

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

PROSPECCION RADIMETRICA AEREA

Kirilo Marinkeff
Alberto L. Coco

Buenos Aires
1972

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

PROSPECCION RADIMETRICA AEREA

Kirilo Marinkeff
Alberto L. Coco

Buenos Aires
1972

RESUMEN

En la presente contribución se presenta en forma sucinta la técnica de prospección radimétrica aérea, que procura el descubrimiento de depósitos de minerales radiactivos.

Se define la actividad y se dan las características de la radiactividad natural para describir posteriormente el instrumental principal y auxiliar empleado. Se hace referencia de los tipos de aeronaves requeridos y de la técnica operativa empleada, como igualmente de otras aplicaciones prácticas de la gammametria aérea.

Se concluye con una rápida mención de los trabajos ejecutados en el país y se proporciona una idea acerca de los rendimientos y costos que son dables esperar.

PROSPECCION RADIMETRICA AEREA

INTRODUCCION

Desde hace varias décadas las tareas exploratorias de la superficie terrestre han sido encaradas por el hombre aprovechando las diversas máquinas que le han permitido elevarse sobre el nivel del suelo. De la simple y primitiva hazaña deportiva no tardó mucho en pasar a obtener datos utilitarios, primero a través de la simple observación visual, después mediante la utilización de diversos sensores controlados directamente por el hombre en vuelo y, más modernamente, mediante instrumental ultrasensible en vuelo automático no tripulado. Y aquí, una vez más, parece ser cierto aquello de que "los extremos se tocan", si recordamos que una de las primeras tentativas de obtener fotografías aéreas se encaró fijando una cámara fotográfica a una cometa.

Al presente, ninguna persona medianamente informada desconoce que buena parte de la exploración de la superficie terrestre —y aún de otros cuerpos celestes— es encarada mediante procedimientos aéreos.

La utilización de estos métodos, en nuestro país, se encuentra en un estadio de sensible atraso, ya que es muy poco lo que se ha hecho, si exceptuamos el rubro de la fotografía aérea, en el cual los progresos han sido más importantes, pero que no dejan de ser heterogéneos e incompletos.

Otra actividad aérea, referida en este caso específicamente al descubrimiento de yacimientos minerales de sustancias radiactivas, es la de la prospección radimétrica, que se viene desarrollando en el país desde hace casi tres lustros. Por un corto período las actividades fueron asumidas por empresas privadas. Sin embargo, a partir del año 1958 se constituyó —por motivos que no es del caso analizar— en una acción casi exclusivamente a cargo del Estado, por intermedio del organismo directamente interesado en el problema, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

Es nuestro propósito, en esta oportunidad, dar a conocer los fundamentos y naturaleza del trabajo, como asimismo los satisfactorios resultados obtenidos a través de su aplicación sistemática, en la esperanza de que la iniciativa sirva para estimular las exploraciones aéreas que, equipadas con diversos tipos de sensores, puedan hacer mucho en favor del progreso geológico económico de la Nación.

DEFINICION Y FUNDAMENTOS

Los minerales radiactivos presentan la particularidad de emitir radiaciones de tres tipos: alfa, beta y gamma. La última, a base de su gran poder de penetración en la atmósfera, es la aprovechada, ya que, siendo relativamente fácil de detectar por medio de instrumental apropiado, proporciona indicios claros sobre la presencia de acumulaciones superficiales o subsuperficiales de minerales radiactivos susceptibles de aprovechamiento económico.

Con estos antecedentes podemos definir la prospección radimétrica aérea como el sistema que permite detectar la radiación gamma por medio de instrumental especial instalado a bordo de aeromóviles.

Como las anomalías de radiación gamma están en vinculación con acumulación de sustancias radiactivas, su detección permite concretar la ubicación de yacimientos de ese tipo, como igualmente otras circunstancias geológicas, tales como contactos de formaciones no observables en superficie, fallas, estructuras petrolíferas, etc.

Dado que se detecta la radiación gamma desde el aire, la definición más breve de este sistema geofísico de exploración es "gammametria aérea".

La prospección aérea, junto con la geoquímica, es el procedimiento de exploración más rápido, económico y eficaz, sobre todo cuando se lo aplica en países de gran extensión territorial y escasa densidad de población, además de una red caminera poco desarrollada.

Debe reconocerse, sin embargo, que, como todo método, está sujeto a algunas limitaciones que lo hacen, bajo determinadas circunstancias, poco o nada viable. En efecto, las áreas con características topográficas muy accidentadas no pueden ser cubiertas con razonable margen de seguridad y completa eficiencia, sobre todo teniendo en cuenta que el vuelo debe ser efectuado a una altura media sobre el terreno de unos 70-80 metros.

La altura sobre el nivel del mar de una comarca determinada origina limitaciones de vuelo, ya que los motores de los aviones comunes disminuyen notablemente su rendimiento a medida que se opera a niveles más elevados. La utilización de motores turbocompromidos permite operar a alturas mucho mayores, y con ellos se han realizado experiencias hasta 5.000-5.500 metros sobre el nivel del mar. Con aviones provistos de motores convencionales no parece ser aconsejable el vuelo a más de 2.000-2.500 metros sobre el nivel del mar. De cualquier forma, en ambos casos, esas cifras no deben ser consideradas de manera absoluta, ya que, a iguales condiciones meteorológicas, entran en juego otros factores vinculados a las condiciones técnicas de la aeronave empleada, especialmente la referida a su relación peso/potencia.

