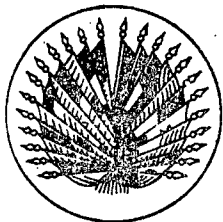


05.78.14



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-14/78

III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

6- PROSPECCION RADIMETRICA, TERRESTRE
(GAMMA, EMANOMETRICA, ETC)

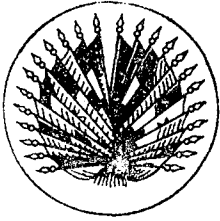
2ª. Parte

PROSPECCION EMANOMETRICA

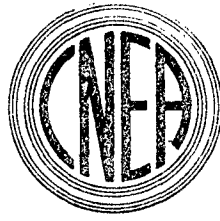
JORGE A. MUSET

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 III-6

PROSPECCION RADIMETRICA, TERRESTRE

(GAMMA, EMANOMETRICA, ETC)

2a. Parte PROSPECCION EMANOMETRICA

JORGE .A MUSET

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1- INTRODUCCION

El crecimiento incesante de la demanda mundial de uranio y el paulatino agotamiento de las posibilidades de hallazgos de nuevos yacimientos aflorantes, provoca que una cantidad cada día mayor de investigadores se oriente hacia la búsqueda de nuevas técnicas de prospección o hacia el perfeccionamiento de las existentes, en el afán de brindar los medios para enfrentar la crisis del suministro de minerales nucleares que los futurólogos pronostican para las próximas décadas.

La absorción de las radiaciones gamma por parte de una cubierta estril de relativa poca potencia (± 1 m) impide la detección de aquéllas desde la superficie y obliga a emplear métodos físicos de exploración (perforaciones y/o laboreo minero) que además de ser costosos son de lenta ejecución y suministran información saltuaria, si bien y por supuesto correcta.

Todo ésto provocó que día a día se prestara mayor atención a los isótopos gaseosos generados durante el decaimiento del uranio y del torio, que por ser gases nobles se difunden libremente en el suelo constituyéndose en indicadores naturales de la existencia de sus progenitores. En torno a ellos se desarrolló una técnica de detección y de cuantificación que evolucionó notablemente en los últimos años y que se denominó Emanometría (por ser el término Emanación 222 ó 220 un sinónimo de Rn²²² y de Th²²⁰).

En los párrafos siguientes se explicará el origen y características de estos isótopos gaseosos y las técnicas utilizadas en su detección y medición, orientadas a la prospección uranífera.

2. LAS EMANACIONES RADIATIVAS

Tanto el U^{238} , como el Th^{232} y el U^{235} en su cadena de decaimiento radiactivo incluyen isótopos gaseosos de distinta vida media que se denominan Radón, Torón y Actinón respectivamente, los que por emisión de partículas alfa generan nuevos isótopos, sólidos e igualmente activos.

De estas emanaciones gaseosas radiactivas, el Rn^{222} tiene una vida media de 3,825 días; el Tn^{220} de 54 segundos y el An^{219} de sólo 3,9 segundos, lo que si bien descarta la posibilidad de localizar y medir concentraciones de este último durante el desarrollo de un trabajo sistemático en el campo, permite hacerlo con los dos restantes, siendo esa la base de la prospección emanométrica. Por otra parte la muy baja existencia de U^{235} en la naturaleza (0,7 % del U natural) hace que su isótopo gaseoso carezca de interés en la prospección uranífera.

Como el objetivo de este Curso es la prospección de yacimientos uraníferos, se prestará especial atención al radón y, sólo ante la posible asociación del U^{238} con el Th^{232} nos ocuparemos someramente del producto gaseoso de este último. Por ello, en lo sucesivo nos referiremos genéricamente al isótopo del U^{238} y cuando mencionemos al Torón será específicamente.

Investigaciones experimentales han permitido conocer las características físicas de las emanaciones radiactivas las que en síntesis se comportan como todos los gases nobles, es decir: tienden a difundirse en medios sólidos, líquidos y gaseosos, son absorbidos por algunas sustancias, etc. A los fines de su detección poseen el carácter fundamental de ser emisores alfa.

En una conferencia anterior se abundó en detalles sobre la naturaleza y características de la partícula alfa, por lo que no se volverá sobre ese tema prefiriéndose en cambio enfatizar sobre el comportamiento de la emanación radiactiva en el suelo y en la atmósfera.

Es obvio que la movilidad del radón (y del torón) está controlada por la naturaleza del medio en que debe circular. En la práctica de la prospección deberá tenerse en cuenta la porosidad, el grado de alteración y de resquebrajamiento de los terrenos que yacen sobre la fuente emanadora, como también la medida en que éstos están afectados por fracturas, fallas, diaclasas, etc, elementos todos que pueden aumentar o disminuir el alcance de la difusión del gas y que de una u otra manera influirán en la detección del mismo.

Como fuente de emanación debe tomarse toda especie mineral portadora de Ra^{226} ; ThX y/o AcX progenitores inmediatos de los isótopos gaseosos, independientemente de su concentración. Por supuesto que las mayores concentraciones en gases activos deben esperarse en relación con acumulaciones de minerales madre más importantes y en las proximidades de ellas, pero esto queda condicionado a una serie de factores que hacen tanto a la especie emanadora como a sus condiciones de yacencia y a la cubierta estéril que soportan.

Conviene recalcar que las especies densas tienen una aptitud emanatoria menor que las de aquellas con estructura ceolítica terrosa, lo que permite asegurar que el coeficiente de emanación aumenta con la superficie del elemento emanador.

2.1. Comportamiento de las emanaciones en el suelo

Ya se dijo que las emanaciones tienden a difundirse en medios sólidos, líquidos y gaseosos tal como lo hacen otros gases nobles y por lo tanto esa es su tendencia en el suelo.

