



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

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

IV. MÉTODOS DE EXPLORACION FISICA

3.a. CONTROL GEOLOGICO DE YACIMIENTOS

Dr. ALBERTO E. BELLUCCO

CONTROL GEOLOGICO DE YACIMIENTOS

ALBERTO E. BELLUCO

Comisión Nacional de Energía Atómica

I. INTRODUCCION

Las etapas de control geológico a desarrollar en un yacimiento o distrito uranífero en faz de exploración-explotación, deben cubrir todas las tecnologías de carácter geológico, matemático, electrónico, físico-químico, etc., aplicadas a lograr el máximo aprovechamiento de sus reservas económicas.

El concepto de reservas económicas responde a condiciones de orden nacional en cada país y puede estar referido a los precios internacionales del uranio o a las necesidades de programas nucleares propios de cada nación. Bajo la denominación genérica de controles geológicos caen todos los principios, disciplinas y conocimientos geológicos, aplicables al estudio de un yacimiento, distrito o provincia uranífera.

Los controles geológicos bajo tal concepción cubren una gama amplísima de tareas que genéricamente se pueden delimitar en tres procesos principales, de investigación y operación de un distrito minero.

- Control geológico de exploración. Su finalidad es establecer las condiciones estructurales, litológicas, mineralógicas, petrográficas paragenéticas, etc., que rigen la yacencia de los cuerpos mineralizados.

Este tipo de control interesa fundamentalmente para circunscribir el yacimiento geológico. Se define como tal a toda concentración anormal de uranio, que constituye una entidad no evolutiva é independiente de los criterios humanos.

- Control geológico de evaluación. Se utiliza durante el desarrollo y preparación del yacimiento para conocer los parámetros necesarios para la estimación de las reservas de mineral. Su objetivo es la delimitación del yacimiento económico, cuya concepción es totalmente relativa y dependiente de los costos (mina-planta) y de la evolución de valores de comercialización del metal.

- Control geológico de explotación-producción. Se aplica en la faz de arranque y extracción del mineral para controlar pérdidas, diluciones, posibilitar su selección y permitir la contabilización de la producción. Su objetivo sigue dentro de los límites conceptuales correspondientes al yacimiento económico.

Estos procesos pueden ser obviamente superponibles durante la operación normal y continua de la exploración-explotación de un distrito minero.

La amplitud de los temas de esta conferencia determina que solo se consideren algunos de ellos. Habiéndose hecho cargo otros autores de desarrollar la primer parte del "control geológico de la exploración" y del "control geológico de evaluación", en esta conferencia solo se considerarán en detalle:

- El control geológico de la 2a. etapa de exploración (laboreos y sondeos regulares).
- El control geológico de la explotación-producción.

Es imprescindible reiterar que solo mediante la aplicación de un severo control geológico, se logrará el co-

nocimiento exhaustivo de un área mineralizada. Con ello se posibilitará que en un distrito metalogénico se logre la máxima recuperación de sus reservas, las que pueden encontrarse muchas veces ocultas a la observación directa.

Numerosos ejemplos pueden servir de cita a esta premisa. La fig. 1 (Metz 80) ilustra como el conocimiento aportado por el control geológico en el yacimiento de HUETTENBERG, CARINIA (E. CLAR 1956) permitió incrementar notoriamente el cuadro original de sus reservas. En la meseta del Colorado en E.U.A., se reconocieron muchos yacimientos de uranio ocultos en formaciones supra e infrayacentes a los de los primeros descubrimientos, sobre la base del conocimiento que aportó el control geológico de estos últimos.

En el yacimiento Huemul (Malargüe-Provincia de Mendoza, Argentina) se ubicaron cuerpos ocultos en niveles arenos-conglomerádicos continentales, de la Formación Diamante, en posición inferior al banco principal de ese criadero, sobre la base de la aplicación de las hipótesis surgidas del control geológico ejecutado en ese distrito uranífero.

La amplitud de los temas a considerar en un programa integral de control geológico, obliga a establecer la necesidad de que su operación sea llevada a cabo por un equipo de trabajo, bajo directivas de un responsable de obra, que coordine con sentido objetivo las investigaciones científicas y técnicas de los diferentes grupos operativos.

II. CONTROL GEOLOGICO DE EXPLORACION

II.1. CONTROLES DE EXPLORACION REGIONAL.

En las etapas de control geológico de exploraciones, deben preverse dos magnitudes de estudio para alcanzar un mejor conocimiento del encuadre geológico regional y local de la mineralización.

Sería inútil pensar en lograr un nivel integral en el conocimiento de un yacimiento ó sector mineralizado, si su investigación se reduce al ámbito local de su exclusiva yacencia. De allí que normalmente se aconseje integrar en el referido equipo, un grupo especializado en geología regional, aplicada al conocimiento metalogénico, cuyos estudios deben establecer las relaciones entre la mineralización y su contexto geológico regional. Ello posibilitará orientar mejor la exploración a fin de incrementar reservas de criaderos conocidos o posibilitar el descubrimiento de nuevos cuerpos.

