciente demanda mundial de metales, la existencia de depósitos minerales de ley cada vez mas marginal y la tarea cada vez más difícil de descubrir nuevos depósitos minerales, hacen perentorio el empleo de técnicas cada vez mas racionales para aprovechar con mayor eficiencia nuestros recursos minerales no renovables.

La Geoestadística es una de estas técnicas dedicadas al estudio cuantitativo de los fenómenos naturales y en particular de los depósitos minerales. La asistencia que brinda es de gran importancia en las diferentes etapas del desarrollo de un proyecto y explotación minera como veremos en el texto principal.

En el presente trabajo, sobre la base de la explotación de 20×10^6 T. M. de mineral de Cerro Verde, Fase I, se comprueba la bondad de la técnica Geoestadística y Poligonal al comparar sus resultados con los resultados reales obtenidos después de la explotación.

En el capítulo 1, presentamos un marco de referencia para entender ciertos conceptos claves útiles en el desarrollo del trabajo.

En el capítulo 2, analizamos las herramientas teóricas principales que empleamos, de igual manera presentamos la técnica del Krigeage clásico y Krigeage log-normal.

En los capítulos 3 y 4 nos dedicamos a confrontar los resultados que se obtienen al emplear los métodos Geoestadísticos y Poligonal con los resultados reales obtenidos, respectivamente.

Finalmente, en el capítulo 5, confrontamos los resultados obtenidos por los diferentes métodos, a la luz de criterios técnicos-económicos.

Este proceso de experimentación es fundamental y una vez más se comprueba la validez científica de la teoría que nos ocupa.

CAPITULO 1 - GENERALIDADES

.1 BREVE COMENTARIO SOBRE LA MINA CERRO VERDE

1.1.1 Descripción

Cerro Verde está ubicado en el distrito de Uchumayo, a 24 Km de la Ciudad de Arequipa y a una altura de 2,700 m. s. n. m. La mineralización de este pórfido de cobre presenta zonas de diferentes características mineralógicas identificadas como la zona de óxidos y mixtos, con reservas de minerales lixiviables que llegan a 61'366,000 TM con 1.01% de Cu total y una gran zona subyacente de sulfuros, cuyas reservas alcanzan 812'298,000 TM, con una ley promedio de 0.66% Cu T.

La cantidad de mineral extraído es de 700,000 TM/m, que corresponde a una producción de 33,000 TM/año de cátodos de cobre electrodepositado con una pureza de 99.98%. El total invertido fue de US\$ 199'505,000 y en su financiamiento intervinieron entidades de fomento a la exportación, bancos comerciales, COFIDE y el tesoro público. El proyecto entró en operación el mes de Junio de 1977.

Hasta la actualidad (Dic.1979) se han extraído 20'850,000 TM de mineral.

1.1.2 Proceso Productivo

El arreglo general de este complejo metalúrgico consiste en la extracción mediante el sistema de minado a cielo abierto de minerales de cobre (óxidos y mixtos de alta y baja ley) y material estéril. Este último es descartado, trasladándose desde la mina a los botaderos.

El mineral es acarreado a los circuitos de trituración en ...

camiones de 85 y 100 TC, entrando primero a la chancadora primaria y luego a un sistema de fajas a la chancadora secundaria. El producto chancado es conducido en camiones volquetes de 100 TC de capacidad hasta las canchas de lixiviación en donde se dispersa sobre terrazas escalonadas de 4 m. de espesor, para luego ser regado por aspersión y recirculación de soluciones diluidas en ácido sulfúrico.

De allí pasa sucesivamente a un estanque de almacenamiento de soluciones y circuitos de purificación en la planta de extracción por solventes, donde el cobre es captado mediante el elemento orgánico.

La solución orgánica rica en cobre y limpia de impurezas pasa al circuito de reestracción donde se obtiene el electrolito para la recuperación del cobre metálico en forma de cátodos de alta pureza en la planta de electrodeposición; mientras que la solución empobrecida en este metal recircula en las canchas de lixiviación.

1.2 INFORMACION UTILIZADA

La zona estudiada y actualmente explotada se encuentra en la parte superior del tajo de Cerro Verde y corresponde a la mineralización de óxidos.

La información utilizada por cada panel de 70.7 x 70.7 x 15 ha sido la siguiente:

Cobre total correspondiente a la ley del sondaje central del bloque.

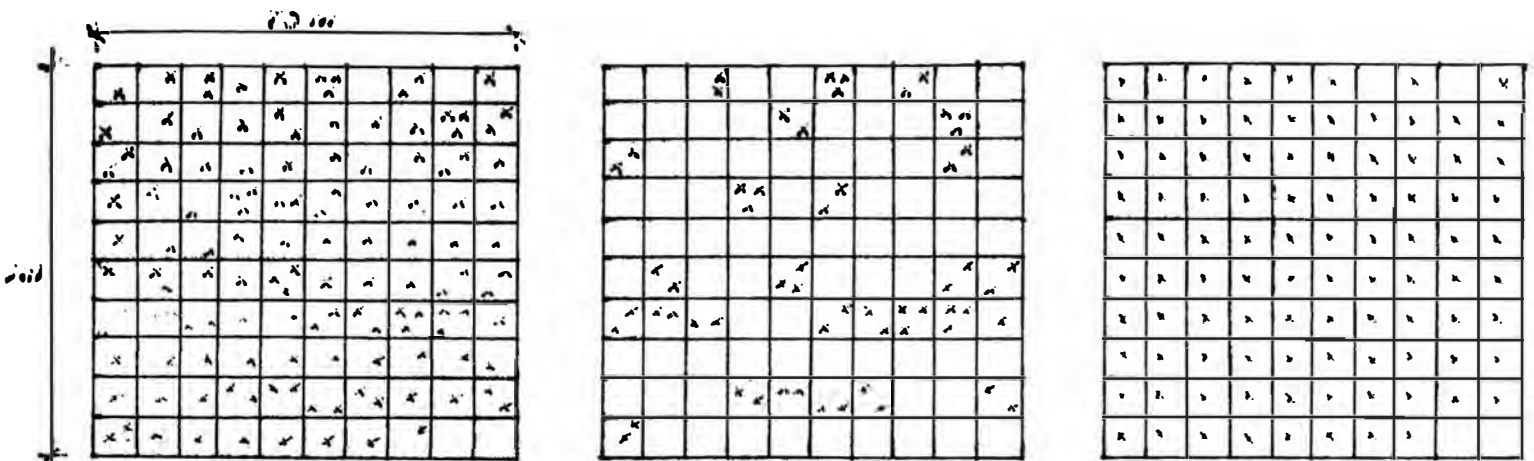
Cobre total estimado por Krigeage clásico

Cobre total real, calculado a partir de los sondajes de disparo

- Cobre soluble correspondiente a la ley del sondaje central del bloque
- Cobre soluble estimado por Krigeage long-normal
- Cobre soluble estimado por Krigeage clásico
- Cobre insoluble correspondiente a la ley del sondaje central del bloque.
- Cobre insoluble estimado por Krigeage log-normal
- Cobre insoluble estimado por Krigeage clásico.

1.2.1 Tabulación de la Información

En la medida en que la ubicación de los sondajes de tiro no fue realizada en forma regular hubo necesidad de hacer algunas aproximaciones; tal como suponer la ubicación de los sondajes en el centro de un bloque de área 7 x 7 m. Para el efecto nos proveimos de un reticulado a la escala debida e hicimos coincidir con la información que se encuentra ploteada en los planos de los bancos, de esta manera convertimos la ubicación de los sondajes de tiro irregular a una distribución a malla regular. En el retículo donde se presentaba mas de dos informaciones se to mó como ley correspondiente del reticulo el promedio de las leyes de dichos sondajes de tiro.



A: INFORMACION ORIGINAL

B: RETICULADO CON MAS DE UN SONDAJE POR CADA PANEL DE 7 x 7 m.

C: INFORMACION FINAL TAL COMO ESTA GRABADA EN EL ARCHIVO DE INFORMACION

Para cada panel de 70.7 x 70.7 x 15 se cuenta además con la ley promedio calculado por el método poligonal y Krigeage a partir de los sondajes de exploración. Teniendo un conocimiento "casi" total de las leyes de un bloque podemos aceptar que las leyes medias de los sondajes de tiro representan la ley media real de los bloques.

1.3 DEFINICION DE CONCEPTOS PREVIOS

En la mayoría de los yacimientos mineros la ley de mineral presenta variaciones dentro del campo mineralizado donde no es posible por causas económicas explotarlo todo: se necesita seleccionar el mineral bajo determinadas leyes de corte. Al respecto tenemos 3 tipos de curvas en función de la ley de corte:

- El tonelaje de mineral ley de corte, $T(x)$ del conjunto de bloques cuya ley media real es superior o igual a "X".
- La cantidad de metal - ley de corte, $Q(x)$ del mismo conjunto.

La ley media - ley de corte, $M(x)$ del mismo conjunto.

Es preciso puntualizar que las 3 curvas mencionadas anteriormente dependen fundamentalmente de la ley estimada del bloque de selección. Entonces es fácil intuir que se obtendrán varios tipos de curvas dependiendo por ejemplo si la selección se hace sobre leyes reales.

La selección sobre las leyes reales de un panel sólo es posible de establecerlo después del proceso de explotación y su utilidad es con el fin de comparar, si la selección prevista, es decir la selección hecha sobre leyes estimadas se acerca a la real.

El problema de la selección está ligado al sistema de explotación que se está empleando. Para comprender mejor esta afirmación definiremos dos conceptos importantes.

1.3.1 Reservas Estimadas y Reservas Seleccionadas

El fondo del problema está en la relación que existe entre las reservas estimadas bajo una determinada ley de corte y las reservas efectivamente seleccionadas durante la explotación. Se presentan esencialmente dos casos generales cuyos ejemplos típicos son las minas subterráneas y las minas a tajo abierto.

a. Minas Subterráneas

En las minas subterráneas la selección se realiza aplicando el criterio de corte sobre las leyes estimadas de los paneles, las que han sido calculadas en función de las leyes muestreadas en la frontera de los bloques. Después de la selección efectuada ...

sobre los planos de evaluación, no se hace una selección posterior: quiere decir que un bloque seleccionado para explotación será definitivamente explotado (y generalmente por entero) y un bloque rechazado será definitivamente dejado de lado.

b. Minas a Tajo Abierto

En las minas a Tajo Abierto se suele proceder a 2 niveles:

1. En los estudios de Factibilidad, la selección se efectúa aplicando el criterio de la ley de corte sobre paneles de dimensiones generalmente del tamaño de la malla de exploración.
2. En la explotación misma, se efectúa una selección mas fina basándose en el muestreo de los sondajes de disparo y sobre bloques generalmente de 14 x 14 x 15 m (que corresponde al tonelaje extraído por guardia de 8 horas de trabajo).

En conclusión en este tipo de explotación, no se explotan las mismas reservas que los que habían sido estimadas.

1.3.2 Tres Tipos de Selección

1. Selección de bloques sobre leyes estimadas, donde se recupera la información de los bloques estimados. Es establecida antes de la explotación, y representa una predicción de lo que se irá a obtener después de la explotación. Es aplicable tanto a minería subterránea como superficial.
2. Selección de bloques sobre leyes reales, donde se recupera la información real de los bloques. Es establecida lógicamente durante la explotación.

3. Selección de bloques sobre leyes estimadas, donde se recupera los valores que corresponden a las le yes reales de los bloques seleccionados. Aplicable con sentido práctico en la minería subterránea. En la minería superficial no tiene sentido práctico.

1.3.3 Incidencia de la Evaluación de Recursos en el Grado de Recuperación de los Beneficios Económicos

Estos 2 conceptos están ligados íntimamente, ya que la segunda es función de la primera. Para explicar mejor esto describimos 3 conceptos esenciales.

Beneficio Previsto B_p

Es el beneficio que se obtiene en base a los datos experimentales y es el mismo que se calcula normalmente en los estudios de factibilidad. Está en función directa de la cantidad de metal que se estima por cada bloque de explotación y de las condiciones técnico-económicas características de cada yacimiento.

Beneficio Efectivamente Recuperado B_r

Es un beneficio al que tendremos acceso conforme vamos explotando el yacimiento. Naturalmente, lo ideal sería que $B_p - B_r = 0$, que es equivalente a un beneficio efectivamente recuperado óptimo. Para que se cumpla esta condición es necesario que la estimación de cada bloque se corresponda exactamente con la cantidad real existente en el bloque.

Beneficio Optimo B_o

Este concepto es bastante abstracto y en un yacimiento real "a priori" es imposible de llegar a él. "A posteriori" de la explotación si es posible calcular este

beneficio. Para explicar este concepto, ubiquémonos después de la explotación de un yacimiento o de gran parte de él, quiere decir que lo conocemos perfectamente. Después en base a este conocimiento perfecto del yacimiento se efectuó el diseño óptimo de la explotación, obteniéndose el beneficio óptimo (B_o), que de todas maneras, será mayor que el Beneficio Efectivamente Recuperado (B_r) ya que éste se calcula en base a un conocimiento imperfecto del yacimiento (estimación de bloques). Naturalmente se tendrá que el Beneficio B_o , ($B_o > B_r$) recupera la mayor cantidad de metal que nos ofrece la naturaleza para las condiciones técnicas económicas dadas. Esto quiere decir que en un yacimiento real, tratar de aproximarnos al Beneficio óptimo es equivalente a hacer un uso mas racional del recurso natural no renovable que nos ofrece la naturaleza. Estos 3 conceptos conjuntamente con los de la evaluación de recursos y diseño de la explotación los interrelacionamos en el siguiente cuadro:

Diseño de la Explotación \ Evaluación de Recursos	NO OPTIMO	OPTIMO
	No Optimo	$B_p \neq B_r \neq B_o$
Optimo	$B_p = B_r \neq B_o$	$B_p = B_r = B_o$

De los 4 casos los menos convenientes son cuando se han hecho la evaluación de recursos en forma no óptima, y así se haya hecho el diseño óptimo se tendrá

que el Beneficio previsto se alejará del Beneficio Efectivamente Recuperado y a su vez se alejará del Beneficio Optimo. Los casos más favorables se producen cuando se tienen una evaluación de recursos - óptimo.

De lo expuesto se deduce que lo más conveniente es que exista una adecuada coherencia en el grado de confiabilidad de ambos factores (evaluación de recursos y diseño de la explotación).

CAPITULO 2 - ESTUDIO GEOESTADISTICO

2.1 APRECIACIONES CONCEPTUALES

Un problema fundamental que se encuentra en todas las ciencias de la naturaleza es la incertidumbre que rodea los fenómenos estudiados.

Esta incertidumbre tiene dos causas principales:

- La complejidad de los fenómenos; que a menudo depende de un número muy grande de factores imposibles de evaluar con precisión, no puede ser descrito completamente por las interpretaciones y los modelos simplificados que la ciencia utiliza.
- De un punto de vista cuantitativo, el costo de la información y la imposibilidad práctica de un conocimiento exhaustivo obliga a realizar estimaciones, lo que implica un margen de error.

El primer problema mencionado es específico de cada ciencia. En cambio, el segundo es general: la estimación es una operación que se realiza en todos los campos de la actividad humana.

En sí mismo una estimación no tiene mucho valor si no se puede de terminar su precisión, o sea el orden de magnitud del error posible. No servirá de nada saber que se tiene un millón de toneladas de mineral si está afectado de un error probable de un millón de toneladas de mineral.

Para resolver este problema el Dr. George Matheron concibió y -- formuló la teoría de las variables regionalizadas. Esta teoría constituye un instrumento científico para el estudio de variados fenómenos que se presentan en la naturaleza. La realización práctica deriva de un conocimiento seguro de la teoría (que insistimos en este

punto, es completamente abordable con un mínimo de conocimiento de estadística clásica) pero necesita sobre todo:

- Un buen conocimiento físico del fenómeno estudiado
- Un buen sentido, es decir el arte de hacer aproximaciones y de adaptar la teoría a la práctica.

2.2 ESTUDIO ESTRUCTURAL DE DATOS

Se refiere a la identificación del comportamiento de la mineralización expresada en modelos matemáticos. En Cerro Verde se tiene dos variables de estudio y son: El cobre soluble y el cobre bajo la forma de sulfuros (insoluble).

2.2.1 Medias

La media es un promedio razonablemente estable. No es afectada hondamente por algunos pocos valores moderadamente grandes, y esta estabilidad aumenta con . La frecuencia total N.

La media, matemáticamente queda expresado por la siguiente relación.

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

m - media del conjunto de valores

X_i - Representa cada uno de los valores

N - Número de valores que hay en el conjunto.

2.2.2 Varianzas

La varianza es una medida de la variabilidad. Una variabilidad pequeña implica que los valores están concentrados alrededor de la media; un valor relativamente grande implica gran dispersión alrededor de la media. Matemáticamente queda representada por la siguiente...

relación:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - m)^2}{N}$$

σ^2 - Varianza de la población

X_i - Representa cada uno de los valores

N - Número de valores que hay en la población.

2.2.2.1 Varianza Relativa

Con la finalidad de hacer una comparación entre los rangos de variabilidad de dos o más variables se ha instituido este concepto, que matemáticamente se representa por:

$$\sigma_r^2 = \frac{\sigma^2}{m^2}$$

Para los variables en estudio en Cerro Verde - tenemos: (sin ley de corte, hasta el nivel 2573)

Variable	Media	σ^2	σ_r^2
Cobre soluble	0.317	0.162	1.61
Cobre ^{insoluble}	0.411	0.326	1.93

La variable cobre soluble es más homogénea

$$\sigma_r^2 \text{ cobre soluble} < \sigma_r^2 \text{ cobre insoluble.}$$

2.2.3 Coefficiente de Correlación (ρ)

La correlación simple puede definirse como la cantidad de similaridad en dirección y grado, en variaciones de parejas correspondientes en observaciones de dos variables.

El coeficiente de correlación permite substituir a la ...

noción cualitativa de "enlace" entre dos mineralizaciones. Es una medida rigurosa de su grado de dependencia. Sobre 20×10^6 TM de mineral explotado el (ρ) entre las variables cobre soluble y cobre insoluble es de 0.18, lo que refleja independencia entre ellas.

2.2.4 Histogramas

El histograma es una curva experimental de las frecuencias de aparición de los diferentes valores de la variable en estudio.

Su importancia radica en definir el comportamiento general que siguió la variable; es decir Normal o Logaritmo-normal; esta definición da las pautas para el futuro tratamiento de la variable con el fin de evitar errores sistemáticos y por ende aumentar la precisión de la estimación.

Para nuestras variables en estudio se calcularon los histogramas respectivos considerando datos hasta el nivel -2573.

Con el fin de tener un mejor conocimiento del comportamiento de las variables se calcula también los histogramas de los logaritmos del mismo conjunto de datos. Así tenemos:

<u>Ley de corte</u>	<u>Variable</u>	<u>Tipo de distribución</u>	<u>Gráfico N°</u>
0.1	Cobre soluble	Aproximadamente log Normal	1. a
0.1	Log-Cu soluble	Aproximadamente Normal	1. b
0.1	Cobre Ins.	Aprox. log normal	2. a
0.1	Log-Cu Ins.	Aprox. normal	2. b

Los histogramas tanto de cobre soluble como cobre insoluble presentan una distribución log normal. Este hecho

implica la existencia de un efecto proporcional que típicamente se considera al trabajar con el método de Krigage log normal.

Se ha calculado también para la zona explotada los correspondientes histogramas. Ver gráfico N° 3.

2.2.5 Diagramas de Leyes Media y Varianzas según Profundidad

	<u>Gráfico</u>
Cobre soluble	4
Cobre insoluble	4
Cobre total	4
Cobre explotado	4

En estos gráficos se observa el comportamiento de la ley media y varianza estadística, que nos proporciona una idea de la cantidad de metal y grado de variación de las dos variables en cada uno de los bancos.

Así mismo se muestra la ley real minada para cada uno de los bancos (en base a 20×10^6 TM).

2.2.6 Variogramas

La función variograma mide las correlaciones existentes entre valores de una variable para varias distancias.

El variograma se calcula tomando el valor promedio de los cuadrados de las discrepancias entre valores distantes una longitud "h"

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{i+h})^2$$

Donde:

$\gamma(h)$ - Función variograma

N - Número de pares de valores distantes "h"

X_i - Valor de la variable estudiado en el punto i

$X_i + h$ - Valor de la variable en el punto distante "h" del punto i.

El variograma refleja muchas propiedades de la variable en estudio. Entre otras tenemos:

- Proporciona información de orden estructural de la variable estudiada.
El Alcance traduce la existencia de una área de influencia.
La Meseta indica una ausencia de correlaciones.
- Grado de continuidad entre leyes. Está dado en función de la pendiente al origen del variograma. Puede ser débil, moderado y fuerte
- Da una idea de la dimensión del cuerpo mineralizado.

2.2.6.1 Descripción de los Variogramas Obtenidos en Cerro Verde

En los variogramas horizontales para los variables cobre soluble, log cobre soluble, cobre insoluble, logaritmo cobre insoluble se observa:

- Isotropía direccional de las variables
- Fuerte correlación de las leyes en todas las direcciones, hasta una distancia de 200 mts.
- Una tendencia de las variables logarítmicas a partir de los 200 mts.
- Una estacionariedad de los variables originales a partir de 200 mts.

En los variogramas verticales para los mismos variables se observa:

- Una fuerte tendencia (que refleja un enriquecimiento o empobrecimiento progresivo).

- Correlación de las variables hasta distancias próximas a 100 mts.
- El variograma adquiere un valor alto para la distancia de 100 mts, el que no corresponde con el variograma horizontal. Esto quiere decir que existe una anisotropía geométrica. En el variograma para la variable cobre total obtenido a partir de los sondeos de disparo se observa:
 - Fuerte tendencia
 - Correlación de la variable hasta distancias próximos a 125 mts.
 - Isotropía direccional.

2.2.6.2 Modelos de los Variogramas

En el cuadro adjunto se presenta las características de los modelos de los variogramas de cada una de las variables en estudio:

Nivel de Análisis	Variograma	Modelo	Tipo	Co	L	A	Gráfico
1° 10500 m	Horizontal	$\gamma(h) = Co + 0.44 \gamma_E(h)$	Esf.	0.95	15	210	5.1
	Vertical	$\gamma(h) = Co + 0.47 \gamma_E(h)$	Esf.	0.45	15	87.5	5.1
	TOTAL	$\gamma(h) = Co + 0.48 \gamma_E(h)$	Esf.	1.78	36	210	5.10
2° 8500 m	Cu S (Trid.)	$\gamma(h) = Co + 0.149 \gamma_E(h)$	Esf.	1.23	30	200	6.10
	Cu I (Trid.)	$\gamma(h) = Co + 0.373 \gamma_E(h)$	Esf.	1.35	22.5	200	7.1
	Log(Trid.) Cu I Log Cu S	$\gamma(h) = Co + 1.036 \gamma_{EX}(h)$	Gauss	8.045	39.75	150	8.
3° 98000 m	Cu T (Subido)	$\gamma(h) = Co + 0.27 \gamma_E(h)$	Esf.	1.5	15	125	9.10a

Co - Efecto de pepita

L - Longitud de regularización

A - Alcance

Primer Nivel de Análisis

El variograma representativo del yacimiento fue obtenido tomando las leyes de cobre total de los sondeos de exploración.

El procedimiento consistió en obtener un variograma horizontal y un vertical. Relacionando ambos variogramas se encuentra que existe una anisotropía geométrica, es decir tiene igual meseta, pero diferentes alcances. El factor que los relaciona viene dado por: (Gráfico N° 5).

$$K = \frac{\text{Alcance del variograma horizontal } 210}{\text{Alcance del variograma vertical } 87.5} = 2.4$$

Segundo Nivel de Análisis

Se ha trabajado independientemente las variables Cobre soluble, cobre insoluble, log cobre soluble, y log cobre insoluble. Los valores experimentales y ajustes teóricos se muestran en los gráficos 6, 7, 8, 9 y 10.

Tercer Nivel de Análisis

El variograma fue obtenido a partir de las leyes de los sondeos de disparo. Es un variograma subido. (Gráfico N° 10-a).

2.3 TECNICA DE KRIGEAGE

Esta técnica consiste en encontrar el mejor estimador posible de la ley de un bloque (o cantidad de metal), teniendo en cuenta la información disponible, es decir las leyes de las diferentes muestras que han sido tomadas ya sea en el interior o exterior al bloque, del que se quiere estimar la ley. El Krigeage viene a efectuar una ponderación atribuyendo un peso a la ley de

cada muestra. . Estos pesos se calculan de manera que se obtenga una precisión máxima (o error mínimo), teniendo en cuenta el comportamiento de la mineralización y las características geométricas del problema, (forma, dimensiones, implantación relativa de las muestras con respecto al bloque). El Kriging atribuye pesos débiles a las muestras alejadas e inversamente pesos fuertes a las cercanas. Normalmente esta técnica se reduce a calcular los pesos óptimos que conviene atribuir a cada muestra, con la condición de hacer ciertas hipótesis sobre las características geoestadísticas del yacimiento.

2.3.1 Kriging Clásico

Para el cálculo de reservas la unidad (panel) que estimar tiene como dimensiones 70.7 m. x 70.7 m. x 15 m. Las dimensiones horizontales corresponden a la malla de perforación y permiten que un taladro se ubique en el centro del panel. La altura del panel corresponde a la altura del banco de explotación.

La aureola de estimación de un panel así definido está constituido por el conjunto de los 27 bloques centrados sobre el bloque a estimar (9 bloques en cada banco y 3 bancos). Ver gráfico N° 20. Se ha tomado tal aureola por dos razones:

Una razón estructural ya que el alcance estructural del variograma es 210 m, uno se puede limitar en considerar 3 bloques.

Una razón práctica: no multiplicar los ponderadores para evitar que el tiempo de cálculo sea prohibitivo.

Además, la información de los 27 bloques ha sido agrupada en 4 grupos a cada uno de los cuales se asocia un ponderador λ . Estos grupos son determinados en base a las simetrías existentes.

