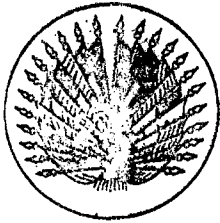


05.78.33



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



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

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

CNEA - AC-23/78 (b)

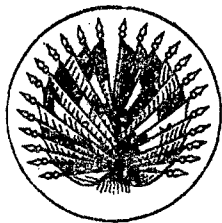
IV. METODOS DE EXPLORACION FISICA

2. PERFILAJE GAMMA Y CORRESPONDENCIA
GAMMA / U₃O₈ (Método USA)

HUGO OLSEN

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



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



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

CONFERENCIA IV-2 (b)

PERFILAJE GAMMA Y CORRESPONDENCIA GAMMA/ U_3O_8

Comisión Nacional de Energía Atómica

HUGO OLSEN

I - INTRODUCCION

En los comienzos de la exploración por uranio la obtención de los tenores o leyes de U_3O_8 se conseguía exclusivamente mediante muestreo de las masas de mineral ensayadas y en el caso de los sondeos las estimaciones se realizaban en base al muestreo de testigos de las formaciones reconocidas o en la mayoría de los casos del "cutting" de dichos sondeos, cuando la recuperación de los testigos era deficiente. Es decir, se procedía de acuerdo a la técnica empleada en la industria minera, para cualquier otro elemento investigado.

Más como es conocido, existe una relación entre la radiactividad de una masa mineral y el contenido de uranio (es otro elemento radiactivo) en tanto la medición se realice a volumen constante.

Esta relación para el caso del uranio fué estudiada empíricamente y posteriormente resuelta teóricamente (1) en el Atomic Energy Commission de Estados Unidos de Norte América, desarrollando un sistema de interpretación de perfiles radimétricos de sondeos que permite establecer las leyes en uranio (o en otro elemento radiactivo) de una formación portadora atravesada por un sondeo.

(1) J.H.SCOTT, P.H.DODD, R.F.DROULLARD y P.J.MUDRA - Quantitative of Gamma - ray logs - U.S.A.E.C. - RME-136-Agosto 1960, Grand Junction, Colorado - U.S.A.

Es evidente la ventaja que ello representa para el desarrollo intensivo de los programas de exploración-evaluación por uranio ya que:

- a) Abarata los costos de la exploración al prescindirse del testigado de las formaciones reconocidas o evaluadas, acelerando la tarea de control geológico al no ser necesario el lento y tedioso muestreo de testigos.
- b) Se obtiene un muestreo más representativo de la formación reconocida, al medirse la radiactividad ya que la misma está afectada por la mineralización que se dispone en el entorno del sondeo a una distancia hasta 40 cm. de la pared de un sondeo de 4,5 pulgadas (el 90% de la radiación proviene de un sector anular de 18 cm. de espesor y el 30% del sector anular de 6,5 cm. de espesor) (Fig. N° 1 del anexo).

Por lo tanto el sistema de interpretación del perfilaje gamma que se desarrollará a continuación es el utilizado extensivamente en USA para la exploración y evaluación de sus depósitos uraníferos.

II - PRINCIPIOS BASICOS.

II.1. Concepto del volumen de muestreo o medición.

Un concepto fundamental en la interpretación de la relación radiactividad y contenido de uranio, está dado por lo que se llama volumen de detección o volumen de medición o de muestreo.

A cada detector le corresponde, para una densidad dada de la roca medida, un volumen alrededor del detector, en general de forma casi esférica, del cual recibe las radiaciones que mide, es el llamado Volumen de detección (Fig. 2) de radio aproximado a 40 cm.

Solamente cuando este volumen está completo de material radiactivo homogéneo la radiactividad es proporcional al contenido en uranio.

Caso contrario, al medirse volúmenes de mineral menores que el volumen de detección, por ejemplo al medir mineral en un recipiente chico, habrá que conservar siempre el mismo volumen de medición para lograr una equivalencia entre la redimetría y el tenor, y a su vez asegurar la misma ubicación geométrica de la muestra a medir.

En realidad en la naturaleza pocas veces se cumple el supuesto de que dicho volumen de detección esté completo de material radiactivo uniforme.

En la Fig. n° 2 vemos que a medida que el volumen de detección se va llenando de material radiactivo el conteo es mayor hasta llegar, en el caso del perfilaje de un sondeo, a una potencia de 70-80 cm. a partir del cual, todo incremento del espesor de la capa mineralizada no produce un aumento de la tasa de conteo, es lo que se llama espesor efectivo infinito o espesor de saturación, igual al diámetro del volumen de detección.

En la Fig. n° 3 visualizamos claramente el procedimiento de formación de la curva radimétrica producida por un detector que perfila una capa mineralizada de espesor mayor que el de saturación. Vemos que en realidad cuando el detector llega a la línea de separación estéril-mineral, el volumen de detección está lleno por la mitad y la deflexión de la curva será la mitad de la amplitud máxima, es por ello que se toma como comienzo del nivel mineralizado el punto donde el detector acusa la mitad de la amplitud máxima del pico, en caso de que el espesor sea igual o mayor que el de saturación 0,80 cm.. En caso de que el espesor sea menor, dicho límite se fija en los 2/3 de la amplitud máxima (algunos autores utilizan los 4/5).