La amplitud que cubre el así denominado control geológico regional de la mineralización, excede ampliamente los alcances previstos en la presente conferencia por lo cual solo se esbozarán algunas de las tareas que se ejecutan con estos estudios.

- Etapa estudios básicos fundamentales.

Geología areal del distrito 1:10/25.000.

Planos metalogénicos.

Perfiles geológicos-columnas estratigráficas.

Plano estructurales y tectónicos, etc.

- Investigaciones geológicas, a nivel regional,

la que se orienta con el aporte de conocimientos de la etapa inicial.

Ello permitirá establecer las hipótesis que rigen los principios ordenadores regionales entre la mineralización y las grandes unidades geológicas. En esta etapa debería preverse la necesidad de ejecutar:

- Planos de reconstrucción paleogeográfica.

- Mapas regionales de estudios lito-sedimentológicos detallados.

- Relación de la mineralización con las estructuras sedimentarias, estratigráficas y/o tectónicas.

- Planos de correlación de las grandes unidades.
- Petrología sedimentaria, ígnea o metamórfica.
- Estructuras y tectónica detalladas, etc.

Finalmente debe destacarse que el desarrollo científico y tecnológico de los últimos años, determinó un impetuoso avance de modernísimas concepciones sobre los controles regionales de la mineralización. Ello ha permitido un importante desarrollo de áreas metalogénicas, cuyas reservas se vieron incrementadas sustancialmente con la aplicación de dichas teorías.

A título ilustrativo pueden citarse algunas de estas nuevas concepciones:

- Teoría de la "Bio-Rhexistasia" (Erhart-1956). Influencia de la vegetación en la pedogénesis y de ésta en la formación de determinado tipo de sedimentos.
- Nociones de influencia o "reacciones topominerales" (Schneiderhon); que expresen relaciones espaciales entre ciertas rocas y presencia de mineralización. Ejemplo: Yac. Henriette, La Crouzielle-Francia, el uranio se ubica en proximidad de filones de lamprofiro (minette).
- Avance en la aplicación de la geomorfología al control de la mineralización (paleogeografía, paleoclima, etc.) (Tarr, 1936).
- Teoría de la "estructura paleoinsular" (Pelissonnier, H.).
- Concentraciones "hidatógenas" (Maucher, 1957), comparable a la "secreción" de Schneiderhon) o "aguas de compactación de Noble".
- Metalogenia "transformista". El "persedimentarismo" (Niewnkamp, 1956); la "diferenciación pedológica", la "diferenciación sedimentaria", etc. (Bernard 1958).

-"Campos de estabilidad" de los minerales en función de pH y de Eh (Garels 1952), etc.

II.2. CONTROLES DE EXPLORACION LOCAL.

Estas etapas cubren las tareas relativas a la planificación y supervisión de los trabajos de exploración física a desarrollar en un yacimiento o distrito uranífero, de finido "a priori" de interés por los reconocimientos previos de prospección detallada.

En estas condiciones, el "control geológico" debe prever la ejecución de las etapas normales de una exploración física, según el siguiente esquema de secuencias (variables según tipo de yacencia).

- a- Etapas de reconocimiento preliminar
 - (-Trincheras y calicatas, etc.
 - (- Sondeos y laboreos de reconocimiento preliminar.

- b- Etapas de exploración intensiva
 - (- Mallas de escarpes
 - (- Mallas sistemáticas de sondeo.
 - (- Galerías a distanciamientos regular.

Dado que las tareas de planificación de los laboreos de exploración y el control geológico de los reconocimientos preliminares (prospección detallada), son tratados en otras clases de este curso, nos limitaremos a explicar las etapas de supervisión del control geológico de la exploración intensiva. En principio estos controles abarcan dos procesos complementarios:

- Controles radimétricos.
- Controles geológicos s.s.

II.2.1. Controles radimétricos.

Su aplicación es importante cuando en los yacimientos a estudiar los minerales de uranio se encuentran en equilibrio. Los relevamientos o registros radimétricos en las di-

ferentes labores de exploración física o unidades de control del mineral, deben condicionarse a las características del yacimiento y su mineralización. Normalmente estos programas pueden variar entre valores de mallas de diferentes aperturas, a registros lineares sobre frentes, hastiales, techos de labores, sondeos, barrenos, unidades de extracción o transporte de mineral, etc.

La ejecución de un programa de control radiométrico, exige la consideración de una serie de importantes puntos.

- a -Selección de instrumental.
- b -Experiencias para establecer sistemas de registros.
- c -Estudios de colimaciones.
- d -Verificación de valores y/o variaciones de fondo (back-ground).
- e -Cálculo de recta de correspondencia ra/t (radiactividad-tenor).

Los puntos a - b - c y d, son de resolución común en función de:

- El tipo de instrumental con que se cuenta en el yacimiento, en el país, o de las posibilidades de su adquisición en el exterior (sobre este tema se volverá al tratar el control geológico de la explotación); el grado de precisión que es necesario lograr en los registros (yacimiento con mineralización muy contrastada y próxima a límites económicos de explotabilidad o con reservas económicas con un amplio margen ganancial); la ejecución de un gran número de experiencias para fijar las "variables" que puedan incidir en los registros (cambios de temperatura; movimiento del radón, etc.).