- Grupo A: Todos los compósitos ubicados en los bloques distantes horizontalmente 70.7 m del bloque a estimarse.
- Grupo B: Todos los compósitos ubicados en los bloques distantes horizontalmente 100 m. del bloque a estimarse.
- Grupo C: Los compósitos inmediatamente superior e inferior del bloque a estimarse.
- Grupo D: El compósito interno del bloque a estimarse.

Si llamamos P al panel que estimar, tendremos el sistema de Krigage siguiente:

$$\lambda_1 \gamma(AA) + \lambda_2 \gamma(AB) + \lambda_3 \gamma(AC) + \lambda_4 \gamma(AD) + \mu = \gamma(AP)$$

$$\lambda_1 \gamma(BA) + \lambda_2 \gamma(BB) + \lambda_3 \gamma(BC) + \lambda_4 \gamma(BD) + \mu = \gamma(BP)$$

$$\lambda_1 \gamma(CA) + \lambda_2 \gamma(CB) + \lambda_3 \gamma(CC) + \lambda_4 \gamma(CD) + \mu = \gamma(CP)$$

$$\lambda_1 \gamma(DA) + \lambda_2 \gamma(DB) + \lambda_3 \gamma(DC) + \lambda_4 \gamma(DD) + \mu = \gamma(DP)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1$$

y la varianza de Krigage es igual a:

$$\sigma_k^2 = \lambda_1 \gamma(AP) + \lambda_2 \gamma(BP) + \lambda_3 \gamma(CP) + \lambda_4 \gamma(DP) + \mu - \gamma(PP)$$

2.3.2 Krigage Log-normal

Habiendo observado que la población de las leyes de cobre soluble e insoluble de los sondeos obedecen aproximadamente a una distribución log-normal, (Ver gráfico N°1a y 2a), se procedió a efectuar el Krigage bajo el modelo log-normal.

Procedimiento

Se trabajó exactamente con la misma configuración que para el Krigage clásico.

Se efectuó el Krigage a media conocida de los logaritmos de las leyes mediante el sistema

$$\lambda^\alpha \gamma_{\alpha\beta} + \mu = \gamma_{BP}$$

donde

$$\alpha \text{ y } \beta \rightarrow 1, 4$$

Se soluciona el sistema (λ^α)

la λ^α está dada por :

Con la fórmula siguiente se calcularon las leyes krigeadas de los bloques

$$Z^* = Q \lambda^\alpha \gamma_\alpha + \frac{1}{2} \sigma_{KR}^2 \times K$$

donde

- λ^α ponderadores anteriormente calculados
- γ_α logaritmos de las leyes (ver krigage clásico)
- σ_{KR} varianza de krigage log-normal
- K coeficiente corrector que se aplicó banco por banco para no sesgar la estimación.

Finalmente la precisión de la estimación estará dada por:

- $$\sigma_{KR1}^2 = (1 - Q^{-\sigma_{KR}^2}) M^2 Q \sigma^2$$
- M^2 ley media del conjunto de sondajes centrales
 - σ^2 varianza de los logaritmos del conjunto de sondajes centrales.

CAPITULO 3

COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS ESTIMADOS
CON EL METODO GEOESTADISTICO CON LOS RESULTADOS REALES OBTENIDOS (*)

3.1 CURVAS DE LEYES MEDIAS DE BLOQUES RECUPERADOS BAJO LEYES DE CORTE SOBRE LEYES REALES Y ESTIMADAS

Simbología

$E \left(\frac{Z^*}{Z^*} > L_c \right)$ Representa la ley media de los bloques estimados, condicionalizada a la ley estimada mayor que una ley de corte dada.

$E \left(\frac{Z_R}{Z_R} > L_c \right)$ Representa la ley media de los bloques reales, condicionalizada a la ley real, mayor que una ley de corte dada.

El comportamiento general de las curvas es el de una función monótona creciente, es decir:

$$\frac{d m(x)}{d x} \geq 0$$

x = ley de corte

$m(x)$ = ley media para una determinada ley de corte.

3.1.1 Krigeage Log-normal

En el gráfico N° 11 se presentan ambas curvas; y los correspondientes valores están en el cuadro N° 3.

Descripción

Las curvas tienen igual comportamiento hasta una $L_c = 0.8$; las curvas casi se confunden hasta la ley de corte 1.2, posteriormente se aprecia una sobre estimación pequeña.

*NOTA. - En este capítulo nos referimos al caso de la minería superficial. En el Anexo N° 5 nos referimos al caso de la minería subterránea.

3.1.2 Krigeage Clásico

En el gráfico N° 12 se presentan ambas curvas y los correspondientes valores están en el Cuadro N° 4.

Descripción

La curva de Krigeage se presenta constantemente sub-estimada. Esta sub-estimación es mayor a partir de 0.7% de ley de corte.

3.2 CURVAS DEL TONELAJE DE BLOQUES RECUPERADOS BAJO LEYES DE CORTE SOBRE LEYES REALES Y ESTIMADAS

Simbología

$E\left(T_R / Z_R > L_c\right)$ Representa el tonelaje real condicionalizada a la ley real mayor que una determinada ley

$E\left(T^* / Z^* > L_c\right)$ Representa el tonelaje estimado condicionalizada a una ley estimada mayor que una determinada ley de corte.

El comportamiento de ambas curvas es el de una función monótona decreciente es decir:

$$\frac{d \cdot t(x)}{d(x)} \leq 0$$

$T(x)$ = Tonelaje para una determinada ley de corte.

x = ley de corte.

3.2.1 Krigeage Log-Normal

Las curvas respectivas están en el gráfico N° 11 y los correspondientes valores están en el Cuadro N° 3.

Descripción

Entre las leyes de corte 0.00 y 0.30 tienen el mismo comportamiento.

Entre las leyes de corte 0.30 y 0.75 existe ligera sub-estimación del tonelaje.

- Entre las leyes de corte 0.75 y 1.2 existe ligera sobrestimación del tonelaje.
- Para leyes de corte mayores a 1.2 el comportamiento de la curva estimada y real es el mismo.

3.2.2 Krigeage Clásico

En el gráfico N° 12 se presentan ambas curvas y los correspondientes valores están en el Cuadro N° 4.

Descripción

Existe una subestimación del tonelaje para leyes menores de 0.7% y una sobre y subestimación ligera para leyes mayores de 0.7% de ley de corte.

3.3 CURVAS DE LA CANTIDAD DE METAL DE BLOQUES RECUPERADOS BAJO LEYES DE CORTE SOBRE LEYES REALES ESTIMADAS

Simbología

$E[Q_R / Z_R > L]$ Representa la cantidad de metal real recuperada - condicionado a la ley real L_c .

$E[Q^* / Z^* > L]$ Representa la cantidad de metal estimado.

El comportamiento de la curva es el de una función monótona decreciente.

$$\frac{dQ(x)}{dx} \leq 0$$

$Q(x)$ = cantidad de metal para una ley de corte dada;

x = ley de corte.

3.3.1 Krigeage Log-Normal

En el gráfico N° 11, se presentan ambas curvas y los valores respectivos se encuentran en el Cuadro N° 3.

Descripción

Para leyes de corte comprendidos entre 0.0 y 0.8 se aprecia una ligera subestimación del tonelaje.

Para leyes de corte comprendidos entre 0.8 y 1.3 se aprecia una sobrestimación de la cantidad de metal.

Para leyes de corte mayores de 1.4 el comportamiento de ambas curvas es la misma.

3.3.2 Krigeage Clásico

En el gráfico N° 12, se presentan ambas curvas y los valores respectivos se encuentran en el Cuadro N° 3.

Descripción

Se observa una constante subestimación de la cantidad de metal para leyes inferiores a 0.7%. Después se observa una pequeña subestimación para luego seguir subestimando.

Conclusiones

De la comparación de las curvas reales y estimadas correspondientes a la ley media, cantidad de metal y tonelaje, podemos decir que las curvas estimadas por el método Log-Normal, tienen un mejor comportamiento con respecto al real, que el método clásico.

3.4 **COMPROBACION DE LOS PARAMETROS GEOESTADISTICOS CALCULADOS CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES**

- a. Varianza de dispersión de las leyes puntuales dentro del yacimiento, Ver cuadro N° 5.

D^2 (O/G) es igual:

TEORICO- Viene proporcionado por la meseta del variograma regularizado ajustado (referirse al Anexo N° 2).

EXPERIMENTAL - Experimentalmente está dada por la varianza estadística de la ley de los sondajes de tiro dentro del yacimiento. Ver gráfico N° 13.

$$D^2 (O/G) = \frac{1}{N_{st}} \sum^{N_{st}} (Y_{st} - M_{st})^2 = 0.35$$

N_{st} No de sondajes de tiro
 Y_{st} Ley de cada sondaje de tiro
 M_{st} Ley media de los sondajes de tiro

b. Varianza de dispersión de los bloques dentro del yacimiento.

$D^2 (B/G)$ es igual:

Ver Cuadro N° 5.

TEORICO

$$D^2 (B/G) = \bar{Y} (G, G) - \bar{Y} (B, B)$$

(referirse al Anexo N° 2)

EXPERIMENTAL Ver gráfico N° 3

$D^2 (B/G)$ Viene proporcionado por la varianza estadístico de las leyes reales de los bloques.

$$D^2 (B/G) = \frac{1}{NB} \sum^{NB} (Y_{Rbi} - m_b)^2 = 0.16$$

donde:

NB - No total de bloques

Y_{Rbi} - Ley real de cada bloque

M_b - Media de las leyes de los bloques reales.

c. Varianza de dispersión de Leyes puntuales dentro de un bloque $D^2 (O/B)$ es igual:

Ver cuadro N° 5

TEORICO

$$D^2 (O/B) = \bar{Y} (B, B) - \bar{Y} (O, O)$$

Referirse al Anexo N° 2.

EXPERIMENTAL

Viene dado por el promedio de las varianzas de los son-
dajes de tiro de los bloques. Por cada bloque al esti-
mar la ley media de los sondeos de tiro (ley real del
bloque) se obtiene la varianza de dichas leyes.

Si se tiene 103 bloques se tendrán 103 varianzas.

Entonces:

D^2 (O/B) Experimental viene dado por el promedio de di-
chas 103 varianzas.

El concepto anterior matemáticamente queda expresado

$$\text{por: } D^2 \text{ (O/B) experimental} = \frac{1}{NB} \sum_i^{NB} \frac{1}{NS_i} \sum_J^{NS_i}$$

(YSj - MSi)

Donde:

NB - Número de bloques = 103

NSi - Número de sondeos de tiro por cada bloque i

YSj - Ley de cada sondeo de tiro dentro de un bloque

MSi - Ley media de los sondeos de tiro (ley real) den-
tro de un bloque.

- d. Varianza de estimación de un sondeo con respecto al
bloque.

σ_E^2 (O/B) es igual:

TEORICO

$$\sigma_E^2 \text{ (O/B)} = 2 \bar{Y} \text{ (O, B)} - \bar{Y} \text{ (B, B)} - \bar{Y} \text{ (II)}$$

Referirse al Anexo N° 2.

EXPERIMENTAL

$$\sigma_E^2 \text{ (O/B)} = \frac{1}{NB} \sum_i^{NB} (YRbi - Ysci)^2$$

YRbi = Ley real de cada bloque

$Y_{sci} =$ Ley del sondaje central del bloque.

e. Varianza de estimación total.

$$\sigma_{ET}^2 = \frac{\sigma_E^2 (O/B)}{NB}$$

CAPITULO 4

COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS ESTIMADOS POR EL METODO DE POLIGONOS CON LOS RESULTADOS REALES OBTENIDOS

El método de polígonos para el cálculo de reservas consiste en la formación de polígonos con áreas de influencia determinadas por las mediatrices de los segmentos que unen los taladros más cercanos o por los contornos geológicos probables respectivamente. Se asigna a la ley del polígono o área de influencia, la ley del taladro interior al polígono.

LAS CURVAS LEY MEDIA, TONELAJE Y CANTIDAD DE METAL EN FUNCION DE LA LEY DE CORTE

La manera de establecerlas y su justificación teórica han sido detalladamente explicadas en el capítulo anterior. Los gráficos correspondientes a la ley media tonelaje y cantidad de metal son muy expresivos del comportamiento de las curvas real y estimada. La simple observación de los mismos da una idea del error que se comete al tomar válidos las estimaciones hechos por el método poligonal. Las afirmaciones teóricas vertidas a priori (Ver Anexo N°3) son justificados por este ejemplo real. Así tenemos que:

La ley media está sistemáticamente sobre estimada (ver gráfico N° 11).

Se subestima el tonelaje para valores menores de la ley media (0.84) en cambio para valores grandes se sobrestima (ver gráfico N° 11).

Es importante referirse al hecho de que el cambio de subestimación de tonelaje a sobre estimación ocurre en los alrededores de la ley media.

En cuanto se refiere a la curva de cantidad de metal, ésta - tiene un comportamiento parecido a la curva de tonelaje; pues...

su dependencia es directa. (Ver gráfico N° 11).

Experimentalmente para el yacimiento de Cerro Verde sobre un total de 103 bloques se obtiene:

Método	Ley media Cu T (*)	Varianza Cu T (*)
Real	0.86	0.17
Polígonos	0.83	0.31

(*) = Sin ley de corte.

Para una ley de corte igual a Cero la esperanza de la ley media de los sondajes debe ser igual a la ley real de los paneles, pero como se razona en función de esperanzas está sujeta a un cierto margen de error, es por esta razón que en el cuadro anterior se manifiesta una diferencia (0.03) entre las medias real y polígonos.

$$Lm_R = Lm_P \pm 2\sigma \text{ (95\% de probabilidad d. c.)}$$

También tal como está previsto por la teoría; la varianza real, es decir la de los paneles ($D^2 (B/G)$) es menor que la varianza de los sondajes ($D^2 (X/G)$). Ver Anexo N° 2.

Esta comprobación práctica (ejemplo real) complementa las demostraciones teóricas anteriormente expuestas. Por otra parte sirve para mostrar el error que incurre el método poligonal al suponer que la ley del sondaje central es igual a la ley media del bloque, es decir $D^2 (B/G) = D^2 (X/G)$; lo que matemáticamente es un absurdo.

CAPITULO 5

COMPARACION ENTRE LOS METODOS KRIGEAGE
CLASICO, LOG NORMAL Y POLIGONAL

En este capítulo confrontamos los resultados estimados por los métodos Poligonal, Krigeage clásico y Krigeage Log normal, con los resultados reales a la luz de diferentes criterios de comparación técnicos económicos.

5.1 A NIVEL DE LA LEY MEDIA

Sin ley de corte, la ley media estimada es del mismo orden que la ley real (se presentan siempre diferencias, que son completamente explicables, ya que se razona en función de conceptos probabilísticos.

$$Lm \pm 2\sigma$$

El valor de 2σ es el intervalo donde puede caer la ley verdadera para 95% de probabilidad de confianza.

DETERMINACION DEL NO SESGAMIENTO SIMPLE		
Método	Media Estimada %	Ley Media Real %
Poligonal	0.83 ± 0.065	0.86
Krigeage Log Normal	0.85 ± 0.065	0.86
Krigeage Clásico	0.80 ± 0.065	0.86

5.2 A NIVEL DE LA VARIANZA DE DISPERSION

Para 103 bloques de 70.7 x 70.7 x 15 m tenemos los siguientes resultados:

Métodos	Varianza de bloques Estimados	Varianza real de bloques
Poligonal	0.31	0.16
Krigeage Log Normal	0.21	0.16
Krigeage Clásico	0.12	0.16

El valor obtenido por el método poligonal es natural que sea mayor que el real, ver Anexo N° 3.

Los valores obtenidos por los otros métodos son congruentes con la Teoría.

En el Krigeage clásico

$$D^2(B/G) = D^2(B^*/G) + \sigma_K^2$$

de donde evidentemente

$$D^2(B/G) > D^2(B^*/G)$$

$$\sigma_K^2 = \text{Varianza de Krigeage}$$

σ_{Km}^2 = Varianza de Krigeage de la ley media (es siempre muy pequeña)

$$D^2(B/G) = \text{Varianza real de los bloques}$$

$$D^2(B^*/G) = \text{Varianza estimada de los bloques.}$$

En el Krigeage log-normal, la $D^2(B^*/G)$ es más próximo al real debidos a consideraciones Teóricas mas avanzadas.

CUADRO COMPARATIVO DE LEYES DE DISTRIBUCION

Metodo	Estimado	Real	Gráfico N° 3
Poligonal	Aprox. Log-normal	Aprox. Log-normal	A - D
Krigeage Clásico	Aprox. Normal	Aprox. Log-normal	E - D
Krigeage Log-normal	Aprox. Log-normal	Aprox. Log-normal	C - D

La forma de estas curvas naturalmente repercuten en las curvas obtenidas de ley media, tonelaje y cantidad de metal en función de la ley de corte, por lo que impactará de forma diferente en las curvas de las funciones de Beneficio económico que veremos mas adelante.

5.3 VARIANZA DE ESTIMACION NIVEL GLOBAL

A este nivel la varianza de estimación experimental para el caso del método poligonal comprueba la varianza de estimación teórica ($0.0011 \approx 0.0014$).

En el caso de los Krigeages, la coincidencia es mayor.

Nivel Local

Para la comparación a este nivel se ha efectuado el cálculo de la varianza de estimación de un bloque para los tres métodos considerados, así tenemos:

METODO	VALOR TEORICO	VALOR EXPERIMENTAL
Krigeage Log-normal	$\sigma_{KRL}^2 = (1 - e^{-\frac{\sigma_{KR}^2}{\mu}}) M^2 e^{\sigma^2}$	$\sigma_E^2(\beta) = \frac{1}{NB} \sum (L_{Ki} - L_{Bi})^2$
Poligonal	$\sigma_E^2 = 2 \delta(0, B) - \delta(B, B)$	$\sigma_E^2(\beta) = \frac{1}{NB} \sum (L_{Si} - L_{Bi})^2$
Krigeage Clásico	$\sigma_K^2 = \sum \lambda_{\alpha} \delta_{\alpha, B} - \delta(B, B) + \mu$	$\sigma_E^2(\beta) = \frac{1}{NB} \sum (L_{Ki} - L_{Bi})^2$

L_{K_i} = Ley krigeada clásico o log normal

L_{B_i} = Ley real del bloque

L_{S_i} = Ley del sondaje

El Cuadro N°6 expresa estos resultados. Tanto en los métodos de Krigeage y polígonos se nota una alta correspondencia entre el valor teórico esperado y experimental obtenido. Cabe destacarse que por el método de krigeage clásico se obtiene tanto teórica como experimentalmente un mayor grado de precisión.

5.4 A NIVEL DEL COEFICIENTE DE CORRELACION ENTRE LOS ESTIMADORES CON RESPECTO AL REAL

En el cuadro de abajo se aprecia que el método del Krigeage clásico presenta una mayor correlación, lo que refleja justamente la buena estimación local, seguida de los otros métodos.

COEFICIENTE DE CORRELACION ENTRE LOS ESTIMADORES

VARIABLES,	VALOR REAL	POLIGONO	KRIGEAGE LN	KRIGEAGE CL
Valor Real	1	0.82	0.82	0.90
Polígono		1	0.90	0.83
Krigeage-LN			1	0.85
Krigeage-CL				1

5.5 **A NIVEL DE LAS CURVAS DE LEYES MEDIAS, TONELAJES Y CANTIDAD DE METAL EN FUNCION DE LA LEY DE CORTE**

Ver Gráfico N° 11, 12.

Los gráficos son bastante elocuentes al comparar la bondad de uno y otro método (polígonos y krigeage).

Las curvas calculadas a base de las estimaciones hechas por polígonos se aleja más de la real, que en el caso de las curvas krigeados, donde se observa que su comportamiento presenta desplazamientos relativamente pequeños y compensatorios.

Para el caso de la ley media, la curva de polígonos sobrestima constantemente la ley.

La curva de Krigeage log-normal casi se confunde con la real. En el método poligonal las curvas de tonelaje y cantidad de metal se presentan subestimadas para leyes de corte menores que la ley y sobrestimadas para las leyes mayores que la ley de corte. En el método de Krigeage se presenta el mismo fenómeno, pero en % muy inferior. No cabe duda que el método de Krigeage

(log-normal y clásico) es el que más se ajusta a la realidad, y su bondad tanto teórica, como prácticamente ha sido nuevamente probada.

5.6 A NIVEL DE LAS CURVAS DE BENEFICIO PREVISTO, EFECTIVAMENTE RECUPERADO Y OPTIMO

De los resultados que se tienen en los Cuadros N° 7, 8 se han construido, las 3 curvas económicas fundamentales mencionadas (ver acápite 1.3.2), para diferentes costos de operación (o lo que es lo mismo para diferentes leyes de corte) y tomando una función de Beneficio Simplificada (Ver Anexo N° 4).

Siguiendo la Metodología del trabajo, el análisis lo efectuamos a los niveles de la minería superficial y minería subterránea (Ver Anexo N° 5).

MINERIA SUPERFICIAL

METODO POLIGONAL:

En el gráfico N° 18, apreciamos las 2 curvas que nos interesa comparar esto es, las curvas de Beneficio previsto y Beneficio Optimo, para diferentes costos de operación (equivalente para diferentes leyes de corte).

Se observa:

El Beneficio Estimado o Previsto está subestimando la curva de Beneficio Optimo, hasta aproximadamente al valor de la ley de corte correspondiente a la ley media. Después pasa a sobrestimar.

METODO KRIGEAGE-LOG NORMAL:

En el gráfico N° 18, observamos las 2 curvas que nos interesa comparar.

El Beneficio Estimado o Previsto es aproximadamente concordante con la curva de Beneficio Optimo, hasta aproximadamente el valor de ley de corte correspondiente a la ley media. Después pasa a sobrestimar ligeramente.

METODO DEL KRIGEAGE CLASICO:

En el gráfico N° 19, observamos las 2 curvas que nos interesa comparar.

El Beneficio Estimado es sistemáticamente mas conservador con respecto al Beneficio Optimo para todos los costos de operación.

COMPARACION ENTRE LOS 3 METODOS:

A nivel global observamos que para diferentes costos de o-
peración la curva correspondiente al Krigeage log-normal, ..

es el que mas se aproxima al óptimo.

El método del Krigeage clásico es conservador, y el método de Polígonos sobre y subestima al Beneficio Optimo.

Precisamos objetivamente para 2 costos de operación referido a la explotación de un yacimiento de 20×10^6 TM de dimensión.

COMPARACION ENTRE EL BENEFICIO ESTIMADO CON BENEFICIO OPTIMO

Costo de Operación = 4 US\$/TM

	Poligonal 10^6 US\$	Krigeage Log-normal 10^6 US\$	Krigeage Clásico 10^6 US\$
Beneficio Est.	168.7	175.5	161.3
Beneficio Opt.	179.1	179.1	179.1
Sobrestimación:			
Subestimación	-10.4	-3.6	-17.8

Costo de Operación = 6.45 US\$/TM

Beneficio Est.	124.5	125.5	109.7
Beneficio Opt.	128.7	128.7	128.7
Sobrestimación:			
Subestimación	4.2	3.2	19.0

Para los 2 casos mencionados se observa la ganancia en términos monetarios al utilizar para la Evaluación Global el método del Krigeage Log-normal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los valores teóricos calculados de la varianza de estimación y de dispersión (que incide fuertemente en la selección de reservas) para cada uno de los métodos mencionados, son concordantes con los resultados obtenidos después de la explotación. Ver Cuadros Nos. 5 y 6.

Es de notar que utilizamos los criterios geoestadísticos para determinar incluso la precisión de otros métodos de cálculo de leyes (por ejemplo el Poligonal).

2. La varianza de estimación Teórica del método poligonal re-frendada por el valor experimental obtenido es fiel reflejo de su baja precisión. Ver Cuadro N° 6.

3. El método mas favorable para el cálculo local de leyes es el Krigeage clásico seguido del Krigeage Log-normal. Ver Cuadro N° 6. Debido a ello, se les debe utilizar para fines de planificación de la explotación a corto y mediano plazo respectivamente.

4. Se debe tomar en cuenta para fines de una evaluación económica a largo plazo (Nivel de Estudio de Factibilidad) los resultados que proporciona el método de evaluación del Krigeage Log-normal. Ver gráficos Nos. 13, 14, 18 y 19.

5. En base de la comparación entre las curvas: Beneficio Previsto, Beneficio Efectivamente Recuperado y Beneficio Optimo precisamos.

- Para los intereses particulares de una empresa es solamente conveniente que el Beneficio Previsto se aproxime al Beneficio Efectivamente Recuperado. Pero para..

ello hemos demostrado, es conveniente hacer un cálculo local y global correcto de las leyes, lo que se consigue trabajando con el método geoestadístico.

Para los intereses particulares de la Empresa y a su vez para la nación y humanidad entera, es importante acercarnos al Beneficio Optimo y para ello es requisito indispensable hacer una correcta evaluación local y global de las leyes y en adecuado planeamiento de minado que igualmente se consigue trabajando con reservas estimadas por el método geoestadístico.

6. El empleo de los resultados Geoestadísticos en el diseño óptimo de minas a cielo abierto o cercano al óptimo, dará como consecuencia que el Beneficio Previsto por esta estimación, será próxima al Beneficio Efectivamente Recuperado y lo que es también un criterio muy importante el Beneficio Previsto se acercará al Beneficio Optimo (en otras palabras hacer un mejor uso del recurso no renovable).

