

05.78.28



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 1	AÑO 1978

CNEA-AC-15/78

III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

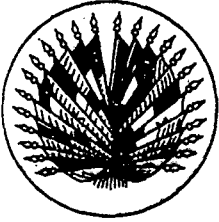
3. PROSPECCION AEREA

ALBERTO LUIS COCO

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

-1-

CONFERENCIA III/3

PROSPECCION AEREA

Alberto Luis Coco

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1- INTRODUCCION

La radimetría aérea es un método de prospección por minerales radiactivos ampliamente difundido por todo el mundo y su rendimiento, eficacia y bondades son tan ampliamente apreciados que eximen de todo comentario.

Se viene utilizando en forma regular desde el año 1950 en los países más avanzados, tales como Estados Unidos, Canadá, Rusia, Francia y otros. En Argentina comenzó su aplicación en el año 1958 y ha continuado hasta el presente en forma prácticamente ininterrumpida aunque caben distinguir dos períodos perfectamente diferenciados. El primero, que abarca desde el año 1958 hasta fines del año 1976 se caracterizó en líneas generales por el empleo de aviones pequeños, con muy escaso volumen de cristal detector y aplicando la técnica de "contaje total", es decir, sin la utilización de equipos capaces de discriminar distintos niveles de energía, lo cual permite distinguir las radiaciones provenientes del uranio, torio y potasio y sus valores de relación.

El segundo período se contabiliza a partir del corriente año e implica un cambio fundamental en la manera de operar, ya que se utiliza gran volumen de cristal detector, poder de discriminación y aeronaves de mayor porte. Además, se abandona el sistema de operación propia y se contratan globalmente los servicios de prospección, elaboración de resultados y presentación de los respectivos informes finales.

Los dos tipos de operación difieren en muy grande medida, de modo que la presente conferencia se limitará al que hemos llamado más arriba primer período, caracterizado por la utilización de equipos de contaje total, poco volumen de cristal y aviones pequeños, dejando a otros conferencistas la descripción de los procedimientos más avanzados, las técnicas más depuradas y los

progresos más recientes.

Esta técnica de contaje total, no obstante, ha dado muy buenos resultados en diversas partes del mundo y desde luego también en Argentina, cuyos principales yacimientos y áreas anómalas han sido detectados mediante su aplicación. Inclusive hoy este método se sigue aplicando en algunos países cuyos planes de prospección son de mediana o pequeña envergadura.

Es más, algunos autores postulan al presente en la realización de planes de prospección uranífera sobre grandes áreas, el empleo de "contaje total" previo en malla abierta (4 a 6 kilómetros), reservándose la discriminación de energías -de aplicación más cara- para las áreas preseleccionadas con aquel procedimiento.

2- DEFINICION Y FUNDAMENTOS

Los minerales radiactivos presentan la particularidad de emitir radiaciones de tres tipos: alfa, beta y gamma. La última, en base a 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 sub-superficiales 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 acumulaciones de sustancias radiactivas, su detección permite concretar la ubicación de yacimientos de ese tipo.

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

La prospección aérea 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 voladas 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.

Las zonas cubiertas de bosques densos y extendidos tampoco son pro-

picias para este tipo de prospección, no tanto por el "freno" 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.

3- RADIOACTIVIDAD NATURAL

Los principales elementos radiactivos que forman parte de la corteza terrestre son el potasio-40, el uranio y el torio, todos ellos de bastante difusión, aunque no siempre constituyendo depósitos económicamente aprovechables.

Esos elementos, como se ha dicho, emiten radiaciones de distinto tipo, conocidas con los nombres de alfa, beta y gamma. Las dos primeras tienen muy escaso poder de penetración de modo que, si bien presentan interés desde el punto de vista de mediciones de laboratorio, no lo tienen desde la óptica de la detección de acumulaciones anómalas de aquellos elementos. La radiación gamma es la que se trata de captar en los trabajos de prospección aprovechando su gran poder de penetración. Esa radiación es de naturaleza semejante a la de los rayos X, pero de longitud de onda mucho más corta.