RADIATIVIDAD NATURAL

Las zonas cubiertas de bosques densos y extendidos tampoco son propicias para este tipo de prospección, no tanto por la absorción que la vegetación puede significar para las radiaciones gamma, sino más bien por las dificultades emergentes de ubicación de la anomalía por falta de referencias.

Sin entrar en consideraciones de detalle, puede afirmarse que los principales elementos radiactivos que forman parte de la corteza terrestre son el potasio-40, el uranio y el torio, cuya difusión es bastante amplia.

Todos ellos emiten radiaciones que se caracterizan por los diversos efectos que producen, tales como impresionar placas fotográficas, provocar fluorescencia en algunos cuerpos, ionizar gases, liberar energía y atravesar diversos espesores de blindajes.

Las sustancias radiactivas emiten, como se sabe, tres tipos de radiaciones, llamadas alfa, beta y gamma. Las radiaciones alfa y beta, consistentes de núcleos de helio y electrones, respectivamente, tienen un poder de penetración relativamente escaso, ya que se detienen después de atravesar unos pocos centímetros de aire —en el caso de la radiación alfa— o, a lo sumo, unos pocos metros en el caso de la radiación beta. De ahí que para nuestras aplicaciones se haga sólo uso de la radiación

gamma, que es de naturaleza electromagnética como los rayos X, pero de longitud de onda aún más corta que éstos y de un poder de penetración mucho mayor.

De las tres radiaciones que hemos nombrado anteriormente, mencionaremos su valor gamma característico:

Uranio	33.500	gammas/s ⁻¹ /g ⁻¹
Torio	20.900	gammas/s ⁻¹ /g ⁻¹
Potasio	3,6	gammas/s ⁻¹ /g ⁻¹

En rocas comunes —granito, por ejemplo—, la incidencia del potasio-40 en el conjunto de la radiación emitida es despreciable. El torio, de amplia difusión en rocas metamórficas, en series sedimentarias y en rocas eruptivas ácidas, tiene importante significado, y lo mismo puede decirse del uranio.

Es por ello que resulta relativamente fácil detectar las concentraciones anómalas de estos dos elementos utilizando instrumental apropiado para detectar su radiación gamma, siempre que su yacencia sea superficial o subsuperficial.

Estas últimas circunstancias son importantes, ya que la presencia de suelo o una cubierta inactiva absorbe en diversa medida la emisión de los rayos gamma. Lo mismo pasa con la atmósfera y las diversas condiciones reinantes (variaciones climáticas y geográficas, densidad del aire, altura del lugar, temperatura, humedad, polvo en suspensión en el aire) y puede afirmarse que ya a 600 metros sobre el terreno los rayos gamma quedan totalmente absorbidos por la atmósfera.

La última circunstancia apuntada nos permite inferir la importancia que tiene la altura de vuelo en los trabajos de prospección, y, en consecuencia, la necesidad de considerarla en forma permanente a fin de poder corregir la información obtenida.

Parece deducirse entonces en forma natural el conjunto de equipo básico necesario para la exploración gammamétrica aérea. En primer lugar, el instrumento apropiado para la detección gamma; en segundo lugar, el instrumento que proporcione permanentemente la distancia avión-suelo. Finalmente, un equipo que registre los dos parámetros anteriores y permita su análisis crítico en gabinete, además de la adecuada interpretación de los datos en función de la información geológica disponible.

Dentro de cada uno de los equipos requeridos existen diversos tipos, y de ellos veremos ahora los más usuales y en especial modo los que utiliza la CNEA en sus trabajos de exploración en el país.

DETECTOR DE RADIATIVIDAD

El más utilizado es el llamado cintilómetro, que en realidad es un monitor equipado con un cristal de INA(Tl). En este instrumento se utiliza la particularidad de ciertas sustancias de emitir destellos bajo la acción de los rayos gamma (otras radiaciones también lo hacen, pero aquí nos referimos solamente a las gammas).

Estas sustancias capaces de emitir destellos se preparan bajo la forma de cristales artificiales, y el centelleo que producen impresiona una célula fotoeléctrica. Esta, a su vez, produce una corriente eléctrica, la que, convenientemente amplificada, es registrada por el instrumental de medida del cintilómetro.

Existen diversos tipos de materiales aptos para producir centelleo, y entre ellos citaremos:

- 1) Sulfuro de cinc o sulfuro de cadmio activado con plata. Es policristalino y con buen coeficiente de absorción;
- 2) Tetrafenilbutadieno (TFB) en solución en una sustancia plástica. Es de rendimiento más bajo que los materiales inorgánicos;
- 3) Ioduro de sodio activado con talio - INa(Tl). Es monocristalino y de muy buen rendimiento.

Estos últimos cristales son los más utilizados en razón de ser los más eficaces, y si bien son de precio elevado, su mayor rendimiento justifica ampliamente la mayor inversión. Se los fabrica en diversas medidas, de las que depende su eficiencia.