BIBLIOGRAFIA

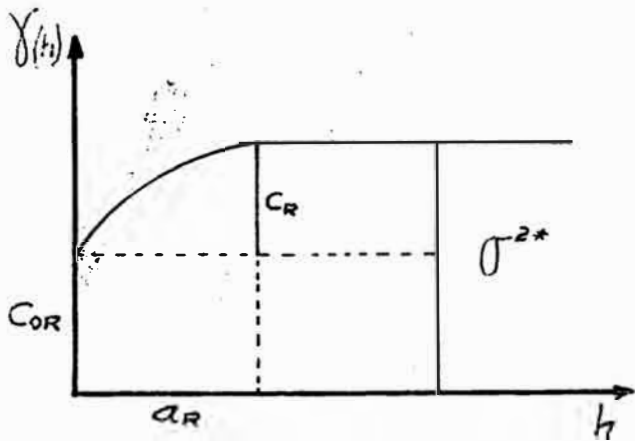
1. Alain Marechal (1974) "Le Krigeage Log Normal et Normal" Ecole des Mines de Paris France - Paris.
2. Andre Journel (1977) "Geoestadística Minera" These de Dr. D'Etat Paris, France.
3. Centre de Geoestadística Minera (1974). "Programatística" (Programas de Geoestadística Minera). Ecole des Mines de Paris - France.
4. George Matheron (1972). La theorie des Variables Regionalises et ses Aplica". Ecole des Mines de Paris -France.
5. Edelmiro Cueva (1975). Modelo Geoestadístico de Evaluación de Reservas para Mallas Regulares (aplicado a la Cerro Verde I)" Informe Interno I. M. M. Minero Perú, Lima.
6. O. Bernuy, Edelmiro Cueva (1977) "Calculo de Reservas de Cerro Verde por Método Geoestadístico" Informe Interno I. M. M. Minero Perú, Lima.
7. O. Bernuy (1978) "Estudio Comparativo entre los Diferentes Métodos de Evaluación de Reservas". IV Congreso Peruano de Geología - Lima.
8. O. Bernuy (1978) "Presentación de Algunos Modernos Modelos Matemáticos en la Concepción de la Explotación de un Yacimiento Porfirítico", XIII Convención de Ingenieros de Minas, Lima.
9. O. Bernuy (1978) "La Estimación de las Leyes en Cerro Verde Fase I, Relacionada a la Producción de Cátodos". Informe Interno I. M. M. Minero Perú.
10. O. Bernuy (1979). "Informe sobre Algunos Criterios Técnicos Conceptuales que se Aplican a Cerro Verde, Toquepala y Cuajone". Informe Interno de Div. I. M. M., Minero Perú, Lima.

ANEXO N° 1

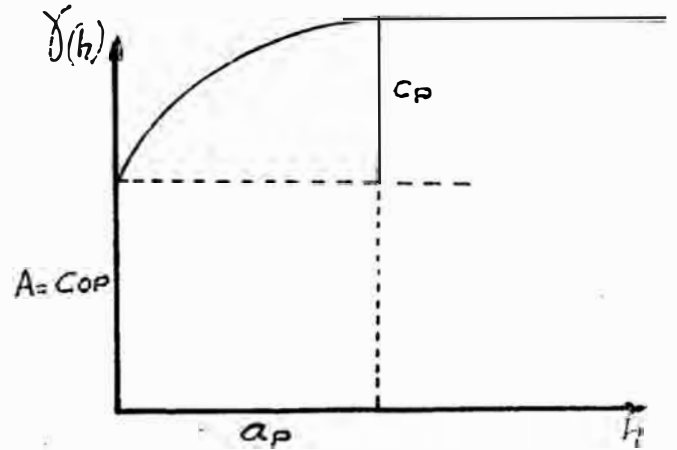
REDUCCION DEL VARIOGRAMA A UNA VARIABILIDAD UNIFORME
CON EL FIN DE TENER RESULTADOS COMPARABLES

0.35 Varianza estadística de los sondajes de tiro

0.27 Variabilidad proporcionado por el variograma experimental
de los sondajes de tiro.



Var. regularizado



Var. puntual

$$C_{c_R} = \frac{A}{L} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$C_p > C_R$$

$$C_p = C_R + F(L) \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$a_p = a_R + L \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$C_R = C_p - F(L) \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$\sigma^{2*} = \frac{A}{L} + C_p - F(L) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$\gamma_{e_{x_{PR}}} (h_i) = \frac{C_{op}}{2} + C_p \gamma_p (h_i) \quad \text{-----} \quad (6)$$

Cont. Anexo 1.

$$A_R = 125$$

$$C_R = 0.26$$

$$C_{oR} = 0.10 \quad C_{oP} = 1.5$$

$$L = 15$$

$$C_P = 0.27$$

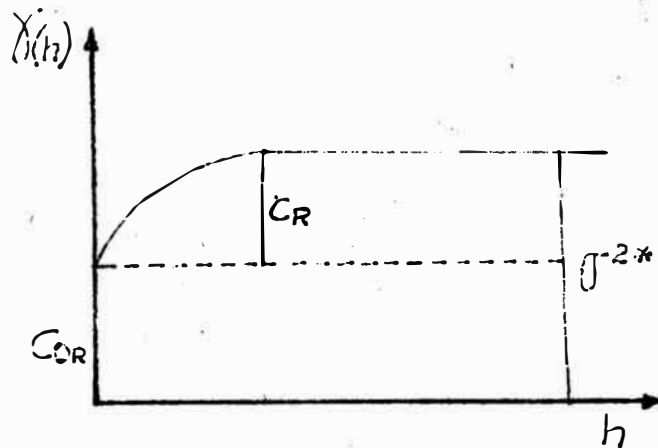
$$F(L) = 0.06 \times 0.27$$

$$C_R = 0.27 - 0.06 \times 0.27$$

$$C_R = 0.25$$

$$\sigma^{2*} = 0.25 + 0.1 = 0.35$$

$$\sigma^{2*} = 0.1 + 0.27 - 0.06 \times 0.27 = 0.35$$



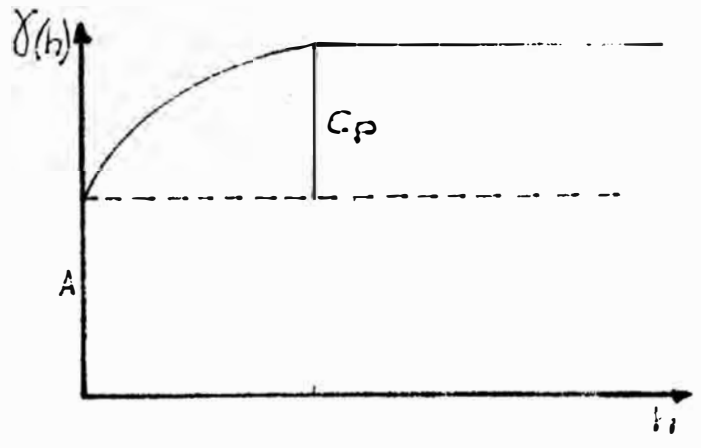
aplicando

$$0.12182 = C_{oR} + C_P \cdot 0.055$$

$$\chi_R (7)$$

$$0.27992 = C_{oR} + C_P \cdot 0.635$$

$$\chi_R (63)$$



$$A = 1.78$$

$$C_{oR} = \frac{1.78}{36} = 0.05$$

$$C_P = 0.48$$

$$a_R = a_P - L$$

$$a_R = 210 - 15$$

Cont. Anexo 1.

$$a_R = 195$$

$$C_R = C_p - F(L)$$

$$F(L) = 0.09$$

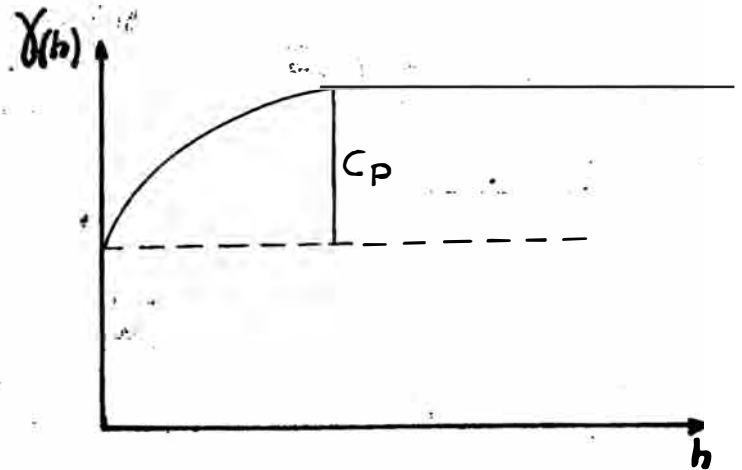
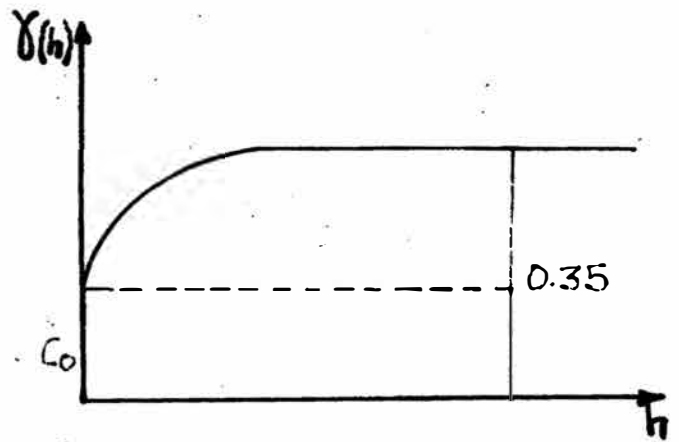
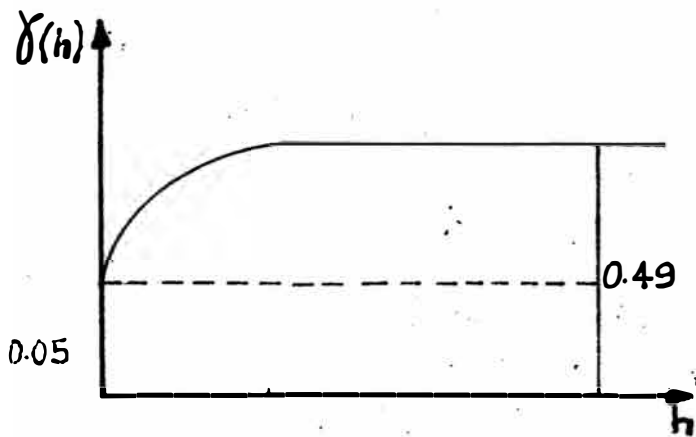
$$C_R = 0.482 - 0.09 \times 0.482$$

$$C_R = 0.439$$

$$\sigma^{2*} = C_R + C_{oR}$$

$$\sigma^{2*} = 0.489$$

Para comparar la precisión con respecto a la que se obtiene tomando como base el variograma de los sondeos de tiro, se tiene que normar a la varianza estadística de 0.35.



$$\frac{0.05}{0.49} = \frac{C_o}{0.35}$$

Cont. Anexo 1.

$$A = 0,0357$$

$$C_{P_R} = 0,3143$$

$$C_P = C_{P_R} + F(L)$$

$$C_P = 0,3143 + 0,09 \times 0,31$$

$$C_P = 0,3379$$

$$A = 0,035 \times 36$$

$$A = 1,26$$

2° FASE

$$\frac{0,041}{0,18} = \frac{C_o}{0,35}$$

$$L = 15 \times 2 = 30$$

$$C_o = 0,0797$$

$$\text{Factor de anisotropia} = 2$$

$$A = 2,3917$$

$$F(30) = 0,07483125$$

$$C_R = 0,2703$$

$$C_P = 0,2703 + 0,0748 \times 0,2703$$

$$C_P = 0,2905$$

A N E X O N°2

CALCULO DE LAS VARIANZAS DE ESTIMACION Y DISPERSION A DIFERENTES NI VELES DE RECONOCIMIENTO Y ANALISIS

Tal como se explicó en la parte correspondiente a los variogramas, se tienen 3 fases de estudio estructural especificadas seguidamente:

- 1° FASE. La variable estudiada fue el cobre total de los sondeos de exploración.
- 2° FASE. La variable cobre soluble mas el cobre insoluble anamorfoseada al cobre soluble, correspondiente a los sondeos de exploración.
- 3° FASE. La variable cobre total correspondiente a 6553 sondeos de disparo.

Los parámetros de ajustes de variograma experimental son las siguientes (ver gráfico N° 10).

FASES PARAMETROS	1° FASE (2*)	2° FASE (3*)	3° FASE
Efecto de pepita	1.26	2.39	1.5
Variabilidad "C"	0.34	0.29	0.27
Longitud "ℓ"	36	30	15
Alcance	210	200	125
(normada a 3° FASE)	0.35	0.35	0.35

(1*) "ℓ" representa la dimensión en la cual se define la regularización.

(2*) Todos estos parámetros están normadas a la variabilidad de los sondeos de disparo (0.35).

(3*) También están normados a 0.35, pero además la variable cobre insoluble está anamorfoseada al comportamiento del cobre

Cont. Anexo 2.

soluble, debido a que el cobre insoluble es prácticamente inexistente en la zona explotada (20×10^6 TM) (ley Cu I. = 0.08%).

Ejemplo en el caso de un bloque de $(70.7 \times 70.7 \times 15)$ se quiere definir $\gamma(l, \beta)$, entonces, $l = 15$ (taladro central) B el volumen del bloque.

Sucede en algunos casos que existe anisotropía vertical (1° FASE) factor de anisotropía = 2.4), entonces la longitud "l", tiene que verse afectada por dicho factor. Esta es la razón de que la longitud "l" en el caso de la primera fase sea igual a 36 (15×2.4). En general en el caso de existir anisotropía vertical la longitud a considerar para cualquier función, como factor de ponderación del efecto de pepita ($\frac{Co}{l}$) se considera la longitud "l" original afectada por el factor de anisotropía.

(1). - Varianza de dispersión de las leyes puntuales dentro del yacimiento:

$$D^2 (O/G) = D^2 (O/B) + D^2 (B/G) \quad (1)$$

$$D^2 (O/G) = (GG) - \gamma(O, O) \quad (2)$$

$$\gamma(G, G) = F(G', G', G') + \left[\frac{Co - Co}{G'G'G'} \right] \quad (3)$$

$$\gamma(O, O) = F(L^*) + \left[Co - \frac{Co}{L} \right] \quad (4)$$

reemplazando (3) y (4) en (2)

$$D(O/G) = F(G', G', G') + Co - \frac{Co}{G'G'G'} - F(L) - Co + \frac{Co}{L}$$

$$D(O/G) = F(G, G, G) - \frac{Co}{G'G'G'} + \frac{Co}{L} - F(L) \quad (6)$$

$G' \rightarrow$ representa una de las dimensiones del yacimiento, lo que significa es de una magnitud bastante grande. Luego la expresión (6) se reduce a:

$$F(G', G', G') = \text{meceta del variograma} = C$$

$$\frac{Co}{G' \times G' \times G'} \rightarrow \text{tiende a cero}$$

Cont. Anexo 2.

$$D(O/G) = C + \frac{C_0}{L} \cdot F(L) \quad (7)$$

C = meceta del variograma

C₀ = efecto de pepita

L(*) = longitud del sondaje (altura del banco)

F(L) = Función auxiliar

Remplazando valores en (7)

1° FASE

$$D^2(O/G) = 0.34 + \frac{1.26}{36} \cdot 0.060 \times 0.34^*$$

$$D^2(O/G) = 0.354$$

2° FASE

$$D^2(O/G) = 0.2905 + \frac{2.39}{30} \cdot 0.075 \times 0.2905$$

$$D^2(O/G) = 0.349$$

3° FASE

$$D^2(O/G) = 0.27 + \frac{1.5}{15} \cdot 0.09 \times 0.27$$

$$D^2(O/G) = 0.35$$

* = Los valores sacados de ábacos o calculados por integración numérica, están referidas a una variabilidad de 1, por lo cual para ser útil en cualquiera de las fases se les multiplica por la variabilidad correspondiente.

Cont. Anexo N° 2

(2) Varianza de dispersión de los bloques dentro del yacimiento.

$$D^2 (B/G) = \chi(GG) - \chi(BB) \quad (1)$$

$$\chi(G, G) = F(G', G', G') - \left[C_0 - \frac{C_0}{G', G', G'} \right] \quad (2)$$

$$\chi(B, B) = F(B', B', B') - \left[C_0 - \frac{C_0}{B', B', B'} \right] \quad (3)$$

$F(B', B', B')$ - Se encuentra en ábacos

$F(G'G'G')$ = C (meceta)

(2) y (3) en (1)

$$D^2 (B/G) = C - C_0 + \phi - F(B', B', B') + C_0 - \frac{C_0}{B', B', B'}$$

$$D^2 (B/G) = C - C_0 + \phi - F(B'B'B') + C_0 - \phi$$

$$D^2 (B/G) = C - \underbrace{F(B'B'B')}_{\text{ábacos}} \quad (8)$$

Remplazando valores en (8):

1° FASE

$$D^2 (B/G) = 0.34 - 0.267 \times 0.34$$

$$D^2 (B/G) = 0.249$$

2° FASE

$$D^2 (B/G) = 0.2905 - 0.285 \times 2905$$

$$D^2 (B/G) = 0.208$$

3° FASE

$$D^2 (B/G) = 0.27 - 0.425 \times 0.27$$

$$D^2 (B/G) = 0.16$$

Cont. Anexo N° 2

$$(3).- D^2 (o/B) = \gamma (BB) - \gamma (o, o)$$

$$D^2 (o/B) = F (B'B'B') + C_o - \frac{C_o}{B'BB'} - \left[F (L) + C_o - \frac{C_o}{L} \right]$$

$$D^2 (o/B) = F (B'B'B') + C_o - \phi - F (L) - C_o + \frac{C_o}{L}$$

$$D^2 (o/B) = F (B'B'B') - F (L) + \frac{C_o}{L} \quad (9)$$

$F (B'B'B') = F (70.7, 70.7, 15)$ → Se encuentra en ábacos; referido a una variabilidad de 1.

Remplazando valores en (9), tenemos:

1° FASE

$$D^2 (o/B) = 0.267 \times 0.34 - 0.0599 \times 0.34 + \frac{1.26}{36}$$

$$D^2 (o/B) = 0.105$$

2° FASE

$$D^2 (o/B) = 0.285 \times 0.291 - 0.075 \times 0.291 + \frac{2.391}{30}$$

$$D^2 (o/B) = 0.141$$

3° FASE

$$D^2 (o/B) = 0.425 \times 0.27 - 0.086 \times 0.27 + \frac{1.5}{15}$$

$$D^2 (o/B) = 0.19$$

$$(4).- \sigma_E^2 (o/B) = 2 \gamma (o, B) - \gamma (B, B) - \gamma (o, o)$$

$$\sigma_E^2 (L/B) = 2 \gamma (L, B) - \gamma (BB) - \gamma (L, L)$$

$$\sigma_E^2 (L/B) = 2 \left(\gamma (L, B) + C_o - \frac{C_o}{B} \right) - \left(\gamma (BB) + C_o - \frac{C_o}{B} \right) - \left(\gamma (LL) + C_o - \frac{C_o}{L} \right)$$

$$\sigma_E^2 (L/B) = \underbrace{2 \gamma (LB) - \gamma (BB) - \gamma (LL)}_{\text{ábacos}} + \frac{C_o}{L}$$

ábacos

Cont. Anexo N° 2

1° FASE

$$\sigma_{E^2} (L/B) = 0.082 \times 0.34 + \frac{1.26}{36}$$

$$\sigma_{E^2} (L/B) = 0.063$$

2° FASE

$$\sigma_{E^2} (L/B) = 0.080 \times 0.291 + \frac{2.391}{30}$$

$$\sigma_{E^2} (L/B) = 0.103$$

3° FASE

$$\sigma_{E^2} (L/B) = 0.165 \times 0.27 + \frac{1.5}{15}$$

$$\sigma_{E^2} (L/B) = 0.145$$

(5) Error Relativo.

$$ER = \frac{\sigma_E (o/B)}{m}$$

$$m = 0.86$$

$$ER \text{ experimental} = \frac{\sqrt{0.109}}{0.86}$$

$$ER \text{ 1° FASE} = \frac{\sqrt{0.0605}}{0.86}$$

$$ER \text{ 2° FASE} = \frac{\sqrt{0.103}}{0.86}$$

$$ER \text{ 3° FASE} = \frac{\sqrt{0.144}}{0.86}$$

(6). Varianza de estimación total. Si se hace la abstracción de la independencia de errores para los 103 bloques tenemos:

$$\sigma_{E^2 T} (1) = \frac{\sigma_{E^2} (o/B)}{103}$$

$$\sigma_{E^2 T} \text{ experimental} = \frac{0.109}{103}$$

$$\sigma_{E^2 T} \text{ 1° FASE} = \frac{0.0605}{103}$$

$$\sigma_{E^2 T} \text{ 2° FASE} = \frac{0.103}{103}$$

$$\sigma_{E^2 T} \text{ 3° FASE} = \frac{0.144}{103}$$

ANEXO N° 3

ASPECTOS CONCEPTUALES DEL METODO POLIGONAL

Se ha demostrado por vía experimental (Yacimientos de oro de Sud Africa, yacimiento de cobre de Chuquicamata), teórica y mediante simulación las siguientes desventajas en la aplicación de este método.

- a. - Sub o sobrestimación de las leyes de los paneles.
- b. - La dispersión de las leyes de los bloques estimados por el método de polígonos es siempre mayor que la dispersión de la ley media de los bloques.

Estos dos conceptos dá como consecuencia a nivel global.

Para leyes de corte menores que la media:

- Subestimación de tonelaje
- Sobrestimación de la ley

Para leyes de corte superiores a la ley media:

- Sobrestimación del tonelaje
- Sobrestimación de la ley

Es obvio esperar que para cualquier yacimiento se debe llegar por vía experimental a las mismas conclusiones:

Veamos en seguida cuan ciertas son las premisas anteriormente expuestas para el caso de Cerro Verde.

Comprobación Práctica del Postulado: "La dispersión de los bloques estimados por el método de polígonos es siempre mayor que la dispersión de la ley media de los bloques".

$$D^2 (o/G) > D^2 (B/G)$$

Esta comprobación tiene un impacto económico como se demuestra en el capítulo:5

Cont. Anexo N° 3

En los capítulos 3 y 5 se hizo referencia a la siguiente fórmula experimental:

$$D^2 (0/G) = D^2 (0/B) + D^2 (B/G)$$

Donde:

$D^2 (0/G)$ - Varianza de dispersión de los compósitos en el yacimiento.

$D^2 (0/B)$ - Varianza de dispersión de los compósitos en el bloque de estimación.

$D^2 (B/G)$ - Varianza de dispersión de los bloques en el yacimiento.

El método de Polígonos hace corresponder a $D^2 (0/G)$ y $D^2 (B/G)$ iguales valores, lógicamente desde el punto de vista matemático es inadmisibles.

Ampliando mejor este concepto daremos a continuación demostraciones "teóricas" del porqué $D^2 (0/G)$ es mayor que $D^2 (B/G)$ fácilmente comprensibles:

Consideramos dos cosas ideales:

- 1- Un yacimiento con varianza nula reconocida por una malla regular de sondajes.

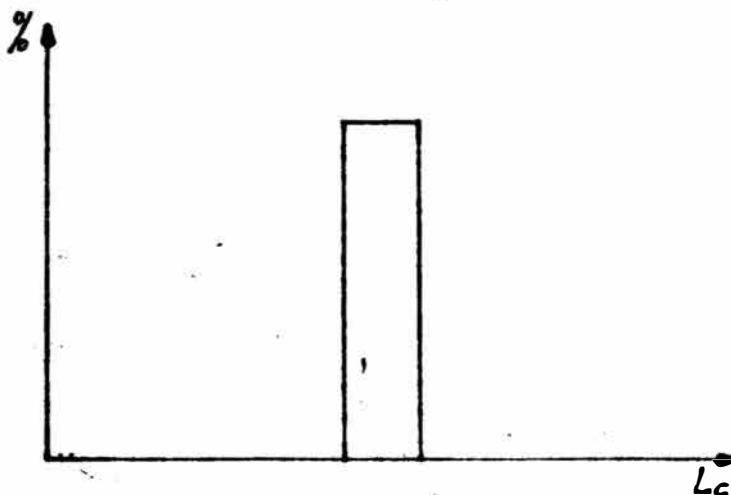
*	*	*	*
*	*	*	*
*	*	*	*
*	*	*	*

Tendremos:

Una media del yacimiento M_1 (valor constante de cada uno de los sondajes).

Cont. Anexo N° 3

- Una varianza $\sigma_1^2 = 0$
- Un histograma de una sola clase.



Suponiendo que nuestra estimación es insesgada, es decir, la ley de los sondajes se corresponde a la ley de los bloques, entonces nuestro histograma de bloques se corresponderá exactamente con el histograma de sondajes.

Consecuencia:

No existe sub o sobrestimación de tonelaje ni sobrestimación de la ley.

- 2 - Un yacimiento con varianza fuerte reconocida por una malla regular de sondajes.

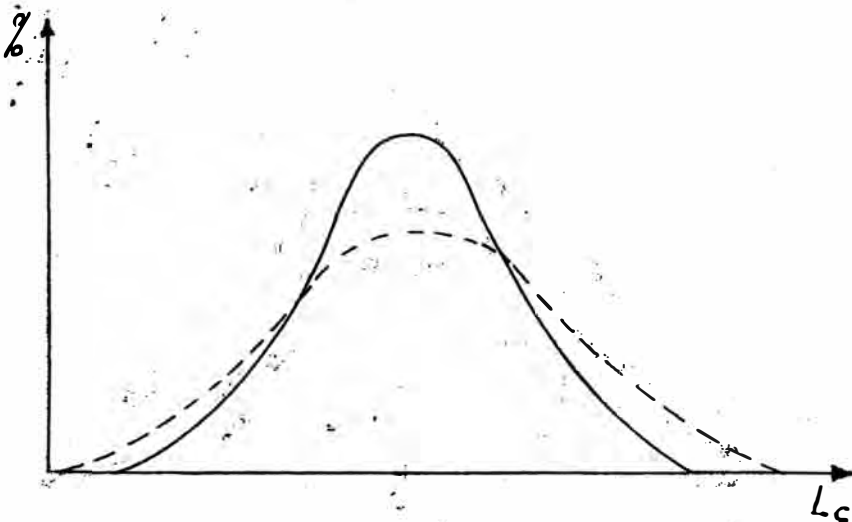


● Zona de alta mineralización
x Sondajes

Cont. Anéxo N° 3

Tendremos:

- Una media de sondajes m
- Una varianza fuerte
- Un histograma característico.