Por ello, utilizando equipamiento apropiado para detectar la radiación gamma, resulta operación relativamente sencilla ubicar sus concentraciones anómalas, siempre que su yacencia sea superficial o subsuperficial, ya que es bien conocida la circunstancia que la presencia de una cubierta inactiva de suelo de 0,50 a 0,70 m de espesor absorbe en forma muy importante la radiación gamma.

Otros factores de absorción están constituidos por la cubierta vegetal y puede afirmarse que también tienen influencia circunstancias tales como las variaciones geográficas y climáticas, densidad del aire, altura del lugar, temperatura, humedad, nubes, polvo en suspensión en el aire, etc. Se tiene establecido, desde el punto de vista práctico, que una interposición de aire de 600 metros es suficiente para que la radiación gamma natural quede totalmente absorbida por la atmósfera.

Vista esta última circunstancia se deduce de modo natural que para los casos de detección gamma desde el aire debe tenerse permanentemente en cuenta la altura del avión sobre el terreno a fin de poder corregir las lecturas en función de esa circunstancia.

Puede ahora establecerse cuales son los instrumentos básicos necesarios para efectuar los trabajos de prospección aérea:

- 1- Instrumento de detección gamma.
- 2- Altímetro para medir la distancia avión-suelo.
- 3- Equipos registradores para captar los dos parámetros anteriores a fin de permitir su análisis crítico en gabinete e interpretar los debidamente en función de la información geológica disponible y de la corrección consiguiente.

4- DETECTOR DE RADIATIVIDAD

Si bien en los primeros ensayos de prospección aérea efectuados en el mundo se utilizaron sensores contruidos en base a tubos Geiger-Müller (a veces numerosas unidades acopladas), bien pronto este equipamiento cedió paso a los cintilómetros, cuya eficiencia para este tipo de operaciones es enormemente superior.

La Gerencia de Exploración de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), utilizó durante los primeros años de operación cintilómetros importados, pero bien pronto se efectuó el diseño y construcción de un equipo propio, basado en un cristal de ioduro de potasio activado con talio de 125 mm de diámetro por 50 mm de espesor (aproximadamente 600 cc). Este equipo básico fue perfeccionado con el transcurso del tiempo y se le introdujeron modificaciones en su parte electrónica hasta llegar a su completa transistorización, contando también con circuitos impresos. Se trata de un equipo liviano, resistente y efectivo que prestó inestimables servicios por espacio de 15 años. Actualmente uno de ellos, con la correspondiente adaptación, se lo utiliza en prospección autotransportada ("carborne"), y otro ha sido facilitado en préstamo a un gobierno extranjero. Otros similares fueron utilizados en España y Perú.

5- RADIOALTIMETRO

Hemos dicho anteriormente que era necesario medir permanentemente la distancia avión-suelo a fin de efectuar las correcciones por altura de vuelo y compensar la pérdida de intensidad de la radiación que se produce por la absorción del aire interpuesto.

Para ello se ha utilizado un radioaltímetro modelo AN-APN-1, constituido básicamente por un transceptor, sistema de alimentación y dos antenas bipolares (una emisora y otra receptora), que dispone de dos escalas de trabajo, una de 0-400 pies y otra de 0-4000 pies. Todo este conjunto tiene un peso de 10-12 kilos.

Posteriormente se utilizó un radar altímetro marca Bonzer, modelo TRN-70, con escala de trabajo comprendida entre 40 y 600 pies, siendo un modelo muy preciso, compacto y liviano (750 gramos en total).

6- REGISTRADORES

Los parámetros proporcionados por el cintilómetro y el radio o radar altímetro son recogidos mediante dos registradores gráficos. Si bien existen varios tipos de éstos, la Gerencia de Exploración utilizó regularmente dos registradores gráficos acoplados, marca Esterline-Angus, de accionamiento mecánico e inscripción a tinta. Gracias al acoplamiento mecánico las dos bandas de papel corren simultáneamente de modo tal que a cada punto de la curva de radiactividad corresponde otro de la curva de altura.

Posteriormente el par de registradores fue sustituido por otro único, pero con banda de papel bicanal, con lo cual se facilita el manejo y control de la información obtenida.

En ambos casos la velocidad de desplazamiento del papel es graduable según un sistema de ruedas dentadas intercambiables. Normalmente fue su ficiente el régimen de unos 10 cm de papel por minuto.