No se tiene todavía en conocimiento completo de las leyes que rigen el movimiento del radón bajo la superficie. Ensayos de laboratorio han permitido determinar la velocidad de migración del gas en distintos terrenos, con lo que se podía calcular la distancia que lograría recorrer antes de su decaimiento. Ello hizo que se limitara a un máximo de 20 m de profundidad el alcance del método emanométrico y ese fue un criterio generalizado hasta que comprobaciones prácticas demostraron lo contrario. En efecto, se midieron concentraciones anómalas de radón sobre cuerpos mineralizados yacentes a profundidades superiores al límite teórico admitido, comprobándose que la migración del gas no quedaba condicionada solamente por las características propias de los terrenos que debía atravesar sino también por las condiciones atmosféricas imperantes. La presión atmosférica, los vientos, la humedad y la temperatura ejercen una acción frenadora o aceleradora, según los casos, que pueden hacer variar brutalmente las mediciones que sobre un mismo punto se efectúen con un intervalo de 24 horas.

La baja presión atmosférica por ejemplo facilita la migración del radón hacia la superficie la que se verá ayudada por una porosidad (real o secundaria) no obturada por agua.

De cualquier manera y sin entrar a teorizar sobre el comportamiento del gas en el suelo, debe afirmarse que éste utiliza para su migración hacia la atmósfera el o los caminos más fáciles posibles (fallas, diaclasas, contactos geológicos, planos de estratificación, etc) lo que implica la necesidad de aplicar criterio geológico cuando se interpreten los resultados de una exploración emanométrica. Además, si bien la penetración del radón o del torón por la simple vía de su difusión normal se mide sólo en algunos metros, no es posible preveer su migración solamente en base a las dimensiones de la aureola gaseosa sino que debe considerarse que cada componente de la aureola salina, cuyo desarrollo puede ser importante, se convierte también en fuente emanadora secundaria. Además la acción de las aguas subterráneas se suman a los elementos de transporte permitiendo que el gas se movilice a lo largo de distancias superiores a las que lograría por simple difusión. A título ilustrativo se agrega que por difusión, la movilidad del radón se expresa en $\text{mm}^2/\text{segundo}$ siendo función de la profundidad y de la porosidad del medio.

3. MÉTODOS DE DETECCIÓN E INSTRUMENTAL

Hasta hace poco tiempo los métodos de detección del radón y del torón utilizaban, ya sea la carga eléctrica y poder ionizante de la partícula alfa, o bien la particularidad de ésta de emitir un destello al entrar en colisión con el ZnS (Ag). Desde el antiguo electroscopio a placas de oro cargado con corriente estática (-) que indicaba la concentración de partículas $\alpha(+)$ por anulación de cargas, se pasó a la cámara de ionización y a los detectores por centelleo y más recientemente a películas sensibles sólo a la radiación α .

Estos métodos han originado otras tantas líneas de instrumental que se describirán someramente en los párrafos siguientes ya que fueron tratados detalladamente en una conferencia anterior.

En líneas generales, el instrumental en uso puede agruparse en: a) a cámara de ionización; b) a centelleo; c) de estado sólido, habiéndose incorporado últimamente las películas sensibles a la radiación α .

3.1. a) Emanómetros a cámara de ionización

Como ya fueron descriptos en el transcurso del Curso, consisten en una cámara de 500 c.c. de volumen, que aloja a la barra de dispersión de un electrómetro MOS FET de muy alta impedancia de entrada que le confiere gran sensibilidad.

Las partículas α emitidas por el Rn^{222} o el Tn^{220} difundido en el aire del suelo, provocan en la cámara la ionización de éste generando una corriente eléctrica tanto más intensa cuanto mayor sea la concentración de las emanaciones activas. Dicha corriente es medible electrónicamente y expresada ya sea en milivoltios, en cuentas/segundo o en emanaciones, siendo $1 \text{ Emán} = 10^{-10} \text{ Curie/litro}$.

Fijando el tiempo de lectura puede determinarse por diferencia, la ionización debida al torón, existiendo equipos que permiten establecer el porcentaje de Rn^{222} correspondiente a una lectura dada, al cabo de dos minutos.

El hecho de que el Rn^{222} (y el Tn^{220}) pueden decaer dentro de la cámara, puede provocar la contaminación de la misma, lo que se traducirá en la elevación del background del aparato. Cuando ello ocurre se reemplaza la cámara o se limpia con alcohol o tetracloruro de carbono la que se tenía en uso poniendo especial cuidado en no dañar la aislación de la barra dispersora.

La succión del aire del suelo y su envío a la cámara se hace por medio de una bomba aspirante impelente, siendo conveniente incorporar en el circuito un filtro que retenga las partículas sólidas impidiendo la polución de la cámara. No será precaución exagerada, acoplar un elemento deshidratante.

Estos equipos permiten ensayar muestras de aguas. La muestra a analizar se desgasifica previamente y se la deja en reposo 24 horas en procura de equilibrio. Al cabo de ese lapso y por circuito cerrado como se esquematiza en la Fig. 1 se hace correr una corriente de aire (del circuito más el de la cámara) durante un tiempo determinado (5 minutos). El aire que arrastra al radón diluido en el agua, actuará en la cámara tal como se vió anteriormente.

La concentración de radón en la muestra puede ser calculada por la fórmula:

$$R_n = E \frac{V_t}{V_a} \cdot \frac{1}{\log_n (-\lambda t)}$$

en la que

R_n = Concentración en emanaciones

E = Concentración leída en el aparato

V_t = Volumen total (en litros) del circuito: cámara, bombas, conexiones, etc

V_a = Volumen (en litros) de la muestra de agua

\log_n = Logaritmo natural

λ = Constante de decaimiento del radón = $0,1813 \text{ día}^{-1}$

t = Tiempo (en días) entre muestreo y medición

El rendimiento que se logra con estos aparatos es del orden de 80 determinaciones diarias, dependiendo claro está de la malla que se elija y de la topografía del área a explorar.

3.2.b) Emanómetros a centelleo

Son posiblemente los más difundidos. La muestra de aire del suelo extraída por bombeo es enviada a un frasco o a una cápsula tapizada interiormente, salvo en el fondo, por una delgada película de sulfuro de zinc activado por plata, el que está adosado a un tubo fotomultiplicador. Las partículas α generadas por el radón o por el torón contenido en la muestra, al entrar en colisión con el ZnS (Ag) producen un destello que es "visto" a través del fondo límpido del detector por el fototubo, el que se encarga de hacerlos medibles mediante un instrumento analógico.