II. 2 - Concepto del tiempo muerto.

El instrumental electrónico de detección de radiaciones, posee un tiempo muy pequeño de reacción y recuperación durante el cual el mismo es incapaz de registrar un nuevo evento, el efecto de ello es una pérdida en la tasa de conteo tanto mayor cuanto más alta es dicha tasa, este tiempo de recuperación se llama tiempo muerto y varía desde unos 100 microsegundos, en los instrumentos de detección a tubo geiger, hasta 5 microsegundos en los equipos a cristal de I Na (Tl) de 3/4" x 1". La consecuencia de este efecto es que la tasa de conteo indicada por el equipo debe ser corregida por los eventos no registrados a fin de obtener la tasa real, esta corrección se efectúa mediante la fórmula:

$$N = \frac{n}{1-nt}$$

donde N= número de cuentas reales en c/s

n= número de cuentas registradas en c/s

t= Tiempo muerto del equipo en segundos

Los valores suministrados por el detector deben por lo tanto ser corregidos por el tiempo muerto del equipo antes de ser utilizados para determinaciones cuantitativas. En la actualidad se fabrican equipos de perfilaje que suministran los valores corregidos por tiempo muerto, correspondiente a ese equipo.

El tiempo muerto de un detector se determina mediante el uso de un contador escalímetro y 2 fuentes de Radio 226 de aproximadamente 1 milicurie cada una.

Se coloca la fuente n° 1 a 30-50 cm. del detector y se registra el número de cuentas que acusa el escalímetro durante 3-5 minutos hasta registrar 10^6 eventos. Se coloca la fuente n° 2 al lado de la n° 1 y se cuenta el número de eventos registrados durante el mismo período de tiempo. Luego se saca la fuente n° 1 y se registra la tasa de conteo de la fuente n° 2 durante ese período, se retiran las dos fuentes y se registra el back-ground durante 30 minutos.

El tiempo muerto se calcula mediante la fórmula:

$$T = \frac{Ra + Rb - Rc - b}{Rc^2 - Ra^2 - Rb^2}$$

donde: T = tiempo muerto en segundos

Ra = tasa de conteo de la fuente n° 1 en c/s

Rb = " " " " " n° 2 en c/s

Rc = " " " las fuentes n° 1 y 2 en c/s

b = tasa de conteo del back ground en c/s

El no tener en cuenta el efecto del tiempo muerto del equipo tiene por causa reducir el tenor equivalente asignado y aumentar el espesor del nivel mineralizado que se perfila, siendo el efecto tanto mayor cuanto mayor es la ley del sector perfilado.

II.3 Concepto de constante de tiempo.

El fenómeno de desintegración atómica que genera la radiactividad que medimos es de naturaleza aleatoria, ello obliga a construir detectores con un tiempo finito de conteo a fin de promediar los eventos producidos y enviarlos al sistema de registro y obtener valores coherentes. Si las lecturas fueren instantáneas la aguja del registro oscilaría violentamente acusando la producción aleatoria de eventos radiactivos, ello tanto más marcado cuanto menor es el número de eventos registrados, por ello el instrumento registra durante un tiempo y envía el resultado al registro, este tiempo es tanto mayor cuanto menor es el número de cuentas y es la llamada constante de tiempo o tiempo de integración.

Si a un sistema detector se le alimenta con una cantidad finita de pulsos, aproximadamente requiere que transcurra un período de 5 constantes de tiempo antes de alcanzar la posición de equilibrio que de la lectura correcta.

Por ello en los equipos de perfilaje se ha de tener en cuenta que la constante de tiempo ha de ser suficientemente grande para evitar las oscilaciones estadísticas del fenómeno de desintegración, pero no tan grande que cause problemas al perfilaje.

Los problemas que puede causar un tiempo de integración elevado radican en el perfilaje continuo, podría ocurrir que la velocidad de perfilaje sobrepase a la constante de tiempo, impidiendo al equipo alcanzar en una posición las 5 constantes de tiempo necesarias para suministrar la lectura correcta. Ello provocaría el achatamiento de los picos y la sub-evaluación del tenor del estrato perfilado. Si la constante de tiempo es muy pequeña y la velocidad de perfilaje lenta, se obtienen picos tipo serrucho un tanto difíciles de promediar.

II.4 - Concepto de equilibrio.

En las condiciones corrientes de perfilaje de sondeos se mide la actividad gamma, no así la Alfa o Beta, e intentamos determinar el contenido de uranio (U_{238} - U_{235}) en función de la radiactividad gamma emitida por la masa mineral. Ahora bien, los niveles de emisión gamma del uranio en sí son bajos y lo que se mide es la actividad de los elementos de desintegración del uranio, principalmente del Radio 226 y de sus hijas radiactivas, sobre todo el Pb 214 y el Bi 214. En condiciones normales el uranio contribuye con el 2% de la actividad gamma y el grupo del Ra contribuye con el 98% restante para poder utilizar esta relación en forma cuantitativa es menester que la relación Radio-Uranio se mantenga constante, lo que se logra cuando el mineral está en equilibrio, es decir, cuando se producen la misma cantidad de hijas radiactivas del uranio, que las que desaparecen del sistema por desintegración, ello se logra al cabo de aproximadamente 1 millón de años.

Cualquier proceso geoquímico que tienda a eliminar a alguno de los elementos producidos en la cadena de desintegración, coloca al mineral en estado de desequilibrio en cuyo caso hay que aplicar un factor de corrección a fin de establecer correctamente la ley en función de la radiactividad gamma medida.

II. 5 - Concepto de correcciones por absorción de radiaciones.

La validez del sistema americano de interpretación de perfilajes gamma, para asignar las leyes de uranio correspondientes, se basa en la aplicación de correcciones a las condiciones de perfilaje cuando ellas no son standard.

Dos correcciones normales son:

- a) Corrección por diámetro del sondeo.
- b) Corrección por entubado.

En el primer caso, si el sondeo está realizado con aire prácticamente no se realiza corrección alguna, pero si el sondeo tiene agua o lodo de inyección la corrección es de importancia

ya que la absorción es distinta a las condiciones standard de calibración que consideraremos más adelante.

En el segundo caso (b) la corrección es muy importante cuando se perfila un pozo entubado, siendo desde luego, tanto más importante la corrección cuando mayor sea el espesor de la pared del entubado, alcanzándose fácilmente correcciones del orden del 80%.