Nos ocuparemos en detalle del punto e:

Rectas de correspondencia. - Una recta de correspon-

dencia relaciona dos magnitudes de una población estadística. Si los minerales de uranio de un yacimiento están en equilibrio, es factible estimar una recta de correlación, que establezca una relación entre la radimetría y el tenor químico. Una recta de este tipo es de importancia capital en las tareas de control geológico de un yacimiento de uranio, pues permite inferir directamente tenores de uranio ($\% \text{eU}_3\text{O}_8$) en función de los registros radimétricos.

El cálculo de este tipo de rectas se basa en la extracción, muestreo y análisis químico de un número determinado (no inferior a 30-40) de muestras patrón de las unidades de mineral a comparar (camión, vagoneta, canaleta de muestreo, etc.). Las muestras deben ser extraídas sistemáticamente y valorizadas radimétricamente con los túneles, detectores, scintilómetros, etc.

Con estos datos básicos:

- Radimetría del mineral de vagoneta, camión, etc.
- Ley química de ese mineral.

puede iniciarse el cálculo de una recta, comenzando por estimar el factor relación ra/t (radiactividad dividido tenor) ó t/ra (tenor dividido radiactividad).

Mediante el uso de planillas normalizadas en estadística, se calcularán las varianzas (σ^2) y medianzas (\bar{X}) de cada uno de los factores antes citados. Con ello, se tienen los parámetros necesarios para estimar las magnitudes que permitirán la construcción de la recta. Dichas magnitudes son:

- r: coeficiente de correlación.
- p: pendiente de la recta.
- d: traslación.

El valor de r, para el caso del uranio, puede variar entre 0 y + 1 (es decir que no puede ser una correlación negativa en ningún momento) y refleja el grado de esta

relación radiactividad-tenor, según la siguiente escala aproximada:

- 0,90 a 0,99correlación muy buena
- 0,80 a 0,89correlación buena
- 0,60 a 0,79correlación deficiente
- < a 0,60correlación mala

También se puede lograr conocer aproximadamente (en forma gráfica) este grado de correlación, ubicando los valores de r_a y t , sobre la abcisa y ordenada respectivamente, de un papel bilogarítmico. Con ello se obtienen nubes de puntos que podrán:

- tender a alinearse tanto más sobre una recta cuando mayor es su correlación (fig. 2A),
- dispersarse hasta alcanzar la forma circular que denota muy poca correlación (fig. 2B),
- distribuirse en más de una recta o círculos, lo que demuestra la existencia de más de una "población estadística" (fig. 2C). La figura 2D ejemplifica un caso de correlación negativa, que no puede darse jamás para una cupla r_a/t .

El penúltimo punto refleja condiciones a veces normales en un yacimiento de uranio, donde pueden existir más de una solución originaria de la mineralización, una redistribución secundaria (zona oxidada, zona de "primarios" o minerales negros, etc.), todo lo cual, definido generalmente como diferentes "poblaciones estadísticas" da lugar a la necesidad de una investigación periódica de las rectas en uso, para ratificar sus resultados o eventualmente prever sus reemplazos.

La fórmula para estimar r es:

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

σ_t^2 = Varianza de los tenores químicos

σ_{ra}^2 = Varianza de los valores radimétricos

$\sigma_{t/ra}^2$ = Varianza de relación tenores/radimétricos

σ_t = Desvío tipo de los tenores químicos

σ_{ra} = Desvío tipo de los valores radimétricos

El valor de p se calcula según

$$p = \frac{\sigma_t}{\sigma_{ra}} \quad r. 10 = \text{cms}$$

Por último d se obtiene por la fórmula

$$d = 0,217 (1-r^2) \left(\frac{\sigma_t}{t} \right)^2 \cdot 100 = \text{mm}$$

Para trazar la recta se procede de la siguiente manera (ver fig.3):

- Sobre papel bilogarítmico (módulo $E=100$) se representa la nube de puntos en la forma ya citada. Se obtiene luego el primer punto A de la recta, en la intersección de las paralelas a los ejes x e y que parten de los valores de las medianas ra y t , calculadas en las planillas de cálculo estadístico, que serán tratadas en detalle en otro tema especial de este curso.

- A partir de A se miden 10 cms hacia la derecha paralelamente al eje y y desde este punto (B) se toma sobre la vertical el valor de p (ya obtenido en cm al multiplicar por 10), con lo que se obtiene el segundo punto (C) de la recta de regresión (línea cortada fig. 3).

- La recta de correspondencia es una paralela (línea llena) a la de regresión, que está trasladada hacia arriba en su valor dado en mm por la fórmula de d . Esta traslación se hace sobre la ordenada y no normalmente a la recta de regresión.

