



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

III. MÉTODOS DE PROSPECCIÓN URANÍFERA

6.b. LA EMANOMETRIA EN LA PROSPECCION DEL URANIO

DR. JORGE A. MUSET

LA EMANOMETRIA EN LA PROSPECCION DEL URANIO

JORGE A. MUSSET

Comisión Nacional de Energía Atómica

1. INTRODUCCION

Como producto del decaimiento natural de elementos radiactivos, se engendran emanaciones que conservan aquel carácter y por lo tanto son pasibles de ser detectadas y medidas. La técnica geofísica desarrollada para alcanzar ese objetivo se denomina Emanometría y se ha convertido en una disciplina importantísima dentro de la gama de métodos de prospección uranífera.

Si bien en nuestro país existen antecedentes de utilización de esta técnica que datan del año 1948, es a partir de 1958 que queda incorporada a la sistemática aplicada por la Gerencia de Materias Primas de la C.N.E.A., siendo valiosos los resultados obtenidos con su aplicación. Esta relativamente larga experiencia nos ha permitido depurar la metodología tanto de orden operativo como de interpretación y aprovechamiento de resultados, lo que sumado a la introducción en el mercado de nuevos aparatos y a los progresos de las investigaciones logrados en otros países (Rusia y Francia principalmente), han convertido a la emanometría en una técnica segura en la prospección de minerales nucleares.

Las emanaciones radiactivas se denominan RADON (^{222}Rn), THORON (^{220}Tn) y ACTINON (^{219}A) y si bien poseen ca-

racteres comunes, se distinguen fundamentalmente por la duración de su período, que es de 3,8 días; 54 segundos y 3 segundos respectivamente. Esta característica descarta la posibilidad de localizar y medir concentraciones de actinón durante el desarrollo de un trabajo sistemático en el terreno, pero a la vez permite hacerlo con los dos restantes en forma simultánea, basándose en la distinta velocidad de desintegración de ambos.

Siendo la localización de concentraciones minerales de uranio el fin perseguido por nosotros, prestaremos principal atención a todo lo referente al radón, que es su emanación, y sólo en atención a la posible sociedad de aquéllos con minerales de thorio, nos ocuparemos someramente del producto gaseoso de éste.

No se incluye en este trabajo la fundamentación matemática del método, ya que el hacerlo restaría quizás claridad a la descripción del mismo y de su utilización, que es el fin perseguido.

2. FISICA DEL METODO

Investigaciones experimentales han permitido conocer las características físicas de las emanaciones radiactivas, las que en síntesis se comportan como todos los gases, vale decir, que tienden a difundirse, que pueden diluirse en el seno de líquidos y gases, y que son absorbidos por algunas substancias, a lo que hay que sumar su carácter principal para nosotros que es el de emitir partículas α durante su desintegración.

La dilución del radón en los líquidos está influenciada fuertemente por la temperatura de éstos. En el agua, donde se diluye fácilmente, el coeficiente de dilución varía entre 0,510 para una temperatura de 0°C y 0,107 para

100°C, valores que aumentan enormemente si el medio líquido está constituido por aceites vegetales, solventes derivados del petróleo o por alcoholes.

El hecho de que el radón sea diluible en el agua, debe ser tenido en cuenta al hacerse una prospección emanométrica, ya que la presencia de ésta en el terreno, ya sea como acuífero o como humedad superficial, puede enmascarar concentraciones importantes del gas. El coeficiente de dilución del radón en el agua disminuye con la concentración de impurezas que ella posea.

Se ha establecido que la repartición del radón en líquidos y gases obedece a la ley de Henry: $\frac{N_1}{v_1} = \alpha \frac{N_2}{v_2}$ donde N_1 es la cantidad de radón en el líquido; v_1 el volumen del líquido; N_2 la cantidad de radón en el gas; v_2 el volumen del gas y α el coeficiente de dilución del radón.

Tanto el caucho como las substancias grasas, las arcillas o el carbón, absorben gran cantidad de radón, en cambio los metales no ejercen ninguna acción sobre él. Esto insinúa ya las precauciones que deben tomarse en el desarrollo de equipos y aparatos destinados a tomar muestras de aire atmosférico o telúrico en las que quiera determinarse tenor en radón.

En cuanto a la movilidad de la emanación, es obvio que ella está controlada por la naturaleza del medio en que deba circular. A los fines prácticos de una prospección, interesará conocer la porosidad, el grado de alteración o de resquebrajamiento de los terrenos que yacen sobre la fuente emanadora, como también la medida en que están afectados por fracturas, diaclasas, fallas, etc., elementos todos que pueden aumentar o disminuir el coeficiente de difusión del gas y que de una u otra manera influirán en la detección del mismo. Al tratar la difusión del radón en el suelo, se verá la importancia

que revisten estos factores.

La posibilidad de medir físicamente la concentración de las emanaciones radiactivas, se debe a su capacidad de emitir, durante su desintegración, partículas α fácilmente identificables por su alto poder ionizante, por su carga eléctrica y por su comportamiento frente al SZn. Estas particularidades constituyen la base de los aparatos utilizados desde antiguo para su identificación y para medir su concentración. Como se verá más adelante, los aparatos en uso en la actualidad, son simplemente perfeccionamientos de aquéllos.

La unidad fundamental para expresar la concentración de radón es el Curie, medida que significa -para el radón en equilibrio- una corriente de ionización de $6,21 \times 10^6$ unidades electrostáticas, pero para las tareas de prospección se ha adoptado el Emán, que equivale a 10^{-10} Curie/litro.

La concentración del thorón se expresa en gramos de Th en equilibrio por litro de aire, aunque en la práctica se utilice el "equivalenta emán". La corriente de ionización que provoca el thorón en equilibrio en un gramo de Th es 9×10^6 veces menor que la provocada por un curie de radón.

3. LAS FUENTES DE EMANACION RADIATIVA

Las especies minerales portadoras de ^{226}Ra ; ThX y/o AcX, son las principales fuentes de emanación radiactiva. Cada una posee un coeficiente de emanación y una determinada capacidad emanatoria, entendiéndose por coeficiente de emanación la relación existente entre la cantidad de gas que pasa al medio ambiente durante un tiempo dado y la cantidad total de emanación producida por la misma fuente durante el mismo intervalo de tiempo, mientras que constituye la capacidad emanatoria, la cantidad de gas liberada por un gramo

de la especie mineral durante un tiempo suficiente para lograr el equilibrio radiactivo. A varios autores rusos se debe el conocimiento de estas constantes, especialmente a GARCHOV, BOKOSLOVSKY y a STARIK, después de cuyas investigaciones sabemos, entre otras muchas cosas, que el coeficiente de emanación aumenta con la superficie de la fuente.

En base a experiencias de laboratorio se ha logrado establecer la influencia de la temperatura sobre el coeficiente de emanación, comprobándose que se logra el desprendimiento de la totalidad posible de ésta mediante un relativamente leve ascenso de aquélla. Al mismo tiempo se ha logrado conocer que las especies densas tienen una aptitud emanatoria menor que las que poseen una estructura ceolítica terrosa.

Se desprende de esta somera revista a las constantes propias de las fuentes de emanación, que podemos encontrar resultados dispares en la prospección, aún dentro de un mismo yacimiento, según sean las especies emanadoras, pero no debemos alertarnos en demasía pues a los fines prácticos perseguidos en el terreno, estas alternativas tienen un valor muy relativo y sólo cobrarán importancia para un especialista experimentado empeñado en extraer el máximo de provecho de los datos recogidos en el terreno.

4. COMPORTAMIENTO DE LAS EMANACIONES EN EL SUELO

Ya se dijo que las emanaciones tienden a difundirse en los medios sólidos, líquidos y gaseosos, tal como lo hacen otros gases, por lo tanto esa es su tendencia en el suelo. Su movilidad está controlada por las características de éste y por ello conviene que nos detengamos a explicar en qué forma actúa.

Supongamos una fuente emanadora yacente debajo de una cubierta estéril que servirá como reservorio de la ema-

nación. Naturalmente la difusión del gas estará en relación directa con el carácter de dicha cubierta, y así habrán de tenerse en cuenta: porosidad, homogeneidad, humedad, naturaleza y potencia de la misma.

- a) Porosidad. Como es fácil de prever, el grado de porosidad de la cubierta aumentará o atenuará la velocidad de circulación de las emanaciones radiactivas.
- b) Homogeneidad. El coeficiente de difusión del gas será más constante cuanto más homogénea sea la cubierta. En depósitos fluviales donde impera una alternancia de ciclos granulométricos, es indiscutible que el gas activo tendrá una velocidad de desplazamiento particular para cada nivel, lo que producirá una mayor concentración en algunos de ellos y un empobrecimiento en otros.
- c) Humedad. Ya se adelantó al tratar las características físicas de las emanaciones, que el agua diluye con cierta facilidad al radón, lo mismo que al thorón; en consecuencia, el grado de humedad del suelo adquiere una importancia enorme ya que de él puede depender el éxito o el fracaso de una prospección. El grado de humedad, tanto profundo como superficial de la cubierta puede marcar una de las limitaciones del método emanométrico, impidiendo el pasaje del gas hacia los niveles muestreables.
- d) Naturaleza. Se conoce el coeficiente de difusión de las emanaciones para diversos tipos de roca, determinados mediante pacientes ensayos de laboratorio y que son corroborados en la práctica diaria. Es indudable ya que los registros emanométricos obtenidos sobre una misma fuente emanadora cubierta por una capa estéril de potencia constante, alcanzan guarismos distintos según se trate de terrenos limosos, arenosos, arcillosos, aglomerádicos, etc. Influye particularmente al respecto, la presencia de ni-

veles arcillosos, los que pueden llegar a constituirse en una barrera infranqueable tanto más efectiva, cuanto mayor sea su compacidad o su contenido acuoso.