III - ECUACION DE EQUIVALENCIA

La ecuación de equivalencia desarrollada por AEC de Estados Unidos de Norte América es:

$$h \cdot x = K \cdot A$$

donde: h = espesor del nivel mineralizado

x = el tenor en uranio

K = factor de proporcionalidad

A = área de la curva radimétrica obtenida al perfilar el estrato de espesor h y ley x.

Esta ecuación de carácter empírico fue desarrollada posteriormente en forma teórica y establece que la acumulada de un estrato mineralizado (el producto de la ley por el tenor) es proporcional al área de la curva radimétrica producida al ser perfilado, siendo K un factor de proporcionalidad que depende del equipo utilizado y que será menester determinar para cada nuevo equipo de perfilaje a utilizar o para cada modificación realizada a un equipo en uso, y que se denomina factor de calibración.

III . 1 DETERMINACION DEL FACTOR DE CALIBRACION.

Para determinar el factor de calibración K de los equipos de perfilaje utilizados en la exploración y evaluación de depósitos uraníferos en U.S.A. el Atomic Energy Comisión de ese país ha construido pozos patrones en sitios estratégicos, que permiten el acceso a los usuarios en las principales áreas uraníferas del país.

El esquema fundamental de construcciones de pozos patrón es el ilustrado en la Fig. nº 4.

Basicamente consiste en un sector mineralizado cuya ley y espesor se conoce por muestreo y construcción entre dos sectores estériles, todo ligado con cemento.

El espesor del nivel con mineral será mayor que el espesor de saturación del equipo utilizado, en general de 0,90 a 1 m..

Dicho modelo lo perfilamos con el equipo cuyo K que-

remos determinar, medimos A y conociendo h y x por construcción des-
pejamos K.

Las condiciones básicas de construcción del pozo pa-
trón son:

- 1) Diámetro del sondeo 4,5 pulgadas
- 2) Medio que llena el sondeo aire
- 3) Entubado ninguno
- 4) Contenido en H₂O del mineral . . . 12% (por peso)
- 5) Equilibrio x_q

$$\frac{x_q}{x_{ra}} = 1$$

Para condiciones de perfilaje distintas a estas será necesario aplicar factores de corrección, que en general se determi-
nan en forma empírica, aunque también se lo puede hacer mediante grá-
ficos ya elaborados por el AEC para las situaciones más corrientes.
(Fig. 5).-

APLICACION PRACTICA DEL METODO

Hasta ahora se han visto las condiciones teóricas ge-
nerales del proceso de interpretación de un perfilaje gamma, ahora
veremos un ejemplo práctico mediante el uso de un procedimiento ela-
borado por el AEC del tipo gradual, por medio del empleo de plani-
llas diseñadas al efecto (Fig. 5).

Primeramente se anota el espesor del estrato minera-
lizado, que resulta de la diferencia de profundidad, de la semiam-
plitud del pico final menos la profundidad de la semiamplitud del pi-
co inicial o más superficial.

En niveles mineralizados netos, la mineralización
comienza cuando el primer pico alcanza la semiamplitud, pues en ese
momento el elemento detector se halla al frente de ese límite y el
volumen de detección se halla lleno hasta la mitad de mineralización
radiactiva (Fig. 3), siendo el mismo concepto válido para la salida
de la zona mineralizada, esto se cumple en forma estricta para nive-
les mineralizados netos de espesor mayor que el de saturación. Más
en la práctica se ha visto que el efecto de los límites gradaciona-
les de mineralización o de espesores menores que el de saturación,
interpretados en esa forma para definir su espesor, no alteran
substancialmente la estimación de reservas producidas.