7- CAMARA FOTOGRAFICA DE POSICION

Para poder graficar y replantear los itinerarios de los vuelos con la mayor precisión posible sobre los fotoplanos o la cartografía disponible se utiliza una cámara fotográfica de posición ("strip-camera"), de 35 mm, perfectamente sincronizada con los registros, de modo tal que tanto éstos como la película fotográfica puedan ser referidos a puntos reales del terre no sobrevolado.

Se ha utilizado una cámara fotográfica de toma continua marca Came flex que, a la altura media de trabajo (75 m) proporciona imágenes a una es cala de aproximadamente 1:10.000.

La velocidad de desplazamiento de la película debe estar relacionada con la media del avión a fin de no producir una excesiva deformación de la imagen. Para velocidades del avión comprendidas entre 160-180 kilómetros por hora, el consumo de película oscila en los 0,30 m por minuto.

8- EQUIPOS AUXILIARES

a) Radiofaros y radiobalizas.

Se utilizaron estos instrumentos en casos muy especiales, previa adaptación a las frecuencias de trabajo del equipo radial del avión, cuando fue necesario orientar perfectamente las líneas de vuelo y no se disponía de cartografía confiable. Los radiofaros se montan en vehículos terrestres que se desplazan de una a otra posición prefijada.

b) Receptores VHF.

Son de gran utilidad para establecer contacto radial entre la tripulación del avión y las comisiones terrestres. Son de inestimable valor para localizar rápida y eficazmente los sectores anómalos descubiertos.

c) Cámara aerofotográfica.

Se ha utilizado con frecuencia una cámara Fairchild K-24 que ha permitido relevar planos aerofotográficos a escalas de 1:5.000 a 1:10.000 utilizando el mismo avión empleado en prospección aérea.

De esta manera se han podido efectuar relevamientos fotográficos con recubrimiento apropiado para fotointerpretación y obtener vistas oblí cuas y composiciones panorámicas de sectores particularmente interes tes y con una mínima inversión de tiempo y gastos.

9- AEROMOVILES

Para las tareas de prospección radimétrica aérea se han utilizado en Argentina varios tipos de aeromóviles, estando determinada su selección por factores diversos, tales como: condiciones topográficas de las zonas a

sobrevolar, seguridad, economía, rendimiento operativo, etc.

Los helicópteros son los aeromóviles más apropiados para la realización de tareas de prospección aérea en función de su gran versatilidad, gran margen de maniobra, posibilidad de acceder y operar casi desde cualquier punto. Su costo operativo -entre 3 y 5 veces más caro que un avión convencional de capacidad equivalente- tiende a relegar su utilización a casos muy particulares.

Los aviones convencionales, por la causa recién apuntada, han sido preferidos más frecuentemente. En Argentina se han utilizado diversos tipos de aviones pequeños, tales como Piper Cub y PA-18, Cessna 180 y 182 y Cessna Super Sky Master (bimotor), todos ellos con excelente resultado.

Las características más deseables para un avión destinado a prospección aérea son las siguientes: ala alta (para facilitar el examen del terreno sobrevolado), elevado índice de maniobrabilidad, buena relación peso/potencia, buen ángulo de trepada y capacidad de maniobrar a baja velocidad, además de techo operativo alto.

10- 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.

Se asume 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 metros (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 no pavimentada 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 aquél 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 de 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 derivados 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. (fig. 1).

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 de 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. (fig. 2, 3 y 4).

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 a 1.000 metros.
- 2) Prospección detallada: con espaciamiento entre líneas de vuelo de 250 a 500 metros.
- 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.

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 ese caso, la comprensión final de los resultados es mucho más acabada, ya que los datos reco

gidos pueden ser analizados en función de la geología, lo que, por su importancia evidente, no merece ser comentado.

11- DESARROLLO DE TRABAJOS EN EL PAIS

Hasta fines del año 1976 la actividad de prospección aérea en el país ha estado casi exclusivamente a cargo de la CNEA, si se exceptúa un corto período en los años 1955/56 en que una empresa privada lo hizo en las provincias de San Juan, La Rioja y Catamarca.