Como en la muestra pueden coexistir el radón y el torón debe tomarse dos lecturas sucesivas con intervalo de 1 minuto. La actividad debida al torón será: $A_{Tn} = 2(L_1 - L_2)$ y la ocasionada por el radón será: $A_{Rn} = 2(L_2 - L_1)$ (L_2 , L_1 = primera y segunda lectura respectivamente). Esta precaución deberá tomarse sólo cuando se presuma la presencia del Tn^{220} , siendo un indicio de ello el hecho de que se produzca una caída de la aguja del instrumento al cabo de los primeros segundos de medición.

Algunos aparatos de este tipo permiten hacer doble lectura, volviendo a cero al contador de cuentas una vez transcurrido 2 minutos, vale decir cuando el torón ha decaído. La nueva lectura corresponderá a la actividad del radón solamente. El poseer un contador digital permite esta comprobación.

3.3.c) Emanómetros de estado sólido

Son quizás los menos divulgados. Consisten en un elemento detector constituido por un cristal de Silicio al que se adosa una lámina de espesor micrométrico de un metal (oro, aluminio) formando en conjunto una cámara sólida de ionización, tal como ya fueran descriptos en una conferencia anterior.

El aparato es introducido en el suelo en un pozo previamente excavado de dimensiones apenas superiores a las de él (Fig. 3). El equilibrio del gas en el suelo se restablece rápidamente y las radiaciones α producidas por el decaimiento del radón chocan con el conjunto detector y son contabilizadas y almacenadas en una memoria electrónica. Al cabo de una hora, un día o una semana, el

conteo es leído y el aparato puede ser retirado y emplazado en un nuevo lugar previa puesta a cero.

Al estar provistos de contador de pulsos y de tiempo, ofrecen la gran ventaja de permitir leer en cualquier momento el conteo sin interrumpir la medición. Este hecho reviste gran importancia pues brinda la posibilidad de dimensionar las variaciones horarias y diarias del flujo de la emanación y determinar la influencia que sobre él ejercen los factores meteorológicos. Los gases activos llegan hasta el detector por simple circulación durante 6 ó 7 días, período en el cual pueden o no estabilizarse las condiciones meteorológicas. En esta CNEA se ha desarrollado un prototipo y se ha encarado la producción de un modelo de características similares que permite medir durante más de treinta días seguidos, asegurando un promedio aceptable de los factores meteorológicos.

Hasta ahora se conocen dos versiones de estos aparatos, una con una superficie detectora de 100 mm^2 y la otra con 400 mm^2 . Ninguna de ellas permite discriminar radón de torón ni hacer determinaciones en muestras líquidas.

El uso de estos aparatos implica la adquisición de un buen número de ellos, lo que significa una erogación importante. Quizás por ello no esté generalizado su uso en la prospección a pesar de la confiabilidad de la información que suministran. La infraestructura necesaria para la implantación de ellos en el terreno y su posterior recolección no varía con respecto a la necesaria para el uso de otro sistema basado en la exposición de películas "alfa-sensibles" de las que nos ocuparemos más adelante.

Aún no se cuenta con información sobre el rendimiento que puede lograrse con estos aparatos, pero dependerá de las características del terreno superficial la cantidad de ellos que se consiga implantar en una jornada de trabajo. Quizás no sea demasiado optimista suponer un promedio de 25 equipos por día/hombre.

Como desventaja quizás pueda señalarse el tiempo que exige cada determinación, pero ésta se vería compensada por la confiabilidad del dato obtenido.

3.4. Películas α sensibles

Precisamente la falta de repetibilidad de las mediciones de concentración radonífera (o torífera) efectuadas sobre un mismo punto empleando aparatos de lectura inmediata movió a buscar otra vía para lograr resultados confiables sin recurrir a instrumento de elaboración más o menos sofisticada como el anterior y que permitieran determinaciones correctas mediante registros α producidos en períodos de 3 a 4 semanas de manera que las influencias meteorológicas alcanzaran un nivel promedio.

La firma Terradex Co. lanzó al mercado mundial bajo el nombre registrado de Track etch un sistema de detección α consistente en una película sensible sólo a esa radiación, cuya emulsión es "herida" por cada partícula que choque con ella.

Se utilizan trozos de $\pm 1 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$ de esa película, adosados a

fondo interior de vasos plásticos que se depositan boca abajo en el fondo de sendos pozos de 70-75 cm de profundidad. (Fig. 3). El radón y torón por libre circulación asciende y se pone en contacto con el detector dejando sus huellas en él por los impactos de las partículas α generadas en su decaimiento. Al cabo del tiempo de exposición prefijado se recuperan los vasos, los que deben remitirse a la firma proveedora para revelar las películas y así hacer visibles las "heridas" provocadas por la radiación. El recuento de los impactos es expresado por milímetro cuadrado del film expuesto y en base a él se confecciona un plano de isoconcentración. Todo el proceso es exclusivo de Terradex Co.

La firma propietaria del método informa de resultados realmente importantes, en especial en lo referente a detección de cuerpos mineralizados yacientes a más de 300 m de profundidad.

Nuestra experiencia en la aplicación del método no es demasiado rica pues falta comprobar algunas de las anomalías detectadas, pero en líneas generales los resultados disponibles no difieren mayormente de los logrados por los métodos convencionales.

Casi simultáneamente la firma Kodak en colaboración con el C.E.A. francés desarrolló otra película sensible a la radiación alfa con base de nitrato de celulosa especialmente tratado para aumentar su sensibilidad a las partículas ionizantes con una suficiente transferencia lineal de energía, fijada en un soporte inerte de poliéster de 100 μ m de espesor. El espesor de la capa sensible es de 13 micrones. El empleo de este sensor α es similar al descrito para el método Track etch, con la diferencia de que todo el proceso puede ser completado por el usuario y a un costo sustancialmente menor.

Para el revelado se usa una solución 2,5N de soda cáustica de pureza analítica en agua destilada a temperatura constante de 60° y durante 90 minutos. El examen y recuento de las trazas son facilitados por el contraste obtenido entre el fondo (rojo) y la perforación, máxime si para ello se usa luz verde (complementaria del color de la película). El recuento puede hacerse a ojo desnudo o con la ayuda de una lupa y más fácilmente aún por proyección, siendo posible en ese caso hacerlo sobre un papel fotográfico de sensibilidad adecuada. El número de trazas se expresa, como en el caso anterior, por mm² de película.