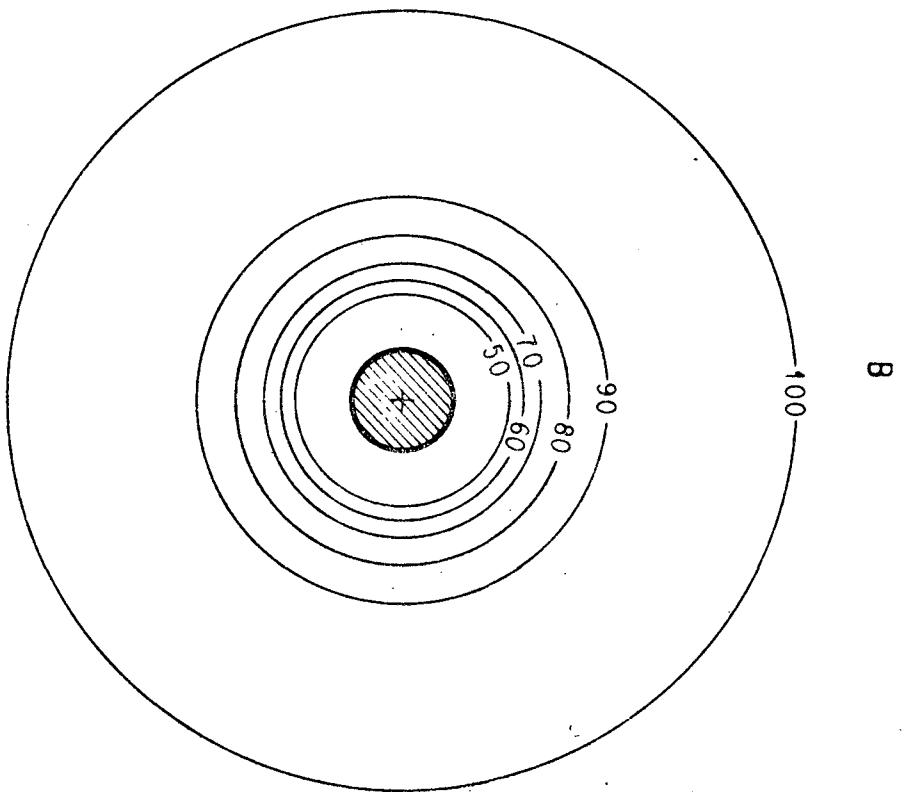
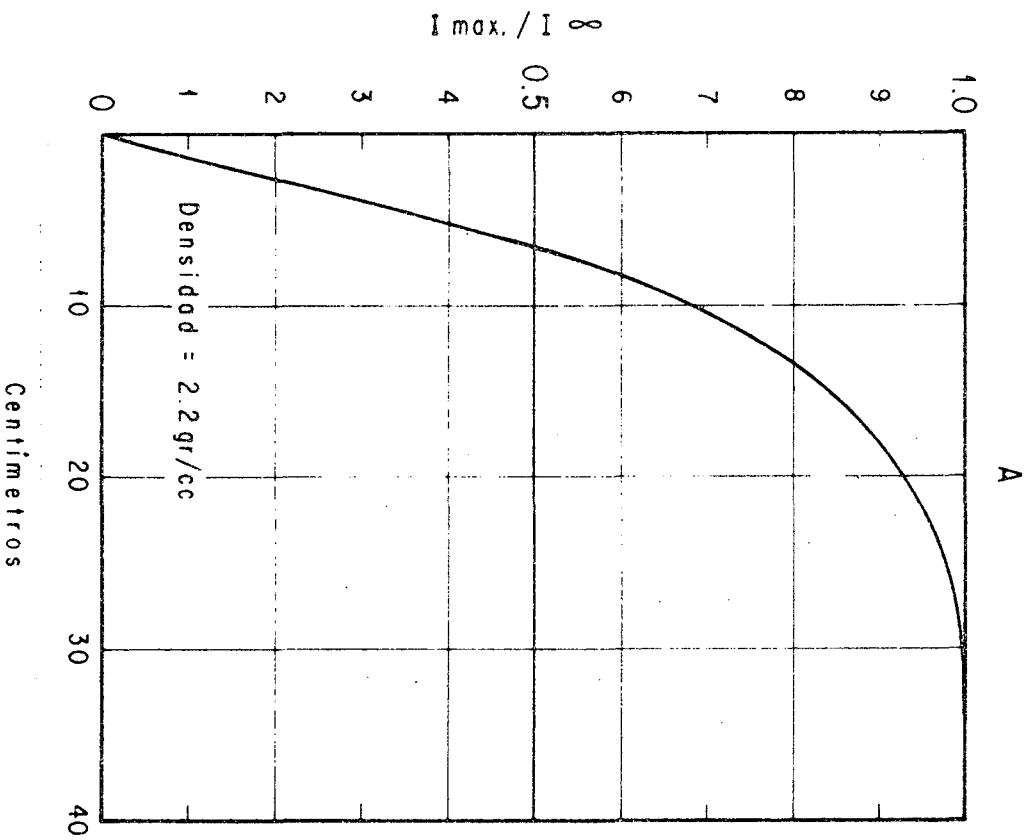
A continuación se debe determinar el área bajo la
curva de anomalía; los valores radimétricos se leen en la curva y
se los corrige por el tiempo muerto del equipo, ya sea aplicando la

fórmula o mediante el uso de tablas de conversión o gráficos (Fig. 7).

Estos valores son escritos en la planilla. El primer valor se lee en el punto correspondiente a la primera semiamplitud, éste es el valor denominado E_1 , tal como se indica en la Fig. 8. Los valores intermedios sucesivos I_1, I_2, \dots se leen en posiciones distanciadas medio pié (15 cm.) de profundidad del sondeo, equivalentes en el registro. El último valor intermedio se toma justo encima del límite inferior de la mineralización y el último valor E_2 , un intervalo por debajo del anterior. Los valores E_1 y E_2 son los llamados de cola de la anomalía y su área de influencia en el registro ha sido determinado por AEC como correcto, al ser multiplicada su suma por 1,38, cuando la tasa de conteo se lee a intervalos de medio pié (15 cm.).

Los valores del área central se determinan sumando los valores intermedios I_1, E_2 , etc., siendo ésta una integración trapezoidal numérica, que resulta con errores de menos del 3%. El valor total del área bajo la parte anómala de la curva, se determina luego sumando el valor de las áreas de cola combinadas, más la parte del área de la parte central.