- e) Potencia. El espesor de la cubierta juega un rol importantísimo. Suele admitirse que una potencia de 10 m puede ser considerada como infinita y que en tal caso ella absorbe la totalidad de la emanación producida por la fuente. En la práctica tal aseveración puede ser desvirtuada, ya que si bien una cubierta potente provoca una tremenda caída de los registros emanométricos obtenidos sobre ella, los mismos serán interpretables para un especialista experimentado, que como tal, antes de iniciar la prospección sistemática habrá efectuado las observaciones geológicas y geofísicas que lo familiarizarían con el terreno. Se considera una potencia ideal la de 3 a 7 m, siendo desventajosas las menores a 1 m y prácticamente inutilizables las de menos de 50 cm. Esto se debe a que en la superficie del terreno se produce un intercambio entre el aire atmosférico y el del suelo, vale decir, que hay una fuga permanente de emanación radiactiva hacia la atmósfera. El alcance en profundidad de esta aireación atmosférica del suelo dependerá, por supuesto, de la naturaleza de éste y de las condiciones meteorológicas imperantes (presión barométrica, temperatura, vientos, etc.), como también de la topografía del lugar relevado.

De lo que antecede surge la necesidad de que el responsable de una campaña de prospección emanométrica actúe con un criterio no sólo geofísico sino también geológico. Prescindir de alguno de ellos provocará, seguramente, el desaprovechamiento del esfuerzo realizado y lo que es más, hará peligrar el éxito de la prospección.

5. DISTRIBUCION DE LAS EMANACIONES EN EL SUELO

Conociendo el comportamiento de las emanaciones radiactivas en el suelo, se llegará a conocer su distribución en profundidad. Naturalmente, las concentraciones máximas se localizarán en las proximidades de la fuente emanadora y serán insignificantes o nulas en los primeros centímetros debajo de la superficie, pero se puede considerar para una cubierta homogénea, que a una profundidad de 1 a 3 m la concentración será equivalente al 90 % de la emanación total, siempre que la fuente se halle a un mínimo de 4 m de la superficie. En todos los casos conviene hacer determinaciones experimentales a distinta profundidad, para dejar establecido el gradiente de concentración, máxime cuando deba operarse en zonas con cubierta heterogénea. En líneas generales puede aceptarse que la concentración de las emanaciones en el seno de la cubierta estéril decae más rápidamente cuanto menor es el espesor de ella y que la penetración inmediata de aquéllas debida a su difusión se efectúa en los primeros metros (Fig. 1). No obstante, debe tenerse en cuenta que la velocidad de difusión de las emanaciones puede ser afectada por factores propios de la cubierta, tales como fracturación, humedad, porosidad, etc., por lo que si bien teóricamente puede calcularse la longitud de la difusión mediante la fórmula $l = \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$ (D= coeficiente de difusión; λ = constante de desintegración), ella puede variar más o menos arbitrariamente en el terreno.

Si se supone la concurrencia de un factor limitante de la libre circulación de las emanaciones hacia los niveles superiores de la cubierta, o que impida su difusión en el aire atmosférico, se tendrá la imagen del origen de lo habitualmente denominado "aureola de la emanación", que no es otra cosa que la resultante de la deriva de ella en el suelo. Estas aureolas pueden, a veces, desplazar marcadamente la ano-

malía emanométrica con respecto al cuerpo mineralizado, lo que ya les confiere gran importancia desde el punto de vista de la prospección. Conocer la posibilidad de su existencia obliga a extremar las precauciones, entre las que debe contarse la investigación a distinta profundidad y recordar que para una cubierta inactiva con coeficiente de difusión de 0,04 a 0,004 cm²/segundo, la concentración disminuye cien veces a una distancia de 6 m de la fuente, proporción que puede llevar a desestimar la manifestación en superficie de una verdadera anomalía emanométrica.

Puede ocurrir también que determinaciones de concentraciones de radón no estén ligadas a acumulaciones interesantes de minerales nucleares. Ello sucede generalmente cuando la prospección cubre zonas de fallas o de contactos geológicos, relacionados solo indirectamente con dichas acumulaciones. Esto se debe a que las rocas afectadas por el tectonismo han modificado su coeficiente de difusión a causa de su trituración, la que además ha servido para facilitar la circulación de aguas y la retención de sales entre las que pueden contarse algunas radíferas.

Surge de esto la importancia que revisten para la circulación de las emanaciones todas las vías favorables, ya que lógicamente los gases tienden a desplazarse siguiendo la ley del mínimo esfuerzo, condición que deberá tenerse en cuenta al hacer la interpretación de todo relevamiento emanométrico. No podrá dejarse de lado el conocimiento previo del buzamiento de los estratos superpuestos a la fuente, o el de los que la encierran, las fallas, contactos geológicos, esquistosidad, etc.

6. MEDICIONES DE CONCENTRACION DE ²²²Rn y ²²⁰Tn

La concentración de radón y de thorón se mide en base a la intensidad de emisión de partículas α producida

durante su decaimiento. Ya en los comienzos de esta centuria Ernest Rutherford logró determinar el signo positivo de la carga eléctrica de la partícula α y casi simultáneamente Frederich Giesel descubrió que esas partículas provocaban un destello al chocar contra una pantalla recubierta con sulfuro de zinc. Ambos descubrimientos constituyen la esencia de los aparatos utilizados ahora en las tareas de prospección.

Actualmente un relevamiento emanométrico se efectúa utilizando algunos de los aparatos de las figuras 2 y 3. Como ambos obedecen a un principio distinto, se los describirá por separado.

a) Electrómetro de Ambronn

Está constituido por un electrómetro acoplado a una cámara de ionización de 1.500 cm³ de capacidad, cuyo eje está dado por una varilla de dispersión conectada al primero. El electrómetro, de tipo monofilar, lleva asociado una lente microscópica que incluye una escala horizontal de cien divisiones. Al cargar con electricidad estática negativa el electrómetro, el filamento deflexiona proporcionalmente a la carga recibida, equivaliendo 6 V para cada división de la escala. El aire conteniendo emanación radiactiva, al ser introducido en la cámara origina una corriente de ionización tanto más intensa cuanto mayor sea la desintegración, la que provocará en definitiva una anulación de la carga del electrómetro causada por la liberación de cargas de signo contrario (partículas α), cuya importancia será medida sobre la escala del microscopio.

Si bien se intercalan en el circuito de toma de muestras, elementos filtrantes que retienen la humedad y materiales finos (tierra) no puede evitarse que se depositen sobre las paredes de la cámara de ionización, productos sólidos originados por las emanaciones mismas (Ra A) que la conta-

minan y que obligan a periódicos controles.

Suponiendo que el aire telúrico llevado a la cámara del aparato, provoca una corriente de ionización i_x , puede calcularse teóricamente la cantidad Q de radón correspondiente a esa corriente, mediante la fórmula $Q = k (i_x - i_{nr})$, en la que k es el coeficiente de calibrado; i_x la fuerza de la corriente en la cámara expresada en divisiones por minuto e i_{nr} la dispersión natural del aparato. Si se quiere expresar en Curie/litro la concentración, debe multiplicarse Q por la relación $\frac{10^3}{v_1}$ donde v_1 = volúmen de la cámara de ionización.

Como el thorón tiene una vida muy breve en relación con la del radón, su concentración debe medirse inmediatamente después de la toma de aire del suelo, ya que su desintegración total se opera en un período no mayor de 10 minutos. Esta disparidad de períodos permite conocer ambas concentraciones en una sola operación de muestreo, midiendo las dos corrientes de ionización en distintos momentos. Se puede entonces calcular la concentración de ambas emanaciones mediante las fórmulas:

$$A_1 R_n B_1 T_n = i_1 j_0$$

$$A_2 R_n B_2 T_n = i_2 j_0$$

en las que j_0 = coeficiente de calibrado en $\frac{K}{\text{div.}/\text{min}}$ referido al instante de entrada del aire en la cámara.

$R_n; T_n$ = cantidad de radón y de thorón en la muestra analizada.

$A_1; A_2$ = coeficientes determinantes del valor de la corriente de ionización del R_n y sus productos de desintegración, relativa a los instantes $t_1 t_2$.

