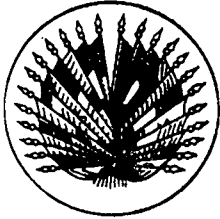


05.7231



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.16/78

III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

4. FOTINTERPRETACION GEOLOGICA

ALBERTO LUIS COCO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES

OCTUBRE 1978



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

FOTOINTERPRETACION GEOLOGICA

Alberto Luis Coco

Comisión Nacional de Energía Atómica

El inventario total de las riquezas de un país, el estudio racional y la explotación de ellas, y su desarrollo económico no se conciben hoy en día sin disponer de documentos cartográficos. Para un grupo de países en vías de desarrollo, desgraciadamente todavía muy numeroso, entre los que se encuentran varias naciones de América, Asia y Africa, el problema emergente de la falta de cartografía apropiada para desarrollar toda su potencialidad, alcanza proporciones rayanas en lo dramático.

Nuestros países de América Latina se encuentran en general bastante atrasados en la tarea de proveerse de cartografía no sólo de mediana escala, sino que en algunos casos hasta la correspondiente a las escalas de gran denominador es deficiente o no existe. Es preocupación de todos los gobiernos ir superando el serio escollo que para su progreso y desarrollo económico significa esta falta de cartografía.

Afortunadamente la humanidad cuenta, para resolver rápida y eficientemente este problema, desde hace algunas décadas con el auxilio de la fotografía, especialmente de la fotografía aérea, obtenida con cámaras y procedimientos especiales. Esta fotografía, sometida a estudios y procesamientos especiales -finamente depurados durante el período comprendido entre ambas guerras mundiales permite la obtención rápida y segura de una cartografía de primerísima calidad.

Pero aún antes de llegar a la etapa de la confección de la cartografía mediante el procedimiento estereofotogramétrico, que de cualquier forma implica el accionar de todo un equipo de especialistas y de instrumental delicado y costoso, se puede sacar un beneficio sumamente valioso armando fotoplanos mediante el sencillo procedimiento de ensamblar las fotografías aéreas de una región dada. En casos especiales, cuando se

dispone de una red de triangulación sobre el terreno, el fotoplano gana en precisión, y es así como sirve de base para el proyecto de las obras y trabajos que realiza el hombre.

Sin embargo la fotografía aérea vertical tiene aún una gran ventaja sobre los planos topográficos comunes pues mientras éstos proporcionan una imagen dura y despersonalizada del terreno que representan, la fotografía ofrece el mismo cuadro casi tan bien como cuando es observado por nuestros propios ojos y, consecuentemente, con un realismo que el mejor de los planos topográficos está muy lejos de alcanzar.

El examen de fotografías aéreas es de utilidad incalculable por su valor altamente descriptivo y tanto es cierto que casi no hay actividad humana que no pueda sacar beneficio de ello, y presta servicios por igual a geólogos, ingenieros, militares, urbanistas, arqueólogos, etc. Sería muy largo enumerar la cantidad de información que puede obtenerse de las vistas aéreas: Tal vez el límite podría ser dado por la propia imaginación de cada usuario.

Si bien el examen directo de una fotografía aérea realizado por un especialista proporciona un crecido monto de información, puede aún acrecentarse el beneficio si se examinan pares fotográficos, es decir, fotografías de un mismo objeto obtenidas bajo cierto ángulo y examinadas mediante un sistema óptico sencillo que permita obtener de ese par fotográfico la misma sensación que la vista normal percibe del mundo tangible que nos rodea: el relieve. Es lo que se llama estereoscopia, estereovisión o efecto estereoscópico.

Tan útil es este modo de ver las cosas, al recrear con el par fotográfico la impresión de relieve que un solo fotograma no puede dar, que llega a optimizar la condición para el estudio del objeto de nuestro interés.

Así como otros especialistas examinan estereoscópicamente las fotografías verticales haciendo fotointerpretación, es decir, examinándolas con espíritu analítico, también el geólogo lo hace de la misma manera, tratando de resolver los problemas de su competencia. A esto llamamos Fotogeología, es decir, el estudio e interpretación de los fenómenos geológicos en base a documentación fotográfica.