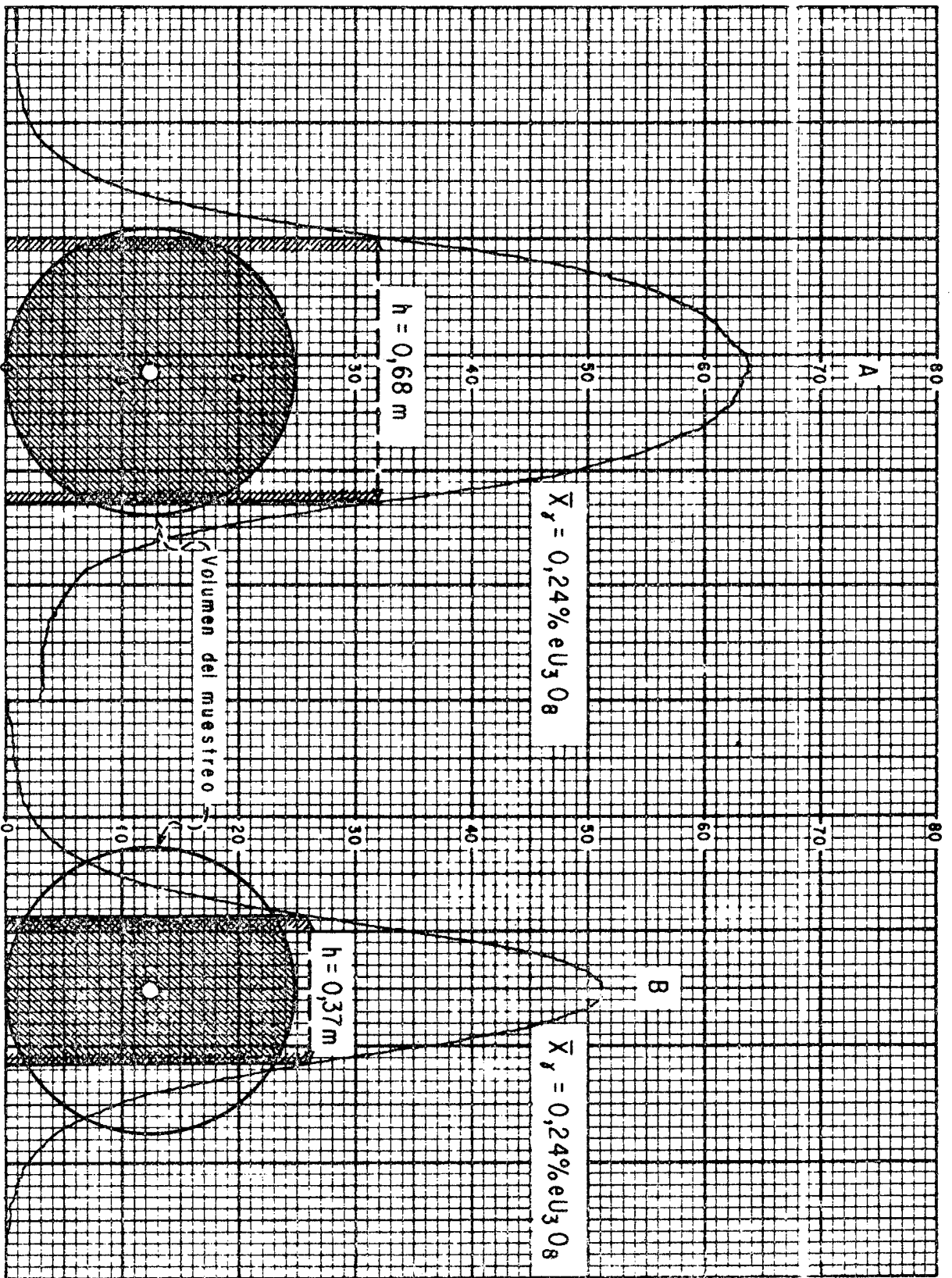
Este valor del área total es luego multiplicado por los factores de corrección correspondientes al diámetro del pozo, medio que llena el sondeo, entubado y contenido en H_2O del mineral. El valor resultante se multiplica por el factor K de calibración del equipo y se obtiene hx (acumulada), este valor se multiplica por el factor de desequilibrio y se divide por el espesor h , obteniéndose así x , ley media del sector, que es el dato buscado.



Sección típica del volumen de muestreo indicando la contribución porcentual de las zonas anulares alrededor de un sondeo de 4,5" Diámetro medio ponderado 7,9". Diámetro total 36".

Fig. 1 - Influencia relativa de las zonas anulares dentro del volumen del muestreo.

Fig 2 - Tasa de conteo (su amplitud) depende del tenor y del espesor.