$B_1; B_2 = \text{idem para el thorón y ThA.}$

$i_1; i_2 = \text{corrientes de ionización acumuladas en divi-}$
 $\text{siones/minuto correspondientes a los instan-}$
 $\text{tes } t_1 \text{ y } t_2.$

b) Emanómetro SRAT

Es el actualmente adoptado en nuestro país y está basado en el aprovechamiento del centelleo provocado por el impacto de las partículas α sobre una película de SZn. El esquema que compone la figura 3 sintetiza su principio. La parte sensible está integrada por un frasco de vidrio de 125 cm³, cuya pared interior, salvo el fondo, ha sido tapizada por SZn. Hacia él se orienta la corriente de aire aspirada. El centelleo provocado por el bombardeo de partículas α sobre las paredes del frasco, es transmitido a través de su fondo límpido a un tubo fotomultiplicador, el que mediante un sistema electrónico lo traduce en energía mensurable. El modelo DRCP, adoptado por la CNEA argentina, expresa la concentración de la emanación directamente en emanés.

Este equipo permite hacer mediciones sobre una muestra gaseosa sometida a análisis durante un tiempo determinado, o sobre una corriente de aire que se renueva constantemente. En la aplicación del primer método debe tenerse en cuenta que el número de partículas α emitidas es función del tiempo, aceptándose que el máximo de concentración se alcanza entre los 15 y 20 minutos (Fig. 4). Este método tiene el inconveniente de su lentitud, al que se debe sumar otro no menos importante que es la facilidad y frecuencia con que se contamina el frasco detector a causa de la formación durante el período de medición, de productos sólidos que se depositan sobre las paredes con SZn.

El método por corriente constante de aire, además de ser más rápido, reduce grandemente las posibilidades

de contaminación, pues los elementos sólidos originados son barridos antes de tocar las paredes del frasco. No obstante, cuando se opera con muestras con alta concentración de radón, la contaminación es inevitable al cabo de algunas determinaciones, debiéndose reemplazar la botella sensible. El frasco contaminado puede ser utilizado nuevamente luego de 3 ó 4 días. Ante la posibilidad de una paulatina contaminación, debe tomarse la precaución de medir el "ruido de fondo" de la botella en uso, el que no podrá ser superior a 15 emanaciones (tope de la escala más sensible).

El aparato, alimentado por tres pilas de linterna de 1,5 V, dispone de un selector de sensibilidades que permite medir concentraciones comprendidas entre 0 y 15; 0 y 50; 0 y 150; 0 y 500; 0 y 1500 emanaciones, correspondiendo a cada sensibilidad una constante de integración que oscila entre 0,4 segundos para la escala menos sensible hasta 13,2 segundos para la de 0 a 15 emanaciones.

Este instrumento a raíz de su velocidad de respuesta, tiene un rendimiento mayor que el electrómetro de Ambronn, ventaja a la que debe agregarse la certeza de que todo el aire telúrico sometido a análisis se pone en contacto con la botella detectora de partículas α , cosa que no siempre ocurre con las cámaras de ionización, que por no ser herméticas admiten una fuga del aire insuflado. Si bien este modelo viene equipado con un filtro múltiple integrado por una placa metálica cribada a la que se adosan papeles de filtro fácilmente cambiables, conviene intercalar nuevos elementos filtrantes en el circuito de bombeo de aire.

Cuando se presume la presencia de thorón en el aire del suelo, puede calcularse su concentración efectuando dos lecturas sucesivas con intervalo de un minuto. La activi-

dad debida al thorón será: $A T_n = 2 \cdot (L_1 - L_2)$ y la ocasionada por el radón: $AR_n = 2 L_2 - L_1$ (L_1 y L_2 = primera y segunda lectura respectivamente).

7. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras de aire telúrico es uno de los quehaceres más delicados e importantes dentro del desarrollo de un programa emanométrico. De la corrección con que se cumpla, puede depender el éxito del trabajo.

Al comentar la distribución de las emanaciones en el suelo se citaron las profundidades en que su concentración es más importante, como también aquellas en que por influencia de factores atmosféricos se produce un marcado empobrecimiento de la misma. Esto permite establecer ya, que existe teóricamente una profundidad mínima para la toma de aire telúrico, la que puede variar según los tipos de suelo. Conviene en todos los casos hacer ensayos a distinta profundidad y comprobar a cual corresponde la mayor regularidad de valores. En líneas generales puede anticiparse que a partir de muestras extraídas a 30-40 cm de la superficie se obtendrá una gama de valores cuya representación gráfica dará una línea quebrada inarmónica. Las características de la línea se suavizarán a partir de los 60 cm que es la profundidad mínima aconsejable, siendo ideal la de 1 m.

La toma de aire telúrico se hace con el auxilio de una sonda cribada, hincada en el suelo y conectada a una bomba aspirante-impelente. Al introducir la sonda en el suelo debe tomarse la precaución de no permitir la circulación de aire atmosférico entre ambos, pues de lo contrario existiría una dilución del tenor de la emanación tanto más intensa cuanto más fácil resultara la penetración de aire. El ideal está representado por una sonda lo suficientemente fuerte que pueda ser introducida directamente en el suelo,

por ejemplo la de tipo combinado usada por los franceses, pero no siempre las características del terreno permiten su empleo. Cuando ello ocurre puede soslayarse la dificultad, hincando un barrenos macizo, el que luego será rápidamente reemplazado por la sonda cribada. Si bien al efectuar el reemplazo se produce una penetración de aire atmosférico, éste se desaloja con los primeros movimientos de la bomba.

Debe mantenerse constante la cantidad de aire que se envía al aparato, ya que de ella dependerá el valor de la concentración. Se ha comprobado que ésta se manifiesta abruptamente con los primeros litros (entre 5 y 10) y que se estabiliza a partir de los 15 l. Para el caso de bombas accionadas a mano, deberá observarse siempre el mismo número de movimientos, calculándose previamente la cantidad necesaria en base a la capacidad del equipo. Es aconsejable operar siempre con más de 15 litros.

Los emanómetros con que cuenta C.N.E.A. incluyen un circuito de aspiración compuesto por una válvula alimentada por una corriente de aire comprimido que permite la toma de 20 litros por minuto. Inconvenientes de orden práctico hicieron que en nuestro país se descartara ese sistema y se empleara el manual.

La falta de una cubierta impone una limitación de orden práctico, ya que si bien pueden efectuarse determinaciones sobre perforaciones o pozos poco profundos, su ejecución es lenta y costosa; cada perforación o hueco debe ser herméticamente sellado para evitar el escape del radón y posteriormente debe esperarse 24 horas antes de extraer la muestra. Desde el punto de vista técnico, los inconvenientes no son menores. Los registros obtenidos en días sucesivos son disímiles, con lo que se introduce un elemento de duda; la extracción de muestra es trabajosa; los agentes atmosféri

cos ejercen una marcada influencia en el libre desplazamiento del gas hacia el espacio libre de la perforación, etc. Hasta el presente no se ha logrado concretar una metodología adecuada para subsanar estos inconvenientes.

Para aquellas áreas en las que la cubierta no alcanza el espesor mínimo necesario, las determinaciones emanométricas deberán considerarse con suma precaución, ensayándose para su evaluación factores de corrección particulares para cada caso, para lo que se deberá tener en cuenta la concentración registrada a distintas profundidades en áreas vecinas; las características y naturaleza de la cubierta, su coeficiente de difusión y sobre todo las condiciones más superficiales.

Para tomas de aire atmosférico o de interior de minas, el procedimiento a seguir es más simple. Se utilizan los mismos frascos detectores, en los que se ha hecho el vacío, cerrados por un tapón de caucho o de material sintético blando, el que, en el lugar que se desea muestrear, es atravesado por una varilla hueca que, en un extremo, lleva adosado un filtro encargado de retener las partículas sólidas en suspensión. Una vez colmada la capacidad del frasco, se lo introduce en el emanómetro y se mide la concentración en radón. Para interiores de minas es recomendable tomar las muestras todos los días antes de iniciar la jornada de trabajo.

8. EL RELEVAMIENTO EMANOMETRICO

Siendo el método emanométrico una de las técnicas aplicables durante la prospección detallada de un área o de un posible yacimiento, es obvio que deba aprovecharse los indicios localizados en la etapa de prospección general. No tiene mucho justificativo el iniciar la prospección de una zona virgen directamente con esta técnica, a no ser que se disponga de elementos de juicio que permitan circunscribir

las áreas favorables.

La emanometría tiene pues valiosos auxiliares en la radiometría de superficie, en los resultados geoquímicos y en las cartas de resistividades, lo mismo que en las técnicas que permitan conocer el espesor de las cubiertas estériles (geoeléctrica, sísmica), todos los cuales facilitarán no sólo la planificación del relevamiento a realizar sino también la interpretación del mismo.

Un relevamiento emanométrico debe tender a confirmar o no indicios radiactivos, a circunscribirlos y a evaluarlos aunque sea en forma aproximada. Por ello es importante la densidad de determinaciones que se haga y la orientación de los perfiles que se tracen. Conviene que estos últimos queden marcados en forma tal que faciliten la ubicación en el terreno de los resultados del relevamiento.

La malla que se utilice estará de acuerdo con el detalle que se desee y será estimada en base a los resultados obtenidos por otras técnicas de prospección si los hubiere. En caso contrario, convendrá adoptar una densidad de observaciones lo suficientemente amplia como para obtener un panorama más o menos claro del área prospectada. Para esa primera estimación es recomendable una malla de 50m x 10m, la que se cerrará paulatinamente sobre los indicios localizados durante la primera etapa, mediante perfiles paralelos tanto más próximos cuanto mayor sea el detalle perseguido.