De esta manera queda determinada la recta de correspondencia, que servirá de base para inferir la ley del mine-

ral en base a su radiometría.

Se reitera que las rectas deben ser revisadas en forma periódica y que se deberán estimar tantas rectas como unidades (galerías, canaletas, skip, vagonetas, etc.) é instrumentos de medición, se deban utilizar en el interior de mina o superficie.

En la fig. 4, se dá un ejemplo de recta aplicada en Yacimiento Brugeaud-Francia.

II.2.2. Controles geológicos locales s.s.

Este capítulo incluye la aplicación básica de todos los principios geológicos que permiten: conocer las condiciones locales de yacencia de la mineralización y controlar el desarrollo de los programas de exploración (laboreos, sondeos, etc.).

La definición de tales condiciones son resultado de investigaciones complementarias de campaña y de gabinete o laboratorio.

Sólo nos ocuparemos de los estudios de campaña, referidos a laboreos subterráneos (los sondeos se tratan en capítulo aparte "Control Geológico de perforaciones" -Rodríguez E.-).

Normalmente estos estudios se realizan según dos orientaciones:

- a) Estudios muy detallados de ciertos sectores del yacimiento a fin de establecer ciertas condiciones básicas, tales como:
 - Controles genéricos de la mineralización (estructuras sedimentarias-tectónicas, etc.)
 - Rocas encajantes (observación megascópica), color, componentes, cemento, alteraciones, etc.
 - Causas de enriquecimiento o empobrecimiento del mineral.

- Minerales presentes (observación megascópica).
- Distribución especial de la mineralización.
- Extracción de muestras para análisis especiales en laboratorio (sedimentología, paragénesis, petrografía, permeabilidad, porosidad, mineralogía, etc.).
- Radimetría detallada.

Estos estudios se ejecutan sobre los hastiales, techo, etc. de las labores a relevar, utilizando como base un levantamiento de la misma a escala que permita graficar las observaciones realizadas (normalmente 1:50).

En la fig. 5 se ejemplifica un estudio de este tipo en un yacimiento sedimentario.

b) Control permanente de los frentes de exploración.

Normalmente se ejecutan antes de proceder a la preparación de la voladura de cada programa de una labor.

Sus objetivos son: orientar a ingeniería de mina en el avance de estas labores; controlar sistemáticamente la evolución de la mineralización, sus características geológicas y prever las modificaciones que se estimen necesarias respecto a los programas originales.

La actividad de estos controles, que normalmente pueden ser realizados por personal técnico experimentado del yacimiento, se centraliza en:

- Un esbozo geológico del frente.
- Radimetría del frente.

Los resultados de esta información se grafican en fichas normalizadas que van diariamente para análisis al responsable de la oficina técnica que centraliza el control geológico del yacimiento, distrito, etc. en estudio.

Las Figs. 6 A-B, representan ejemplos de fichas, en frente de labor subterránea en yacimiento sedimentario y fi-

loniano.

La información de las planillas, fichas, etc., se vuelcan a los planos generales de avance de la exploración del yacimiento, mediante graficaciones que permitan visualizar en forma integral, los resultados que se van obteniendo con la evolución de los programas de exploración (fig.7).

En muchos casos se ha utilizado este control de frentes de exploración, para posibilitar la evaluación de un yacimiento, eliminando la metodología convencional del muestreo físico en canaletas, etc. A tal fin se aprovecha la radiometría del frente de exploración, a fin de fijar el valor del espesor mineralizado (h); la ley en uranio (x) se estima calculando el metal total obtenido con el avance de esa progresiva (se contabiliza mediante recta de correlación en vagonetas), y luego aplicando la fórmula (1) se llega al % U_3O_8 del espesor h, cifras que se asignan a la progresiva de la labor en cuestión.

$$(1) \frac{h \cdot l \cdot a \cdot d}{x} = \frac{\text{In mineral}}{x} = \% U_3O_8$$

h = espesor mineralizado

l = largo del avance obtenido en el arranque del frente.

a = altura de la labor.

d = densidad del mineral.

x = U_3O_8 total del frente arrancado y contabilizado en las vagonetas extraídas.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

- [1] - CARLIER, A., Contribution aux methodes d'estimation des gisements d'uranium - Theses a la Faculté des Sciences de Paris (1964).
- [2] - MC MINISTRY, H.E., Mining Geology, Prentice Hall (1948).
- [3] - BALEMAN, A.M., Economic mineral Deposits, 2° Ed. John Willey, New York (1950).
- [4] - LAHSE, Field Geology, 5 th edition Mc Graw, Hill (1952).
- [5] - LINDGREN, W., Mineral deposits, 4t. Ed. Mc Graw, Hill (1933).
- [6] - MININGER, L., Exploration for Nuclear Material, Van Nostrand C., Inc. New York (1956).
- [7] - FORRESTER, J.D., Field and Mining Geology, John Wiley, New York (1957).
- [8] - MININGER, L., Minerals for Atomic Energy, Van Nostrand C. New York (1956).
- [9] - ROUTHIER, P., Les Gisements Metalliferes. Masson et Cie Editeurs, Paris (1963).
- [10] - RAGUIN, E., Geologie des gites Mineraux, 3° Ed., Masson et Cie, Paris (1962).
- [11] - BELLUCO, A.E., Sistema de Inuestreo y Contabilización de Minerales de Uranio en Laborcos de Exploración. Normas Internas División Evaluación G.M. P., C.N.E.A. Bs.As. (1968).
- [12] - CARRAE Cr. et BERBERIER, J., Utilisation de la Radioactivite pour le Triage et l'Evaluation d'un Gisement d'Uranium, Rapport, C.E.A. (1938), Centre d'Etudes Saclay (1958).
- [13] - BELLUCO, A.E., Normas para Calibración de Instrumental. Normas Internas División Evaluación, G.M.P., C.N.E.A. Bs.As. (1968).