Para los trabajos de prospección aérea, en la CNEA se los utiliza —convenientemente encapsulados, ya que son muy higroscópicos— bajo la forma de cristales cilíndricos de 125 mm de diámetro por 50 mm de espesor (5" × 2").

Con el objeto de evitar la detección de algún tipo de radiación no deseable (cósmica, por ejemplo), se rodea lateralmente el cristal mediante un blindaje de plomo de unos 3 centímetros de espesor. Este blindaje es regulable y permite hacer variar la amplitud del cono de detección, al tiempo que garantiza que la totalidad de la radiación detectada provenga de radiactividad terrestre.

Conviene hacer notar que en Argentina se han utilizado varios tipos de cintilómetros de procedencia extranjera, pero actualmente, y desde hace varios años, se ha adoptado definitivamente un equipo diseñado y construido en la Gerencia de Materias Primas de la CNEA, que se conoce bajo la designación de MP-10. Ha dado excelentes resultados e inclusive ha sido facilitado en carácter de préstamo a gobiernos extranjeros (España, Perú). Actualmente está siendo objeto de perfeccionamientos que incluyen la incorporación de circuitos impresos y etapas integradas. Se espera también lograr una mayor estabilidad térmica.

Dicho equipo MP-10 incluye, como se ha dicho, un cristal de INa(Tl), al que se acopla un tubo fotomultiplicador del mismo diámetro que el cristal. Las constantes de tiempo del equipo (que determinan la fluctuación observada en la unidad de tiempo sobre un instrumento de aguja para una actividad gamma dada) son de 0,5, 1,0 y 1,5 segundos. Además, posee 5 rangos de medida, que oscilan entre 250 y 10.000 cuentas por segundo. El error máximo de lectura con variaciones del 30 % en la tensión de alimentación es menor que el 5 % que se mantienen para temperaturas variables entre -10°C y 40°C . El error en la precisión de calibración de escalas es menor que el 5 %.

RADIOALTIMETRO

Hemos mencionado que es indispensable saber en todo momento la distancia avión-suelo a los efectos de realizar oportunamente los necesarios cálculos de corrección y compensar la pérdida de intensidad de la radiación que se produce por la absorción del aire.

Para ello se utiliza un radioaltímetro, que en nuestro caso es el modelo AN-APN-1, constituido por un transceptor, sistema de alimentación y un par de antenas bipolares (una emisora y otra receptora). Tiene dos escalas de trabajo, una de 0-400 pies y otra de 0-4.000 pies.

Sin embargo, este equipo, de excelente rendimiento, resulta actualmente un poco pesado (10 a 12 kilos), algo anticuado, voluminoso y engorroso de instalar.

Es por ello que se lo ha sustituido por un sistema basado en el principio radar, usándose un equipo marca Bonzer, modelo TRN-70, con escala única de 40-600 pies. A su mayor precisión une características tales como gran facilidad de instalación y muy escaso peso (750 gramos en total). Este equipo utiliza una sola antena exterior de medidas muy reducidas: 10 centímetros de largo por 5 centímetros de alto.

REGISTRADORES

Los parámetros proporcionados por el cintilómetro y por el radio o radar altímetro son recogidos mediante dos registradores gráficos, mecánicamente acoplados en tándem, de modo tal que ambas bandas de registros queden sincronizadas y resulten perfectamente equiparables.

Si bien existen diversos tipos de registradores (térmicos, fotográficos y de accionamiento mecánico o eléctrico), se han preferido los accionados a cuerda y del tipo gráfico a tinta, por ser más robustos y confiables, permitir un constante examen del gráfico y la introducción fácil e inmediata de cualquier anotación sobre la banda.

Actualmente se está sustituyendo el par acoplado por un único equipo bicanal de la misma marca —Esterline Angus— con iguales características generales, con lo cual se reduce el peso en alrededor de 10 kilogramos (50 %).

En ambos casos, la velocidad del papel es variable en una amplia gama; normalmente se utiliza el régimen de unos 10 centímetros/minuto. Su tiempo de integración es de 1 segundo.

CAMARA FOTOGRAFICA DE POSICION

Cuando se efectúan trabajos de prospección detallada se utiliza también una cámara fotográfica de 35 mm de toma continua ("strip camera") perfectamente sincronizada con los registros, de modo tal que tanto éstos como la película fotográfica puedan ser referidos a puntos reales del terreno, sobre todo si se dispone de cartografía apropiada o fotoplanos del área sobrevolada.

Si la banda fotográfica puede aplicarse sobre base cartográfica confiable, queda posibilitada una muy grande exactitud en la ubicación de aquellos puntos que revisten interés y que merecen ser visitados por tierra.

La cámara en uso es marca Cameflex y viene provista de lente gran angular, que a la altura media de trabajo (75 m) proporciona imágenes a una escala de aproximadamente 1:10.000. Viene provista de dos chasis para depósito de la película virgen con capacidad de 60 y 120 metros. El accionamiento de la cámara se efectúa mediante motor eléctrico de 12 V-CC, cuya velocidad es variable a fin de regularla proporcionalmente a la del desplazamiento del avión. De acuerdo con dicha velocidad, el consumo de película oscila entre 15 y 45 centímetros/minuto.