Los perfiles deberán ser normales al eje mayor de la presunta masa mineralizada o al rumbo del o de los elementos portadores de la mineralización.

9. REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS

Las distintas concentraciones de la emanación radiactiva medidas durante el relevamiento emanométrico pueden ser representadas gráficamente merced a sus valores relativos.

Dicha representación admite dos posibilidades; la primera consiste en volcar sobre ejes de coordenadas los valores obtenidos en cada perfil, con lo que se obtendrán sendas curvas en las que los máximos registros estarán representados por los "picos" positivos. La segunda posibilidad se refiere al trazado de curvas de equiconcentración sobre un papel milimetrado en el que se han reproducido todos los itinerarios o perfiles seguidos, los puntos de muestreo, y las concentraciones medidas en cada uno de ellos.

La adopción de cualquiera de estas posibilidades estará condicionada a la separación existente entre los perfiles. Si ésta es muy desproporcionada con respecto a la distancia entre las lecturas convendrá representar los resultados mediante curvas de perfil ya que las líneas de equiconcentración darían una imagen deformada de las posibles anomalías. Este último sistema es recomendable cuando se ha trabajado sobre malla cuadrada o levemente rectangular.

Cuando se utilice la representación mediante perfiles, conviene acompañar cada curva con un corte geológico-topográfico de la línea explorada, mientras que si se construye un plano de curvas de equiconcentraciones, deben volcarse en él la geología y los accidentes topográficos del área estudiada; de lo contrario, debe poder superponerse a otro que incluya esos datos.

Las escalas gráficas a adoptar para el trazado de las curvas de perfiles deben permitir ver el contraste entre los registros y su elección deberá basarse en la diferencia entre máximas y mínimas. Para las curvas de equiconcentración será menester establecer los rangos de corte adecuados, mediante un cálculo estadístico de los registros disponibles, siendo recomendable establecer cortes logarítmicos cuya exactitud puede ser comprobada mediante la construcción de una

recta de Henry.

10. INTERPRETACION DE RESULTADOS

La evaluación de los registros obtenidos en el terreno, es la misión más delicada en una campaña emanométrica. Si bien los valores recogidos en el terreno dan "a priori" una idea de la importancia de las concentraciones medidas, la adjudicación del carácter de anómala no siempre estará de acuerdo con lo abultado de la cifra que la representa, y así habrá casos en que lecturas pocas veces superiores al "fondo" o concentración normal del área estudiada estarán insinuando una real anomalía.

Ya se vió la influencia que revisten las condiciones de la cubierta en la circulación de las emanaciones y también se aclaró que una concentración anómala puede quedar desdibujada a causa de la potencia de los terrenos superpuestos, como también de la humedad y otros factores. Es en esta etapa cuando se comprueba la necesidad de haber tomado debida cuenta de las condiciones del terreno en que se efectuó cada una de las determinaciones, como también de conjugar el criterio geofísico con el geológico. Tenidos en cuenta todos los elementos incidentes y volcándolos en el croquis de campaña, se establecerá cuales son las condiciones más favorables imperantes dentro del área anómala y tomando su concentración como punto de partida se harán las correlaciones subsiguientes. El conocimiento de todos esos datos permite calcular factores de corrección a los que habrá que someter cada registro obtenido.

Conviene también efectuar en el terreno ciertas observaciones o comprobaciones tendientes a definir el origen de la anomalía emanométrica. Si ella se debe a la existencia de una masa mineralizada, se comprobará que la concentración se incrementa bruscamente a medida que aumenta la profundidad

de la toma de aire telúrico y en general la anomalía tendrá una superficie más restringida. Si en cambio se tratara de una anomalía originada por una impregnación uranífera de sedimentos, su manifestación en superficie será amplia y los valores emanométricos poco contrastados. La configuración de la anomalía dependerá en grado sumo, del buzamiento de los estratos, ya que él influirá sobre la forma de la fuente emanadora. Cuando la anomalía se deba a contaminación de la cubierta, su ubicación concordará con la de depresiones topográficas. En tales casos, el tenor de la concentración disminuirá con la profundidad.

Las anomalías emanométricas provocadas por una fuente emanadora puntiforme componen una aureola de valores medianamente importantes que encierra a un núcleo de registros máximos. Si dicha fuente consistiera en un guijarro o un rodado, la concentración de la emanación se irá circunscribiendo y aumentando a medida que se gana profundidad. Al margen de estas características, toda anomalía de este tipo, se presentará aislada.

Las concentraciones anómalas debidas a emanaciones originadas en accidentes tectónicos no mineralizados, o en contactos litológicos, presentan a su vez características propias. En primer lugar no se registra un brusco aumento de la concentración a mayor profundidad, y en segundo término, la anomalía tiene la misma orientación que la fuente emanadora.

En la práctica suelen localizarse conjuntamente anomalías de distinto origen, lo que complica la interpretación de los resultados emanométricos, cuyo análisis debe ser indefectiblemente minucioso y exhaustivo.

11. VENTAJAS DEL METODO EMANOMETRICO

La emanometría aplicada a la prospección uraní-

fera es como se ha dicho ya, una técnica valiosa. Su principal ventaja estriba en su alcance en profundidad, vale decir, lo contrario a lo que ocurre con la radimetría para la que la existencia de una cubierta estéril relativamente poco importante constituye una dificultad insalvable. A esto debe sumarse la alta sensibilidad del método, la posibilidad de determinar si la actividad de la emanación se debe a un origen radífero o thorífero o a ambos, y además permite especular sobre la naturaleza de la fuente emanadora. Desde el punto de vista práctico, el balance es igualmente favorable, ya que es una técnica poco costosa, de alto rendimiento y que brinda resultados casi inmediatos.

12. PERSONAL, RENDIMIENTO Y COSTOS

Una comisión de prospección emanométrica está integrada por un operador y un ayudante. El operador es el responsable de tomar debida nota de las condiciones del terreno, de los accidentes topográficos y geológicos, y de todo dato complementario a tener en cuenta durante la interpretación de los registros obtenidos. Además, lógicamente, es el encargado de efectuar las mediciones. Por su parte, el ayudante cumple con las tareas inherentes a la toma de muestras y al mantenimiento del equipo utilizado para tal fin. Ambos, a su vez, están supervisados por el responsable del trabajo, quien elige la malla a utilizar, efectúa las verificaciones en profundidad que crea necesarias, evalúa los registros obtenidos en el terreno y hace la interpretación final del trabajo.

Un grupo humano así integrado, valiéndose de un emanómetro como el descrito precedentemente, efectúa un promedio de 100 determinaciones por jornada de 8 horas, cifra que puede variar en más o en menos, según la malla utilizada y la topografía del terreno a prospectar.

También como promedio puede fijarse en m\$n 100 el costo de cada determinación, monto que disminuye si un mismo profesional supervisa simultáneamente a más de una comisión.

13. EJEMPLOS DE RELEVAMIENTOS EMANOMETRICOS

a) Yacimiento "Los Adobes"

En este yacimiento se seleccionaron varias zonas en las que se conocía la existencia de anomalías radimétricas y/o geoquímicas.

Sobre un indicio radimétrico se efectuó un relevamiento, malla 50 x 25 m, sobre una superficie de 600 m de largo y 450 m de ancho, con topografía poco favorable, que permitió establecer la presencia de dos niveles anómalos paralelos, de los cuales, el superior anida sectores con mayor enriquecimiento. La continuidad de ambos niveles fué comprobada en toda la zona cubierta, quedando delimitados en el plano del relevamiento por la curva de 40 emanés (fig. 5). Los cuerpos más anómalos del nivel superior quedaron circunscritos por la curva de más de 60 E rodeados por aureolas de 60 emanés.

También en este yacimiento se efectuó una exploración emanométrica sobre un tramo de la falla que acompaña al probable borde W de la cubeta que anida a la mineralización y que previamente había sido constatada por resistividad. La exploración se hizo observando una malla de 100 x 10 metros, intercalándose perfiles cada 25 m sobre la zona anómala. La orientación de la anomalía emanométrica coincide notablemente con la de la falla explorada, quedando el recorrido de ésta prácticamente encerrado por la curva de máxima concentración de radón (45 E). (Fig. 6).

En el mismo yacimiento se procuró definir un indicio localizado por una comisión de geoquímica. Se delimi-

tó un área de 900 m x 300 m que fué cubierta por perfiles trazados cada 50 m sobre los que se hicieron determinaciones cada 15 m. Los resultados obtenidos con el relevamiento emanométrico fueron notables por su precisión. La anomalía emanométrica quedó circunscripta a un área de 180 m de lado y su manifestación en superficie se acerca a la configuración teórica imaginable para un cuerpo mineralizado profundo. De forma casi circular, tiene dos núcleos marcados por la curva de 100 E bordeados por sendas aureolas limitadas por la curva de 75 E, encerradas por sucesivos halos de valores de 50, 30, 20 y 15 emanaciones respectivamente (fig. 7). Esta anomalía está bordeada hacia el W por otros sectores anómalos de menor cuantía y menos extensos, que indudablemente son bordes de la anomalía principal de la que aparecen separados por efecto de heterogeneidades locales de los terrenos subaflo^{ra}ntes. La anomalía central quedó comprobada por una excavación que permitió localizar una mineralización de amarillos de uranio a 2 m de profundidad, diseminada en una toba arcillo-arenosa. Determinaciones efectuadas a mayor profundidad denunciaron concentraciones cada vez mayores de la emanación radiactiva.

b) Yacimiento Dr. Baulés

Se recurrió a la emanometría para tratar de conectar entre sí varios sectores anómalos localizados por radiometría, que a causa de una cubierta ligeramente espesa habían quedado inconexos.