4- EL MUESTREO EMANOMETRICO

De lo expresado hasta ahora se desprende que la determinación de radón y/o torón en el suelo puede lograrse por dos vías según la técnica elegida. Cuando la elección recae sobre monitores de estado sólido o sobre películas alfa sensibles, el aire telúrico llega normalmente a ellos sin intervención de la voluntad del prospector. En cambio si la decisión ha recaído sobre los equipos convencionales, el aire debe ser llevado hasta el elemento detector y esa operación reviste gran importancia pues de ella dependerá el éxito de la medición.

Hay dos sistemas de muestreo: dinámico y estático (Fig. 4). El primero consiste en la extracción por bombeo y con la ayuda de una sonda cribada que se entierra en el suelo, de un caudal importante (aproximadamente 15 li-

tros) de aire telúrico que pasa por el elemento detector (ZnS (Ag) o cámara de ionización) y luego se vuelca en la atmósfera. El segundo, por el contrario, requiere un caudal mínimo que se recicla de manera que todo él (aire atmosférico del equipo más el aire del suelo) se homogenice y se ponga en contacto con el detector.

Tanto en uno como en otro caso es necesario que una vez introducida la sonda en el suelo, no penetre aire atmosférico ya que la emanación activa se diluiría en él y consecuentemente se obtendrían datos erróneos sobre su concentración.

El sistema estático requiere una sonda de 60 cm a 1 m de largo y 0,5 cm de diámetro, que es introducida en un pozo previamente trazado con una varilla de acero. La sonda se conecta a una bomba manual aspirante impelente que lleva el aire hasta el detector de donde sale para volver al pozo. Al no tener alto poder de succión, prácticamente el aire que mueve la bomba es el que tenía las conexiones y el aparato en sí al que se le suma el gas del suelo que mana libremente hacia el pozo que aloja a la sonda.

5- EL RELEVAMIENTO EMANOMETRICO, REPRESENTACION GRAFICA E INTERPRETACION

Siendo el método emanométrico una de las técnicas aplicadas en general durante la prospección detallada de un área, es obvio que su utilización debe basarse en los conocimientos geológicos y radiométricos que de ella se posean. No es frecuente que se inicie la exploración de una zona totalmente desconocida mediante la aplicación de esta técnica ya que aún ante la localización de concentraciones anómalas de radón (o torón), sería arriesgado atribuir las a fuentes emanadoras profundas o a superficiales; a acumulaciones minerales importantes o a accidentes tectónicos, etc.

Se desprende de esto que la emanometría tiene valiosos auxiliares en la radiometría gamma, en la geoquímica, en las cartas de resistividades y en la geología, todas las cuales suministran datos necesarios no sólo para la planificación del relevamiento sino también para la interpretación del mismo.

Decidido el levantamiento emanométrico de un área deberá establecerse la densidad de mediciones (malla) a efectuar, para lo cual serán de suma importancia los resultados obtenidos por otras técnicas de prospección, que orientarán acerca de: tipo de mineralización que se supone existe (vetiforme, impregnación, etc); radiactividad superficial; ángulo de buzamiento de sedimentos, etc. Por supuesto que la malla estará en relación directa con el detalle que se pretenda de la información requerida pero puede tomarse como punto de partida una separación de 100 m entre mediciones cerrando la grilla en torno a los indicios que se logren en la primera etapa. La regularidad de los itinerarios redundará en beneficio de la representación gráfica de los registros y en la interpretación posterior.

Las distintas concentraciones de la emanación radiactiva pueden presentarse por sus valores leídos, ya sea bajo la forma de perfiles, cuando los itinerarios están muy distanciados impidiendo correlacionar registros entre ellos o bajo curvas de isoconcentración componiendo una zoneografía que delimitará las zonas anómalas.

Pero a qué debe considerarse anomalía emanométrica?

Todas las rocas tienen un cierto contenido en uranio que se considera normal y característico, del orden de algunas ppm y por lo tanto todas son fuentes de emanación radonífera.

Establecer un "background" se hace entonces imprescindible. Diversos autores difieren en cuanto a ese "fondo emanométrico" y en verdad no resulta del todo convincente la idea de asignarle un valor determinado y generalizado. Será prudente pues buscarlo estadísticamente en base a los registros que se obtengan en el área prospectada, de los que se extraerá también la desviación estandard. La calificación de los registros (cortes zoneográficos) se basará luego en cuántas veces son superiores a $BG + D.E.$

En una prospección sistemática a malla regular, los resultados deben expresarse mediante curvas de isoconcentración ya que ello permitirá no sólo conocer el contraste entre los registros, sino fundamentalmente su agrupamiento y dispersión areal. Las formas de esas curvas y el conocimiento geológico del área explorada orientarán en la etapa interpretativa que debe evaluar la anomalía.

Hay que tener en cuenta que no toda anomalía emanométrica debe estar obligadamente asociada a acumulaciones minerales importantes, ya que puede ocurrir que el origen de ella sea alguna leve mineralización superficial, o una falla, o un contacto geológico. Para la primera posibilidad será un indicio la comparación de registros α con los γ que es aconsejable se tomen siempre sobre cada punto de extracción emanométrica. Si de la comparación surge una superposición, es muy factible que la suposición sea correcta. Una extracción de aire del suelo a mayor profundidad deberá servir para confirmar o no la sospecha. De tratarse de una fuente profunda, la concentración que se mida entonces deberá ser superior a la medida inicialmente.

Para el caso de una anomalía emanométrica debida al torón deberá pensarse que su origen no puede ser muy profundo ya que su breve vida media no le permite migrar largas distancias. La radimetría gamma será entonces un eficiente auxiliar.

Una falla o zona de fracturación se comporta normalmente como una fuente emanadora aunque no esté ligada a una masa mineralizada. Esto se debe a que la acción tectónica provoca en la roca una alteración de su capacidad emanatoria como consecuencia de su trituración y a que se facilita la percolación de aguas superficiales que depositan en ella parte del uranio que pudieran extraer por lixiviación natural de las rocas aflorantes.