Durante todo el lapso de actuación la CNEA prospectó una superficie superior a los 386.000 kilómetros cuadrados con diverso espaciamiento de líneas de vuelo. Dentro de esa cifra, sin embargo, se incluyen algunos sectores que han sido revolados. De resultados de esa actividad se ha logrado la localización de más de 1.000 anomalías, un 40% de las cuales han sido recomendadas para comprobación y posterior reconocimiento terrestre.

Al presente se está ejecutando un programa de prospección radimétrica aérea con discriminación de energías, sobre una superficie de 100.000 kilómetros cuadrados en las provincias de Chubut y Santa Cruz. En este caso la CNEA no actúa en forma directa sino que ha contratado los servicios de una empresa nacional la cual a su vez recibe aporte tecnológico de una empresa extranjera.

La aplicación de la prospección aérea en el país ha sido muy exitosa ya que ha permitido el descubrimiento de sus principales yacimientos o distritos uraníferos: "Sierra Pintada" (Mendoza), "Don Otto" (Salta) y "Los Adobes" (Chubut), por no citar sino los más destacados.

12- RENDIMIENTOS Y COSTOS

La prospección radimétrica 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 se traduce en un modesto costo por unidad de superficie cubierta.

Así, en trabajos de prospección regular (con distancia entre líneas de vuelo comprendida entre 500 y 1.000 metros) los costos se sitúan en alrededor de U\$S 2,30 por kilómetro cuadrado, siendo de esperar un rendimiento de 1.800-2.000 kilómetros cuadrados por mes.

En trabajos de prospección detallada (con distancia entre líneas de vuelo comprendida entre 250 y 500 metros) los costos se elevan a unos U\$S 7,50 por kilómetro cuadrado, siendo de esperar un rendimiento de unos 1.000 kilómetros cuadrados por mes.

Es de hacer notar que los costos que se indican, proyectados a fines del año 1978, son totales, vale decir que incluyen planeamiento, ejecución completa de la tarea, supervisión y apoyos varios.

I N D I C E

	<u>Página</u>
1- Introducción	1
2- Definición y Fundamentos	2
3- Radiactividad Natural.	3
4- Detector de Radiactividad.	4
5- Radioaltímetro	4
6- Registradores.	4
7- Cámara Fotográfica de Posición	5
8- Equipos Auxiliares	5
9- Aeromóviles	5
10- Operación.	6
11- Desarrollo de Trabajos en el País.	9
12- Rendimientos y Costos.	9