Sin embargo, no debe entenderse que todo estudio fotogeológico se efectúa exclusivamente a través de fotografías aéreas verticales (o sea aquellas cuyo eje de toma es sensiblemente perpendicular al plano del terreno). También se utilizan las fotografías oblicuas (cuyo eje de toma es inclinado con respecto al plano del terreno) y cuyo empleo es sumamente útil para resolver multitud de problemas particulares, sin contar que son el complemento ideal de la fotografía vertical puesto que ponen en evidencia un nuevo punto de vista del objeto observado (fig. 1 y 2).

Las fotografías aéreas verticales tienen ventajas sobre las oblicuas en razón de que mantienen una escala aproximadamente constante y permiten realizar mediciones horizontales y verticales (en este último caso mediante el uso de un instrumento llamado barra de paralaje y aplicando algunas ecuaciones sencillas). Entre las desventajas de las fotografías aéreas verticales podría

citarse que proporcionan un punto de vista no común o habitual del terreno y que el relieve no resulta evidente a simple vista.

En cuanto a las ventajas de las fotografías oblicuas podemos citar que ellas proporcionan una mayor área cubierta (considerando la misma altura de vuelo) y favorecen en el observador no especialista una mayor facilidad de identificación de los objetos por ofrecer un punto de vista más familiar de los mismos. Sus desventajas son: la escala no es uniforme; no se prestan para la confección de mosaicos y raramente para estereoscopia; presentan grandes zonas ocultas a la visión (los llamados "ángulos muertos"); presentan dificultad para la medición de ángulos y distancias.

Cada tipo de fotografía sirve a fines un tanto específicos. Así, en la Gerencia de Exploración de la Comisión Nacional de Energía Atómica se usan las fotografías verticales, adquiridas en las reparticiones públicas o en las empresas privadas que las elaboran, o producto de relevamientos propios -con fines cartográficos y para análisis fotogeológico-.

Las fotografías oblicuas, obtenidas con frecuencia durante las misiones de prospección radimétrica aérea enfocando detalles o zonas de anomalías, suelen ser posteriormente un elemento muy valioso para ayudar a resolver multitud de problemas particulares, tales como emplazamiento de labores mineras y campamentos, proyectos de caminos, movimientos de tierra, apreciación del drenaje, obras complementarias, etc.

Por el contrario, muchas veces se reprocha a las fotografías oblicuas de no ser "imparciales" en razón de que ponen en evidencia ciertas características del panorama en detrimento de otras. Sin embargo, no puede dejarse de insistir en que las fotografías oblicuas, al proporcionar un nuevo punto de vista, ayudan considerablemente al fotogeólogo que emplea pares fotográficos verticales.

Para los que de una u otra manera estamos vinculados a la tarea de prospección minera, primera etapa de un empeño tendiente a arrancar de la tierra los metales que el avance tecnológico exige en medida dramáticamente creciente, los últimos años transcurridos nos han permitido ver el nacimiento de una herramienta complementaria de inmensa trascendencia. Me refiero a la fotografía obtenida desde cohetes o satélites, fotografía a la que se designa con el nombre de espacial, satelital u orbital, haciendo referencia al hecho de que es obtenida desde varias decenas de kilómetros de altura, y que presentan un panorama de la tierra a escalas de muy alto denominador.

Uno de los primeros especialistas que ha puesto de manifiesto la importancia que tienen las fotografías espaciales en los estudios sobre geología, el americano Frank J. WOBBER, ha dicho, muy atinadamente, que esas fotografías nos permitirán ver el "bosque" en lugar de los "árboles", a la inversa de lo que estábamos acostumbrados hasta el presente.

Lo que WOBBER nos ha querido decir es que en lo sucesivo podremos tener una visión más completa y exacta acerca de las provincias mineralógicas, sobre la distribución de los antiguos escudos basales y las unidades o complejos geológicos fundamentales, las grandes líneas de fracturas, los fenómenos volcánicos y geotérmicos, la distribución de placeres en las plataformas

marítimas y, probablemente, algún otro tipo de información básica aún no sospechada. Todo ésto dará un carácter más orgánico a las exploraciones mineras y proveerá las directrices que hagan menos aleatorias las cuantiosas inversiones que se efectúen en ese campo.