Cuando el relevamiento emanométrico abarca una zona de falla, los máximos valores de concentración radonífera se alinearán concordantemente con la traza del accidente tectónico y la zoneografía resultante dará figuras elongadas, con aureolas más o menos estrechas según sea el espesor y porosidad de la cubierta moderna.

Algo similar en cuanto a distribución de los tenores anómalos se registrará sobre los contactos geológicos ya que ellos pueden ser vía preferencial de la circulación radonífera.

Uno de los parámetros que debe tenerse en cuenta durante el relevamiento emanométrico y más aún en la etapa interpretativa es la densidad de los terrenos superficiales y el incremento de ella por agua de imbibición que colmate los poros reduciendo la capacidad emanatoria del terreno. En esas condiciones el gas activo es retenido por dilución en el medio líquido y sus posibilidades de alcanzar los niveles superficiales se reducen notablemente.

Como se verá más adelante el efecto del agua es de suma importancia en la emanometría. Conviene recordar que para mediciones de radón (o torón) en ella es necesario extraerlo por burbujeo ya que no se desprende libremente y nada permite suponer que sea otro el comportamiento por ejemplo en un acuífero que se interponga entre la fuente manadera primaria y el punto de extracción de muestra de aire del suelo.

Esto no implica que no se logren mediciones confiables en casos como el descrito ya que la clásica aureola salina al alcanzar el nivel freático hará que éste con sus fluctuaciones de nivel deposite partículas de mineral por encima de él originando así una fuente secundaria de emanación que sí podrá manifestarse en superficie.

De no alcanzar la aureola salina a la tabla de agua, el radón (o el torón) se diluirá en ella y se movilizará por transporte hasta su decaimiento.

6- EL RADON EN LA ATMOSFERA

Hasta aquí hemos limitado la presencia del Rn^{222} a cotas negativas, pero no se reduce a ellas la importancia del mismo en la prospección uranífera.

En efecto, nada hay que obligue a suponer que el gas completará su vida media siempre antes de alcanzar la superficie del suelo o antes de migrar a la atmósfera para terminar en ella su decaimiento. Que esto último acontece, lo certifican las hijas sólidas del radón que siendo emisores gamma se mantienen en estado de aerosol en la atmósfera influenciando los registros radimétricos obtenidos durante la prospección aérea como se explicará más adelante.

Recientes investigaciones han logrado desarrollar técnicas de detección y de cuantificación del radón contenido en las capas de aire próximas al suelo y ya se ofrecen servicios de prospección uranífera utilizando alguna de ellas.

Hace algo más de un año Garzón Ruipérez comunicó los resultados experimentales logrados mediante el muestreo continuo del aire próximo a la superficie. El método propuesto consiste en aspirar aire atmosférico mediante un elemento de bombeo que lo envía a una primera cámara donde permanece no menos de cinco veces la vida media del torón como una manera de asegurar que todo esto genere su hija sólida. Un filtro que separa a esa primera cámara de una segunda, retendrá tanto a las partículas inertes en suspensión como a las hijas del radón y del torón generadas durante la estancia de la muestra en el primer compartimiento, de manera que a la segunda cámara pasará sólo el aire con radón, el que dejará en un nuevo filtro su descendencia sólida antes de llegar a un detector de ZnS (Ag). Los destellos producidos

por las partículas α al entrar en contacto con el elemento detector son captadas por un tubo fotomultiplicador que suministra a un instrumento de medición el número de pulsos generados.

Es obvio, como lo señala el autor, que los valores de concentración que se obtengan dependerán no sólo del valor de la fuente emanadora sino de los vientos que condicionarán la dirección de migración del radón desde su lugar de afloramiento. En grandes extensiones (decenas de km^2) las variaciones de la concentración de radón deberían ser independientes del punto de muestreo ya que "las propiedades difusoras de la atmósfera sobre el área considerada (las cuales vienen determinadas por meteorología), son similares". También adelanta el autor que si la toma de muestra se realiza cerca de la superficie, la influencia del viento disminuye y permite la captación directa del radón desprendido en el lugar.

Por su parte, la firma Gemex, de Colorado ha desarrollado su propia tecnología e instrumental para la prospección uranífera por medio del radón en la atmósfera. La técnica consiste en la detección del gas activo y lo que es más interesante, en el posterior "rastreo" de la emanación hasta su fuente.

El principio de exploración de Gemex se basa también en la detección del radón en la atmósfera y en la cuantificación de sus descendientes sólidos alfa emisores.

La técnica consiste en un equipo que aspira una cantidad determinada de aire a través de un filtro que retiene las partículas sólidas suspendidas inclusive los descendientes radiactivos del Rn^{222} . El material retenido es expuesto a un detector α que suministra el número de desintegraciones que se producen en él.

Las lecturas se efectúan durante la noche aprovechando la inversión de temperatura que provoca que las capas de aire frío y pesado permanezcan cerca de la superficie de manera que el radón que emana del suelo no migre a las alturas.

Los descendientes sólidos del radón que retenga el filtro habrán sido generados después que el gas alcanzó la superficie ya que el suelo habría detenido a las generadas anteriormente.

"Como los períodos radiactivos de los dos productos de desintegración emisores alfa (Po^{218} y Po^{214}) son notablemente diferentes, un análisis matemático permitirá determinar la edad de la anomalía interceptada, es decir, el número de minutos durante el cual el radón ha sido aerotransportado".

Conociendo "la edad" de la hija radiactiva y los datos meteorológicos, se puede determinar la distancia y posible ubicación de la fuente. Nuevos muestreos a malla más cerrada permitirán circunscribir cada vez más el origen de la emanación.

Los primeros muestreos se hacen sin interrupción desde un vehículo automotor aprovechando caminos o a campo traviesa, en intervalos de 5 minutos, y permiten localizar las "nubes" de radón y sus descendientes.

Por ser sistema patentado no se conocen aún otros detalles del método que requiere además del equipamiento enunciado, la disponibilidad de observaciones micrometeorológicas, de movimiento de masas gaseosas, geología, etc.