————— Histograma de bloques (regularizado)

----- Histograma de leyes de los sondajes centrales

En función de este histograma se demuestra.

- Las leyes medias de cada bloque serán diferentes de las leyes de los sondajes.
- La varianza de bloques en el yacimiento será menor que la varianza de los sondajes. Se demuestra que cada vez que existe una regularización (que es equivalente a una convolución) la varianza disminuye.

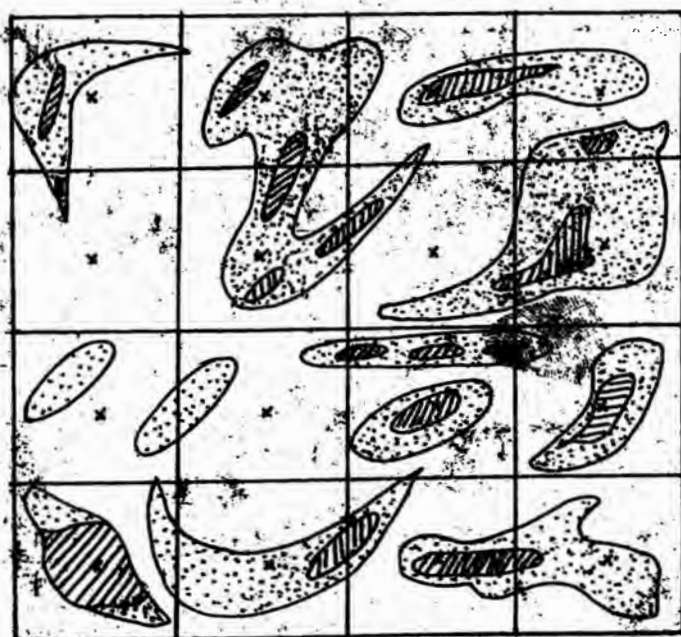
Conclusión:

Según las consideraciones anteriores queríamos puntualizar que existen menos valores extremos (bajos y altos) en las leyes verdaderas de los paneles que en las leyes de los compósitos. Este concepto no es evidente por sí mismo pero se le puede demostrar casi sin necesidad de conocimiento matemático y de la forma...

Cont. Anexo N° 3

siguiente:

- El hecho de que el volumen de estimación es mucho mas grande que el volumen del soporte (sondajes), es mucho más difícil para un panel que para un taladro tener una ley extrema. Significa que hay probabilidad más baja o en otras palabras un % mas bajo de estos en el yacimiento.
- Un taladro puede tener una ley mediana o extrema dependiendo de su ubicación. Una zona muy rica o muy pobre puede estar contenida muy fácilmente por el volumen del taladro, mas no así por el volumen del bloque de estimación. Al respecto puede haber excepción pero son muy raras, porque se tratará de una zona teniendo el valor casi máximo o casi mínimo de cantidad de metal a nivel de todo el bloque. Debido a esto la probabilidad de las leyes extremas es mucho más baja en caso de los paneles que de los taladros así se prefiere el % de bloques correspondiente a la característica mencionada es más baja que en el caso de los compósitos o taladros.



X - Sondajes

pobre

rico

mediano

ANEXO N° 4**FUNCION DE BENEFICIO ECONOMICO CON QUE SE HA TRABAJADO**

Se ha trabajado con la fórmula de valorización siguiente:

$$B = T \times Z \times P \times \% R \times 2204 - \lambda T$$

Donde:

B - Beneficio

T - Tonelaje de mineral

Z - Ley del bloque de 70.7 x 70.7 x 15 m.

P - Precio del metal = 1 US \$/lb de Cu

%R - Porcentaje de recuperación (85%)

λ - Costo de operación

La función de Beneficio arbitraria tomada es una simplificación de la fórmula anterior.

$$B = T \times Z - \lambda \times T$$

Donde:

λ - representa la ley de corte

$$Q = T \times Z$$

Q = Es la cantidad de metal para una ley de corte dada.

ANEXO N° 5**SELECCION DE RESERVAS EN EL CASO DE MINERIA SUB-TERRANEA**

Tal como se explicó anteriormente el problema de la selección en minería subterránea es distinta de la superficial; tratando de clarificar más el problema que ocurre en la minería subterránea hemos extrapolado los datos que se tienen de Cerro Verde al de una mina subterránea. Eso significa que vamos a suponer que estamos en una mina subterránea y ver el fenómeno que ocurre al momento de la selección.

1. Curvas de las Leyes Medias de los Bloques Recuperados bajo Leyes de Corte sobre Leyes Estimadas para los Métodos Geoestadísticos y Poligonal

Las curvas estimada y recuperada se presentan en los gráficos N° 16 y 17 los valores respectivos están en los Cuadros N° 8 y 9.

Simbología

$E \left[Z_R/Z^* > L_c \right]$ - Ley media de los bloques reales recuperados condicionada a la ley de corte estimada.

$E \left[Z^*/Z^* > L_c \right]$ Ley media de bloques estimados recuperados condicionada a la ley de corte estimada.

2. Curvas de Tonelaje de Mineral Recuperado bajo Leyes de Corte sobre Leyes Estimadas por los Métodos Geoestadísticos y Poligonal

Como la selección se realiza en base a la ley estimada, o sea los bloques seleccionados son conocidos a priori, entonces el tonelaje estimado es exactamente igual al tonelaje real. Las curvas real y estimada para ambos métodos se confunden. Ver gráficos N° 16 y 17.

/

Cont. Anexo N° 5

Simbología

$E \left[\frac{TR}{Z^*} > L_c \right]$ Tonelaje de mineral extraído a la ley de
Corte $Z^* > L_c$

$E \left[\frac{T^*}{Z^*} > L_c \right]$ Tonelaje de mineral estimado a la ley de
corte $Z^* > L_c$.

El bloque de mineral estimado será el mismo bloque exactamente recuperado (*).

Esta propiedad se cumple exactamente en el tipo de explotación subterránea.

(*) = Existirá siempre diferencia entre TR y T*. Esto plantea otro problema de estimación, que es motivo de un análisis similar a este trabajo.

3. Curvas de la Cantidad de Metal Recuperada, bajo Leyes de Corte sobre Leyes Estimadas por los Métodos Geoestadísticos y Poligonal

Las curvas se muestran en los gráficos N° 16 y 17. Para los cuadros N° 8 y 9.

Simbología

$E \left[\frac{Q^*}{Z} > L_c \right]$ Cantidad de metal estimada condicionada a la ley de corte estimada.

$E \left[\frac{QR}{Z^*} > L_c \right]$ Cantidad de metal real condicionada a la ley de corte estimada.

De la comparación de estas curvas se deduce que nuevamente el método geoestadístico proporciona valores más confiables.

Dentro del método geoestadístico el que proporciona mejores resultados a corto plazo es el Krigeage clásico y a largo plazo es el método de Krigeage Log-normal.

Cont. Anexo N° 5**4. Comparación a Nivel de los Beneficios: Estimados, Efectivamente Recuperados y Optimos**

Método Poligonal: En el gráfico N° 14, apreciamos las 3 curvas que nos interesa comparar para diferentes costos de operación (equivalente a diferentes leyes de corte).

El Beneficio estimado, generalmente está sobrestimando el Beneficio Efectivamente Recuperado y ello aumenta a medida que el costo de operación aumenta, lo que es muy peligroso.

Método del Krigeage Log-normal:

En el gráfico N° 14, igualmente apreciamos las 3 curvas que nos interesa comparar y para diferentes costos de operación.

El Beneficio Estimado sobrestima ligeramente el Beneficio Efectivamente Recuperado y a su vez el B.E.R. está subestimando ligeramente al Beneficio óptimo.

Método del Krigeage Clásico:

En el gráfico N° 15, apreciamos las 3 curvas comparables.

El Beneficio Estimado, subestima constantemente al B.E.R. y a su vez el B.E.R, subestima ligeramente al Beneficio óptimo.

COMPARACION ENTRE BENEFICIOS: ESTIMADO, EFECTIVAMENTE RECUPERADO Y OPTIMO

Costo de Operación = 4 US \$/TM

	POLIGONAL 10³ US \$	KRIGEAGE LOG-NORMAL 10³ US \$	KRIGEAGE CLASICO 10³ US \$
B. E. (1)	168.7	175.5	161.3
B. E. R. (2)	165.3	176.2	177.2
B. Op. (3)	179.1	179.1	179.1
(1) - (2)	+ 3.4	- 0.7	-15.9
(3) - (2)	13.8	2.9	1.9
Costo de Operación a 6.45 US \$/TM			
B. E. (1)	124.5	125.5	109.7
B. E. R. (2)	104.2	117.9	118.7
B. Opt. (3)	128.7	128.7	128.7
(1) - (2)	20.3	7.6	-9.0
(3) - (2)	24.5	10.8	10.0

CONCLUSIONES

En el método del Krigeage Log-normal, el Beneficio Estimado (B.E.) es el más concordante al Beneficio Efectivamente Recuperado (B.E.R.). En el método del Krigeage clásico el B.E.R. es el más concordante al B. Optimo. El B.E. subestima al B.E.R. demostrando que la técnica es conservadora.

Para una empresa es importante que el B.E., sea concordante con el B.E.R., lo que se consigue mejor con el Krigeage Log-normal, Krigeage Clásico y poligonal respectivamente.

Para un estado y humanidad entera es conveniente que el B.E.R., sea concordante con el Beneficio Optimo, demostrando con ello un uso más racional del recurso no renovable que nos ofrece la naturaleza y ello se consigue mejor con el Krigeage clásico, Krigeage Log-normal y Poligonal respectivamente.

Precisamos objetivamente para 2 costos de operación más o menos realista. Ver Cuadro adjunto.

Demostrando con ello los enunciados propuestos arriba. Es decir en términos monetarios se demuestra la conveniencia de utilizar el método Geoestadístico para la evaluación de los recursos en minería subterránea.

LEY MEDIA, TONELAJE, CANTIDAD DE METAL (PARA EL CASO DE MINERIA SUPERFICIAL)
EN FUNCION DE LA LEY DE CORTE

Ley de Corte %Cu T	POLIGONOS				KRIGEAGE LN				REAL			
	N° de Paneles	Ley (*) Media %Cu T	Cant. Metal TM	Tonela- je TMx10 ³	N° de Pane- les	Ley(*) Media %Cu T	Cant. Metal TM	Tonela- je TMx 10 ³	N° de Pane- les	Ley Media %Cu T	Cant. Metal TMx10 ³	Tonela je TMx10 ³
0.0	103	0.827	166,148	20,079	103	0.852	171,111	20,079	103	0.8640	173,406	20,079
0.2	99	0.853	164,686	19,299	103	0.852	171,111	20,079	103	0.8640	173,406	20,079
0.4	82	0.963	133,945	15,985	97	0.883	167,016	18,909	99	0.8840	170,632	19,299
0.6	57	1.166	129,616	11,112	72	1.018	142,921	14,036	83	0.9560	154,629	16,180
0.8	39	1.384	105,229	7,603	41	1.269	101,465	7,993	41	1.232	98,482	7,993
1.0	27	1.609	84,682	5,263	28	1.453	79,290	5,458	23	1.4920	66,892	4,484
1.2	20	1.775	69,204	3,899	16	1.730	53,973	3,119	15	1.6920	49,478	2,924
1.4	14	1.984	54,155	2,729	12	1.860	43,503	2,339	12	1.7900	41,866	2,339
1.6	10	2.173	42,361	1,943	9	2.002	35,125	1,755	9	1.8990	33,314	1,755

$$(*) E \left[\frac{Z^*}{Z^*} > L\alpha \right]$$

$Z^* =$ Ley estimada

LEY MEDIA TONELAJE CANTIDAD DE METAL PARA DIFERENTES LEYES DE CORTE

METODO KRIGEAGE CLASICO

Ley de Corte % Cu T	MINERIA SUPERFICIAL				MINERIA SUBTERRANEA			
	N° de Paneles	Ley Media(*) % Cu T.	Cantidad de Metal T.M.	Tonelaje 10 ³ TM	N° de Paneles	Ley Media(*) de Metal TM	Cantidad de Metal de Metal TM	Tonelaje 10 ³ TM
0.0	103	0.803	161,234	20,079	103	0.864	173,406	20,079
0.2	102	0.810	161,093	19,888	102	0.867	172,429	19,888
0.4	99	0.823	158,831	19,299	99	0.877	169,252	19,299
0.6	69	0.963	129,533	13,451	69	1.003	134,914	13,451
0.8	43	1.130	94,717	8,382	43	1.169	97,986	8,382
1.0	23	1.357	60,848	4,484	23	1.460	65,466	4,484
1.2	15	1.492	43,626	2,924	15	1.633	47,749	2,924
1.4	10	1.572	30,638	1,949	10	1.832	35,706	1,949

(*) $E [Z/Z^* > Lc]$

Lc = Ley de corte

Z = Valor real

Z* = Estimado por el método Krigeage clásico.

VERIFICACION DE LOS RESULTADOS TEORICOS ESPERADOS
POR LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES (Referirse Anexo N° 2)

NOTACION MATEMATICA	EXPERIMENTAL	FASES DEL ESTUDIO ESTRUCTURAL		
		1° FASE	2° FASE	3° FASE
D^2 (O/G)	0.348	0.354	0.349	0.350
D^2 (B/G)	0.174	0.249	0.208	0.160
D^2 (O/B)	0.184	0.105	0.141	0.190
σ_E^2 (O/B)	0.109	0.063	0.103	0.145
ERROR RELATIVO (σ_E^2)	38.40%	29.19%	37.3%	44.27%(*)
σ_{ET}^2	0.00106	0.0006	0.001	0.0014
ERROR RELATIVO (σ_{ET}^2)	3.8%	2.88%	3.7%	4.36%

Ley media sobre 103 bloques explotados = 0.86% Cu T.

1° FASE - sobre 103 compósitos

2° FASE - sobre un tratamiento del cobre soluble - proyectado al Cu T.

3° FASE - sobre 6553 sondajes de tiro.

(*) La diferencia con el experimental probablemente es debido a que para este cálculo no se ha tomado en cuenta la anisotropia vertical.

CUADRO N° 6

**COMPARACION DE LA ESTIMACION LOCAL POR LOS METODOS
KRIGEAGE CLASICO, KRIGEAGE LOG-NORMAL Y POLIGONAL**

METODO PARAMETRO	KRIGEAGE CLASICO		KRIGEAGE LOG-NORMAL		POLIGONAL	
	EXPERI- MENTAL	TEO- RICO	EXPERI- MENTAL	TEO- RICO	EXPERI- MENTAL	TEO- RICO
λ_1	0.24		0.54		1.0	
λ_2	0.39		0.16		0.0	
λ_3	0.28		0.04		0.0	
λ_4	0.09		0.26		0.0	
μ	0.008		0.006		0.0	
VARIANZA DE ESTIMACION	0.033	0.031	0.069		0.109	0.144
ERROR RELATIVO ()	21.1%	22.0%	30.6%		38.4%	44.1%
(*) VARIANZA DE ESTIMACION GLOBAL	0.0003	0.0003	0.0007		0.0011	0.0014
(*) ERROR RELATIVO GLOBAL	2.1%	2.2%	3.0%		3.8%	4.3%

N° de bloques de estimación = 103

Ley media real 0.86

(*) Estos valores son válidos trabajando sin ley de corte.

CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS BENEFICIOS PREVISTOS, EFECTIVAMENTE RECUPERADOS Y OPTIMOS PARA DISTINTOS COSTOS DE OPERACION

COSTO DE OPER-	POLIGONOS			KRIGEAGE LN		
	PREVISTO 10 ³ US \$	EFACT. RECUP. 10 ³ US \$	OPTIMO 10 ³ US \$	PREVISTO 10 ³ US \$	EFACT. RECUP. 10 ³ US \$	OPTIMO 10 ³ US \$
0.00	249,009	259,887	259,887	256,448	259,887	259,887
2.25	203,395	207,681	214,709	211,270	214,709	214,709
4.50	158,787	153,172	168,883	165,218	165,136	168,883
6.74	119,366	96,934	122,692	119,597	110,829	122,692
8.99	89,361	65,211	75,744	80,214	66,798	75,744
11.24	67,754	45,220	49,836	57,482	48,484	49,856
13.49	51,122	32,924	34,707	38,818	32,244	34,707
15.74	38,205	25,058	25,924	28,378	21,769	25,924
17.98	28,436	17,501	18,382	21,096	14,701	18,382

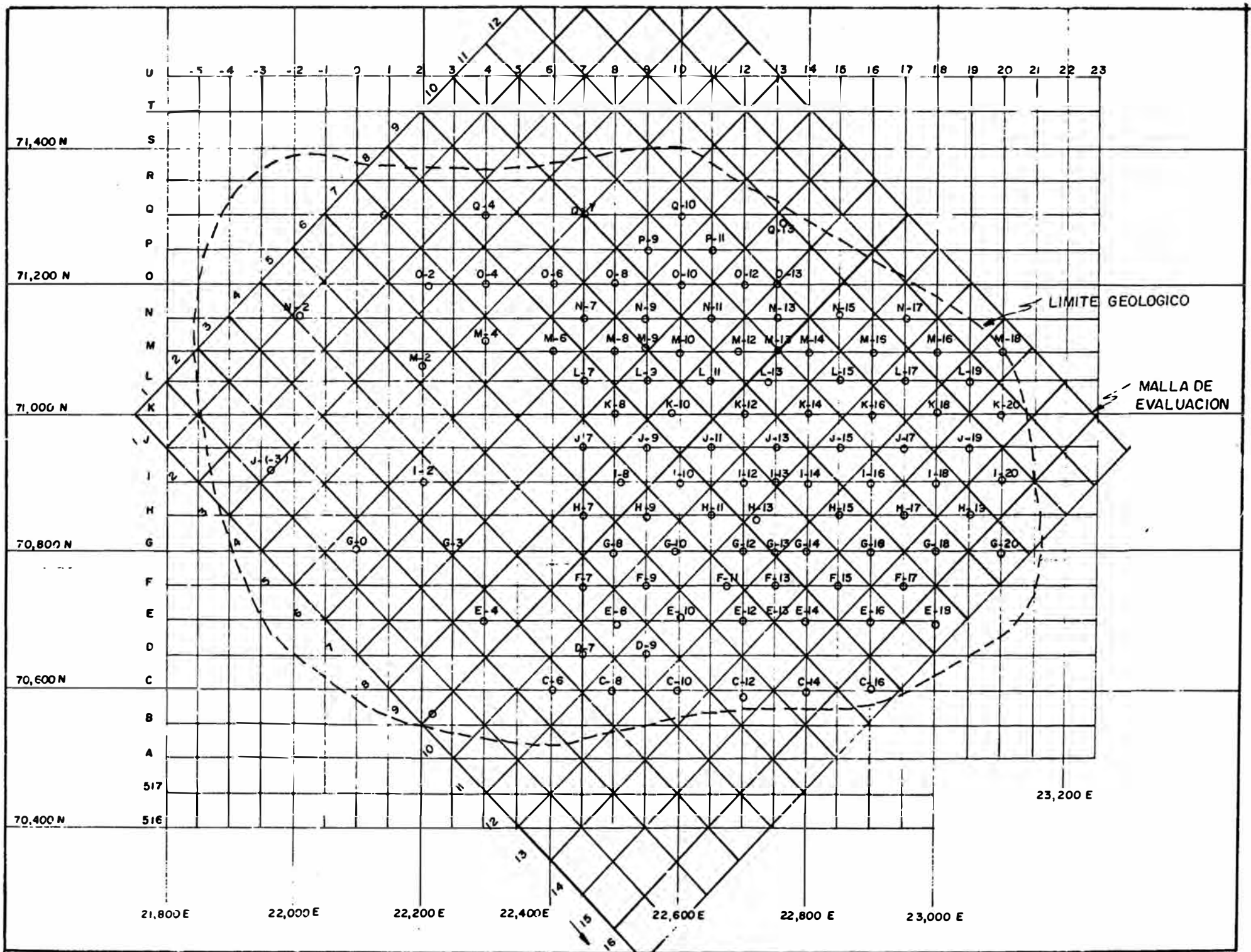
CUADROS COMPARATIVOS ENTRE LOS BENEFICIOS
ECONOMICOS QUE SE OBTIENEN EMPLEANDO
EL KRIGEAGE CLASICO

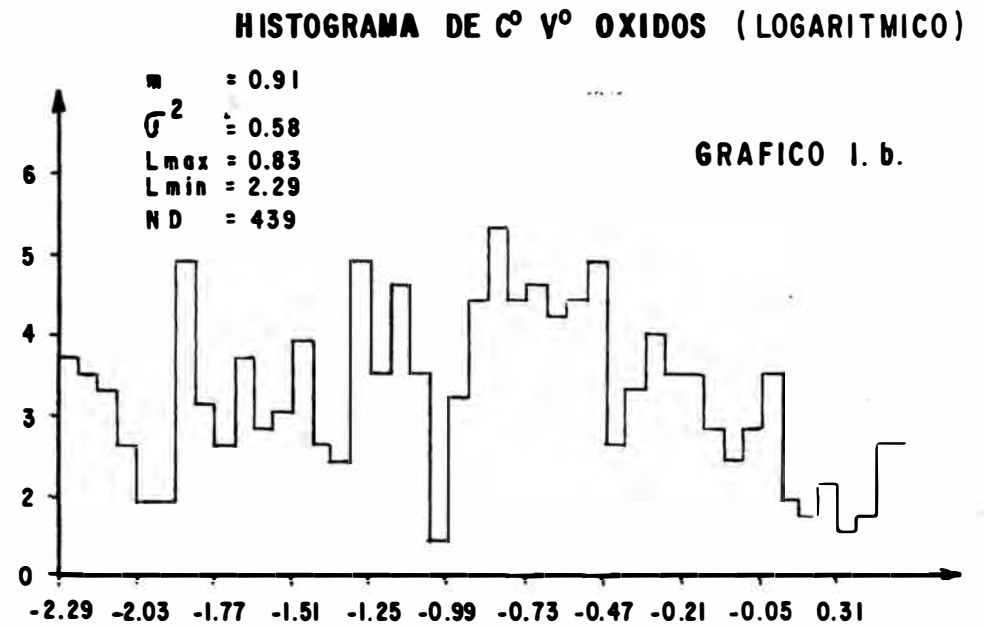
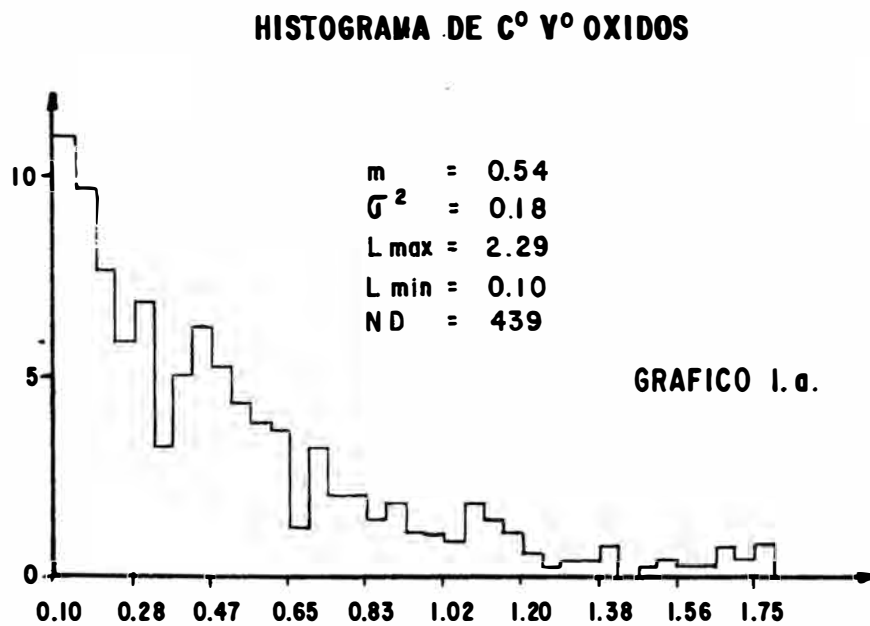
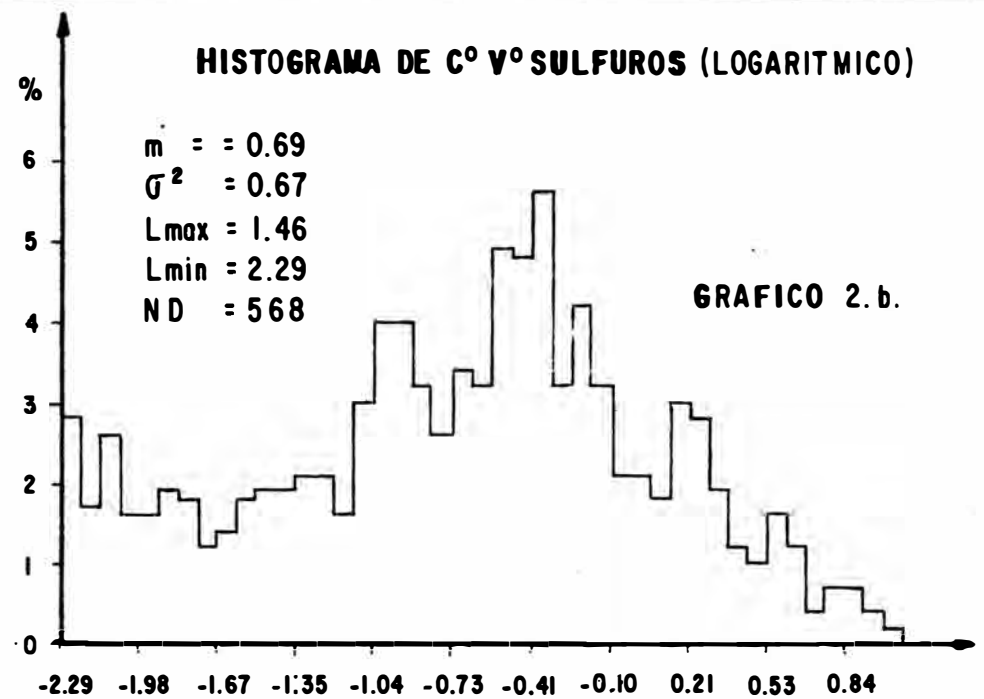
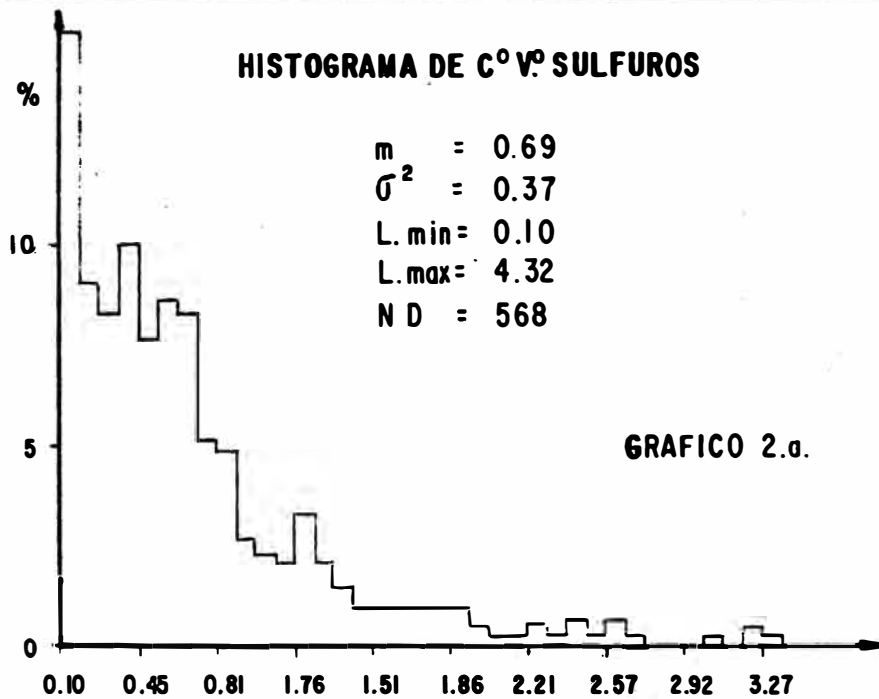
K R I G E A G E C L A S I C O			
COSTO DE OPERACION	PREVISTO 10 ³ US \$	EFECTIVAMENTE RECUPERADO 10 ³ US \$	OPTIMO 10 ³ US \$
0.00	241,645	259,887	259,887
2.25	196,645	213,671	214,709
4.50	151,198	166,813	168,883
6.74	103,474	111,535	122,692
8.99	66,600	71,497	75,744
11.24	40,794	47,714	49,836
13,49	25,938	32,117	34,707
15.74	15,241	22,835	25,924