- [14] - BELLUCCO, A.E., et al, Proyecto Control Geológico de Exploración Explotación de un Yacimiento de Uranio, Informe Interno G.M.P., C.N.E.A. Bs.As. (1966).
- [15] - BELLUCCO, A.E., et al, Proyecto Control Entrega y Recepción Mineral Mina Huemul-Planta Malargüe, Informe Interno Dpto. Evaluación G.M.P., C.N.E.A., Bs.As. (1966).

I N D I C E

I. INTRODUCCION.....	pág.	1
II. CONTROL GEOLOGICO DE EXPLORACION.....	"	3
II.1. CONTROLES DE EXPLORACION REGIONAL.....	"	3
II.2. CONTROLES DE EXPLORACION LOCAL.....	"	6
II.2.1. Controles radimétricos.....	"	6
II.2.2. Controles geológicos locales s.s.....	"	11
BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL.....	"	14

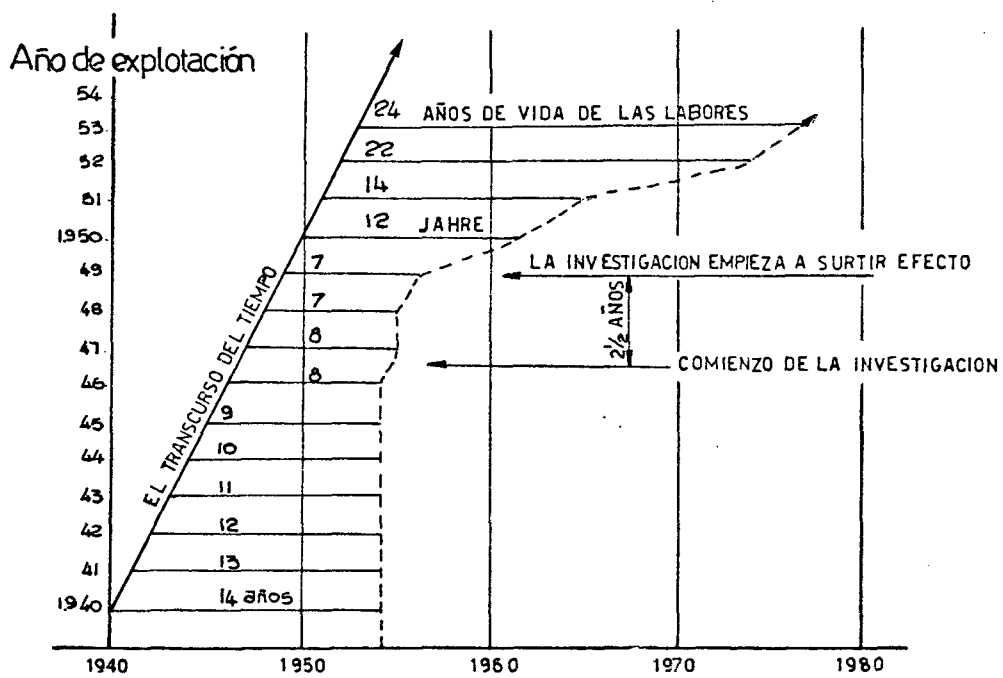


Fig.1- Representación grafica de los resultados de trabajos sobre base científica, llevados a cabo en el yacimiento de - Hüttenberg, Carintia, según F. Kahler.-