7- EL Rn²²² Y SUS HIJAS EN LA GAMMAMETRIA AEREA

La prole del Rn²²² que se inicia con el Po²¹⁸, continúa con dos emisores gamma, Pb²¹⁴ y Bi²¹⁴, que siendo sólidos se mantienen en suspensión en la atmósfera si es que su generación se produjo en ella.

La energía de la radiación gamma emitida por el Pb²¹⁴ es baja (máximo 0,351 MeV) pero la correspondiente a la originada en el Bi²¹⁴ alcanza a 2,4 MeV con un pico característico de 1,76 MeV.

Quando en una de las conferencias de este Curso se habló del instrumental de detección ya fuesen discriminadores o no, se hizo referencia a los rangos de energía de las radiaciones gamma, los que eran tenidos en cuenta para dimensionar las "ventanas" de captación. Se dijo entonces que el conteo total de la actividad englobaba energías desde 0,4 MeV hasta 2,8 MeV y que en los equipos discriminadores, la actividad atribuible al uranio se captaba por la "ventana" de 1,66 a 1,86 MeV, vale decir en base al pico característico del Bi²¹⁴.

Es natural entonces que permaneciendo el Bi²¹⁴ en la atmósfera junto a las otras hijas del Rn²²² y a él mismo, habrá un aporte de radiación gamma que se sumará a la que se mida como proveniente del suelo.

La migración del radón y sus hijas llevados por el viento introduce una seria dificultad en la cintilometría aérea, tanto desde aeronaves como desde vehículos terrestres, pues su concentración en la atmósfera puede alcanzar diversos niveles de anormalidad. Quizás una idea de su magnitud la pueda dar la comparación de registros obtenidos sobre una misma zona antes e inmediatamente después de una lluvia, cuando todas las partículas sólidas en suspensión son arrastradas al suelo y percolan en él tanto más profundamente cuanto mayor es su porosidad.

Al percolar el agua se produce una obturación de los poros del suelo cambiando su densidad y consecuentemente su capacidad emanatoria. La primera consecuencia se traducirá en una mayor posibilidad de frenar las radiaciones gamma de origen subprofundo y la segunda, impedir el escape del radón.

Lo expresado anteriormente tiende a poner de manifiesto la importancia que el Rn²²² reviste en la prospección uranífera y a explicar por qué se sigue investigando sobre él.

8- EJEMPLO DE RELEVAMIENTO EMANOMETRICO

Son numerosos los casos que podríamos extraer de nuestra experiencia en el empleo del método emanométrico, pero de ellos puede resultar interesante referirnos a los resultados obtenidos de uno detallado llevado a cabo en la provincia de San Luis, en la quebrada del río Seco, flanco occidental de la Sierra de Comechingones. En el tramo de referencia afloran solamente rocas

de naturaleza granítica pertenecientes a un batolito cuyo mayor desarrollo se registra en la provincia de Córdoba, contactando intrusivamente con metamorfitas de alto grado.

El sector motivo del relevamiento emanométrico fue circunscripto mediante un muestreo geoquímico a 20 y 40 centímetros de aluviones y suelos, que marcó la existencia de concentraciones de hasta 230 ppm de U_3O_8 cabiendo la posibilidad de que ello se debiera a la depositación de sales de uranio disueltas en aguas de vertiente que afloran a lo largo de una falla, con un contenido de hasta 40 ppb derramándose en el área muestreada.

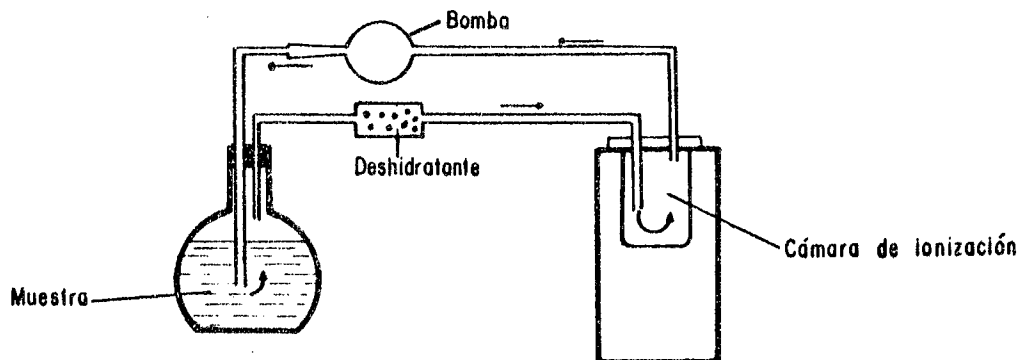
Se recurrió entonces a la emanometría como elemento de certificación, efectuándose un muestreo de aire del suelo cada 2,5 m sobre perfiles distanciados 10 m entre sí complementado por radimetría gamma. Esta última confirmaba la presencia de una radiactividad anómala pero no era terminante en cuanto a su distribución. La emanometría en cambio indicaba una marcada orientación de las máximas concentraciones insinuando que las mismas podían obedecer a fallas mineralizadas por uranio. Los tenores radoníferos resultaban muy abultados a pesar del espesor del relleno moderno que fue determinado por resistividad eléctrica, de modo que quedaba por certificar la existencia de las fallas, lo que se lograría mediante el levantamiento de una carta de resistividades que se llevó a cabo casi simultáneamente.

La exploración mecánica (perforaciones) que sobrevino confirmó los resultados obtenidos por la conjunción de métodos cortando la zona mineralizada a profundidades comprendidas entre 10 y 25 metros. Los planos que se exhiben corresponden a este relevamiento.