En el sector "Tigre I sud", se sabía que la mineralización estaba confinada en un paquete de areniscas que buzaban hacia el Este, lo que nos prevenía acerca de la conformación posible de la esperada anomalía emanométrica. La exploración se hizo sobre perfiles orientados transversalmente al rumbo de las areniscas y la profundidad de ex-

tracción de aire debió limitarse a 60 cm. Los resultados del relevamiento emanométrico son elocuentes en cuanto a la continuidad e importancia de la anomalía.

Pudo establecerse la existencia de dos niveles anómalos paralelos, delimitados por la curva de 25 E, la que encierra sectores de hasta 150 E. La discontinuidad de los valores máximos se debe a los distintos espesores de la cubierta, correspondiendo su ubicación a los tramos más encapados.

El corte brusco de la anomalía superior y su desplazamiento, hace pensar en la existencia de una falla cuyo recorrido estaría jalonado por las aisladas manifestaciones orientadas de E a W. La malla observada en esta oportunidad fué de 10 m x 2 m. (fig. 8).

En el sector "Tigre I centro", donde las areniscas mineralizadas se pierden bajo la terraza del arroyo El Tigre, la que además oculta el contacto de aquéllas con las tobas estériles suprayacentes, se efectuó otra exploración emanométrica, malla 10 x 10 m tendiente a develar dichas incógnitas. Los objetivos propuestos fueron ampliamente alcanzados.

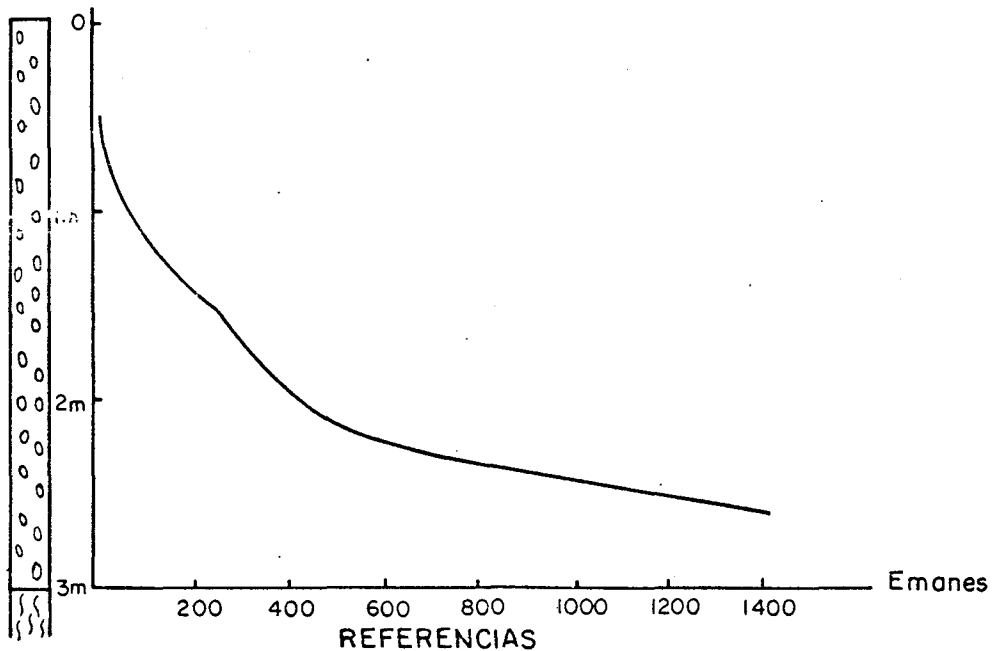
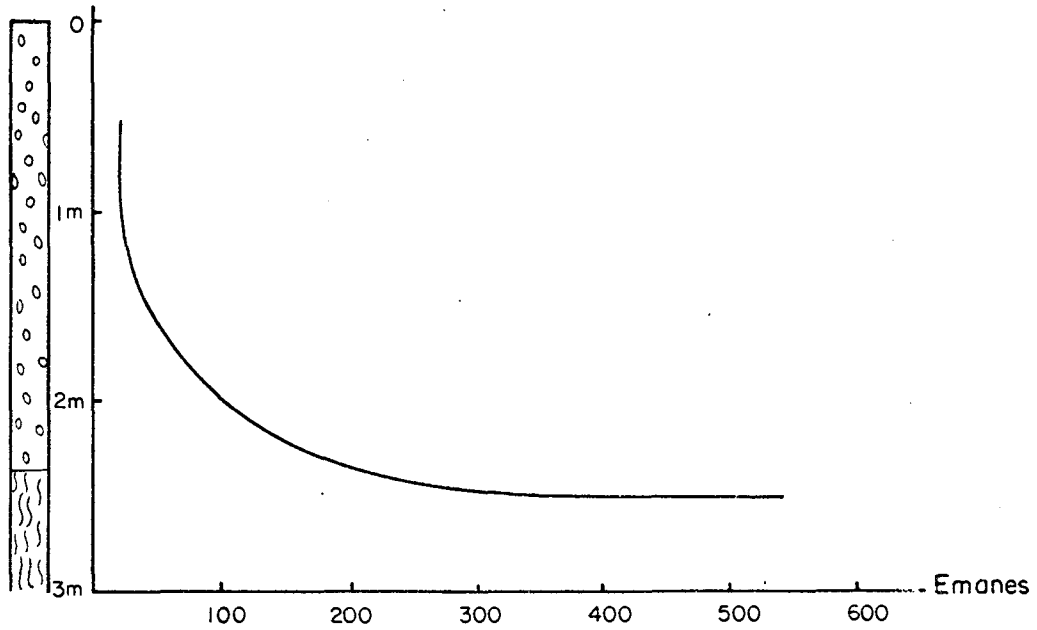
El contacto entre ambas unidades quedó marcado por la curva de 25 emanos, mientras que las areniscas originaron aureolas en torno a un núcleo principal en el que la concentración radonífera supera los 1000 emanos (Fig. 9).



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

- /1/ - J.PRADEL; F.BELLARD; J.MIRIBEL; A.GANGLOFF; J.PUYBARAUD; G.TAYET., "La prospection de l'uranium par le Radon" - Rapport C.E.A. N° 2330. Saclay 1963.
- /2/ - V.ZIEGLER., "Methode emanometrique" Traducción de "Radiometrischeskié Methodi Poiskov i Razvedki Uranovikh Rud" de A.G.Grammakov y otros. Rapport C.E.A.. París 1962.

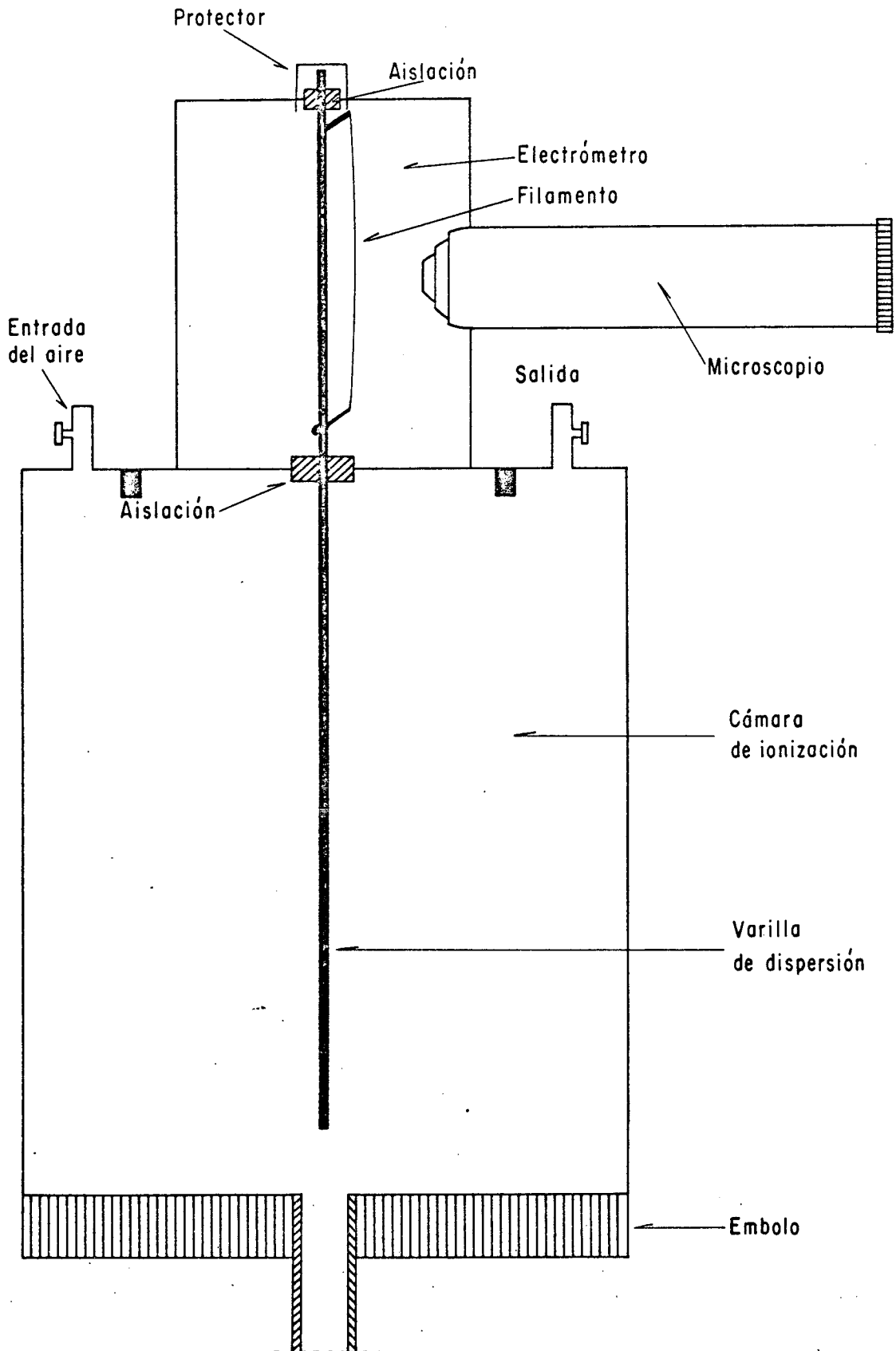
CURVAS DE REPARTICIÓN DEL RADÓN EN PROFUNDIDAD