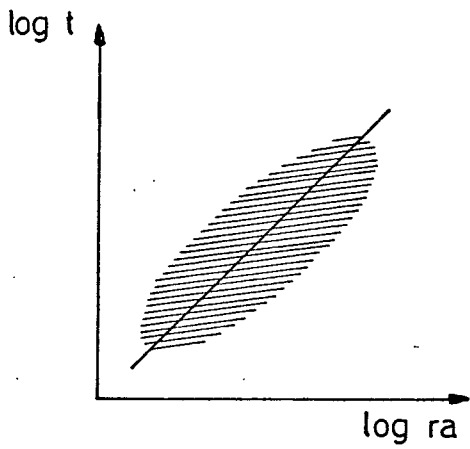


Fig.A

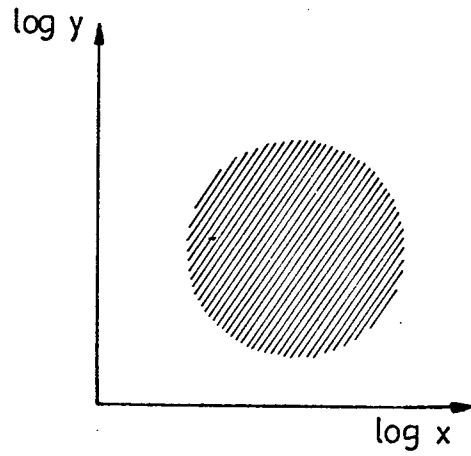


Fig.B

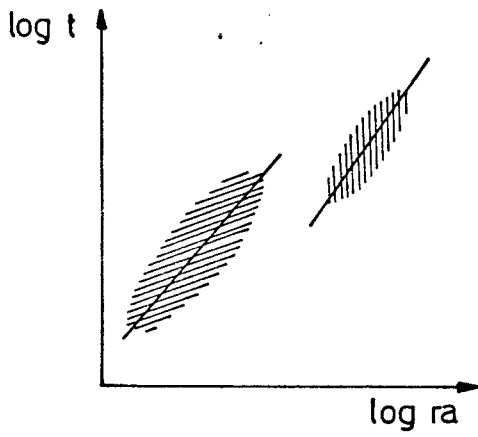


Fig. C

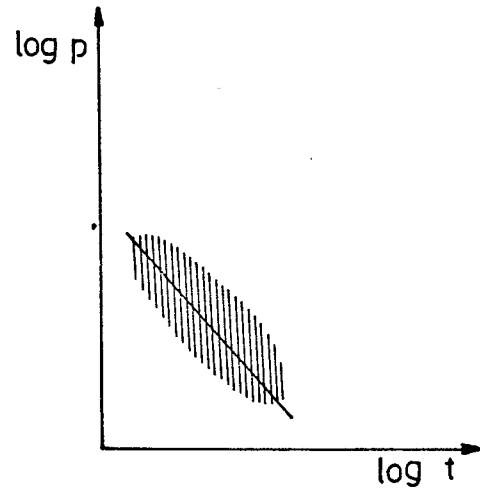
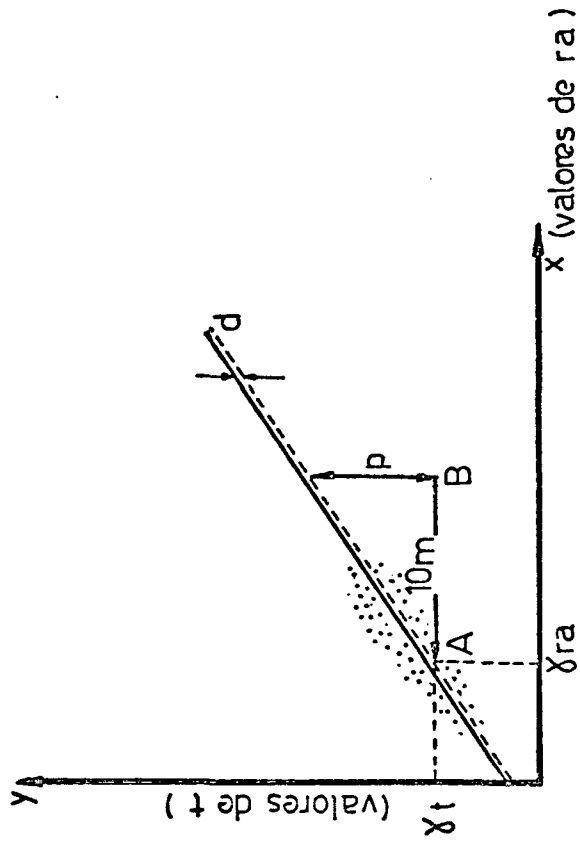


Fig.D

Figura: 2



RECTA DE CORRESPONDENCIA
ra/te.

Grafico posicion de.

p= pendiente.

d = traslación.

Fig.3.

RECTA DE CORRESPONDENCIA RADIOACTIVIDAD TENOR

Yacimiento : Brugeauds - Mine - (Haute - Vienne)

Naturaleza de la muestras : "dumpers" - tenores por fluorimétrie

Aparato electrónico : tunel radimétrico (6 tubos GM 3 G 3)