EQUIPOS AUXILIARES

Radiofaros y radiobalizas

En algunas circunstancias, cuando es menester orientar perfectamente las líneas de vuelo (sobre todo cuando el terreno no ofrece puntos de referencia), se utilizan radiofaros y radiobalizas adaptadas a las frecuencias del trabajo del equipo radial del avión. Con esto se logra una correcta dirección en las líneas de vuelo y el deseado intervalo entre las mismas.

Receptores VHF

Estos equipos son de suma utilidad para establecer un enlace efectivo avión-tierra. Así, por ejemplo, desde tierra se puede advertir al avión sobre falsas direcciones de vuelo debidas a la deriva, en tanto que, inversamente, desde el avión pueden impartirse oportunas indicaciones a las misiones que por tierra tratan de ubicar algún sector anómalo.

Cámara aerofotográfica

En muchos casos, durante los trabajos de prospección minera, resulta de mucho interés disponer de pequeños relevamientos de planos aerofotográficos a escala de reducido denominador (1 : 5.000, 1 : 10.000), o de vistas oblicuas de determinados sectores para ayudar a resolver problemas particulares de índole geológico-minera.

Para ello, la CNEA dispone y utiliza una versátil cámara Kodak (Fairchild) K-24 que por sus características generales, tamaño y peso reducidos, permite efectuar relevamientos con recubrimiento apropiado para fotointerpretación y obtener vistas oblicuas y composiciones panorámicas.

Posee una distancia focal de 178 mm y proporciona negativos de 13 × 13 centímetros.

AVIONES

Pueden ser considerados dos tipos de aeronaves especialmente aptos para desarrollar la tarea que nos ocupa:

- 1) De plano rotativo u helicópteros;
- 2) De plano fijo o aviones convencionales.

Para su selección inciden varios factores, tales como condiciones topográficas de la zona a sobrevolar, seguridad, economía, rendimiento operativo, etc.

Helicópteros

Es el tipo de aeronave más conveniente para desarrollar tareas de gammametría aérea, ya que ofrece un gran margen de seguridad, accede a lugares donde el avión no podría maniobrar, tiene rango de velocidades muy apropiadas, hasta vuelo estacionario, y excelente rendimiento operativo, ya que con ellos se puede trabajar partiendo desde bases improvisadas ubicadas dentro mismo de la zona a batir, evitándose los vuelos improductivos, como en el caso de los aviones convencionales, a veces apostados en pistas de aterrizaje algo alejadas. Otra ventaja importante de los helicópteros es que pueden descender casi en cualquier lugar, facilitando entonces los exámenes terrestres de anomalías.

Su costo operativo, en cambio, suele ser bastante elevado, muy superior al de aviones convencionales equivalentes, de modo que las consideraciones económicas favorecen a estos últimos.

Aviones

Las operaciones con avión, guardando las precauciones debidas, ofrecen índices de seguridad suficientes como para permitir un desarrollo normal de las operaciones en vuelo. En un país o región donde se inicien las operaciones de reconocimiento, el avión convencional resulta más ventajoso.

La elección del avión apropiado, sin embargo, debe hacerse en función de una serie de características, algunas de ellas de naturaleza decisiva.

Así, por ejemplo, deberá ser una máquina pequeña (tipo Cessna 180-182 o Piper Cub Pa-18, etc.), y de ala alta a fin de permitir sin inconvenientes el examen del terreno sobrevolado. Deberá poseer elevado índice de maniobrabilidad y una buena relación peso/potencia, como igualmente buen ángulo de trepada y capacidad de maniobrar a baja velocidad, además de techo operativo alto. Facilidad de mantenimiento y bajos costos operativos. Su autonomía mínima será de 4 horas y deberá contar con instrumental completo para navegación radioeléctrica.

OPERACION

Como es de práctica en este tipo de actividades, el trabajo de prospección aérea debe estar precedido del mayor acopio posible de información sobre la zona que se va a explorar. Así, habrá que informarse de las condiciones meteorológicas del área en la época de trabajo. Serán indispensables los antecedentes geológicos, mineros y topográficos más completos, tanto como prever los detalles de campamento, provisión de aerocombustible, etc.

Con respecto a la instalación de los equipos a bordo del avión, no hay regla fija, pero habrá que considerar dos condiciones: 1) distribuirlos de modo de no desequilibrar la máquina; 2) los controles del equipo y el registrador (para efectuar cómodamente las anotaciones) deberán estar al alcance del operador.

En un avión pequeño (Piper PA-18) sólo podrá, además del piloto, instalarse un operador a cargo de toda la tarea. En un avión más amplio (Cessna 180-182) podrán ubicarse dos operadores, uno en calidad de navegante y otro como instrumentista.

Ya hemos dicho anteriormente que a 600 metros sobre la superficie del terreno la radiación gamma queda casi totalmente absorbida por la capa de aire interpuesta. En consecuencia, los vuelos, para ser exitosos, deben ser efectuados a niveles muy inferiores. Sobre este tema no hay criterio absoluto y los diferentes tratadistas señalan alturas medias que oscilan entre 60 y 100 metros. En la CNEA se ha adoptado la altura media de 75 metros y se concede valor a la información recogida a no más de 120 metros.