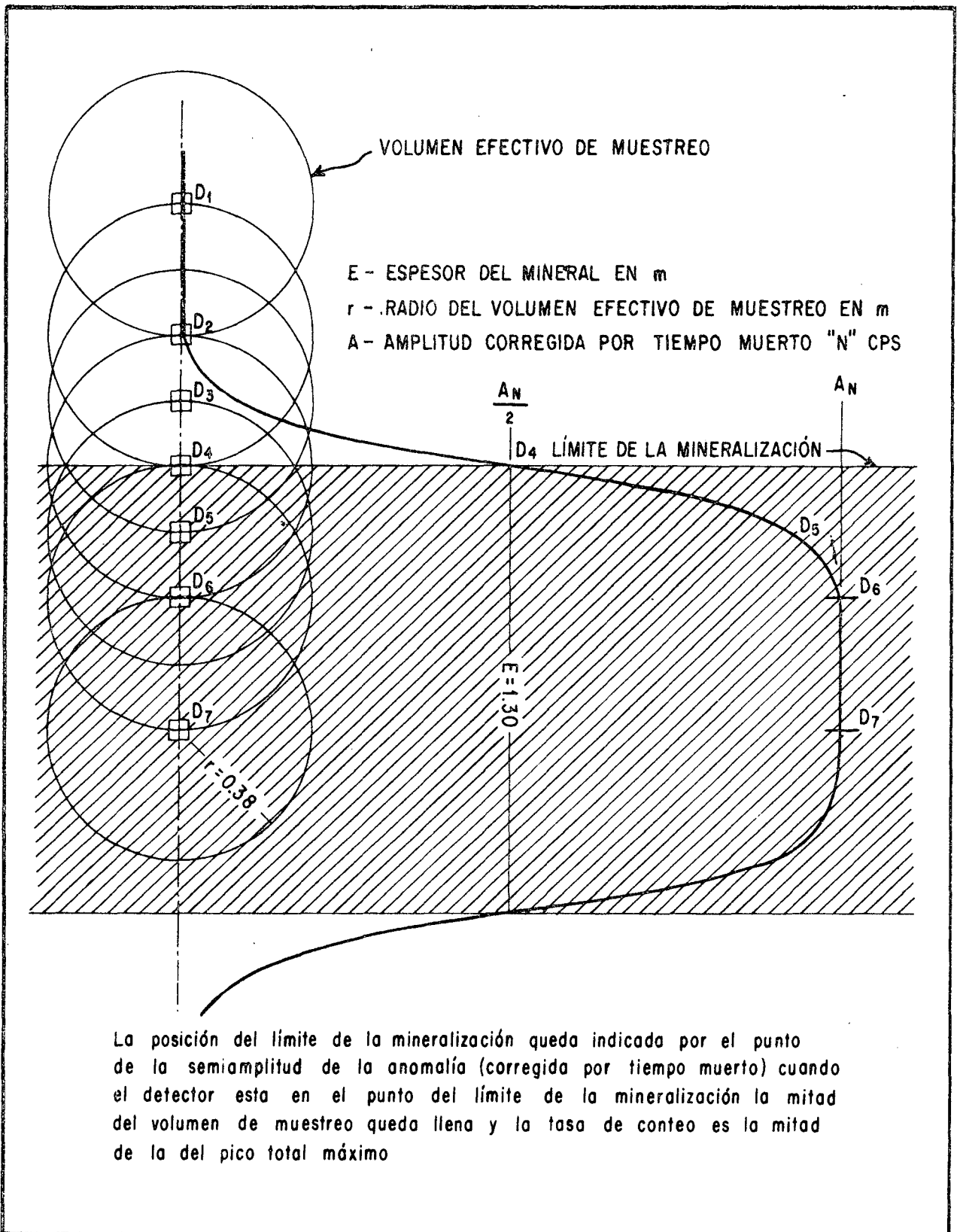


Fig. 3 - El límite de la zona mineralizada queda determinada por el punto de la semi-amplitud de la anomalía.