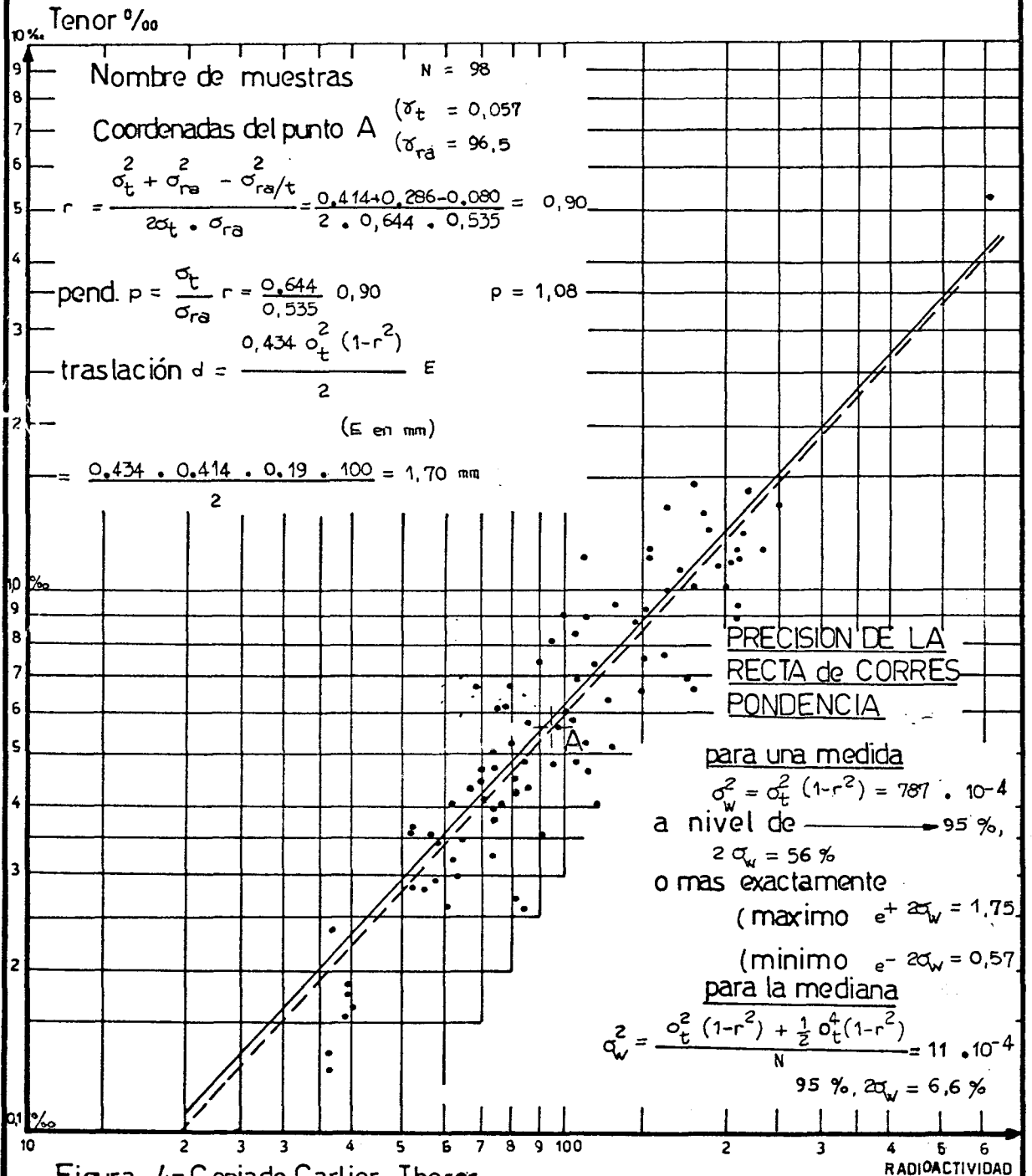
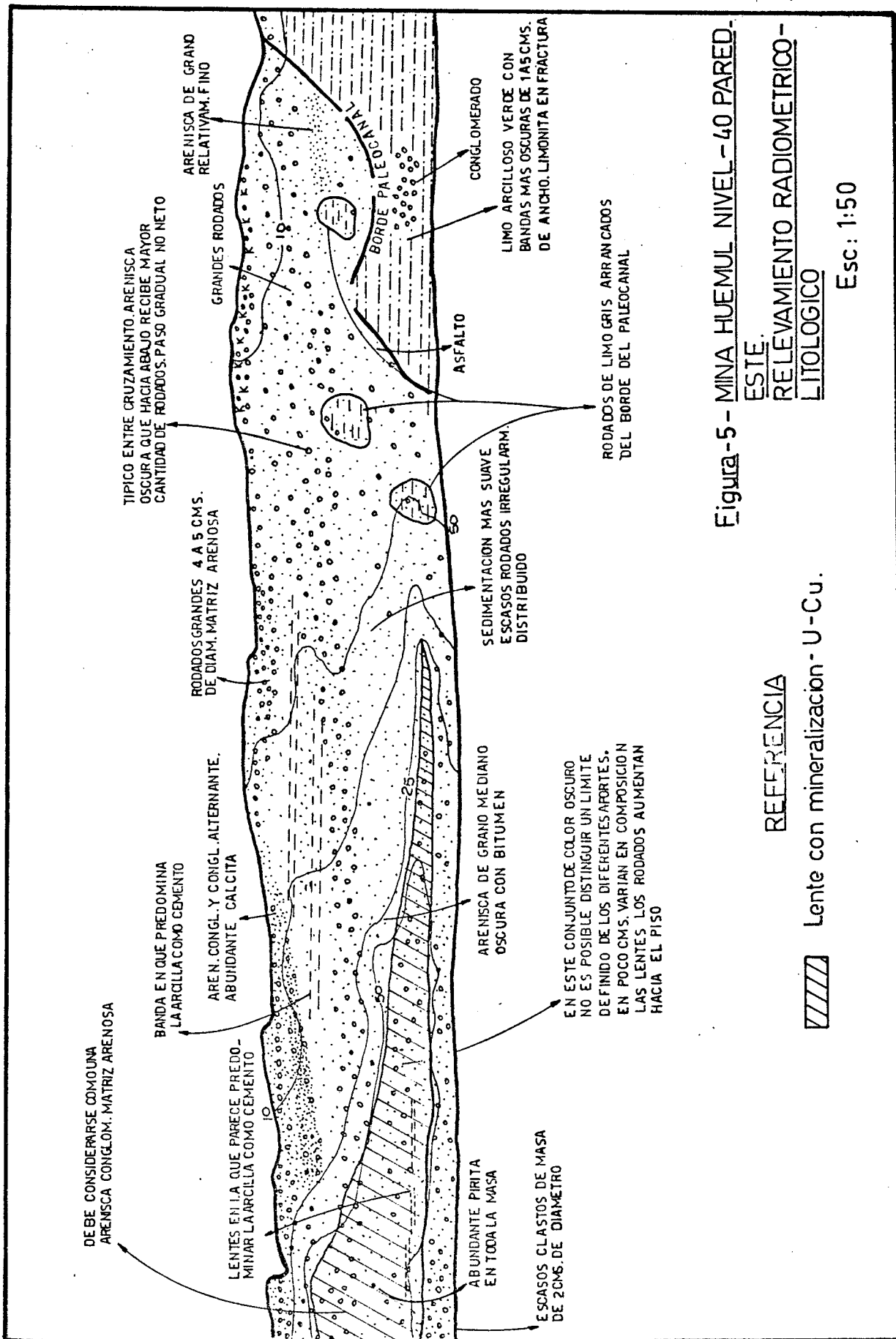