De cualquier manera la obtención de fotografías satelitales está sujeta por el momento a lo que nos pueda ser ofrecido por las empresas y entidades extranjeras; su ejecución aún está reservada a los gigantescos programas de las naciones más desarrolladas tecnológicamente y económicamente. Sobre estas registraciones satelitales, su manipuleo y tipo de información a obtener de ellas se hará mención en otra conferencia.

Al referirnos a las fotografías verticales y oblicuas lo hemos hecho sin llamar la atención sobre el tipo de película a emplear. Desde este punto de vista aún podemos efectuar una selección importante teniendo en cuenta los fines perseguidos y los problemas específicos a resolver.

En efecto, existen diversos tipos de emulsiones tanto para las fotografías comunes cuanto para las aéreas. Las de uso más frecuente y universalizado son las llamadas pancromáticas, es decir, aquellas que son sensibles a todos los colores pero ofreciéndonos como resultado solamente una variadísima gama de grises, que oscilan entre los extremos blanco y negro.

En el caso de fotografías aéreas la emulsión pancromática se emplea generalmente con filtro amarillo o anaranjado.

Las emulsiones sensibles al infrarrojo proporcionan elementos de identificación e interpretación importantes en razón principalmente de poder "percibir" la humedad de los terrenos, la evolución de la función clorofiliana de los vegetales y las variaciones, a veces sutiles, en la composición de los suelos. La emulsión sensible al infrarrojo permite atravesar la "bruma seca", tan común en regiones tropicales.

Hace algunos años fue ensayada en los Estados Unidos la utilización de la película infrarroja con miras a detectar el "calentamiento" producido en forma natural por los minerales radiactivos. Lamentablemente los ensayos, si bien no resultaron un fracaso total, no dieron los resultados esperados. Actualmente se siguen efectuando pruebas, y es probable que por esta vía puedan lograrse resultados espectaculares una vez que se logre la combinación apropiada de emulsiones y/o filtros necesarios.

A partir de los últimos diez o quince años se están utilizando cada vez con mayor intensidad las emulsiones apropiadas para la obtención de fotografías aéreas en colores. Este tipo de documentación es de particularísima importancia para el fotogeólogo puesto que, a la información común proporcionada por la película pancromática se agrega ahora el factor color, que le permite seguir más eficaz y seguramente el desarrollo de las diversas formaciones geológicas. Además es posible discernir mediante este procedimiento de fotografías en colores - y esta información sólo tiene valor de ejemplo - la presencia de bancos o niveles decolorados, muchas veces debidos a acciones químicas complejas originadas por la presencia de uranio, de modo que pueden constituirse en delatores de su presencia y, en cierto modo, orientar las investigaciones tendientes a su descubrimiento.

De más estaría decir que, para una región dada, donde la presencia de acumulaciones de uranio - o eventualmente de cualquier otro mineral - ha podido ya ser identificada con determinados niveles estratigráficos caracterizados por un color o tonalidad dados, la consiguiente prospección de áreas vecinas se simplifica hacia extremos increíbles si se emplea fotografía en colores.

La toma de vistas aéreas con emulsiones sensibles a los colores se encuentra limitada en su aplicación a niveles de vuelo que no excedan de los 8 a 10 mil metros de altura en razón de que el espesor mismo de la atmósfera produce un fuerte efecto de difusión. Las cantidades variables de polvo y humedad en suspensión - frecuentes en niveles atmosféricos inferiores - son circunstancias que malogran el efecto final de la fotografía, sobre todo quitando nitidez a los contornos de las superficies del terreno coloreadas diferencialmente.

Sin embargo, teniendo en cuenta que el costo de la película fotográfica en una misión de fotografía aérea equivale a un porcentaje mínimo de los gastos totales, muchas campañas se programan actualmente equipando los aviones fotográficos con varias cámaras y se toman simultáneamente vistas con película pancromática, infrarroja y en colores. De esta manera, a un costo final ligeramente superior, se obtiene un caudal de información completo, especialmente apreciado no sólo por el tipo de ilustración que provee independientemente cada tipo de película, sino por los resultados sorprendentes que se obtiene de la comparación o estudio simultáneo de ellas.