Es natural que sobre una misma fuente radiactiva, y a medida que se vuela a menor altura que el promedio señalado, se obtenga una respuesta más significativa (por menor absorción atmosférica), ocurriendo el caso opuesto en la medida que se exceda dicho promedio. Para obviar el inconveniente se elige una altura o plano de referencia, en nuestro caso a 75 mtros (250 pies), sobre el cual se normalizan todas las medidas de radiactividad.

Esta operación, importante fase del trabajo, podría calcularse teóricamente, pero en la práctica conviene encararla en forma empírica al iniciarse cada operación y para cada conjunto de instrumental. Para ello, se procede de la siguiente manera: se elige una superficie de terreno horizontal y radiactivamente homogénea (una pista de aterrizaje suele ser lugar apropiado). Luego se efectúan diversos pasajes en vuelo en el mismo sentido a intervalos regulares —50 pies, por ejemplo— desde un extremo hasta el otro de la escala del radioaltímetro disponible (0-400 pies, por

ejemplo). De esta forma se tendrá el valor de la absorción atmosférica cada 50 pies. Llevando los datos a un sistema cartesiano, podrá trazarse una curva regular e interpolar los datos cada 10 pies de desnivel, valor que en la práctica es suficiente.

Relacionando el valor radimétrico correspondiente a cada altura con aquel perteneciente al plano de referencia (250 pies), al que se dará valor igual a 1, se obtendrá una tabla de factores de corrección por absorción atmosférica (altura). Como es lógico, los factores de corrección menores que 1 corresponderán a alturas menores que 250 pies, en tanto que los correspondientes a un nivel mayor que el señalado serán mayores que la unidad.

Cuando no existen acumulaciones anómalas de minerales radiactivos, cada formación geológica presenta una actividad radimétrica característica o normal (a altura constante de vuelo). A ese valor característico o normal se le llama fondo ("background = BG"). El fondo observado puede variar en función de la mayor o menor radiación cósmica (y consecuentemente con la hora del día) y con la presencia de radón en el aire.

Cada formación geológica —o sus facies— tendrán un fondo característico, como igualmente lo serán las fluctuaciones del registro. Estas últimas estarán en relación con la constante de tiempo utilizada en el equipo y con la velocidad del avión, y serán tanto mayores a medida que disminuya la altura de vuelo.

Una anomalía radiactiva es todo aumento de la radiactividad que supere el nivel medio de las fluctuaciones del fondo. Naturalmente, dicha anomalía será tanto más importante cuanto más se aleje el pico positivo del nivel medio de fluctuaciones.

Desde que no nos es posible hacer lecturas absolutas de radiactividad desde un avión, en la práctica normal de trabajo usamos el procedimiento de medir el fondo y la anomalía (siempre en valores corregidos por altura). De su relación llegamos a establecer el "incremento", es decir, la cantidad de veces que el fondo está contenido en el valor de la anomalía. Los números índices resultantes son muy prácticos para considerar anomalías aisladas y, cuando se los toma en forma regular sobre una zona dada, mediante líneas de vuelo paralelas, permiten el trazado de planos con curvas de isorradiactividad, en los cuales, mediante una oportuna selección de grupos de valores, pueden destacarse perfectamente bien los sectores anómalos.

Ha quedado ya sentado el principio de que el vuelo de prospección aérea por minerales radiactivos debe ejecutarse a baja altura, término medio a 75 metros, no considerándose los valores obtenidos a más de 120 metros.

La velocidad de trabajo es variable y en todo caso está en relación con el tiempo de respuesta del equipo utilizado. Para el caso de los equipos empleados por la CNEA, la velocidad ideal se encuentra comprendida entre 120 y 160 kilómetros por hora, pudiendo excepcionalmente ser un poco mayor.

El área captada por el cintilómetro corresponde a una superficie equivalente a la base de un cono de 90° con vértice en aquél. En otras palabras, el área o franja de barrido tendrá un ancho igual al doble de la altura de vuelo, de tal modo que a una altura de vuelo de 75 metros corresponderá una franja prospectada de 150 metros de ancho. Con estos datos podrá programarse una tarea con el grado de recubrimiento que se desee.

La CNEA tiene establecidos diversos tipos de vuelo según sea el fin que se persigue, y sobre el particular conviene aclarar que con el correr del tiempo y el acrecentamiento de la experiencia adquirida se ha ido tendiendo a preferir los de malla más cerrada, con recubrimiento del 80 % o superior.

Cuando se habla de líneas de vuelo paralelas, se entiende que éstas se ejecutan en aquellos lugares en que la topografía lo permite. Así, a título de ejemplo, podemos decir que la Sierra Pintada (San Rafael, Mendoza) ha podido ser cubierta totalmente mediante vuelos paralelos, aunque cambiando el rumbo de los mismos por sectores. En otros casos, de topografía más abrupta, deben efectuarse vuelos de ladera o contorno ("rim-fly").