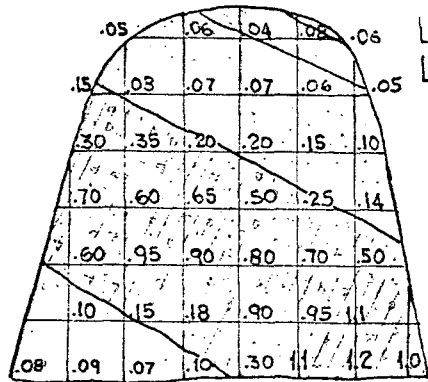
Figura- 4- Copiado. Carlier - Theses
 Faculté des Sciences de Paris. 1964.



FICHA FRENTE AVANCE

YAC.: HUEMUL (Mza).
 SECTOR: AGUA BOTADA
 FECHA: 24/3/69.

Nivel ... -40 Norte
 Progresiva: 130 m.



Limo Rojo
 Limo Verde

Arenisca Conglomerádica
 gris-bitumen

OPERADOR

RESP. CONTROL GEOLOG.

INSTRUMENTO: Santillometro

PROM. RADIM. : 45 MR/HR

COLIMACION : 1cm Pb

ESPEJOR MIN. REAL: 1.00 m.

FONDO : .07 MR/HR

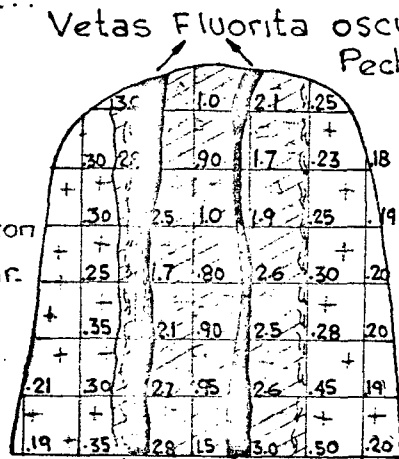
Esc. Real: 1:400

T.c. RADIMET: .15 " Fig. 6 A (Esc. de ejecución 1:100)

FICHA FRENTE AVANCE

YAC.: LA ESTELA (S.LUIS)
 SECTOR:
 FECHA: 4/12/68

Nivel ... -30
 Progresiva .. 50 m.



Granito
 Alterado con
 U secundar.

Granito
 Alterado con
 U amarillo

Jaboncillo
 de Falla

Brecha de Falla

OPERADOR

RESP. CONTROL GEOLOGICO

INSTRUMENTO: Scintillometro

PROM. RADIM. : 1.86 MR/HR

COLIMACION : 1cm Pb

ESPEJOR MIN. REAL: 1.00 m

FONDO : .18 MR/HR

Esc. Real : 1:400

T.c. RADIMET: .50 " Fig. 6 B (Esc. de ejecución 1:100)

YACIMIENTO DON OTTO-SALTA

Gráfico zoneografía valores radimetricos
avances galerias exploración.