Llegados a este punto será bueno dejar establecido que de los distintos tipos de fotografías aéreas - satelitales, oblicuas y verticales - se hace uso intensivo solamente de las mencionadas en último término, de modo que a ellas nos referiremos de manera preferencial en adelante. Las películas en colores o sensibles al infrarrojo han sido muy poco utilizadas en Argentina, al menos en misiones fotográficas aéreas regulares, por lo que en adelante nos referiremos solamente a películas pancromáticas.

Se designa con el nombre de fotografías aéreas verticales aquellas vistas tomadas desde el aire mediante el desplazamiento de un móvil aéreo de cualquier tipo, a bordo del cual se encuentra la cámara fotográfica correspondiente; el eje óptico debe ser vertical.

Como quiera que no siempre es fácil obtener esta condición (los aviones utilizados sufren oscilaciones y alabeos durante sus vuelos operativos), se ha establecido una tolerancia máxima de 4° con la vertical absoluta, cifra de compromiso compatible con el apropiado aprovechamiento fotogramétrico de la fotografía aérea.

Para los solos trabajos de fotointerpretación dicha tolerancia puede llevarse a valores algo más altos, pero sería deseable que en ningún caso excediese de 7° - 8° para evitar las deformaciones perimetrales demasiado grandes en los fotogramas y, en casos extremos, falencias en el recubrimiento.

Las fotografías aéreas verticales, y también las oblicuas, pueden tomarse desde a bordo de un avión pequeño, utilizando casi cualquier tipo de cámara fotográfica. En estos casos, y mediante el simple arbitrio de practi-

car en el piso del avión una abertura de tamaño apropiado, pueden efectuarse relevamientos aerofotográficos a escala de pequeño denominador (1:5.000; 1:10.000; 1:20.000), pero es evidente que los trabajos de mayor envergadura, con escalas previstas de 1:50.000 a 1:80.000 por ejemplo, exigen aviones de mayor tamaño (los hay de diseño especial para estas misiones), que tengan gran autonomía de vuelo (6 a 8 horas), sean capaces de volar a gran altura (8.000 a 15.000 metros o más) y tengan gran estabilidad de vuelo y amplia visión para el navegante.

Aviones muy utilizados en misiones fotográficas son los americanos Douglas DC-3 y Boeing B-17. En Francia se dispone de un avión fotográfico especialmente diseñado, el Hurel-Dubois-34, que se caracteriza por ofrecer un puesto especial, totalmente vidriado, y ala alta, que facilitan enormemente la fundamental tarea del navegante.

Sin embargo, todos estos aviones tienden a ser reemplazados por los más nuevos de propulsión a reacción con cabinas presurizadas y calefaccionadas convenientemente. Estas máquinas son más veloces y "trepan" mucho más rápido, de modo que con ellas se logra un mejor aprovechamiento de los días aptos para obtener fotografías aéreas (que en algunas regiones son bastante escasos durante todo un año); igualmente, en base a su mayor velocidad, se aprovechan mejor las horas aptas del día, o sea aquellas en que la luz solar no sea demasiado oblicua con el objeto de que los accidentes del terreno no produzcan sombras excesivamente largas.

Actualmente las cámaras fotográficas destinadas a fotografía aérea han llegado a un grado de diseño y construcción realmente muy avanzado, al punto que es muy difícil seleccionar entre las distintas marcas que se ofrecen en el mercado. Cada modelo presenta distintas ventajas según el tipo específico de trabajo a que va a ser destinado.

Sin embargo, se consideran características muy importantes las siguientes: la mayor capacidad en cuanto al número de vistas posibles de obtener sin necesidad de cambiar de depósito de películas o placas; posibilidad de disparo automático reglado mediante intervalómetro; protección contra el frío y las vibraciones propias del avión.

Dentro de la gran variedad de cámaras fotográficas aéreas existentes se distinguen dos tipos principales: las que usan placas de vidrio como sostén de la emulsión sensible y las que emplean película común, con base de acetato o similar no inflamable (película de seguridad). Entre las primeras pueden citarse las cámaras Poivillers-S.O.M. (francesas), O.M.I. (italianas) y Wild (suizas); entre las segundas, además de las ya citadas, pueden mencionarse: Fairchild (americanas), Galileo (italianas), Williamson (inglesas), Zeiss Aerotopograph (alemanas), Zeiss-Iéna (alemanas orientales) y Zniigaik (rusas).