(SEGÚN GRAMMAKOV)

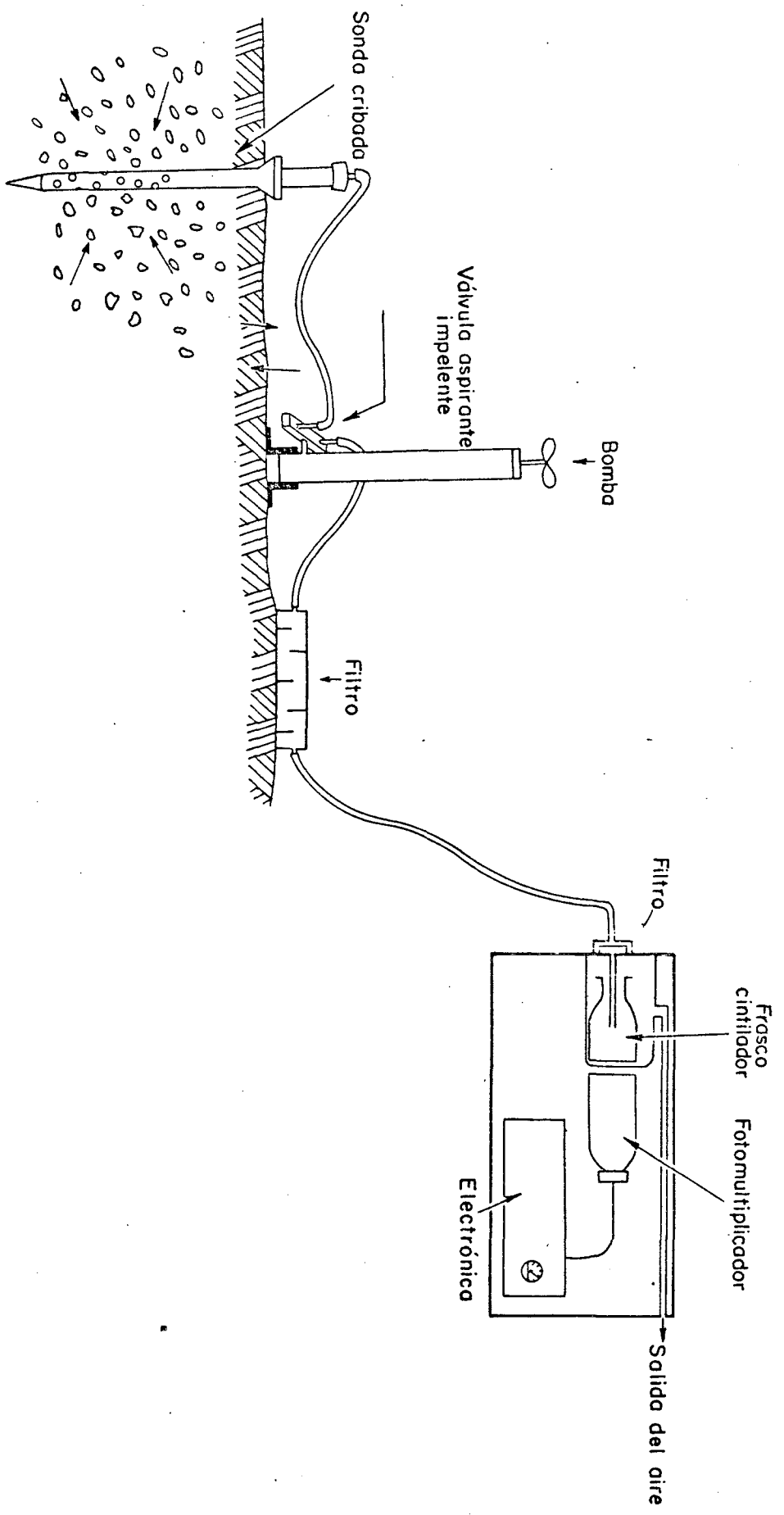


- REFERENCIAS
-  Cubierta aluvional
 -  Esquistos metamórficos mineralizados

ESQUEMA DEL ELECTRÓMETRO DE AMBRONN



ESQUEMA DEL EMANÓMETRO SRAT EN OPERACIÓN



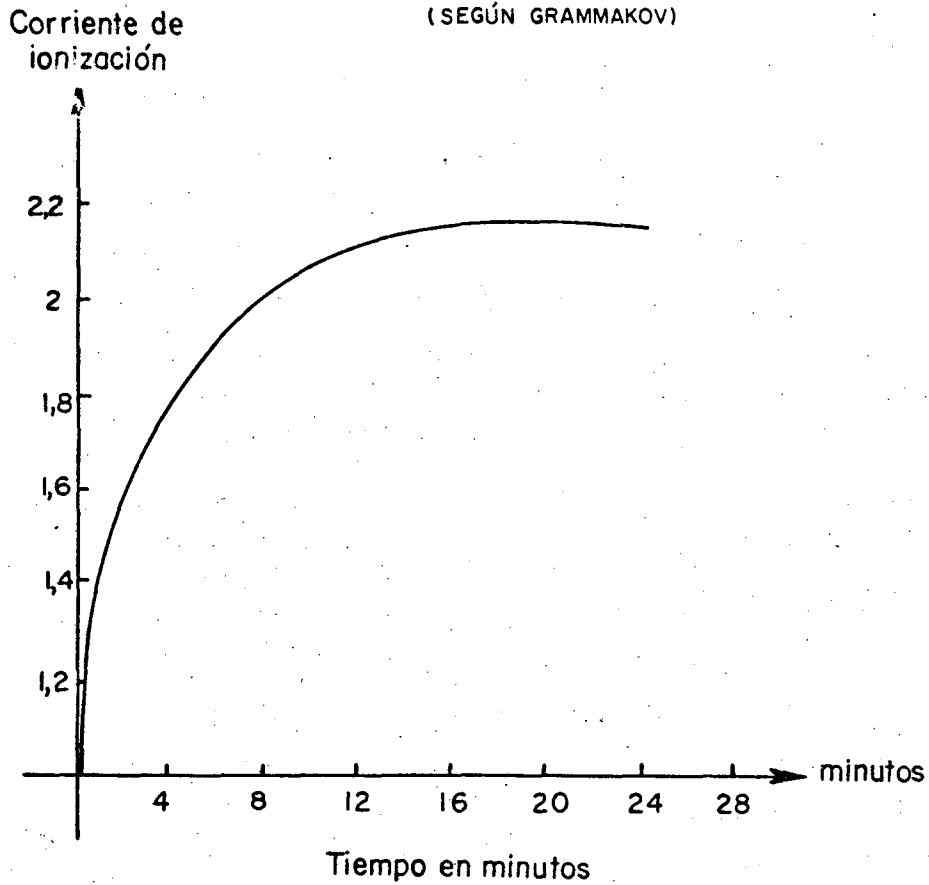
C.N.E.A

Fig. 4

GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