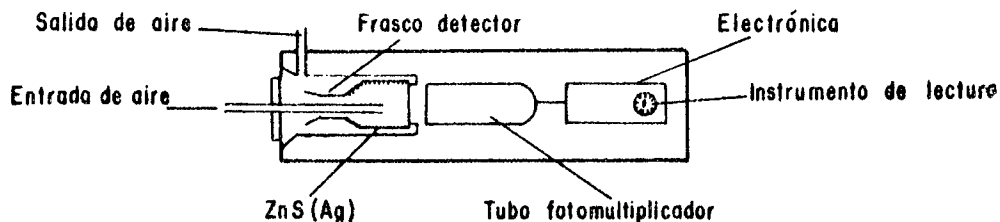
9- BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, J.N. et all - 'Mecanism of radon release in rock matrices and entry into ground waters' - Inst.Min.Metall. London, 1974.
- BARRETO, P.M. 'Radon²²². Emanation characteristics of rock and minerals'. Radon in uranium mining - A.I.E.A. - Vienna, 1975
- BHATNAGAR, A.S. - 'A study an the behaviour of radon in soil'. Uranium exploration methods. A.I.E.A. - Vienna, 1973.
- CANEER, W.T. et all - 'Radon emanometry in uranium exploration' American Inst. of Min.Metall and Petroleum Engineers - Texas, 1974.
- DYCK, W. 'Development of uranium exploration methods using radon' Geol.Survey Canada, 1969.
- DYCK, W. 'Radon methods of prospecting in Canada' - Uranium prospecting handbook - Inst.Min. Metall - London, 1972.
- GARZON RUIPEREZ, L. 'Posibilidades que ofrece la determinación del Radón en el aire, en la prospección de yacimientos de uranio'. Energía Nuclear - J.E.N. T. 21 N° 107 - España, 1977.
- GINGRICH, J.E. et all - 'Uranium exploration using the Track Etch method' Exploration for uranium Ore deposits - A.I.E.A. - Vienna, 1976.
- GOLD S. et all - 'Measuring of naturally occurring radionuclides in air' The natural radiation environment - Univ.Chicago Press, 1964.
- MILLER, J.M. et all - 'Radon measurement in uranium prospecting' - Uranium exploration methods - A.I.E.A. - Vienna, 1973.
- MUSET, J.A. - 'Manual de emanometría' - inédito - CNEA - Buenos Aires, 1976.
- MUSET, J.A. - 'Acerca de la presencia en la atmósfera del Rn²²² y sus hijas' inédito - CNEA - Buenos Aires, 1978.
- PRADEL, J. et all - 'La prospección de l'uranium par le radón' - Rapport C.E.A. N° 2330 Saclay, 1963.
- ROCK, R.L. et all - 'Radon daughter exposure measurement with Track Etch films' Health Physic - Pergamon Press. North Ireland, 1969.
- SMITH, A.Y. et all - 'Radon methods in uranium exploration'. Exploration for uranium ore deposits - A.I.E.A. - Vienna, 1976.
- TANNER, A.B. - 'Radon migration in the ground: a review'. The natural radiation environment - Univ. Chicago Press, 1964.

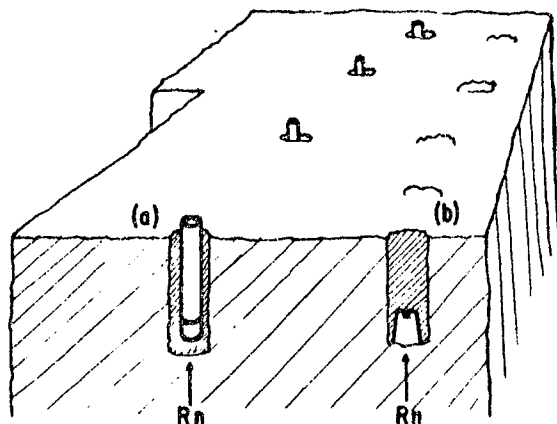
CIRCUITO ESQUEMATICO PARA DETERMINACION DE R_{ir}^{222} EN AGUA Fig. 1