De cualquier forma, y como principio, puede establecerse que en toda región nueva conviene iniciar el estudio mediante malla abierta (500 a 1.000 metros entre líneas) e ir estrechándola en aquellos sectores más promisorios.

Podemos definir, sin que las cifras tengan validez absoluta, los siguientes tipos de prospección:

- 1) *Prospección regular*: con espaciamiento entre líneas de vuelo del orden de 500 metros y cobertura del 30 %;
- 2) *Prospección detallada*: con espaciamiento entre líneas de vuelo de 250 metros y cobertura del 60 %;
- 3) *Prospección detallada con fotografía de posición*: en condiciones semejantes a la anterior, con el agregado de la toma fotográfica de posición y posterior confección del plano con curvas isorradio (fig. 1).

A esto podemos agregar los *vuelos de reconocimiento*, que convendrá ejecutar cada vez que se inicie una zona nueva, a fin de tomar conocimiento de la misma, seleccionando las áreas más promisorias y desechando las que no ofrezcan interés.

Mediante esos vuelos se podrá determinar el tipo de malla a realizar, se evaluará el comportamiento de los distintos factores climáticos (vientos, corrientes, turbulencias, etc.) y se podrán, finalmente, determinar todas las circunstancias necesarias tendientes a lograr el mejor resultado de la tarea y la mayor seguridad operativa.

Volviendo sobre el tema de la prospección detallada con fotografía de posición, debemos agregar que la aplicación ideal de la misma se realiza cuando puede disponerse de un plano con fotogeología. En este caso, la comprensión final de los resultados es mucho más acabada, ya que los datos recogidos pueden ser analizados en función de la geología, lo que, por su importancia evidente, no merece ser comentado.

OTRAS APLICACIONES DE LA GAMMAMETRIA AEREA

Como hemos dicho antes, ciertas formaciones geológicas tienen fondos bastante característicos, de modo que, aprovechando valores contrastados, es posible en muchas oportunidades seguir y delinear sus contactos, aun cuando escapen a la observación directa del investigador por estar cubiertas por aluviones o depósitos recientes de no mucho espesor. Huelga decir la importancia que esta posibilidad puede tener cuando se trata de resolver algún problema tecnológico específico.

Sobre el particular podemos citar lo que ocurre en algunos parajes del oeste de la provincia de La Pampa. Allí, varias coladas basálticas se encuentran en algunos puntos cubiertas por depósitos más recientes que a veces disimulan sus límites de difusión. Aprovechando los bajos valores de fondo medio del basalto, que contrasta con los de la formación infrayacente, puede delimitarse el contacto mediante gammametria aérea.

Bajo ciertas condiciones también es posible detectar la presencia de fallas ocultas a la visión directa. Los casos especialmente aptos son aquellos en que a lo largo de la falla, actuando ésta como endicamiento natural, se hayan retenido y precipitado soluciones que contengan, aunque sea en pequeñas cantidades, sustancias radiactivas.

Cuando se dispone de un equipo detector perfectamente calibrado y muy sensible, pueden también ejecutarse tareas tendientes a la localización directa de hidrocarburos. Se aprovecha para ello una condición descubierta hace aproximadamente unos 15 años en los EE.UU., en virtud de la cual sobre las estructuras petrolíferas se registra un área de "baja" radiactividad rodeada de un halo o corona positiva que contrasta con los valores normales de la región circundante.

El mecanismo de este fenómeno no es aun bien conocido, pero se supone que puede deberse a soluciones ascendentes que arrastran sustancias radiactivas desde la profundidad, actuando las acumulaciones petrolíferas a modo de escudo de contención. Al llegar allí, las soluciones se desplazan entonces horizontalmente y vuelven a ascender en los bordes de aquella acumulación. De esta forma se origina la corona positiva en coincidencia aproximada con la proyección en superficie de la estructura petrolífera. Del mismo modo queda explicada la "baja" radiactiva sobre la misma estructura.

De ser así las cosas, se trataría de un proceso de tipo geoquímico perfectamente detectable mediante gammametria aérea. Su aplicación es factible aun en regiones cubiertas por depósitos cuaternarios de relativa importancia.

En el año 1963, la Gerencia de Materias Primas de la CNEA desarrolló, por cuenta de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, un trabajo de aplicación del citado procedimiento sobre una superficie de 5.000 kilómetros cuadrados en tres sectores de las provincias de Salta, Neuquén y Santa Cruz.

Una actividad exploratoria más completa y eficiente puede realizarse efectuando el análisis espectral de la radiactividad gamma mediante equipos multicanales que permiten identificar cada uno de los elementos radiactivos (uranio, torio, potasio) que la originan. La CNEA dispone de este tipo de equipos y se espera utilizarlos en futuros trabajos regulares.

DESARROLLO DE TRABAJOS EN EL PAIS

En el país se viene aplicando el método de prospección gammamétrica aérea desde hace unos doce años. A través de todo ese tiempo ha habido un ritmo de actividades sostenido y se ha logrado un constante mejoramiento en los equipos utilizados, como igualmente un sensible progreso en la aplicación de las técnicas operativas.