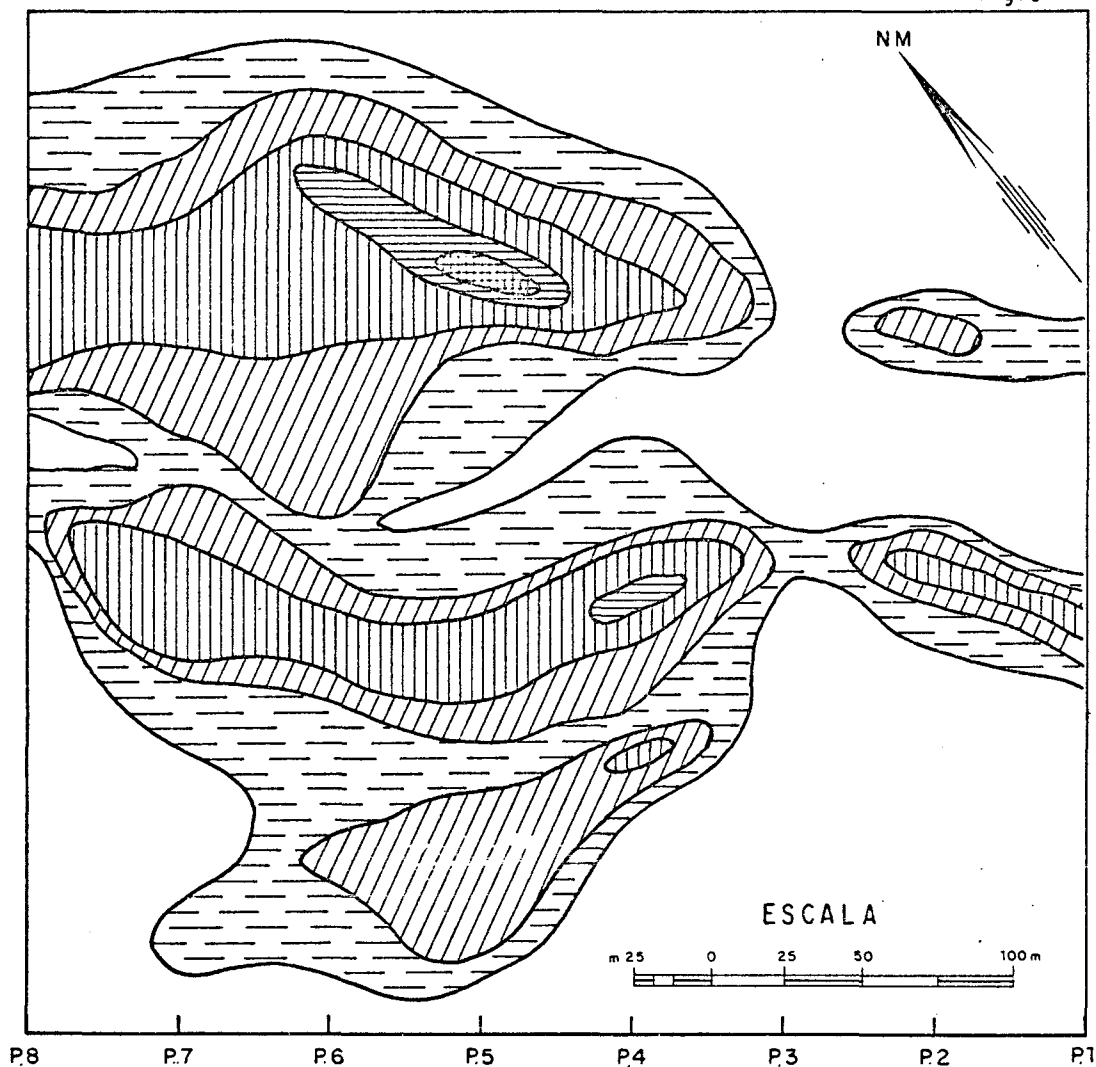
CRECIMIENTO DE LA CORRIENTE DE IONIZACIÓN PROVOCADA POR EL RADÓN

(SEGÚN GRAMMAKOV)









YACIMIENTO "LOS ADOBES"
EMANANOMETRÍA SOBRE ANOMALÍA RADIMÉTRICA

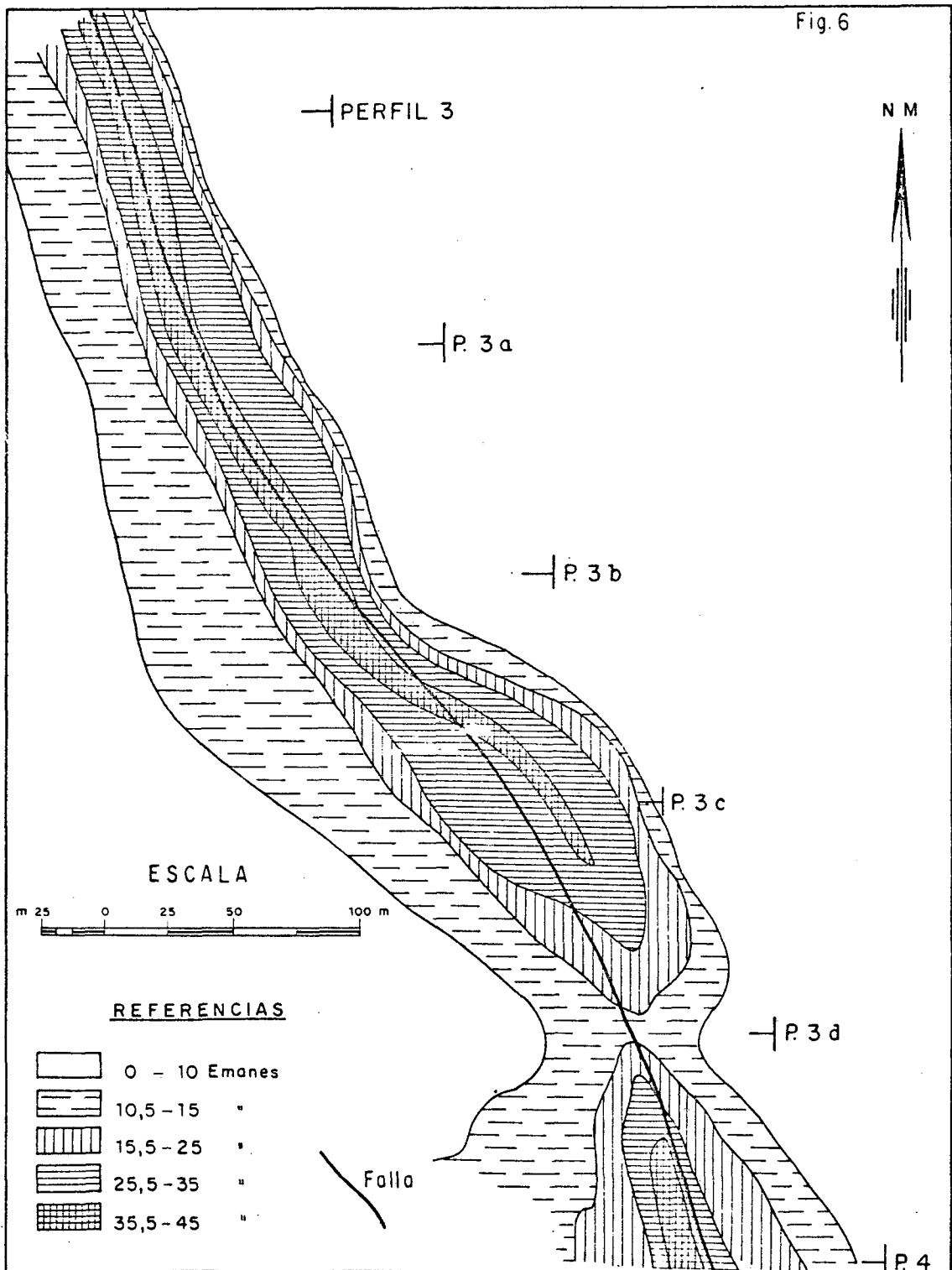
Fig. 5



REFERENCIAS

	0 - 10 E.		26 - 40 E.
	11 - 15 "		41 - 60 "
	16 - 25 "		> 60 "