LEY MEDIA - TONELAJE - CANTIDAD DE METAL PARA
DIFERENTES LEYES DE CORTE (Proyectado a Mina Subterránea)

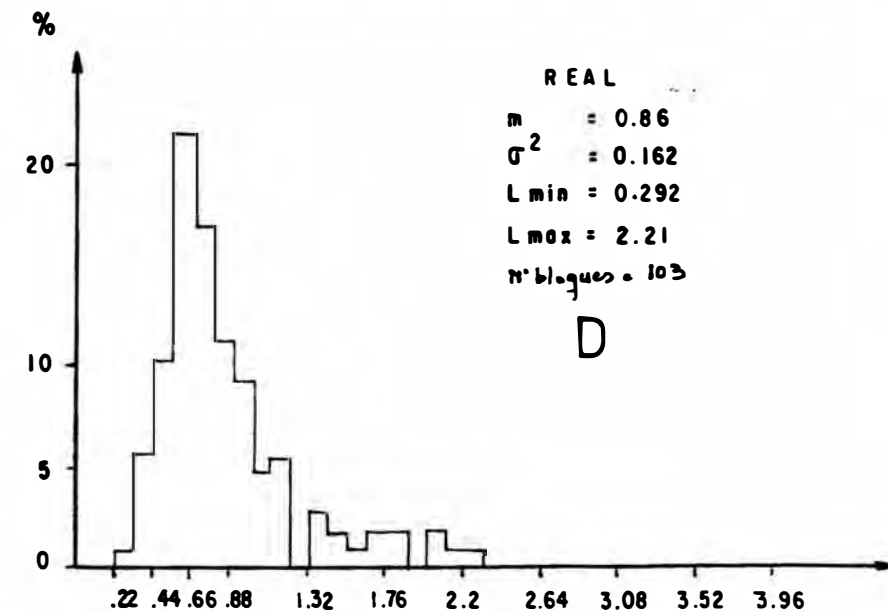
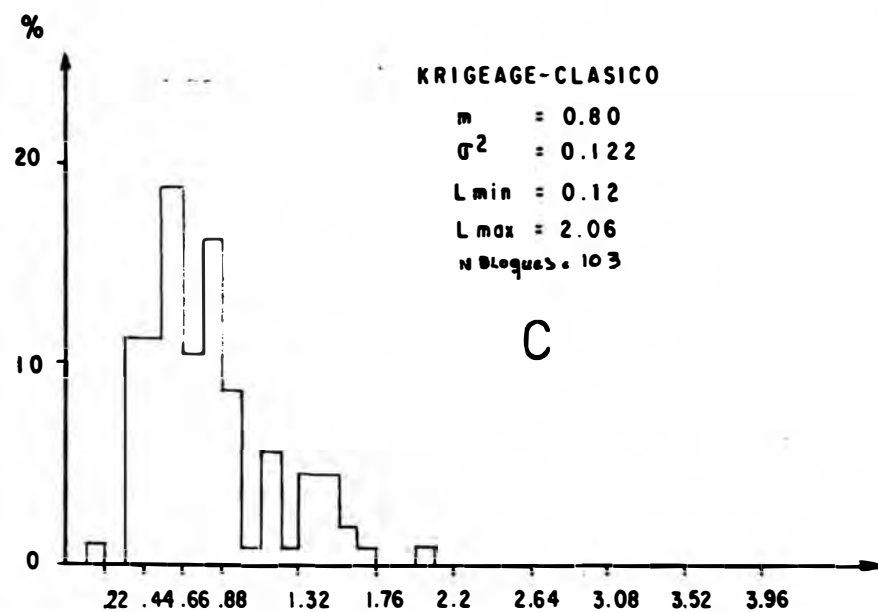
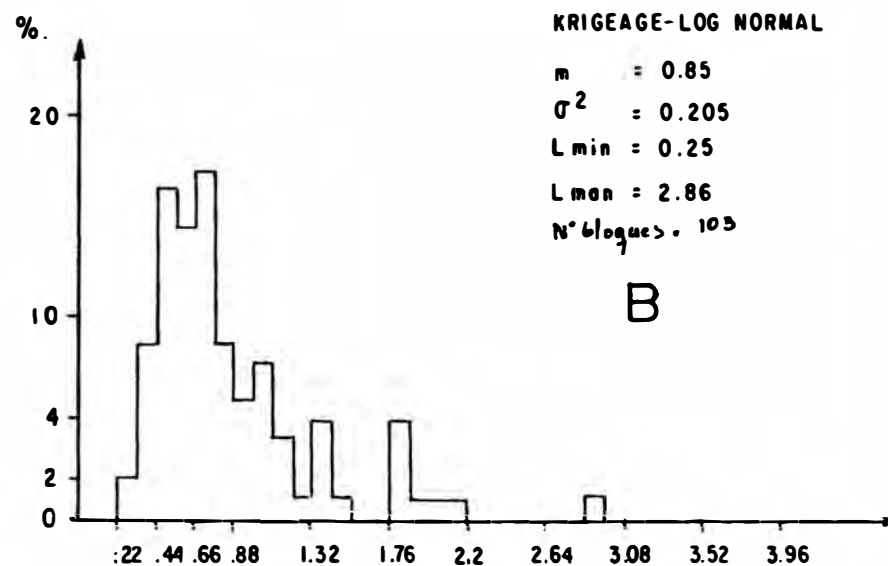
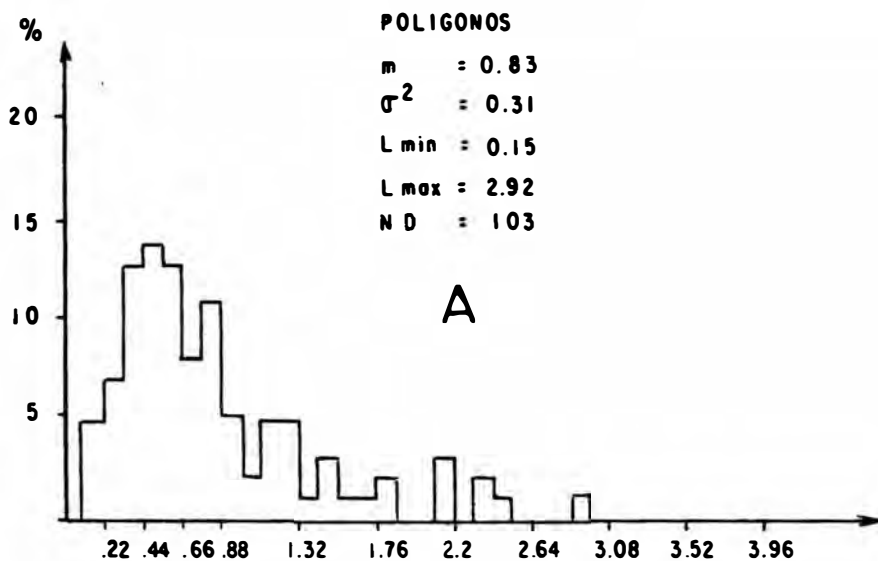
LEY DE CORTE % Cu T	POLIGONOS				KRIGEAGE LN			
	N° de Paneles	Ley Media(*) % Cu T	Cantidad de Metal TM	Tonelaje 10 ³ TM	N° de Paneles	Ley (*) Media % Cu T	Cantidad de Metal % Cu T	Tonelaje 10 ³ TM
0.0	103	0.864	173,406	20,079	103	0.864	173,406	200,799
0.2	99	0.868	167,546	19,299	103	0.864	173,406	20,079
0.4	82	0.940	150,198	15,985	97	0.883	166,961	18,909
0.6	57	1.032	114,649	11,112	72	0.977	137,071	14,036
0.8	39	1.172	89,115	7,603	41	1.157	92,513	7,993
1.0	27	1.323	69,646	5,263	28	1.343	73,286	5,458
1.2	20	1.464	57,061	3,899	16	1.590	49,589	3,119
1.4	14	1.663	45,382	2,729	12	1.671	39,094	2,339
1.6	10	1.799	35,064	1,949	9	1.753	30,752	1,754

(*) $E \left[\frac{Z^*}{Z^*} > L_c \right]$





HISTOGRAMAS DE LEYES ESTIMADAS Y REAL SOBRE 20×10^6 TM

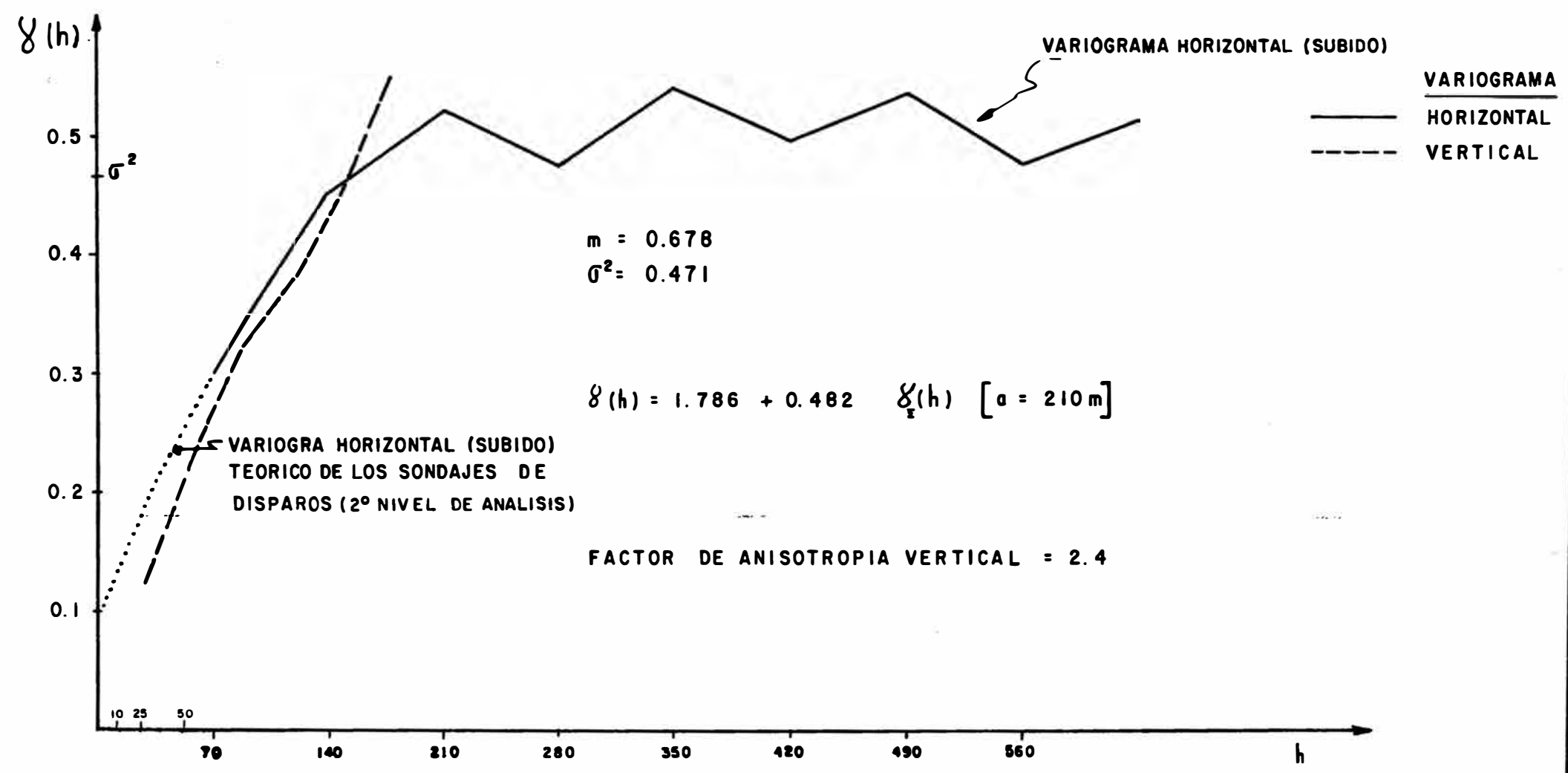


LEYES MEDIAS Y VARIANZAS SEGUN PROFUNDIDAD CERRO VERDE

VARIABLE: COBRE SOLUBLE (LEY DE COMPOSITOS)				VARIABLE: COBRE INSOLUBLE (LEY DE COMPOSITOS)			
NIVEL BASE	σ^2	m	LEY 0 .5 1.0 1.5	σ^2	m	LEY 0 .5 1.0	
2783	0.031	0.41		0.000	0.08		
2768	0.031	0.46					
2753	0.076	0.45					
2738	0.080	0.34					
2723	0.465	0.68					
2708	0.269	0.58					
2693	0.345	0.82					
2678	0.271	0.64					
2663	0.146	0.47					
2648	0.126	0.44					
2633	0.517	0.51					
2618	0.361	0.42					
2603	0.101	0.29					
2588	0.030	0.17					
2573	0.011	0.13					
LEY DE CORTE 0.05 No. DE COMPOSITOS: 576				LEY DE CORTE 0.05 No. DE COMPOSITOS: 732			

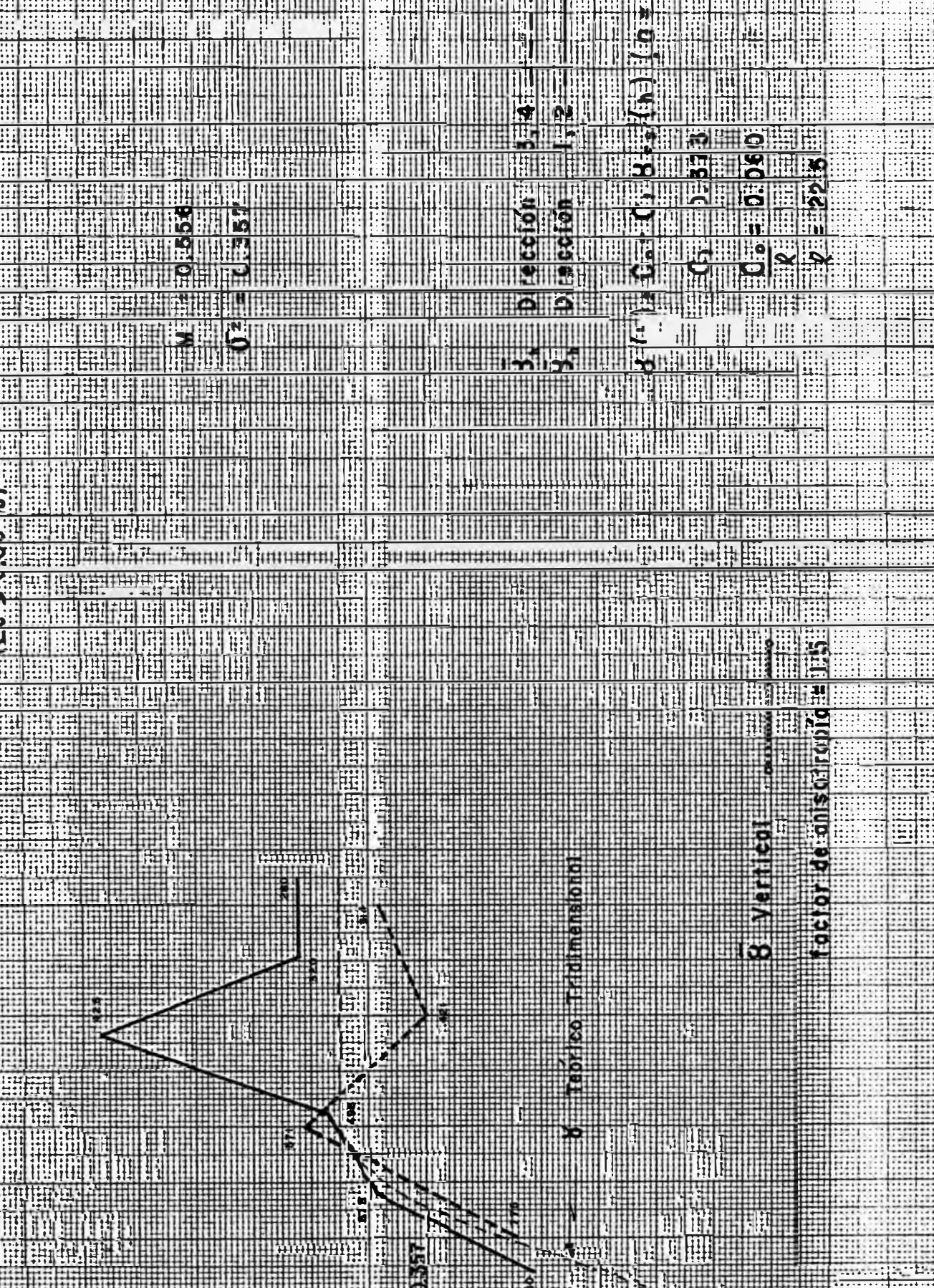
VARIABLE: COBRE TOTAL (LEY COMPOSITOS)				VARIABLE: COBRE TOTAL SOBRE 20 x 10 ⁶ TM. (VALOR REAL)			
NIVEL BASE	σ^2	m	LEY 0 .5 1.0 1.5	σ^2	m	LEY 0 .5 1.0	
	(**)	(**)					
2783	0.032	0.49					
2768	0.060	0.61					
2753	0.200	0.68					
2738	0.210	0.61					
2723	0.580	0.97					
2708	0.460	0.98					
2693	0.530	1.19					
2678	0.670	1.13					
2663	0.561	1.02					
2648	0.442	0.95					
2633	0.925	1.07					
2618	0.754	1.05					
2603	0.428	0.89					
2588	0.370	0.83					
2573	0.416	0.86					
LEY DE CORTE 0.50 No. DE COMPOSITOS: 735							
(*) OBTENIDO EN FUNCION DE LOS SONDAJES DE DISPARO							
(**) VALOR ESTIMADO							

VARIOGRAMA DEL COBRE TOTAL
PRIMER NIVEL DE ANALISIS



VARIOGRAMA TRIDIMENSIONAL DE LA VARIABLE SULFURO SUPERIOR

(1.67 - 0.05%)



$M = 0.556$

$\sigma^2 = 0.357$

β_1 Dirección 1,4

β_2 Dirección 1,2

β_3 Dirección 1,3

β_4 Dirección 1,4

β_5 Dirección 1,5

β_6 Dirección 1,6

β_7 Dirección 1,7

β_8 Dirección 1,8

$D^2 = 0.357$

6 Teórico Tridimensional

8 Vertical

factor de anisotropía = 0.15

DISTANCIA en m.

VARIograma TRIDIMENSIONAL TEORICO DE LA VARIABLE

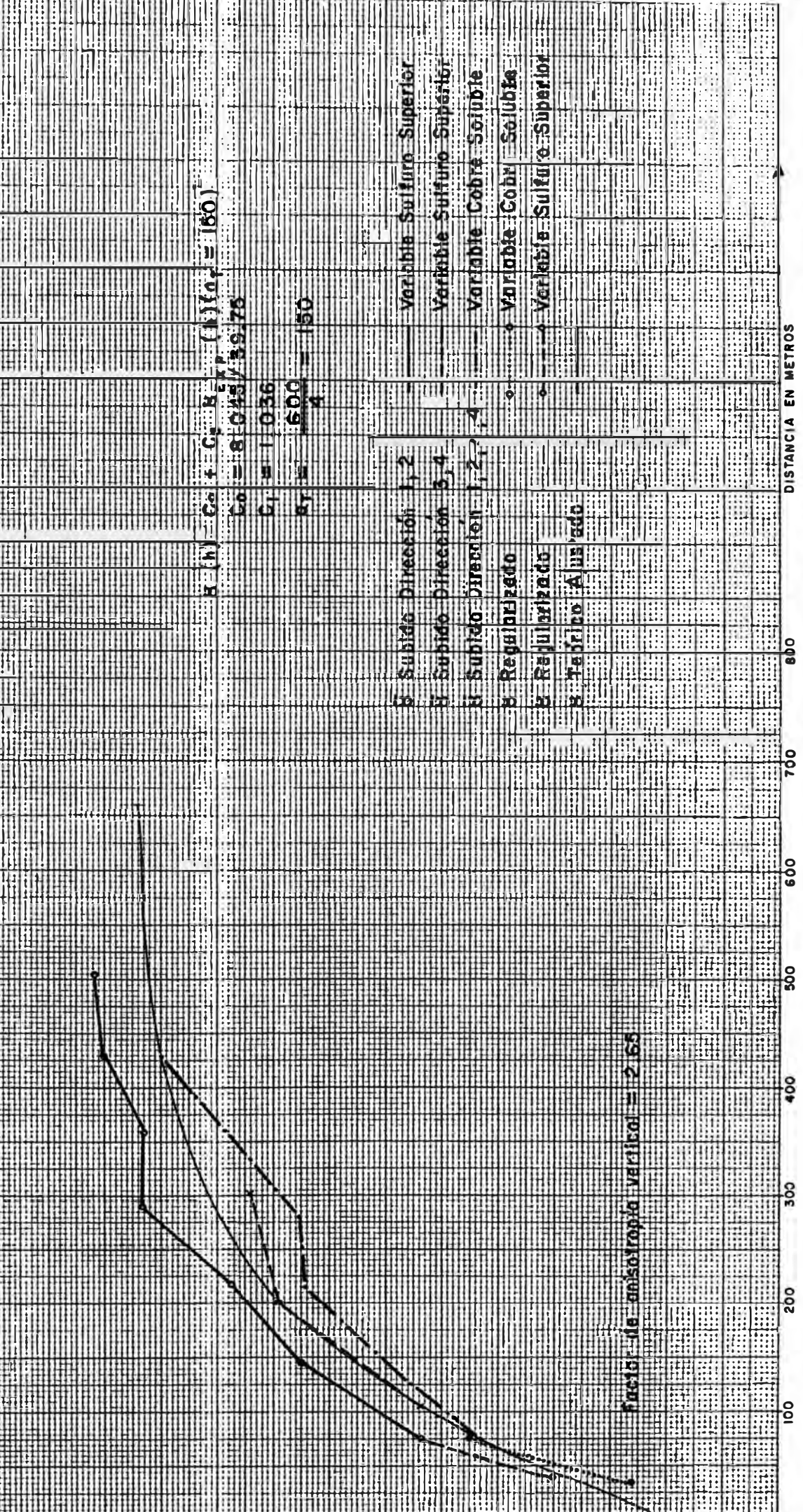
144 COBRE SOLUBLE Y SULFURO SUPERIOR

($C_2 > 0.05\%$)