EMANOMETRO A CENTELLEO Fig. 2

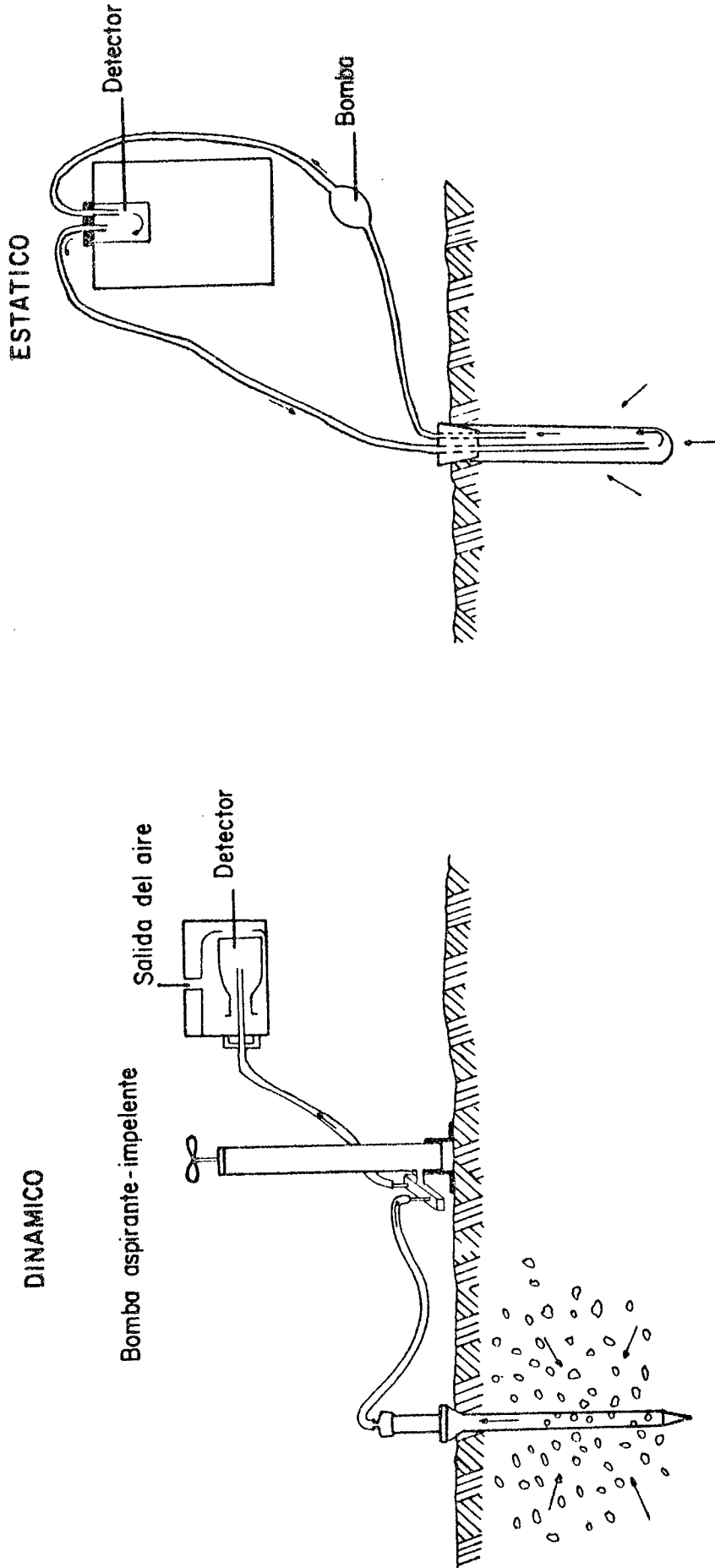


ESQUEMA DE IMPLANTACION DE DETECTORES PARA LARGOS PERIODOS Fig. 3



- (a) Detectores de estado sólido
- (b) Película "alfa sensible"

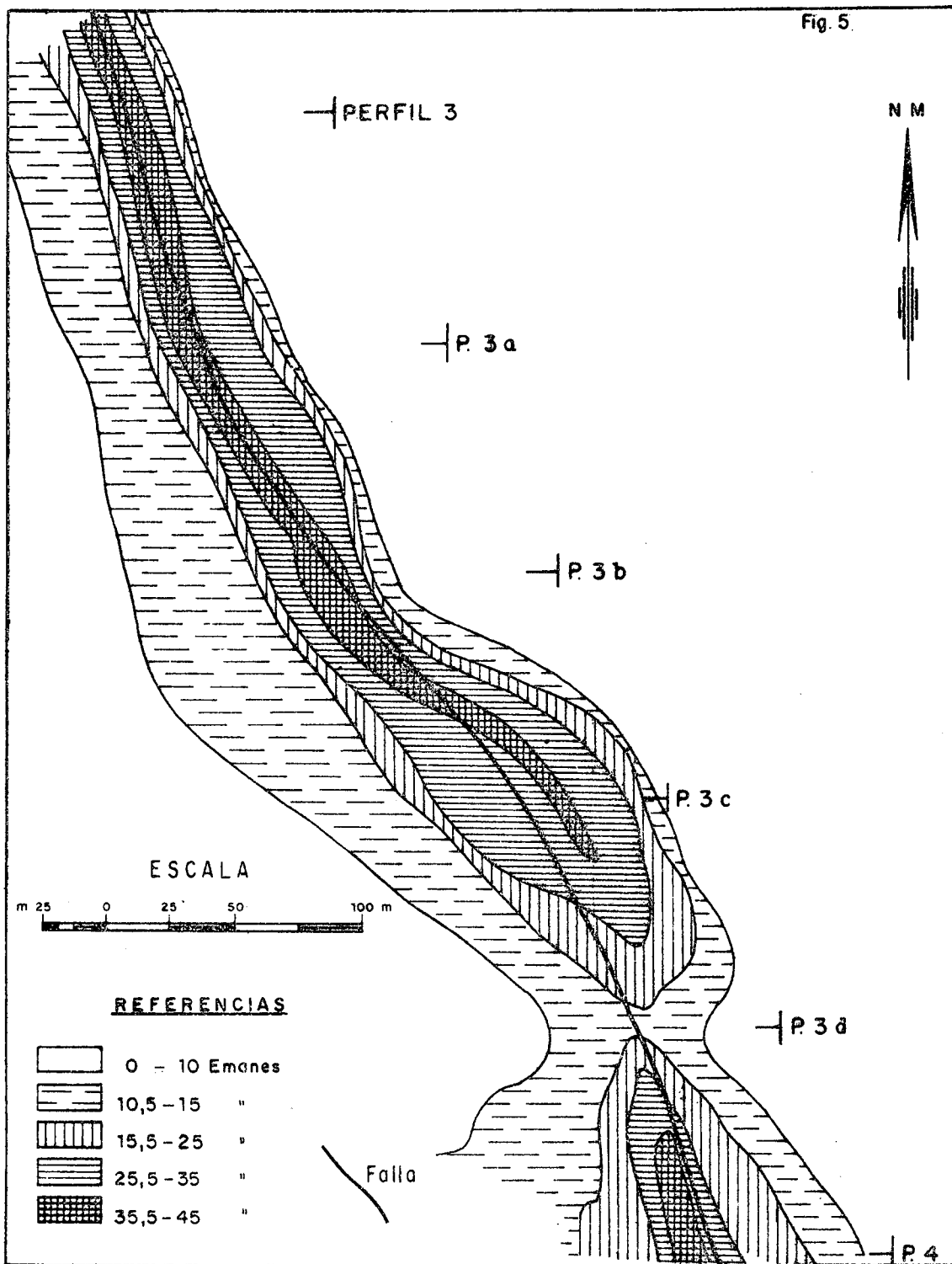
SISTEMAS DE MUESTREO EMANOMETRICO



III-6-17

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

YACIMIENTO "LOS ADOBES"
RASTREO EMANOMÉTRICO DE LA FALLA W



I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>LAS EMANACIONES RADIATIVAS</u>	2
2.1. <u>Comportamiento de las emanaciones en el suelo.</u>	3
3. <u>METODOS DE DETECCION E INSTRUMENTAL</u>	3
3.1. <u>Emanómetros a cámara de ionización</u>	4
3.2. <u>Emanómetros a centelleo.</u>	5
3.3. <u>Emanómetros de estado sólido</u>	5
3.4. <u>Películas α sensibles.</u>	6
4. <u>EL MUESTREO EMANOMETRICO</u>	7
5. <u>EL RELEVAMIENTO EMANOMETRICO REPRESENTACION GRAFICA E INTER- PRETACION</u>	8
6. <u>EL RADON EN LA ATMOSFERA.</u>	10
7. <u>EL Rn^{222} Y SUS HIJAS EN LA GMMAMETRIA AEREA</u>	12
8. <u>EJEMPLO DE RELEVAMIENTO EMANOMETRICO.</u>	12
9. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	14