Las primeras aplicaciones de este método estuvieron a cargo de una empresa privada que actuó brevemente en las provincias de San Juan, La Rioja y Catamarca. A continuación se iniciaron las actividades de la CNEA, las que prosiguen hasta el presente. El trabajo realizado, donde se inclu-

yen tareas de diverso valor informativo, puede apreciarse en el gráfico de la figura 2. Comprende una superficie cubierta de unos 120.000 kilómetros cuadrados, pero una cierta proporción de ellos corresponde a relevamientos de tipo expeditivo que en su oportunidad deberán ser revistos en detalle.

Las anomalías descubiertas a lo largo de toda esa actividad suman varios centenares, y de ellas se ha revisado por tierra una proporción apreciable.

La aplicación del método ha sido muy exitosa, ya que tres de los principales yacimientos o distritos uraníferos con que cuenta el país han sido descubiertos mediante su utilización. Así, podemos citar: "Dr. Bauliés" (Mendoza), "Don Otto" (Salta) y "Los Adobes" (Chubut).

Se espera, igualmente, que la continuación de la tarea sobre áreas promisorias amplíe el panorama de las reservas uraníferas del país.

RENDIMIENTOS Y COSTOS

La prospección gammamétrica aérea proporciona rendimientos efectivos muy superiores a todos los otros procedimientos aplicados al mismo fin, manteniéndose los costos operativos dentro de un margen reducido.

Si bien las inversiones son relativamente elevadas, el alto rendimiento específico que se obtiene permite lograr un costo reducido por unidad de superficie cubierta.

Los rendimientos y costos, calculados a fines del año 1970 y sobre casi una década de actividad, quedan consignados en el siguiente cuadro:

PROSPECCION AEREA - RENDIMIENTOS Y COSTOS

Tarea	km ² /mes	km ² /hora	US\$/km ²
Prosp. Regular	1.800	90	1,25
Prosp. Detallada	1.000	40	4,30
Id. c/fotog.	500	25	12,50

NOTA: Los costos que se indican son **totales**, vale decir que incluyen planeamiento, ejecución completa de la tarea, supervisión y apoyos varios.