144

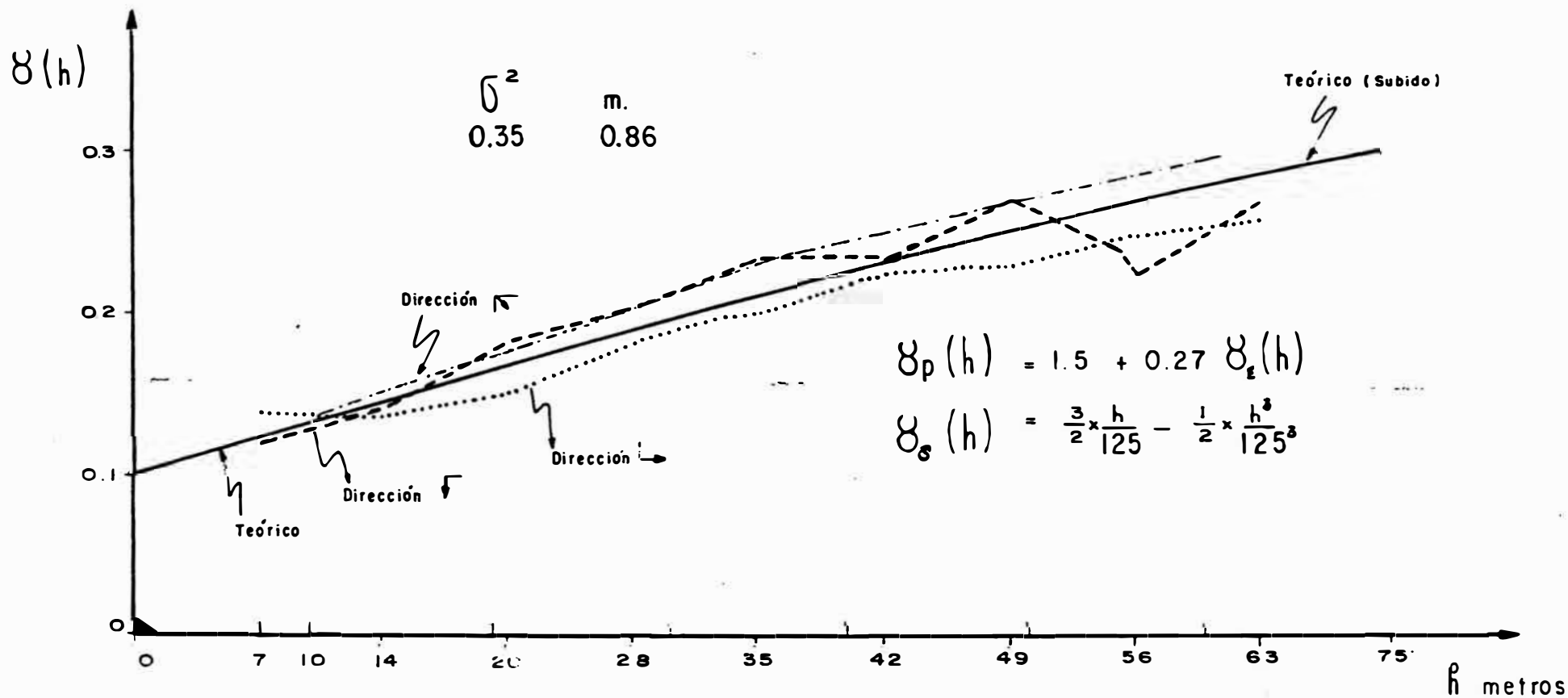
Spiros

(h)

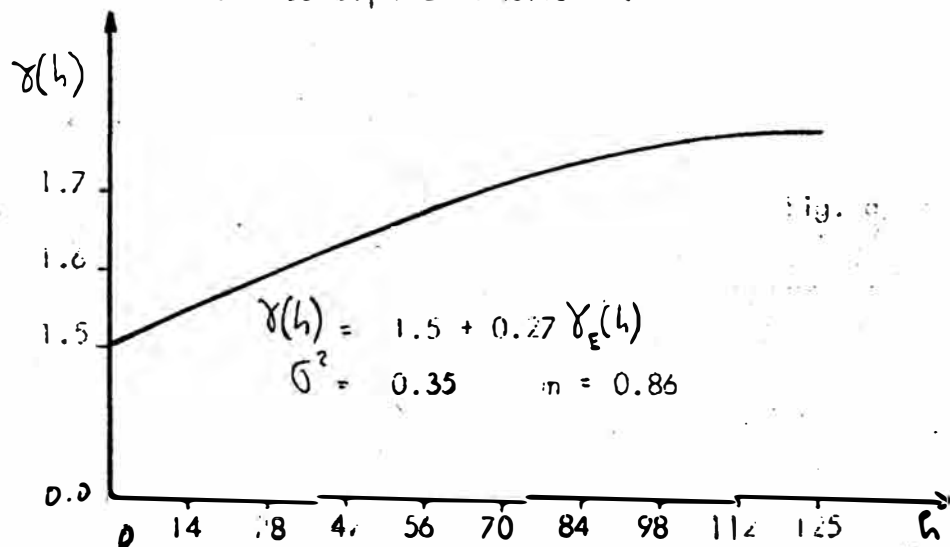


VARIOGRAMAS EXPERIMENTALES Y TEORICO DE LOS SONDAJES DE DISPARO (Cu T)

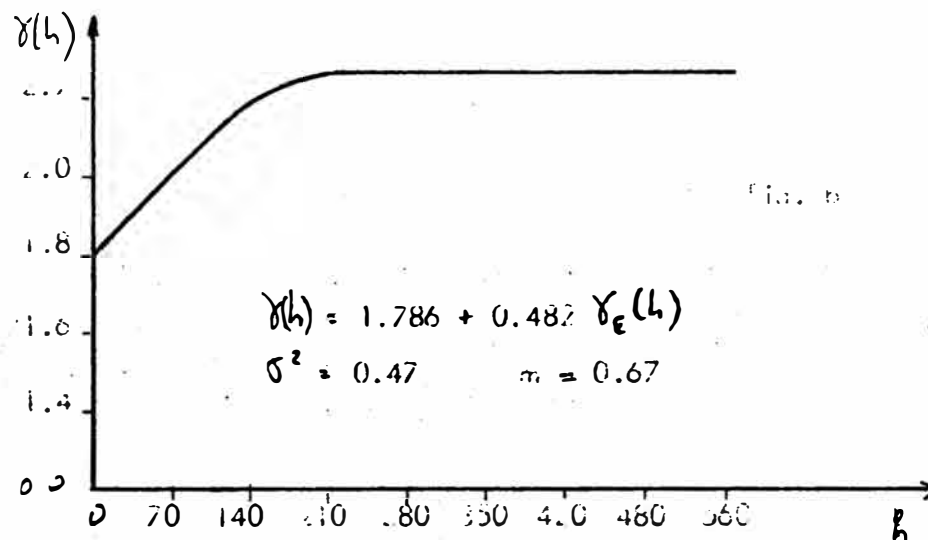
No. S. D. DISPAROS = 6553



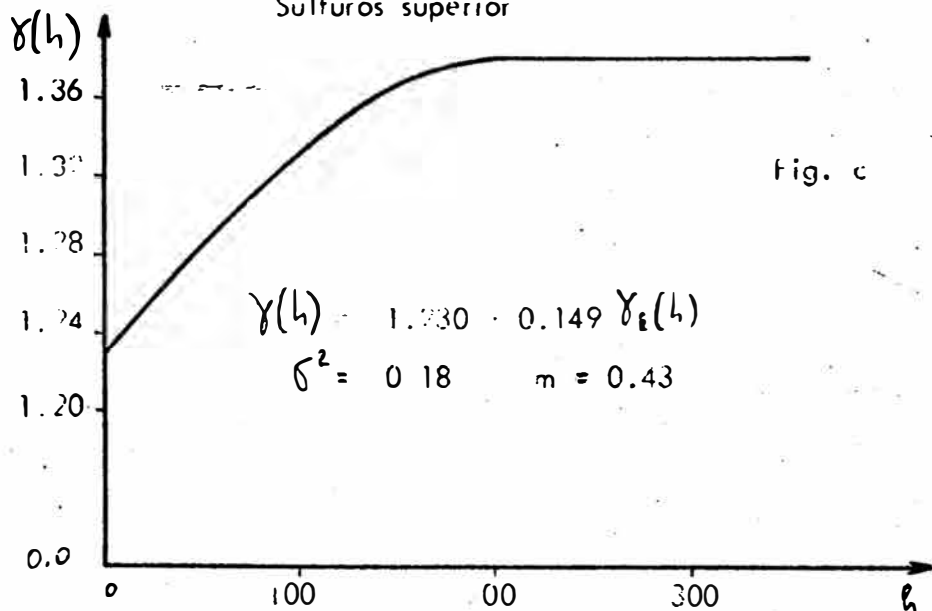
a - Sondajes de Sisbaro (Cu T)



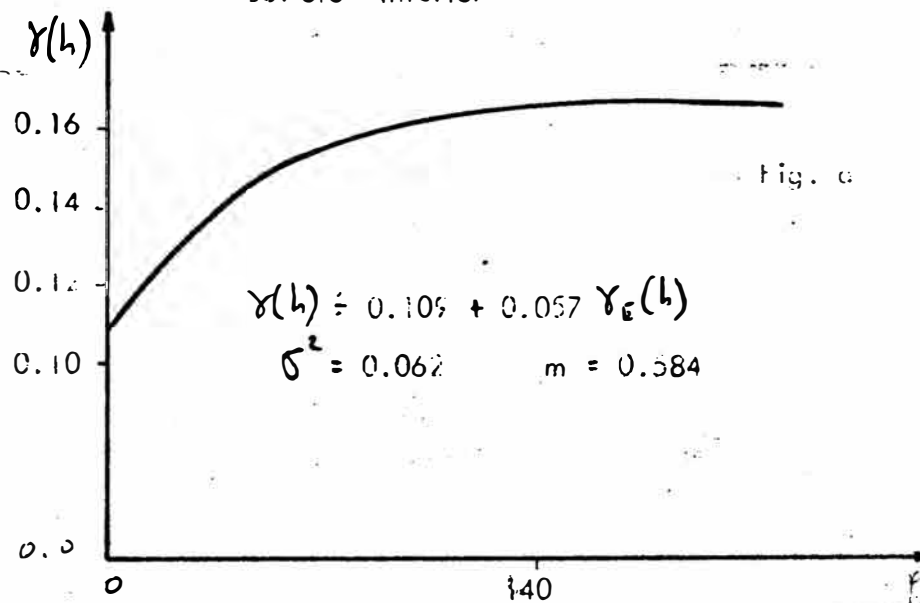
b - Sondajes de exploración (Cu T)



c - Sondajes de exploración Sulfuros superior

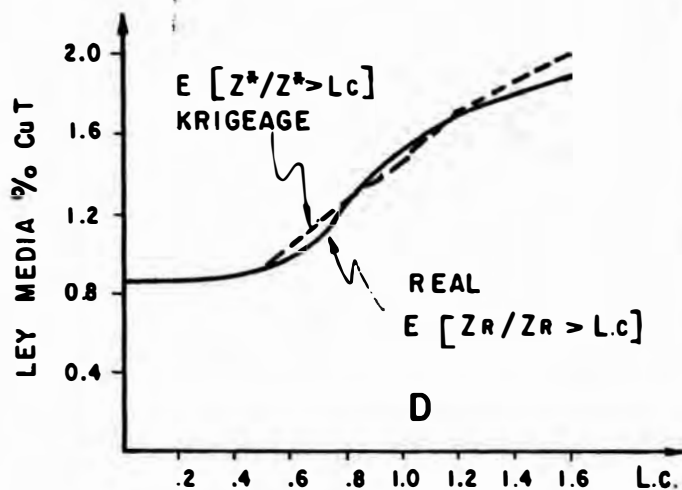
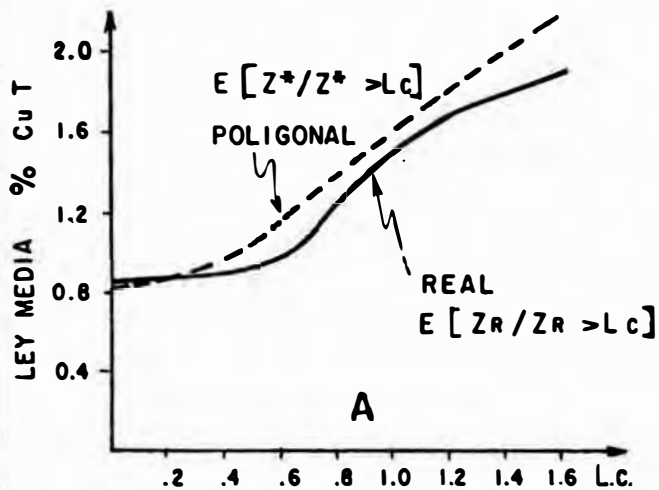


d - Sondajes de exploración Sulfuro inferior

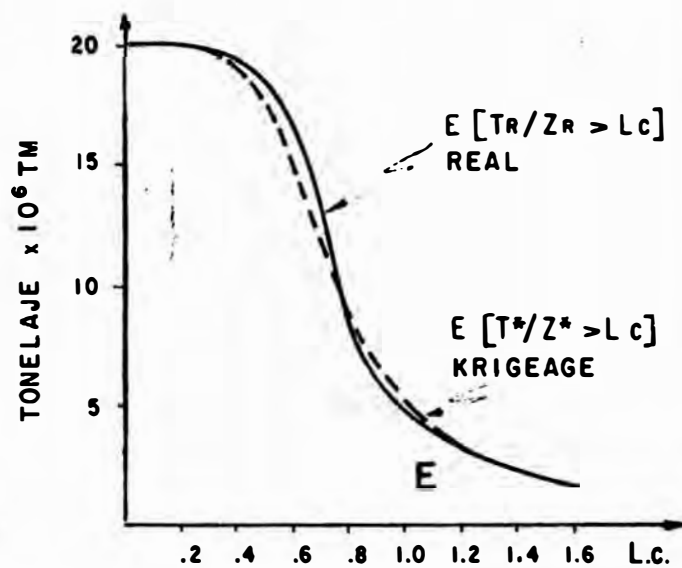
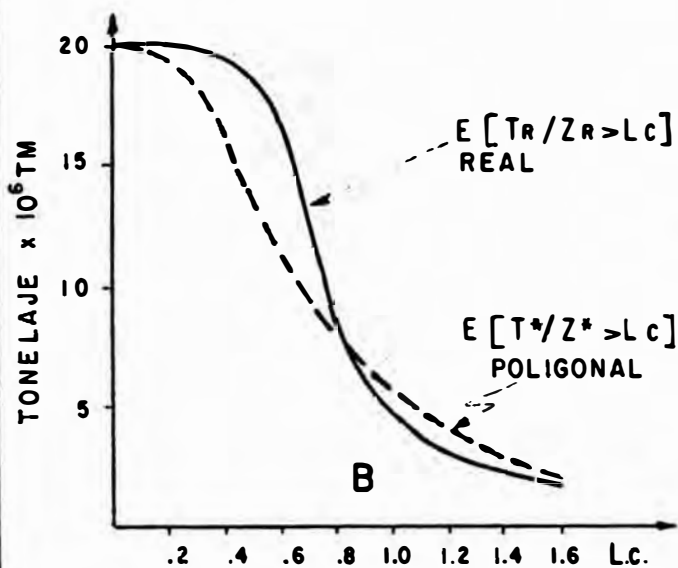


GRAFICOS COMPARATIVOS DE RESULTADOS DE EVALUACION DE RESERVAS

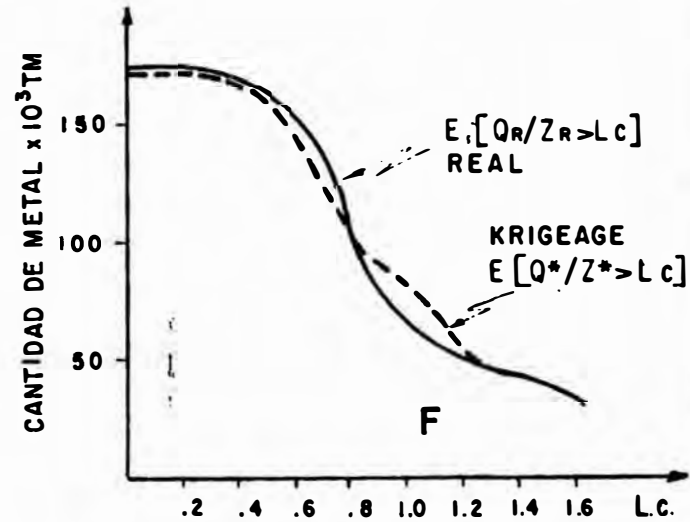
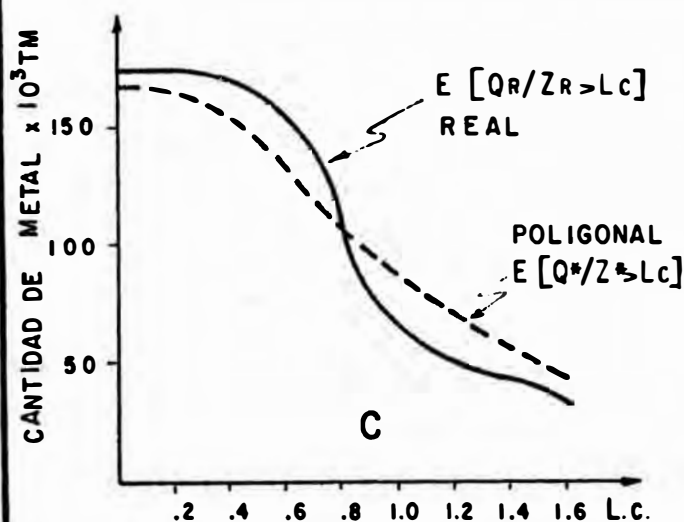
CASO DE MINERIA SUPERFICIAL



CURVAS LEY MEDIA - LEY DE CORTE



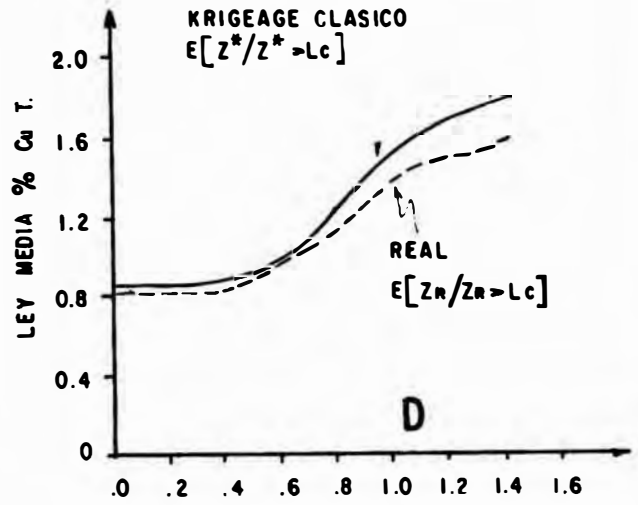
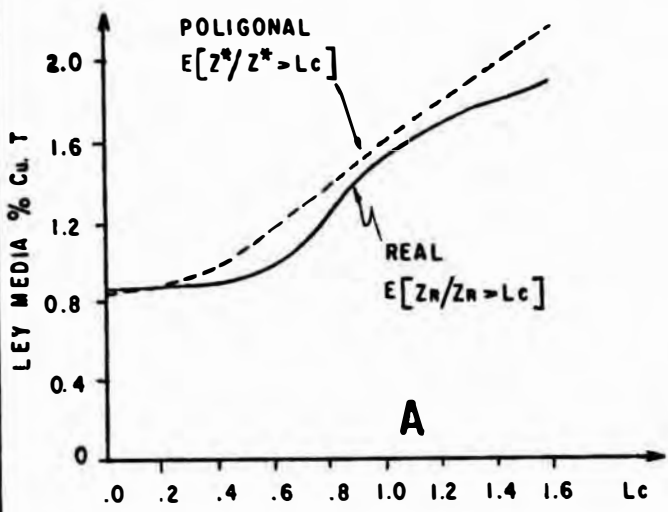
CURVAS TONELAJE - LEY DE CORTE



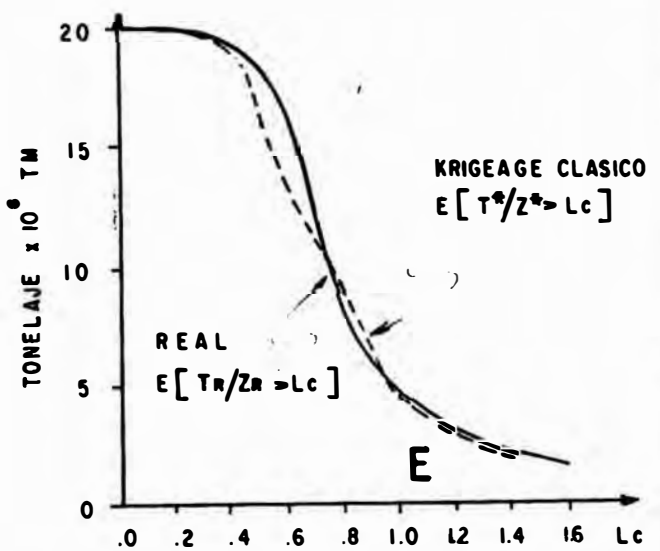
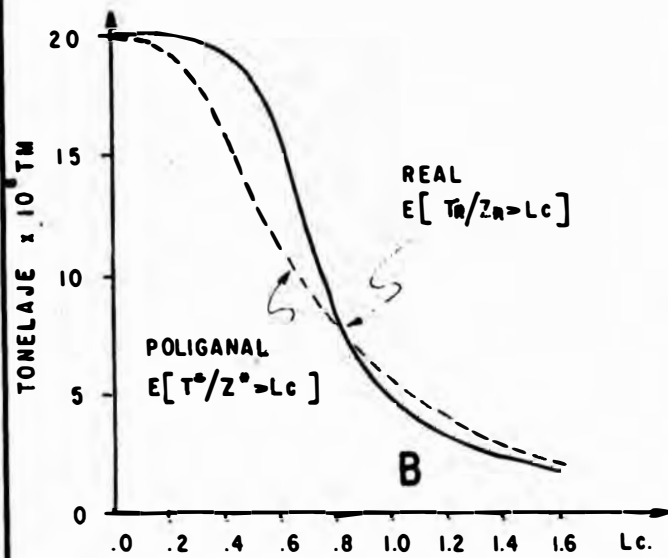
CURVAS CANTIDAD DE METAL - LEY DE CORTE

GRAFICOS COMPARATIVOS DE RESULTADOS DE EVALUACION DE RESERVAS (CASO DE MINERIA SUPERFICIAL)

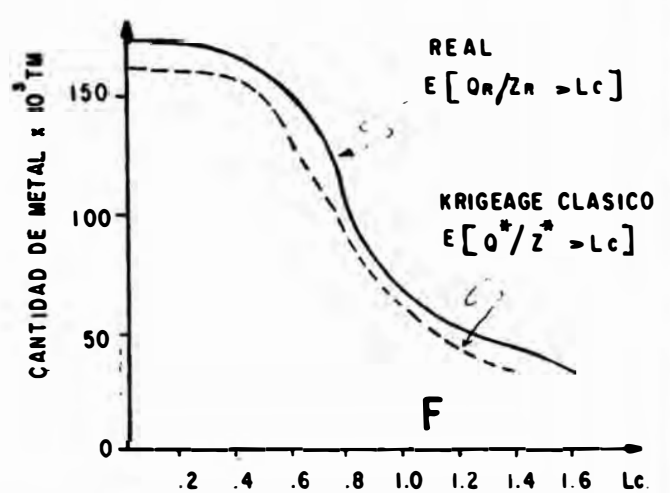
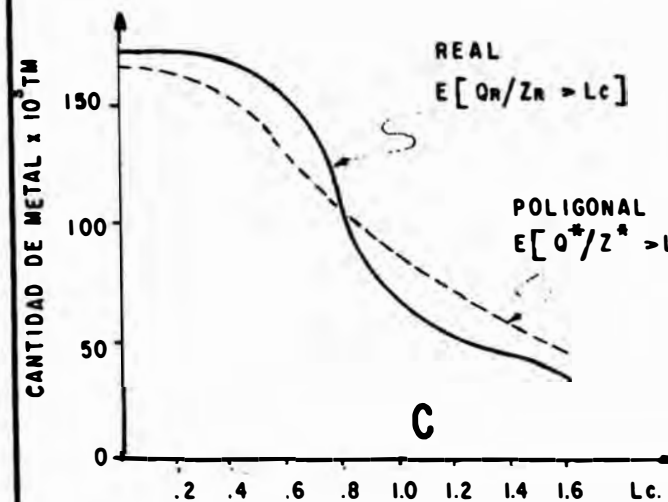
CURVAS LEY MEDIA-LEY DE CORTE