Las placas de vidrio ofrecen como principal ventaja su indeformabilidad, pero en cambio son pesadas y de manipuleo y almacenaje dificultoso; son especialmente aptas para el posterior proceso fotogramétrico. La película común ha obviado los inconvenientes derivados del peso y dificultad de manejo y en buena medida también el primero citado, ya que las cámaras fotográficas modernas disponen de dispositivos neumáticos o mecánicos que mantienen a la película perfectamente plana en el momento de pro-

ducirse el disparo.

Pero, indudablemente, lo más importante de una cámara fotográfica es su óptica, es decir, su objetivo. Actualmente los más importantes fabricantes los han desarrollado a tal extremo que ya es común exigir en cualquier objetivo, cualquiera sea su procedencia, las siguientes características fundamentales: corrección cromática, de curvatura del campo y de aberraciones geométricas; alto poder de resolución y muy elevada claridad. Los objetivos de cámaras aéreas más comunes son los que disponen las relaciones 1:4; 1:5.6 y 1:6.3. En cuanto a las distancias focales, estas oscilan entre 100 y 300 milímetros. El campo fotográfico (ángulo) es también muy variable: los más comunes oscilan entre 45° y 90°, pero se han desarrollado algunas lentes cuyos campos superan los 130°, conservando todas sus otras buenas características.

El formato de los negativos suministrados por las cámaras aéreas más utilizadas es el de 18 x 18 centímetros y 24 x 24 centímetros. Este último tamaño parece que está logrando imponerse y, en Argentina, tanto los servicios oficiales como las empresas privadas que ejecuten trabajos de fotografía aérea, también lo están adoptando.

Algunas cámaras fotográficas vienen provistas de indicadores especiales que graban, sobre un costado del negativo que se está obteniendo con cada disparo, una serie de indicaciones sumamente útiles para las operaciones utilitarias a que pueden ser sometidos los fotogramas.

En uno de los recuadros o ventanillas figura el número de la misión o el nombre de la misma; luego el número correlativo de la fotografía correspondiente a esa misión y, finalmente, una cifra que expresa en milímetros la distancia focal de la cámara aérea empleada. Esta indicación es sumamente útil puesto que junto con la altura de vuelo nos permitirá conocer la escala de la fotografía.

En otras ventanillas figuran datos tales como fecha, hora y altura de vuelo. Es importante, asimismo, que haya un nivel de burbuja a efectos de que el observador pueda saber rápidamente el tipo de deformación más notable y su ubicación en la fotografía.

Como en cualquier plano o mapa topográfico, también en una fotografía aérea la relación entre la dimensión de una imagen y la correspondiente a su objeto en el terreno, recibe el nombre de escala. Como en una misión fotográfica es poco menos que imposible mantener invariable la altura de vuelo del avión con respecto al suelo, siempre se habla -o al menos queda sobreentendido- que se trata de una escala media o aproximada (fig. 3 y 4).

La escala de una fotografía aérea está dada por una fórmula sencilla.

$$E = \frac{f}{h}$$

donde: E = escala; f = focal de la cámara fotográfica; h = altura de vuelo sobre el suelo (fig. 3).

El gráfico nos muestra una superficie llana de suelo AB fotografiada desde el aire y reproducida en la placa ab; figura igualmente el centro óptico O; h es la altura de vuelo sobre el suelo, tomada desde el centro óptico de la cámara, y f es la distancia focal de la misma.

Cuando se efectúan estudios cualitativos (fotointerpretación) puede considerarse, en general, que la fotografía vertical es una representación fiel del terreno, pero para el caso en que deban efectuarse ensambles apoyados en redes de triangulación o mediciones de distintos tipo (fotogrametría), debe tenerse presente que las imágenes están afectadas por dos principales tipos de deformaciones; unas debidas al relieve del terreno, y otras debidas a la no exacta verticalidad del eje de la fotografía.