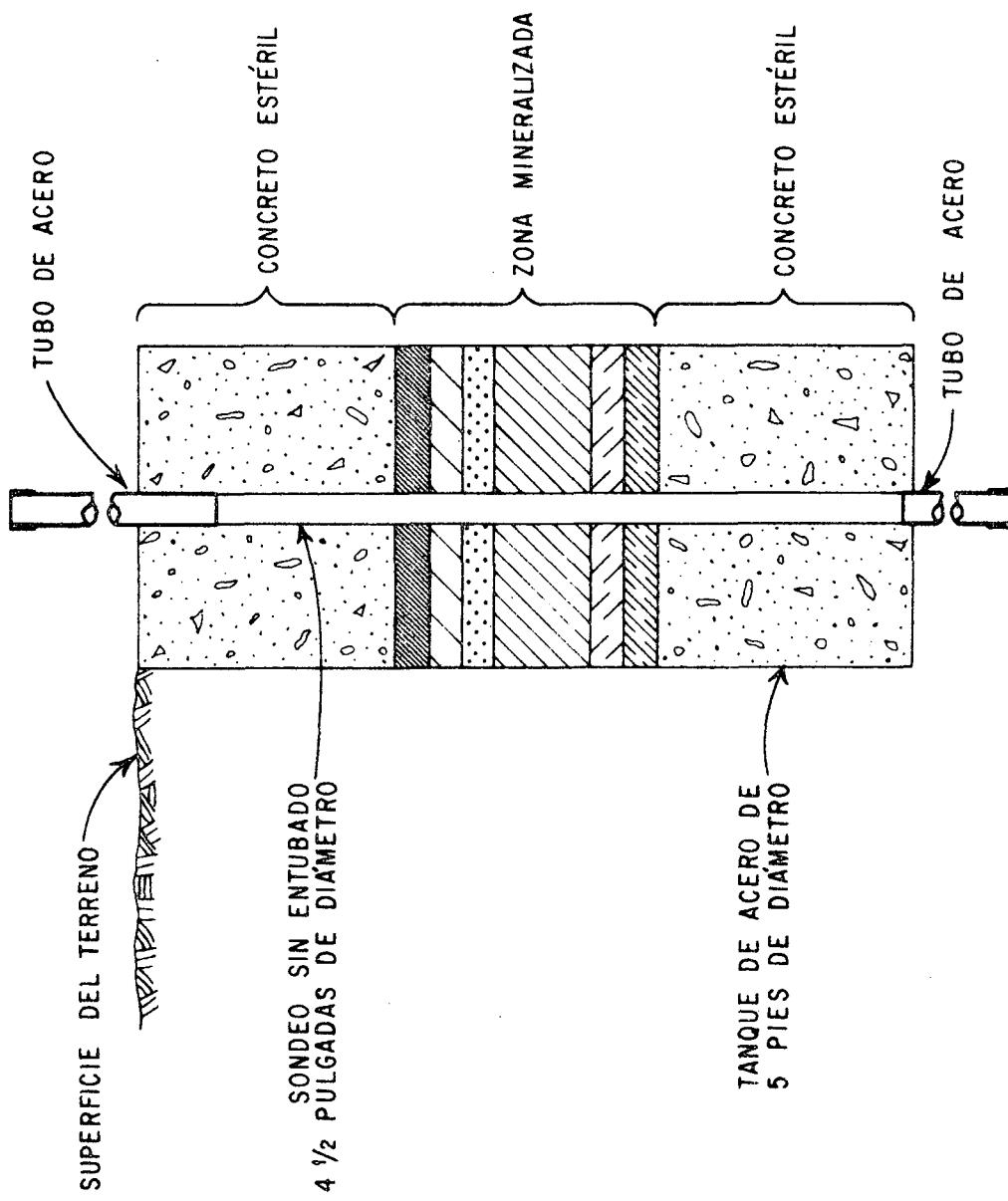


Fig. 4 - POZO DE CALIBRACIÓN

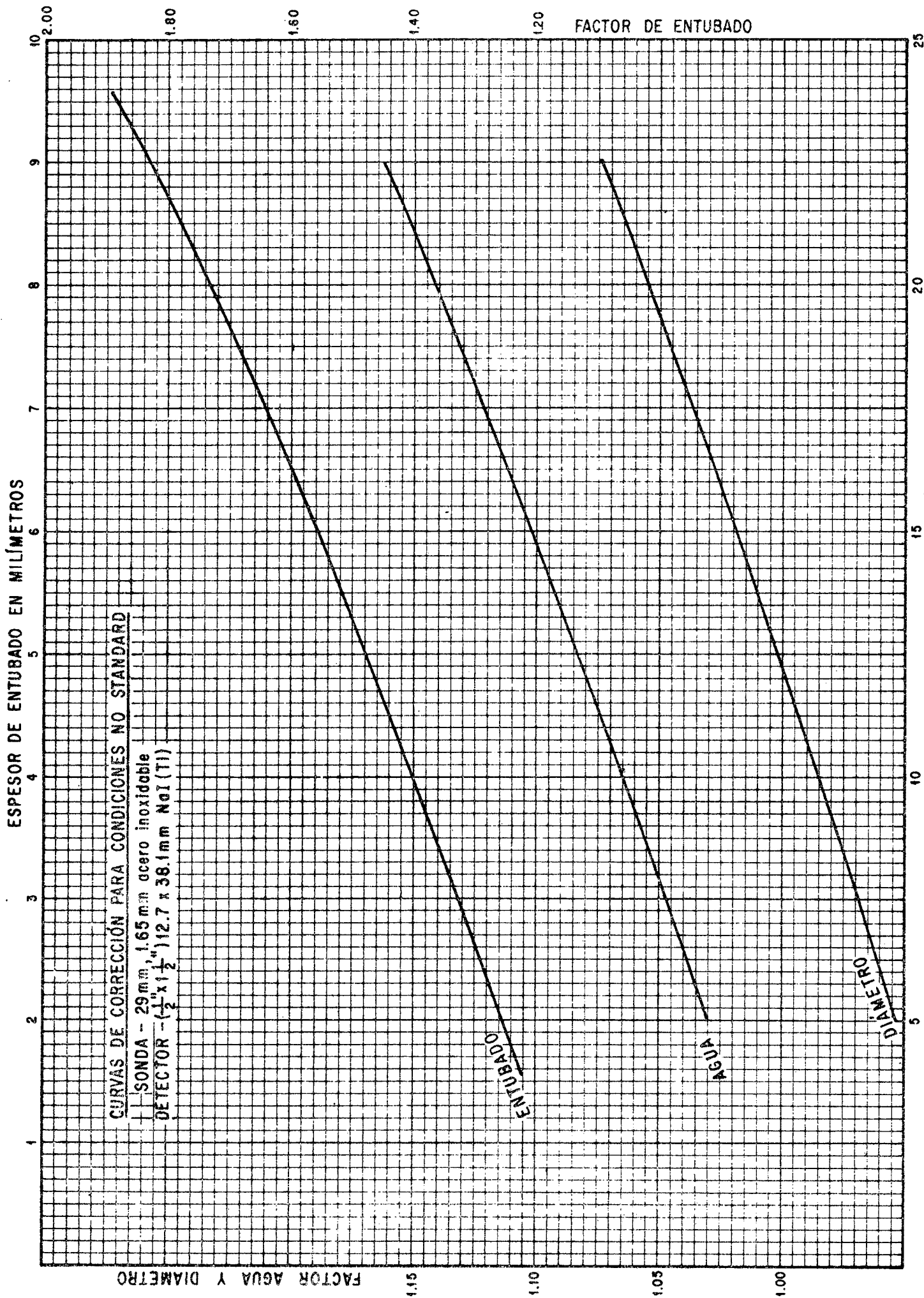


Fig 5 - DIÁMETRO DEL SONDEO EN CENTÍMETROS

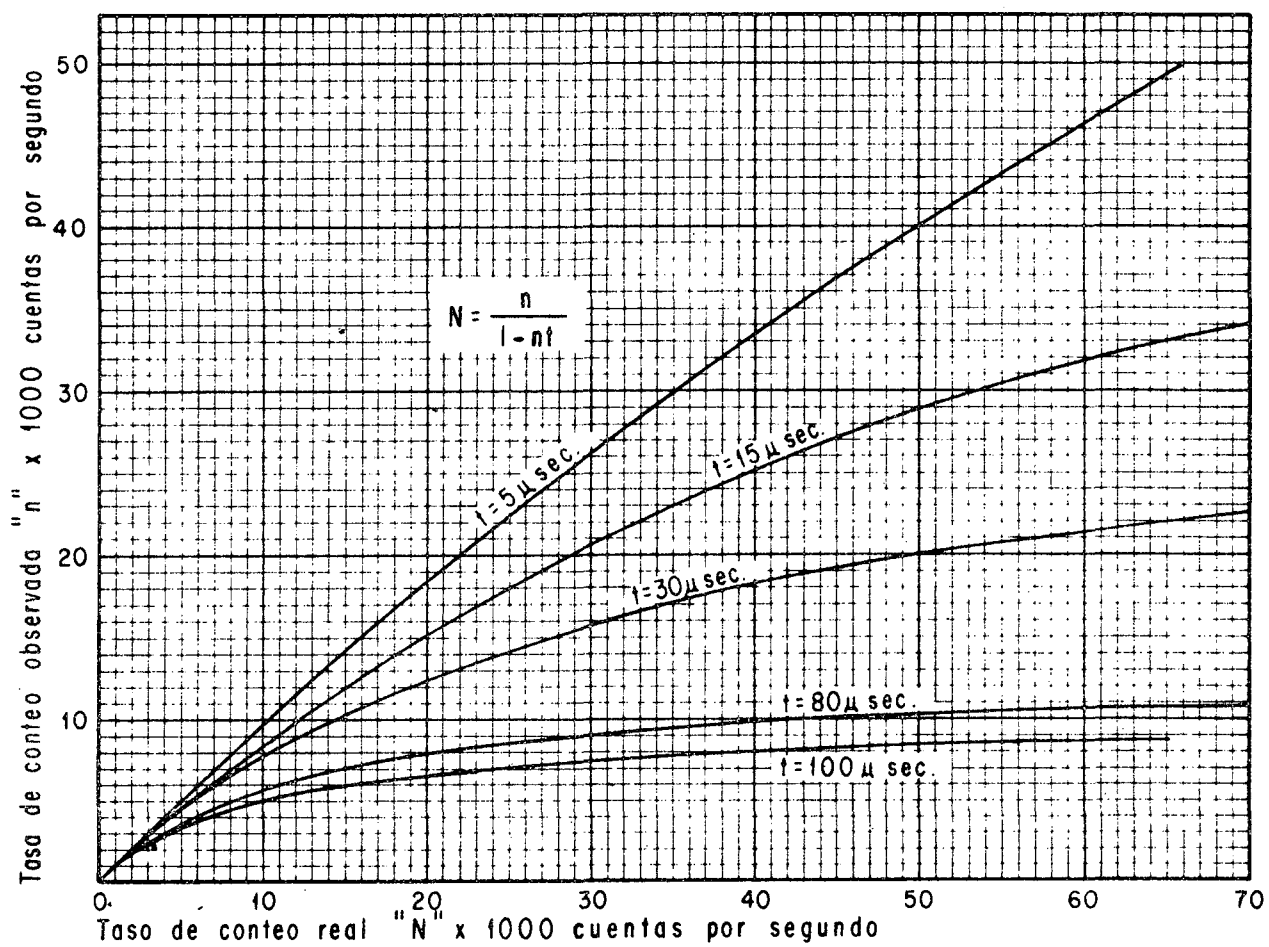