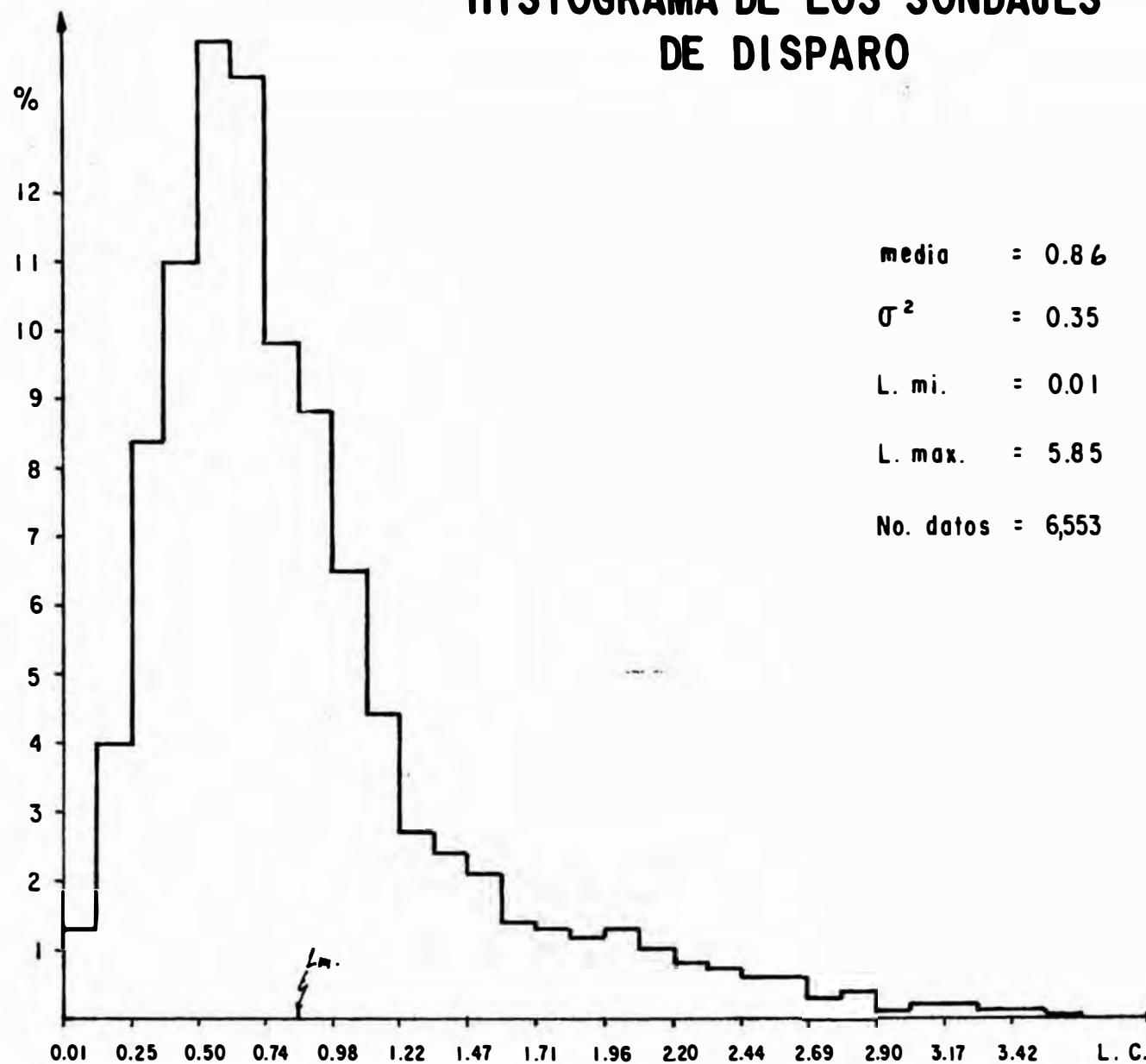
CURVAS TONELAJE-LEY DE CORTE



CURVAS CANTIDAD DE METAL-LEY DE CORTE



HISTOGRAMA DE LOS SONDAJES DE DISPARO



media = 0.86

σ^2 = 0.35

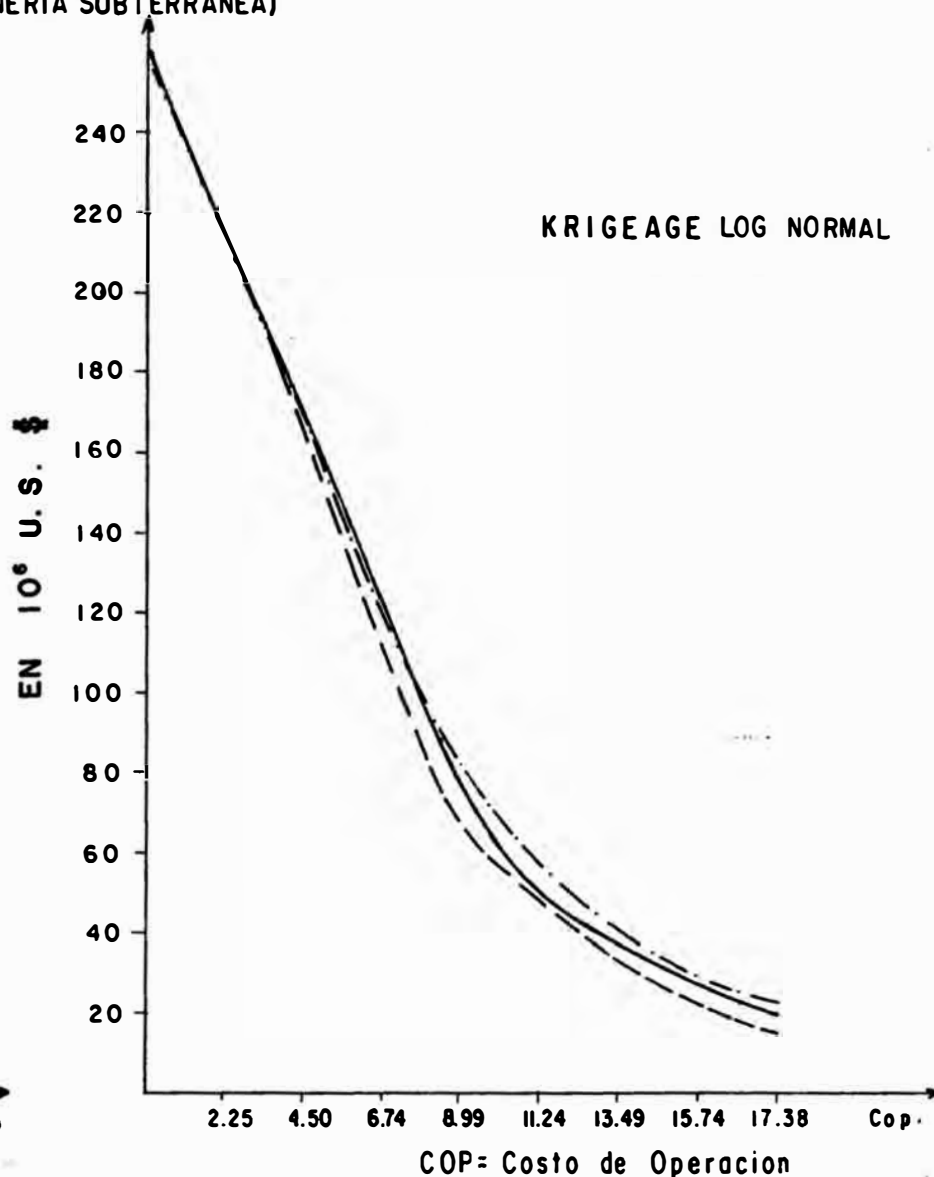
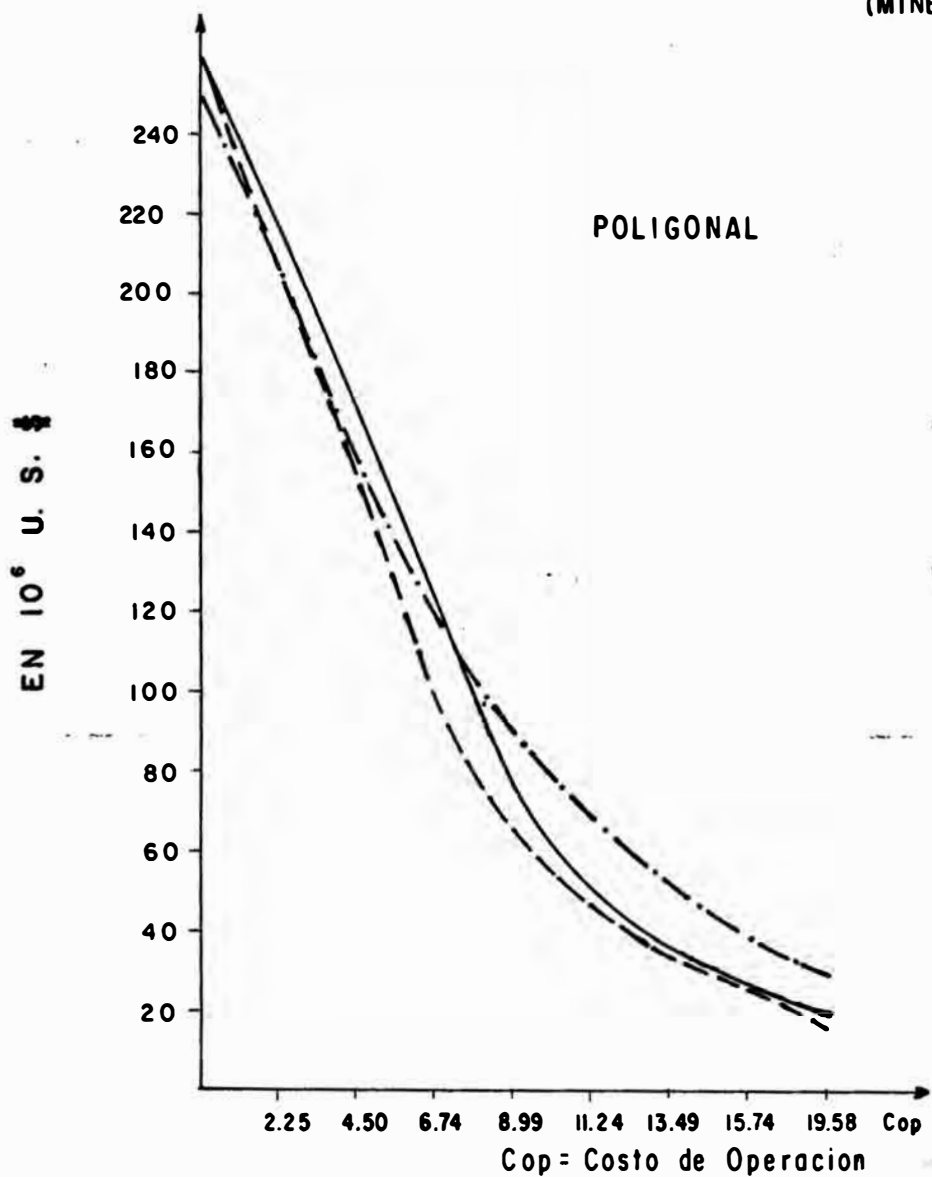
L. mi. = 0.01

L. max. = 5.85

No. datos = 6,553

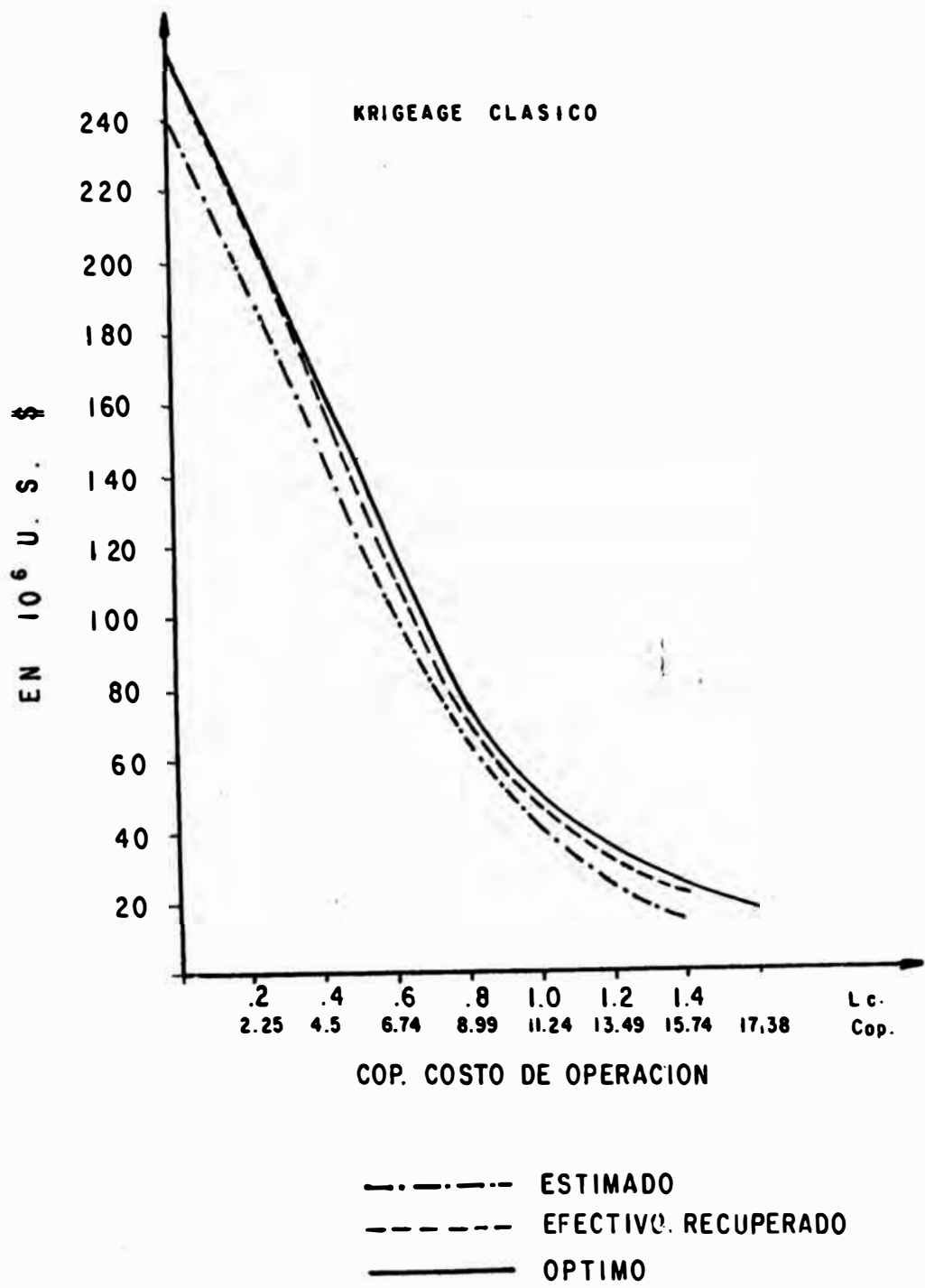
INTERVALO DE CLASE = 0.122

COMPARACION ENTRE LOS BENEFICIOS ESTIMADO, EFECTIVAMENTE RECUPERADO Y OPTIMO (MINERIA SUBTERRANEA)



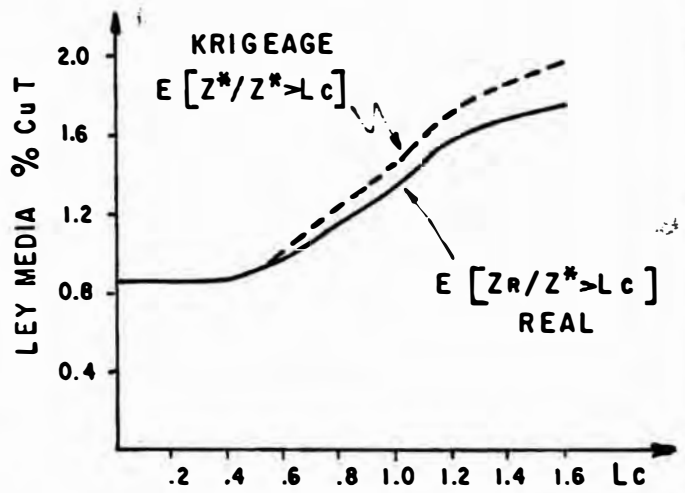
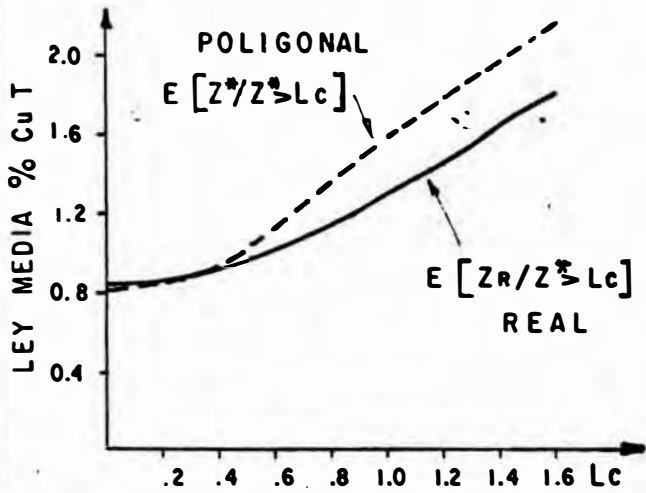
ESTIMADO — · — · —
 EFACT. RECUPERADO — — — —
 OPTIMO —————

COMPARACION ENTRE LOS BENEFICIOS ESTIMADO EFECTIVAMENTE RECUPERADO Y OPTIMO

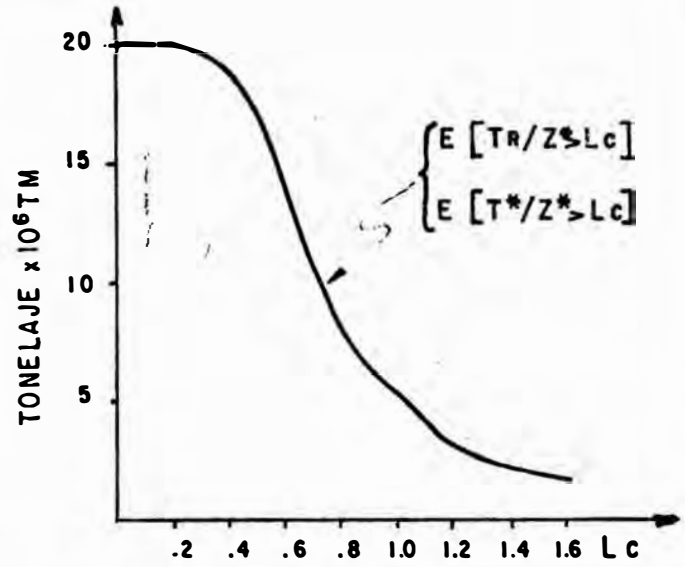
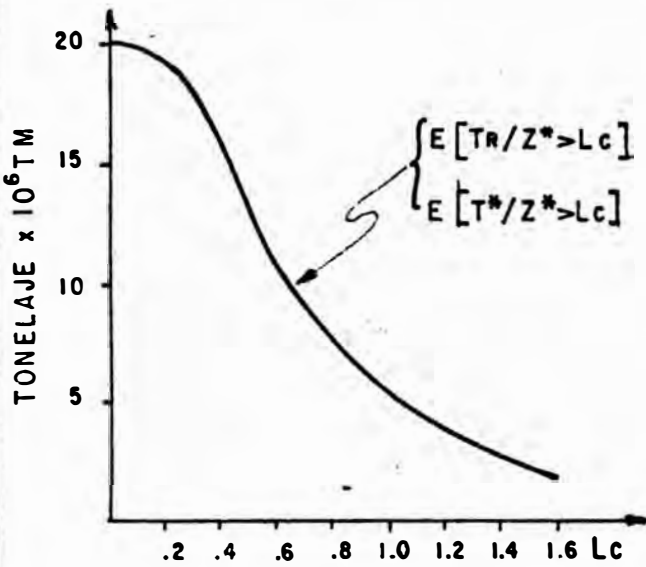


GRAFICOS COMPARATIVOS DE RESULTADOS DE EVALUACION DE RESERVAS

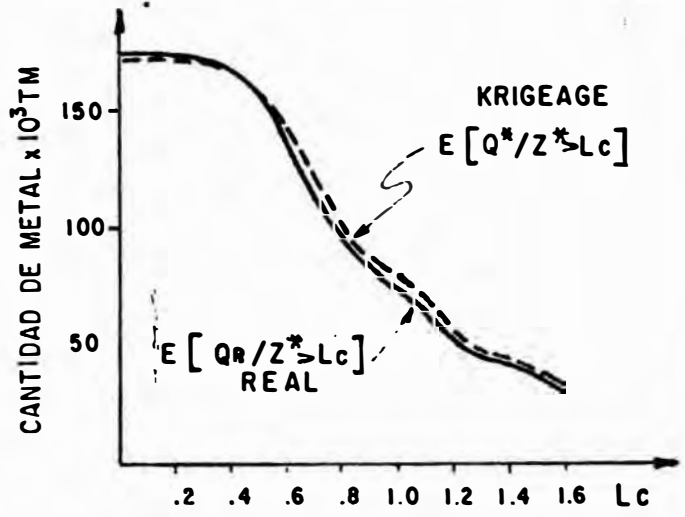
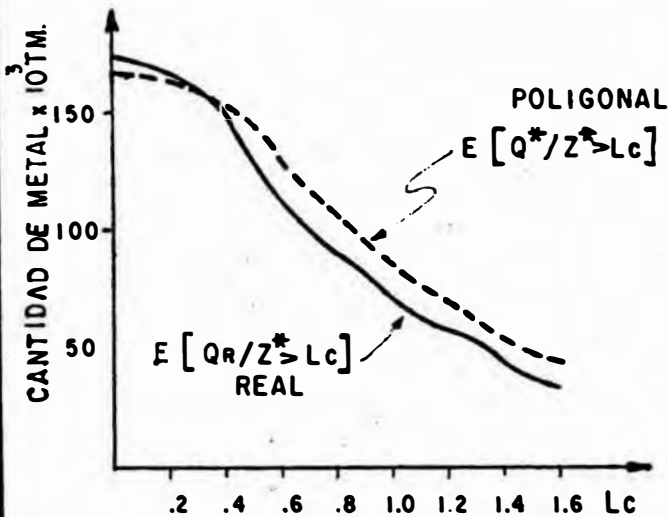
CASO DE MINERIA SUBTERRANEA



CURVAS LEY MEDIA - LEY DE CORTE



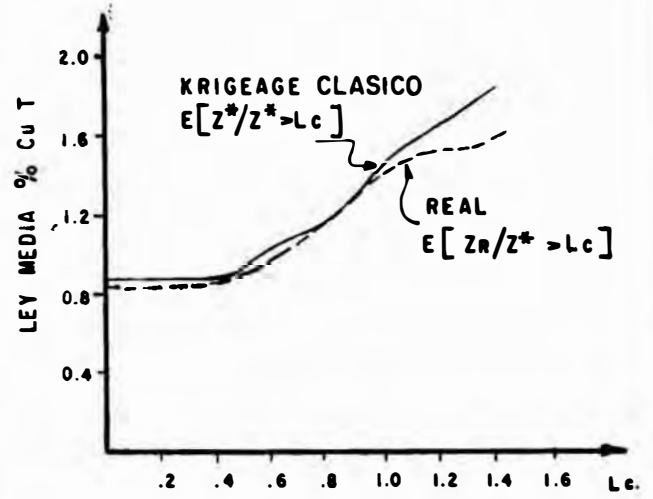
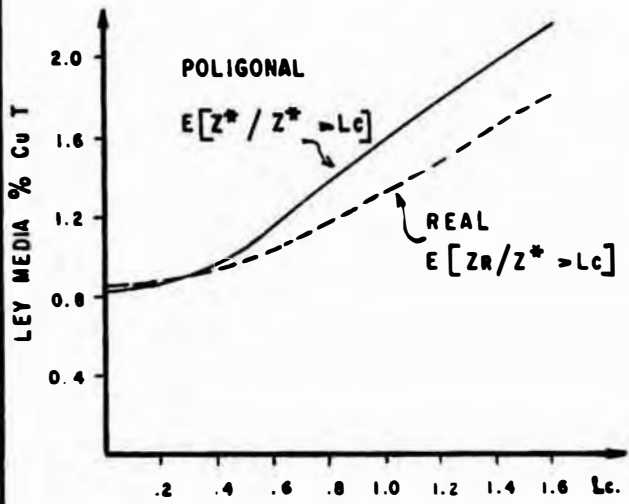
CURVAS TONELAJE-LEY DE CORTE



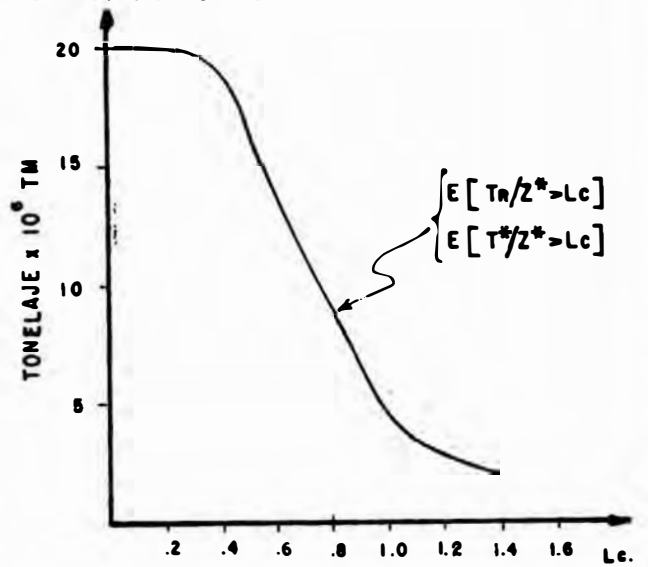
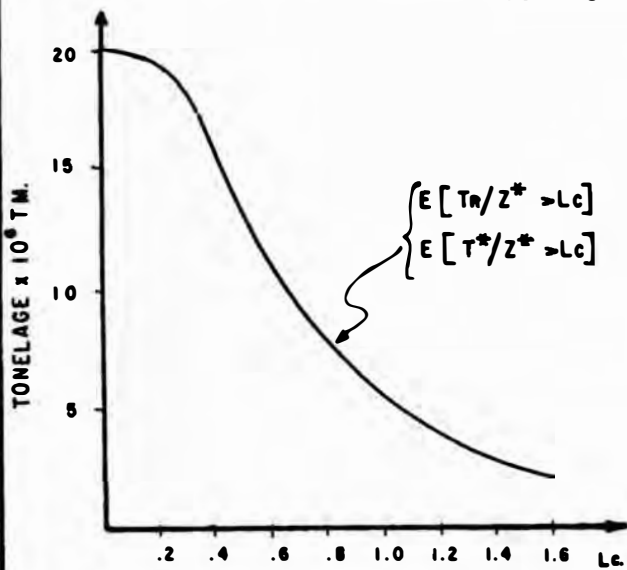
CURVAS CANTIDAD DE METAL LEY DE CORTE

GRAFICOS COMPARATIVOS DE RESULTADOS DE EVALUACION DE RESERVAS (CASO DE MINERIA SUBTERRANEAS)