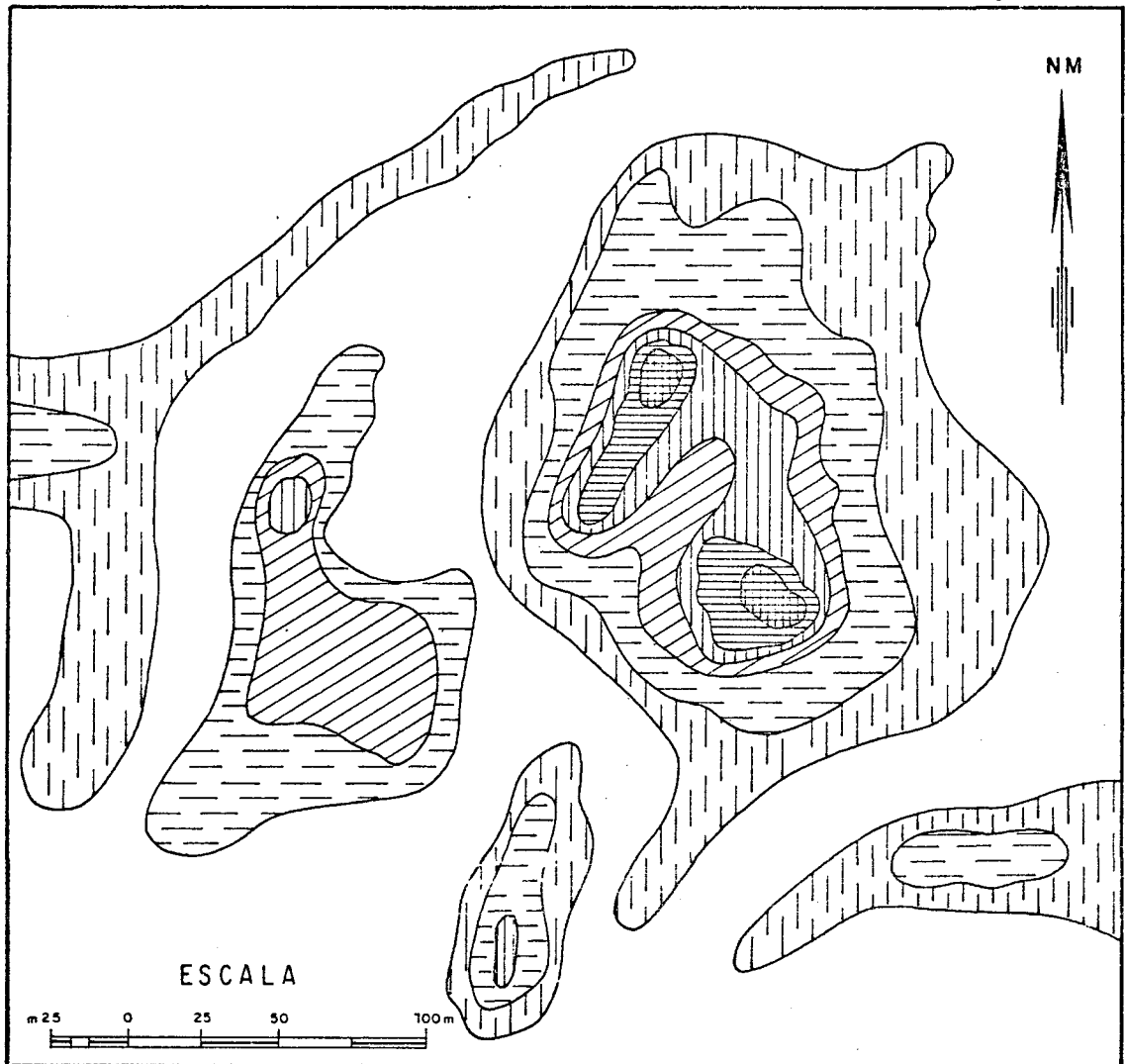
YACIMIENTO "LOS ADOBES"
RASTREO EMANOMÉTRICO DE LA FALLA W



C.N.E.A.
GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS
PROV. DEL CHUBUT - DTO. PASO DE INDIOS

YACIMIENTO "LOS ADOBES"
EMANOMETRÍA SOBRE ANOMALÍA GEOQUÍMICA (FRAGMENTO)

Fig. 7



REFERENCIAS








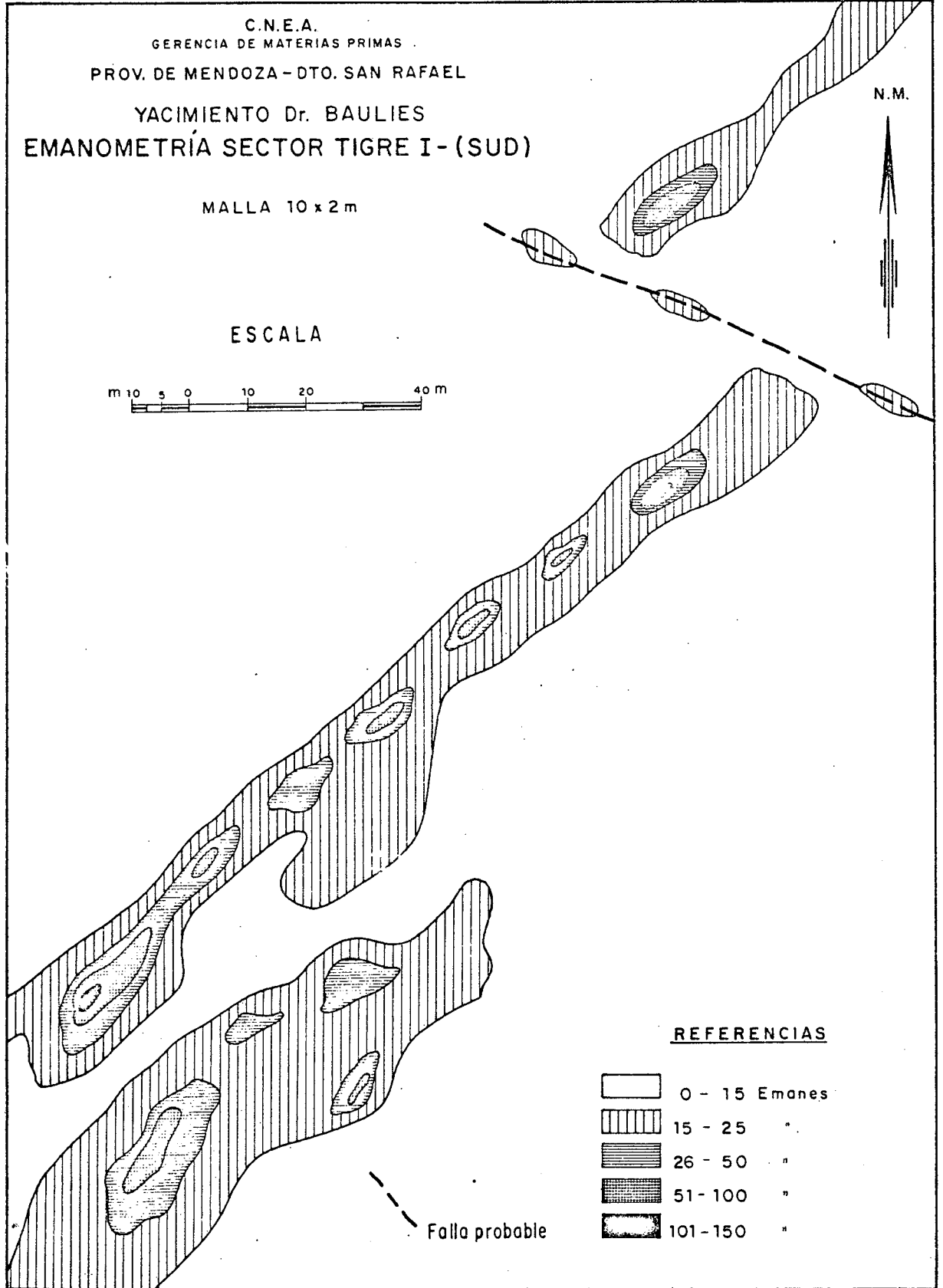
	0 - 10 E.		31 - 50 E.
	11 - 15 "		51 - 75 "
	16 - 20 "		76 - 100 "
	21 - 30 "		

Fig. 8

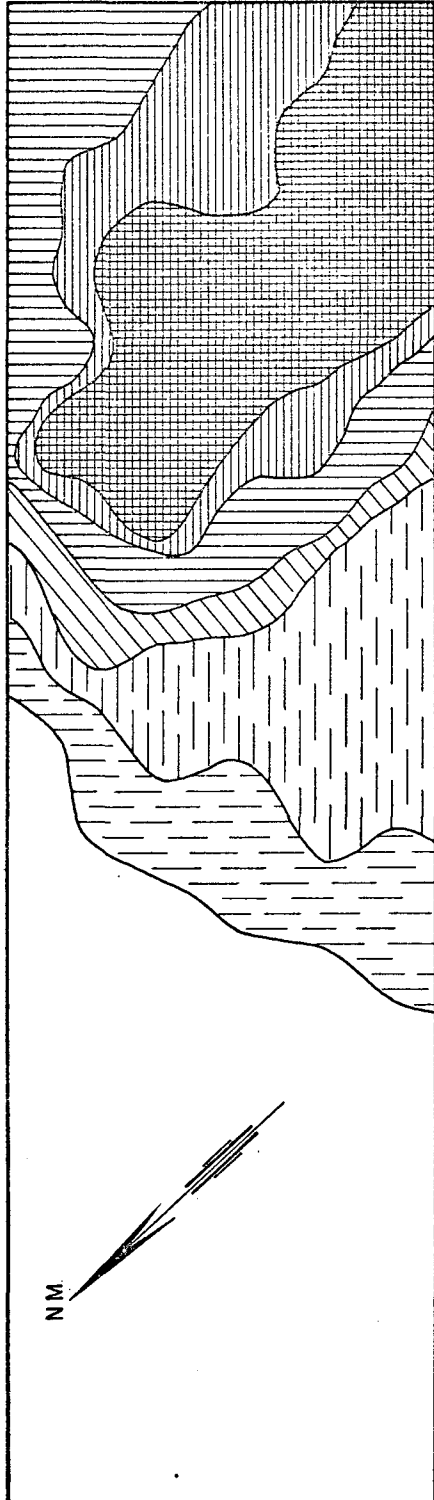


C.N.E.A.
 GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS
 PROV. DE MENDOZA - DTO. SAN RAFAEL








Fig. 9

YACIMIENTO Dr. BAULIES
 EMANOMETRÍA SECTOR TIGRE I - (CENTRO)

MALLA 10x10m



REFERENCIAS

	0 - 15 E.		101 - 250 E.
	16 - 25 "		251 - 500 "
	26 - 50 "		501 - 1.500 "
	51 - 100 "		

ESCALA