Fig. 7 - Correcciones por tiempo muerto para equipos de perfilajes de sondeo típicos.

ESCALA VERTICAL EXAGERADA

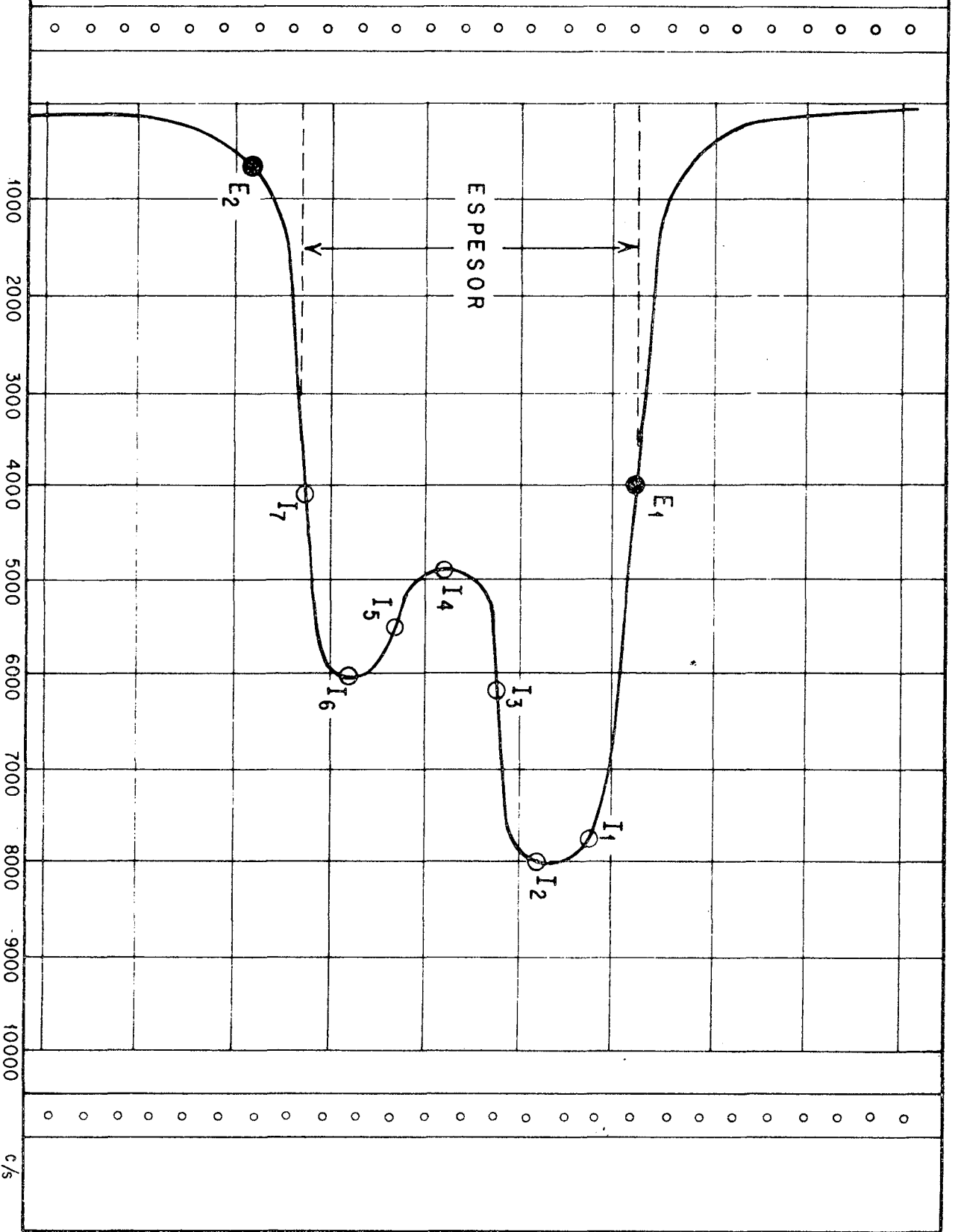


Fig. 8 - Puntos de lectura sobre registro.