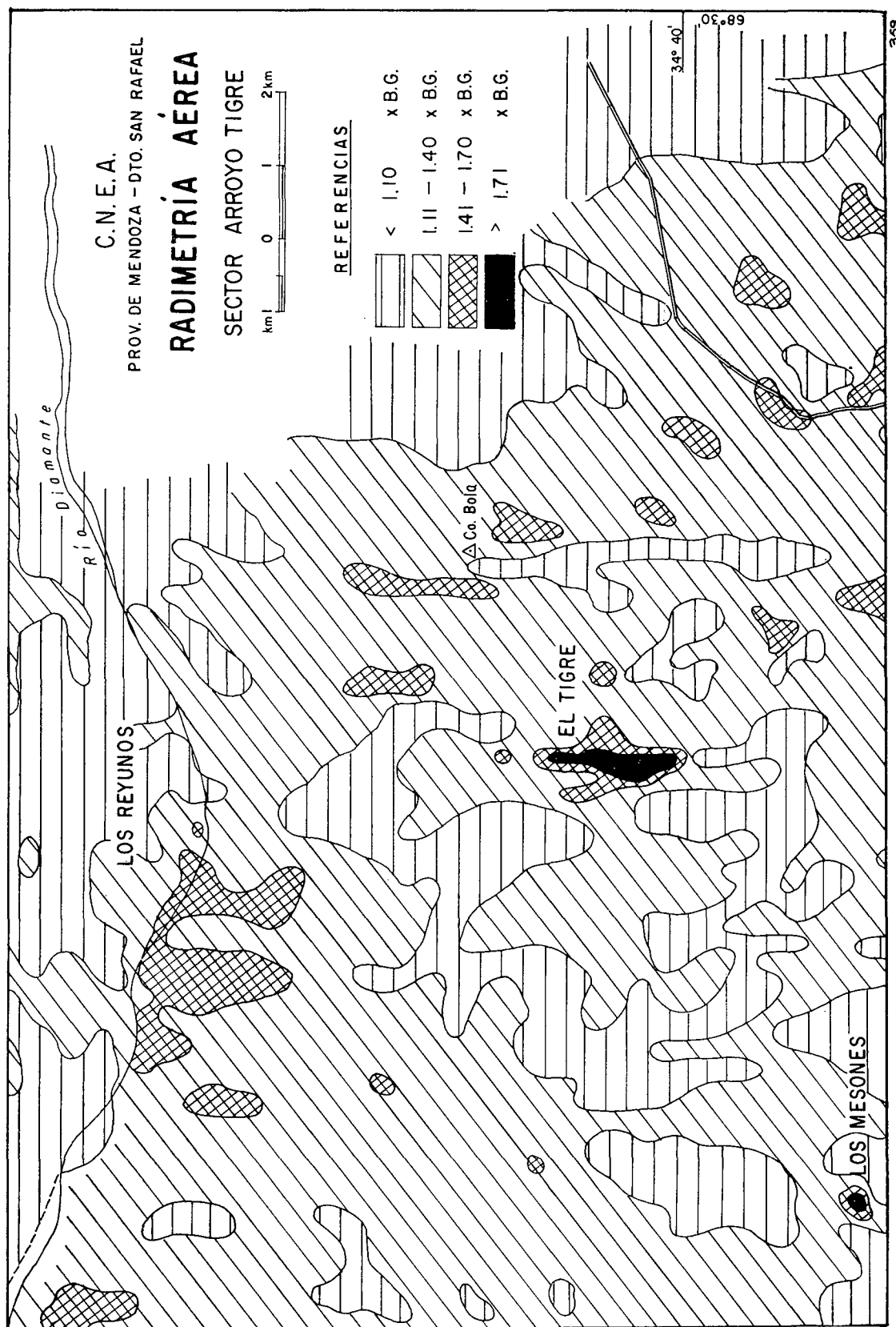


Fig. 1

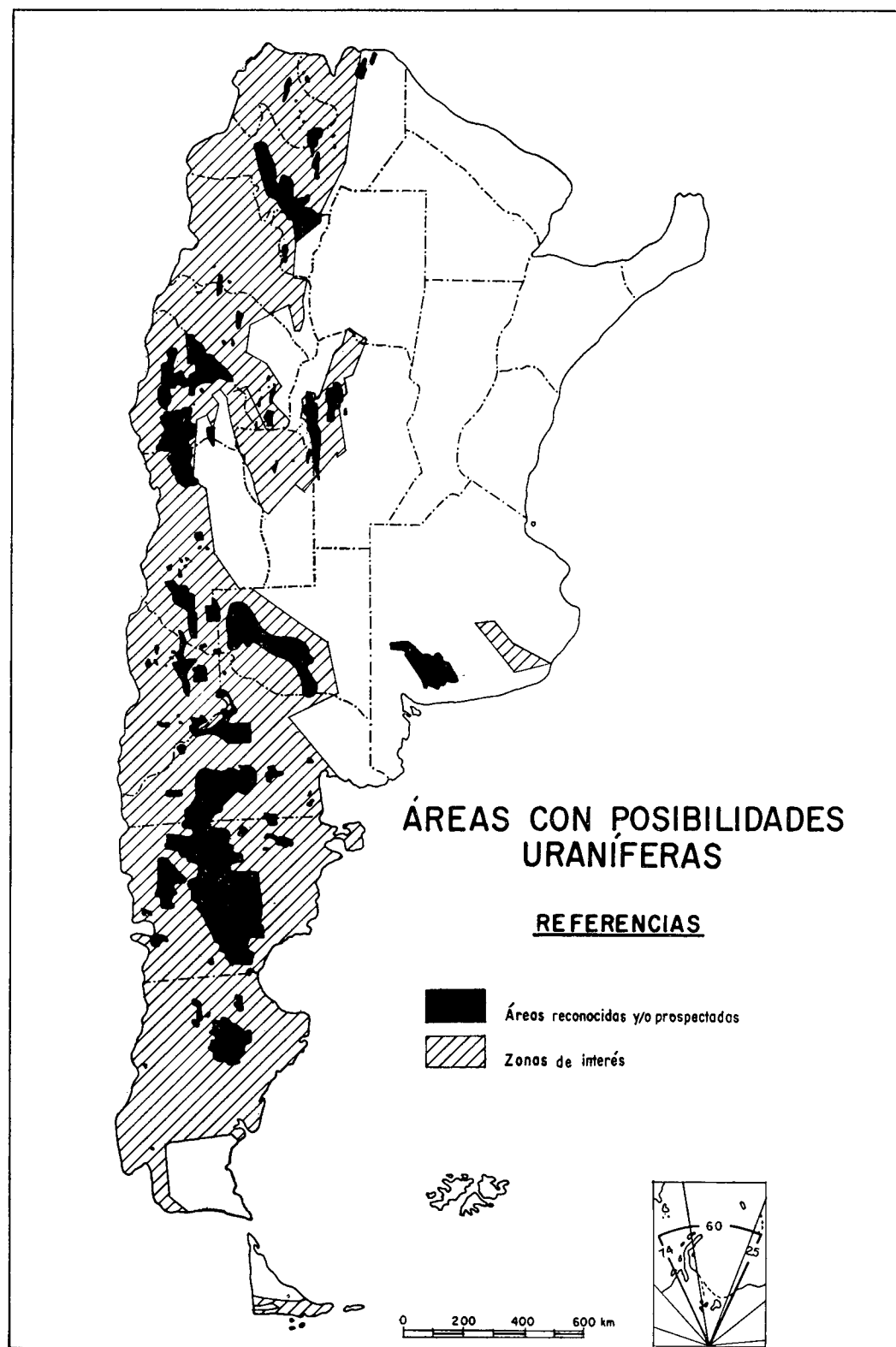


Fig. 2

INDICE

	Página
Introducción	5
Definición y Fundamentos	5
Radiactividad Natural	6
Detector de Radiactividad	7
Radioaltímetro	8
Registradores	9
Cámara Fotográfica de Posición	9
Equipos Auxiliares	9
Aviones	10
Operación	11
Otras Aplicaciones de la Gammimetría Aérea	13
Desarrollo de Trabajos en el País	14
Rendimientos y Costos	15