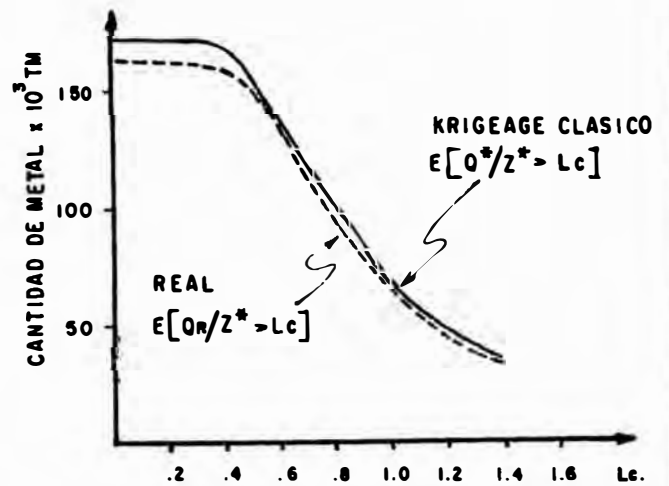
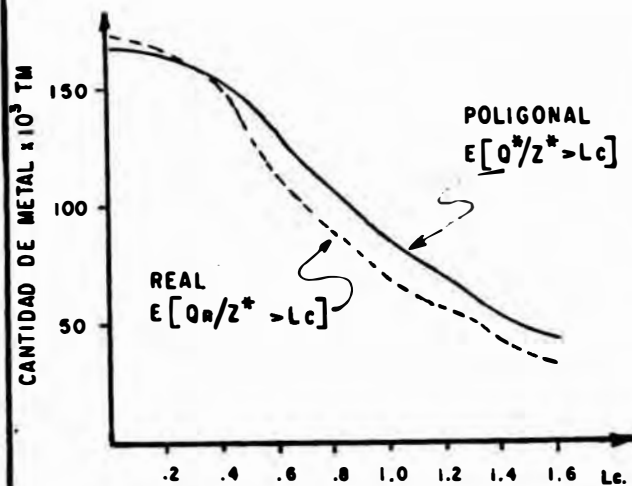
CURVAS LEY MEDIA - LEY DE CORTE



CURVAS TONELAJE - LEY DE CORTE

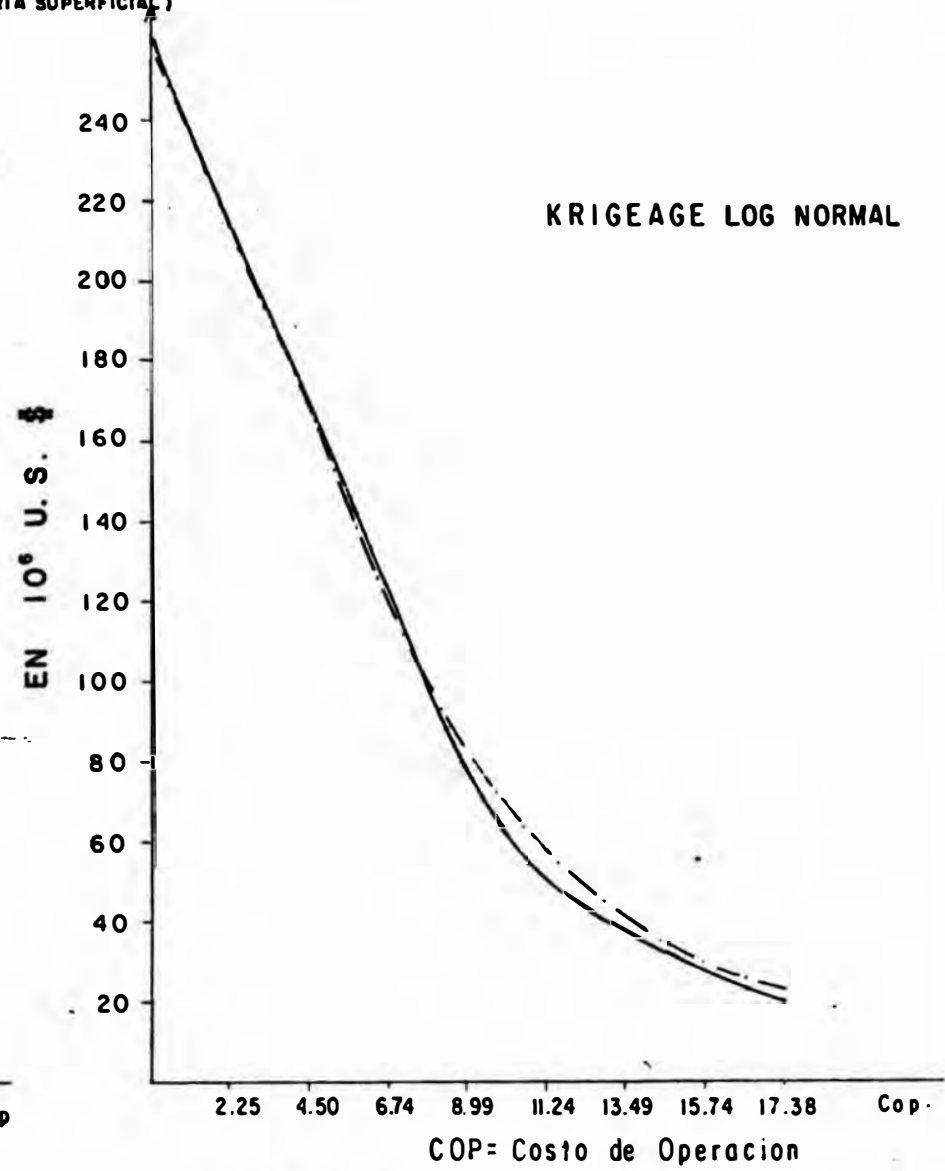
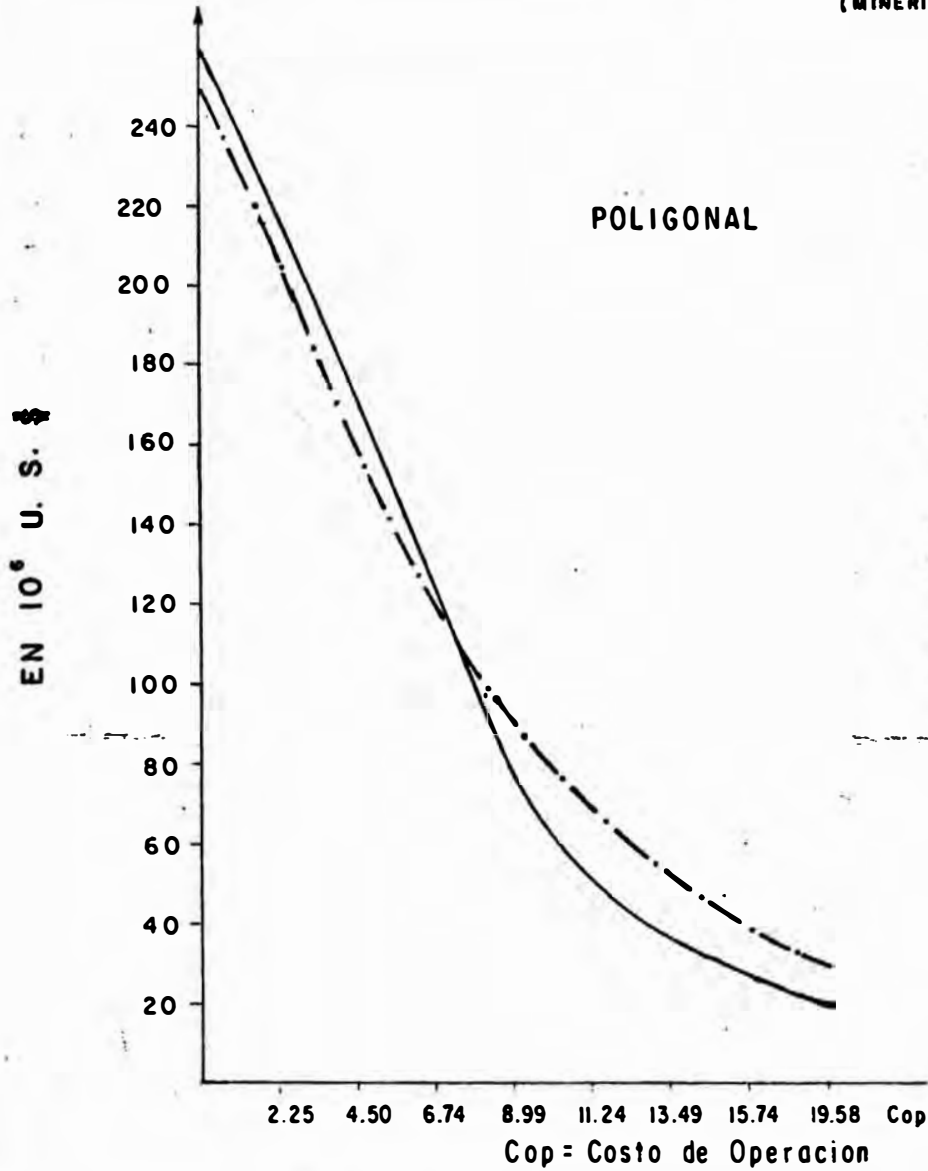


CURVAS CANTIDAD DE METAL LEY DE CORTE



COMPARACION ENTRE LOS BENEFICIOS ESTIMADO Y OPTIMO

(MINERIA SUPERFICIAL)



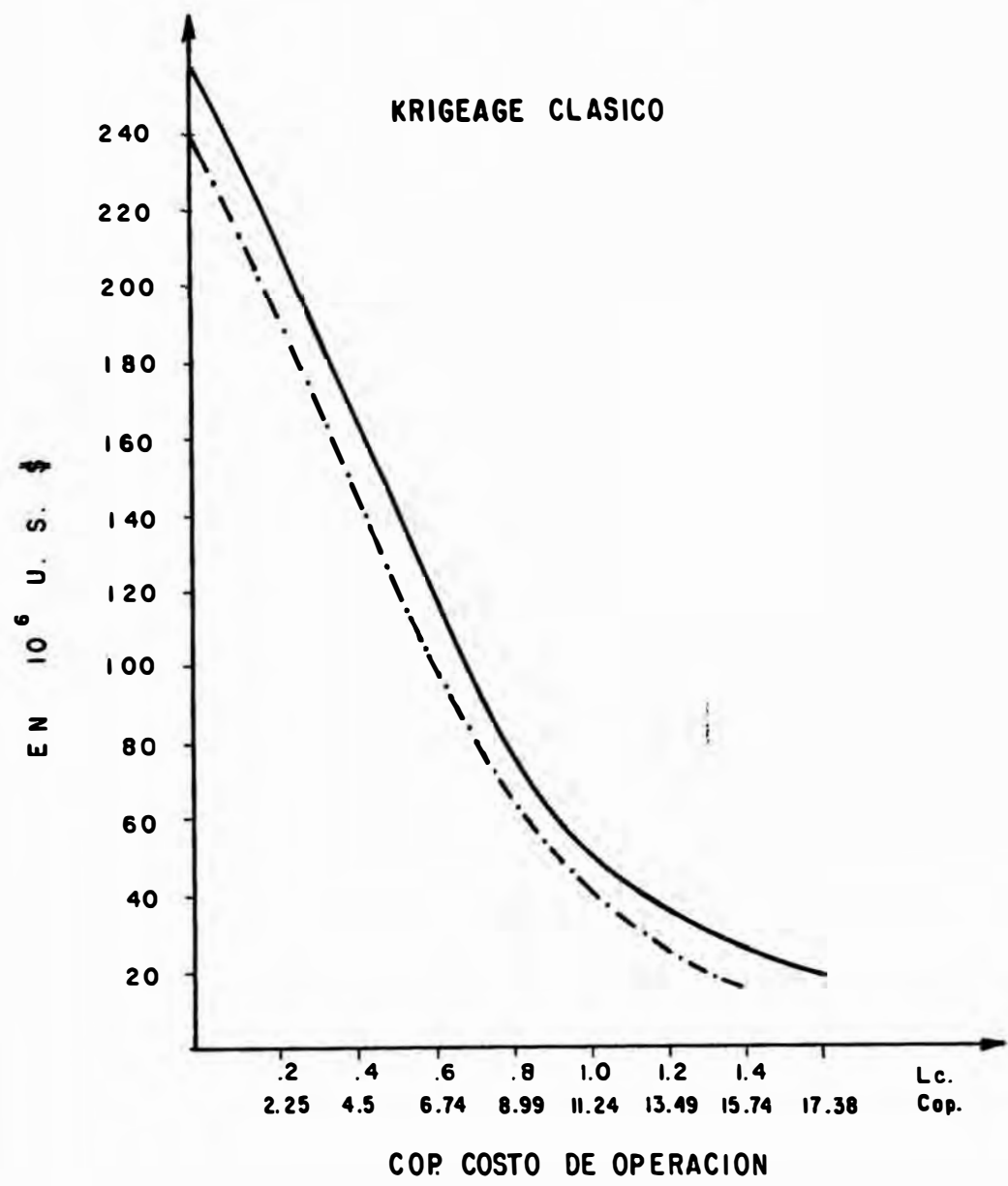
ESTIMADO



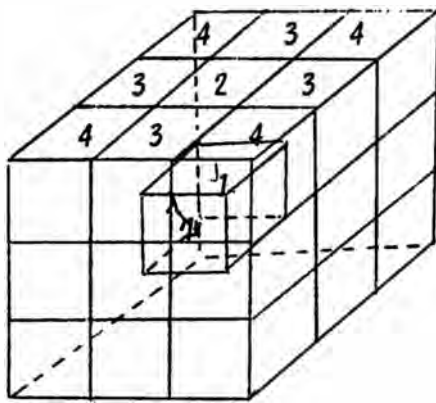
OPTIMO



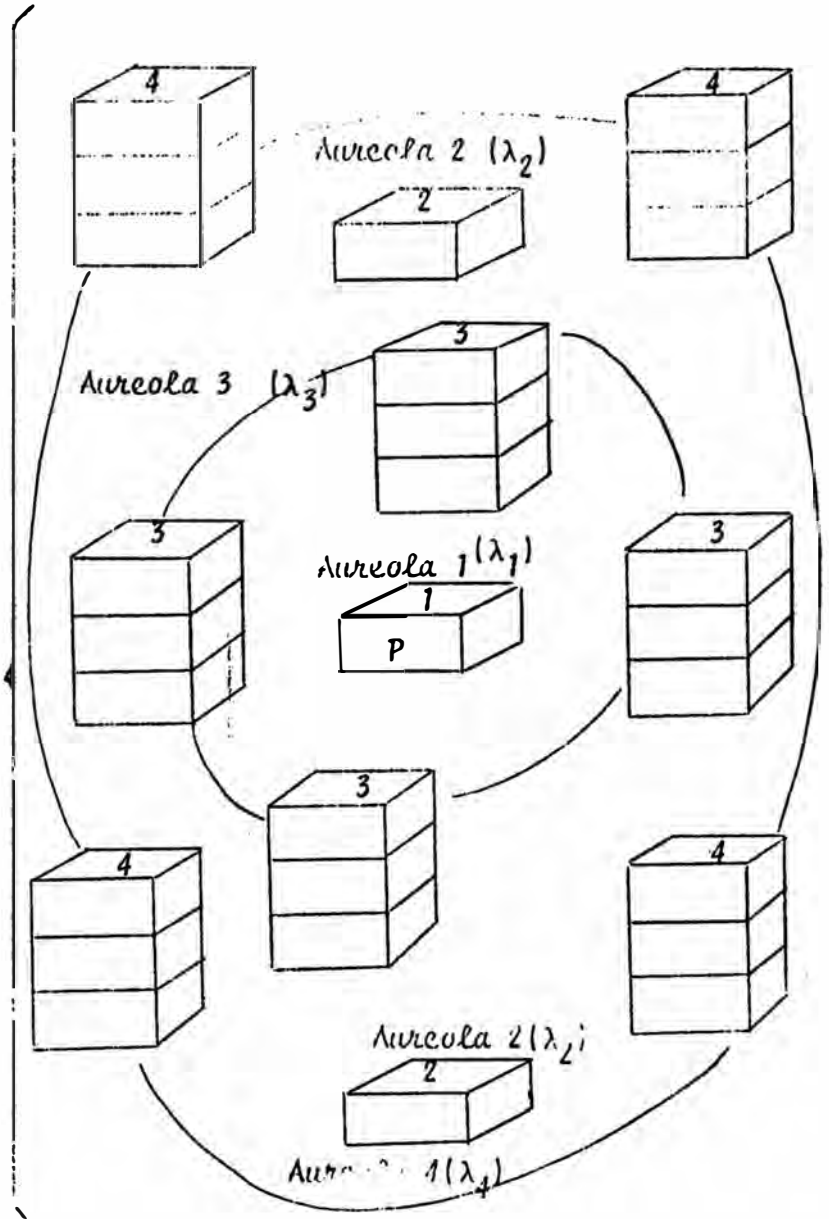
COMPARACION ENTRE LOS BENEFICIOS ESTIMADO Y OPTIMO (MINERIA SUPERFICIAL)



--- ESTIMADO
—— OPTIMO



Conjunto de 27 bloques



Aureola 1 = bloques a estimar

GRAFICO N° 20

LAZARUS MADAS. DE ROCA POLIG PROM. KRIGEA REAL POLIG. PROM. KRIGEA POLIG. PROM. KRIGE ANZAS POLIG. KRIGER

7	0	0	0.200	0.0	0.377	0.423	0.170	0.270	0.090	0.0	0.101	0.049	0.103	0.046
7	0	1	0.0	0.0	0.431	0.612	0.570	0.620	0.350	0.000	0.057	0.081	0.057	0.010
8	0	1	0.0	0.0	0.470	0.681	0.500	0.0	0.412	0.070	0.0	0.060	0.275	0.111
7	0	2	0.000	0.0	0.425	0.471	0.215	0.470	0.325	0.090	0.013	0.096	0.045	0.131
8	0	2	0.000	0.0	0.470	0.507	0.430	0.210	0.510	0.070	0.030	0.090	0.015	0.007
7	0	2	0.000	0.0	0.355	0.547	0.022	0.410	0.205	0.471	0.080	0.070	0.130	0.045
8	0	2	0.0	0.0	0.616	0.753	0.740	0.0	0.562	0.050	0.0	0.052	0.173	0.037
6	0	3	0.000	0.0	0.442	0.252	0.310	0.0	0.370	0.010	0.0	0.072	0.014	0.000
7	0	3	0.000	0.0	0.357	0.531	0.320	0.207	0.343	0.090	0.070	0.060	0.042	0.121
8	0	3	0.000	0.0	0.717	0.651	0.540	0.410	0.621	0.110	0.080	0.050	0.047	0.001
7	0	3	0.0	0.0	0.750	0.450	0.870	0.010	0.701	0.050	0.045	0.055	0.100	0.045
8	0	3	0.000	0.0	0.701	0.340	0.750	0.0	0.616	0.020	0.0	0.085	0.117	0.030
6	0	4	0.000	0.0	0.411	0.342	0.200	0.0	0.345	0.040	0.0	0.060	0.033	0.003
7	0	4	0.0	0.0	0.357	0.550	0.200	0.0	0.207	0.100	0.0	0.110	0.020	0.000
7	0	4	0.0	0.0	0.533	0.420	0.542	0.230	0.342	0.070	0.080	0.070	0.204	0.043
8	0	4	0.000	0.0	0.542	0.730	0.900	0.0	0.662	0.070	0.0	0.030	0.005	0.010
6	0	4	0.000	0.0	0.620	0.700	0.620	0.0	0.501	0.030	0.0	0.045	0.110	0.050
9	0	4	0.000	0.0	0.351	0.645	0.300	0.0	0.313	0.050	0.0	0.070	0.090	0.050
8	0	5	0.0	0.0	0.420	0.642	0.300	0.150	0.470	0.020	0.060	0.060	0.181	0.242
9	0	5	0.000	0.0	0.441	0.392	0.270	0.0	0.340	0.050	0.0	0.101	0.071	0.032
9	0	5	0.000	0.0	0.390	0.307	0.401	0.320	0.114	0.000	0.070	0.000	0.022	0.001
5	0	5	0.0	0.0	0.500	0.677	0.700	0.0	0.480	0.120	0.0	0.100	0.082	0.143
6	0	5	0.000	0.0	0.604	0.524	0.420	0.710	0.537	0.040	0.057	0.067	0.069	0.064
7	0	5	0.000	0.0	0.752	0.477	0.508	0.220	0.300	0.130	0.110	0.113	0.026	0.158
8	0	5	0.000	0.0	1.171	1.171	1.410	0.0	1.240	0.100	0.0	0.100	0.288	0.339
9	0	5	0.000	0.0	0.670	0.670	0.550	0.770	0.070	0.112	0.120	0.046	0.016	0.214
11	0	5	0.000	0.0	0.700	1.317	1.120	0.300	0.660	0.020	0.040	0.040	0.903	0.177
12	0	6	0.000	0.0	0.357	0.455	0.130	0.190	0.319	0.080	0.060	0.070	0.020	0.030
12	0	6	0.000	0.0	0.534	0.531	0.202	0.233	0.502	0.190	0.100	0.032	0.022	0.001
7	0	6	0.000	0.0	0.207	0.550	0.100	0.210	0.222	0.040	0.055	0.005	0.190	0.000
8	0	6	0.000	0.0	0.670	0.670	0.600	0.0	0.557	0.080	0.0	0.030	0.040	0.000
9	0	6	0.000	0.0	0.600	0.600	0.600	0.0	0.752	0.080	0.065	0.000	0.000	0.000
7	0	6	0.000	0.0	0.710	0.920	0.070	0.0	0.021	0.030	0.0	0.085	0.151	0.000
8	0	6	0.000	0.0	1.173	1.000	1.000	1.000	1.000	0.0	0.0	0.030	0.000	0.000

9 10 6	1.000	0.210	0.608	1.031	1.058	0.200	0.506	0.914	0.010	0.000	0.087	0.123	0.348	0.057
10 10 6	1.000	0.210	0.608	1.031	1.058	0.200	0.506	0.914	0.010	0.000	0.087	0.123	0.348	0.057
0 9 6	0.000	2.360	2.165	2.102	1.742	1.660	1.030	1.611	0.480	0.635	1.251	0.934	-0.618	-1.120
0 9 0	1.000	1.000	0.687	1.120	0.808	1.030	0.644	1.028	0.050	0.040	0.095	0.053	-0.472	-0.515
10 9 6	1.000	1.150	0.0	0.944	0.651	0.980	0.0	0.816	0.210	0.0	0.128	0.064	-0.495	-0.253
11 9 0	0.000	0.400	1.020	0.884	0.985	0.450	0.990	0.849	0.010	0.030	0.035	0.576	0.525	0.101
12 9 0	0.000	2.420	1.572	2.160	2.000	2.470	1.940	2.113	0.050	0.032	0.047	0.414	-0.920	-0.160
9 0 6	1.000	0.570	0.0	0.924	0.847	0.410	0.0	0.306	0.160	0.0	0.136	0.241	0.277	0.323
10 0 6	0.0	0.000	0.433	0.640	0.571	0.610	0.423	0.556	0.050	0.060	0.034	0.131	-0.309	-0.005
11 0 6	0.0	1.000	1.590	0.001	-0.725	1.120	1.985	0.724	0.140	0.105	0.077	0.173	-0.575	-0.076
12 0 0	0.0	0.430	0.748	0.507	1.073	0.410	0.723	0.481	0.020	0.025	0.026	0.438	0.643	0.566
7 12 7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8 12 7	0.000	0.000	0.0	0.515	0.017	0.020	0.0	0.457	0.000	0.0	0.058	0.030	0.037	0.102
9 12 7	0.000	0.200	0.0	0.052	0.940	0.130	0.0	0.002	0.070	0.0	0.050	0.110	0.710	0.258
0 12 7	0.000	0.650	0.0	0.690	0.616	0.560	0.0	0.602	0.030	0.0	0.050	0.038	-0.034	-0.036
5 12 7	0.000	0.440	0.463	0.590	0.642	0.430	0.447	0.571	0.010	0.016	0.025	0.264	0.202	0.046
10 12 7	5.000	0.800	0.770	0.673	0.763	0.700	0.500	0.630	0.040	0.040	0.043	0.003	-0.037	0.040
0 11 7	0.000	0.930	0.0	1.054	0.764	0.900	0.0	1.001	0.030	0.0	0.058	0.074	-0.140	-0.275
5 11 7	5.000	1.120	1.160	1.145	0.937	1.090	1.135	1.087	0.040	0.045	0.058	0.055	-0.133	-0.208
10 11 7	5.000	1.460	1.092	1.374	0.925	1.420	1.050	1.024	0.040	0.042	0.050	0.040	-0.535	-0.449
11 11 7	5.000	0.990	1.610	1.403	1.381	0.890	1.560	1.249	0.060	0.050	0.054	0.277	0.435	-0.018
0 10 7	0.000	2.310	0.0	1.000	1.137	2.270	0.0	1.753	0.040	0.0	0.087	0.141	-1.173	-0.743
9 10 7	1.000	0.000	0.703	0.745	0.720	0.570	0.657	0.737	0.030	0.046	0.050	0.095	0.120	-0.075
10 10 7	1.000	1.170	1.145	1.093	0.910	1.110	1.065	1.014	0.060	0.060	0.065	0.054	-0.260	-0.183
11 10 7	5.000	2.100	1.744	1.590	1.442	1.570	1.670	1.094	0.130	0.074	0.096	0.098	-0.607	-0.497
12 10 7	5.000	1.610	2.073	1.870	1.657	1.620	2.023	1.013	0.050	0.050	0.057	0.094	0.197	-0.013
10 9 7	1.000	0.870	1.145	0.826	0.603	0.900	1.095	0.746	0.070	0.060	0.080	0.113	-0.267	-0.223
11 9 7	0.000	0.620	0.890	1.027	0.857	0.600	0.770	0.912	0.020	0.030	0.045	0.294	0.277	-0.130
12 9 7	0.000	1.510	1.490	1.170	1.732	1.500	1.403	1.132	0.010	0.027	0.036	0.314	0.222	0.562
11 8 7	0.000	1.270	0.640	0.650	0.841	1.150	0.506	0.779	0.080	0.054	0.071	0.105	-0.425	-0.009
12 8 7	0.000	0.150	0.753	0.250	0.726	0.120	0.710	0.216	0.030	0.042	0.034	0.405	0.030	0.536
0 10 8	0.000	0.250	0.625	0.607	0.509	0.290	0.605	0.543	0.0	0.020	0.064	0.030	0.215	-0.096
9 10 8	0.000	-0.200	0.0	0.694	0.757	0.100	-0.643	0.040	0.0	0.051	0.008	0.557	-0.003	-0.003
10 10 8	5.000	0.360	0.0	-0.710	0.570	0.400	-0.641	0.040	-0.0	0.053	0.130	0.210	-0.144	-0.000
11 10 8	5.000	0.070	0.696	0.734	0.676	0.590	0.502	0.705	0.080	0.114	0.049	0.331	0.006	-0.070