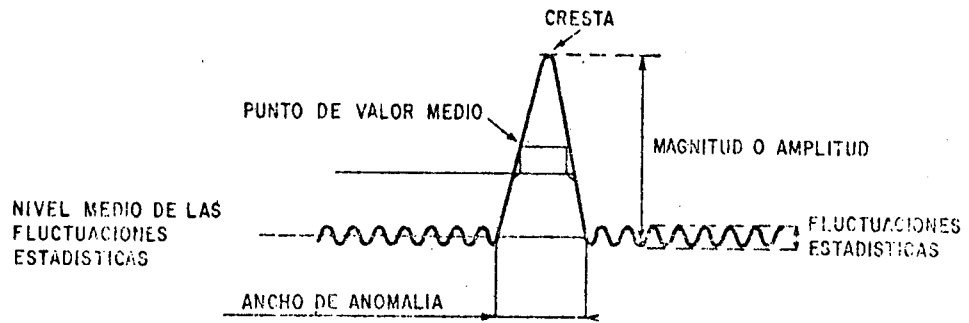


Fig. 1 - ANOMALIA

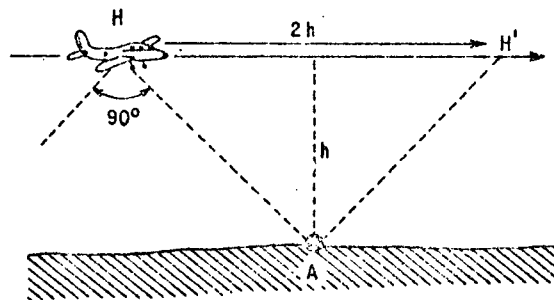


Fig. 2 - DETECCION DE UNA ANOMALIA PUNTUAL

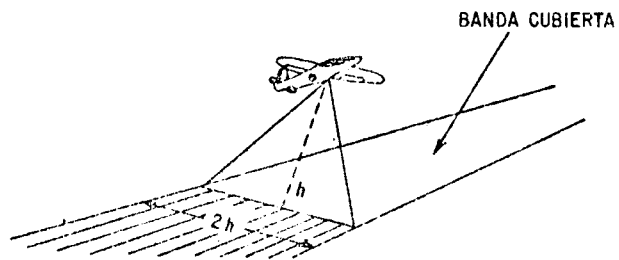


Fig. 3 - ANCHO PROSPECTADO

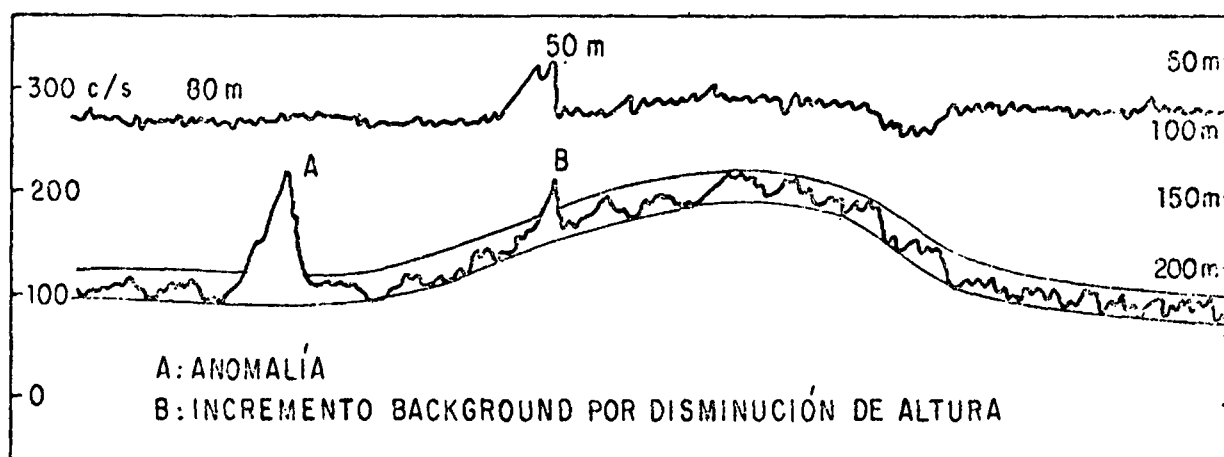
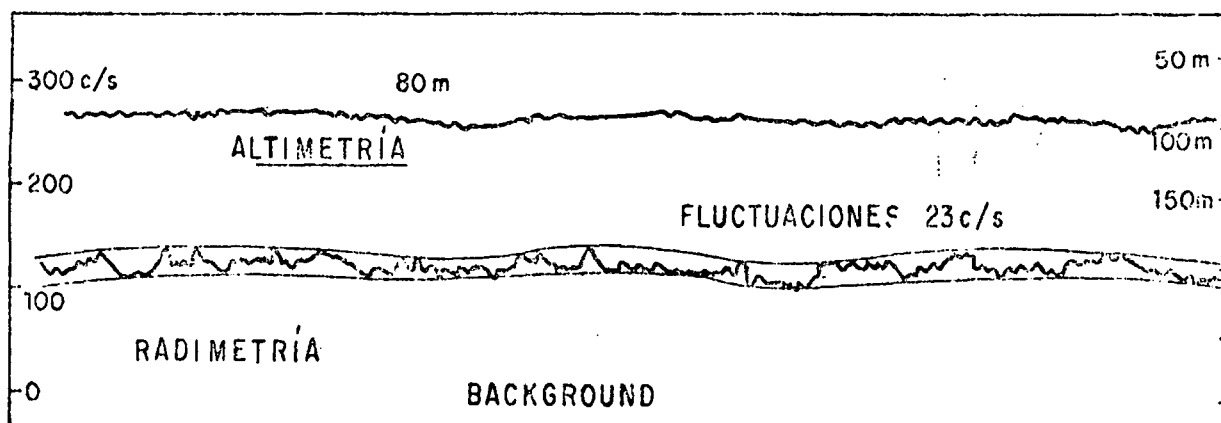


Fig. 4 - COMPILACION DE REGISTROS