El relieve del terreno, cuando ofrece altibajos marcados, origina fuertes diferencias de escala dentro de un mismo fotograma. La no exacta verticalidad del eje óptico da lugar de deformaciones hacia los bordes de las fotografías, proporcionales a los valores de inclinación de dicho eje óptico. El primer factor de perturbación tiende a anularse si se toman las vistas fotográficas a la mayor altura posible, con lógica variación de escala, y teniendo en cuenta las limitaciones operativas del avión e instrumental seleccionados; la segunda perturbación se anula efectuando los vuelos fotográficos en días especialmente aptos y con pilotos de gran pericia.

Hemos visto ya en forma muy general las características más salientes de las fotografías aéreas verticales, de las cámaras aéreas apropiadas para su obtención y de los aviones encargados de transportarlas. Veremos ahora cual es la forma de sacar el mejor partido cualitativo de los fotogramas obtenidos.

Por medio de un artificio óptico y utilizando por lo menos dos fotografías de un mismo objeto obtenidas bajo un cierto ángulo, podemos recrear la visión estereoscópica (o estereovisión), que es característica de la visión binocular, y que permite al observador obtener la impresión mental de la tridimensionalidad de los objetos, es decir, verlos en relieve.

Para que ésto pueda ocurrir con las fotografías aéreas éstas deben ser tomadas de manera que en una secuencia dada cada fotografía cubra a la anterior en poco más de la mitad -60% digamos- de modo que en una serie de tres, el fotograma central cubre algo más de la mitad inmediata de cada uno de sus dos vecinos.

Los vuelos fotográficos se realizan en líneas paralelas lo más largas posibles y, naturalmente, para poder armar los fotoplanos sin que existan huecos o sectores no fotografiados, es necesario también que todas las líneas fotografiadas tengan también una superposición lateral, pero ya en este caso no hace falta un recubrimiento tan grande como en el caso de la superposición longitudinal: es suficiente con un 10% a un 15% (fig. 5).

El estereoscopio no es más un par de anteojos dotado de aumento -generalmente 2 a 4 aumentos- por intermedio de los cuales es posible examinar los pares fotográficos y obtener la imagen en relieve de los objetos. Hay estereoscopios de bolsillo que sirven para examinar fotografías de pequeño formato, o bien también las mayores pero con dificultad, ya que por lo menos

habrá que solapar una de ellas.

Los estereoscopios de bolsillo vienen ya preparados con cristales su ficientemente dimensionados como para que puedan ser utilizados por personas que tengan separaciones interpupilares mayores o menores que la normal, que es de unos 65 milímetros. En otros casos vienen provistos de un sistema regulador, generalmente accionado a tornillo.

Para los trabajos de gabinete se emplea el estereoscopio de espejos en los que mediante una construcción algo más compleja y el agregado de un par de prismas y otros tantos espejos se amplía considerablemente la base de observación y pueden examinarse con toda comodidad los fotogramas de mayor tamaño (24 x 24 centímetros) sin necesidad de solaparlos. Este tipo de estereoscopio suele venir provisto de un doble juego de oculares, uno de ellos con aumentos que oscilan entre 2 y 4, y el otro en que oscilan entre 6 y 10. Naturalmente en el primer caso el campo visual es mayor que en el segundo. Para los trabajos de fotogeología, salvo para casos muy específicos, se prefieren los oculares que proporcionan aumentos menores.

Existe una gran variedad de modelos y marcas de estereoscopios de espejos, pero su construcción obedece a patrones muy similares. Hay un modelo que se destaca, el llamado Delft, de construcción holandesa, que se caracteriza por ofrecer doble frontura y por lo tanto doble juego de oculares opuestos. Esta disposición es particularmente útil para la enseñanza puesto que puede utilizarse el instrumento por dos personas simultáneamente; también es de utilidad para la discusión de problemas determinados.

Disponemos ya del conocimiento de todos los elementos necesarios para iniciar un estudio fotogeológico. Sin embargo, para comenzar el exámen de los fotogramas es menester aún efectuar una operación previa con cada uno de ellos. En efecto, cada uno de los fotogramas tiene en sus cuatro cos tados marcas fiduciaras en sus partes medias, de modo que uniendo con una línea las marcas correspondientes a caras opuestas, se llega a determinar el centro de la fotografía mediante un punto al que llamamos principal (P. P.). En una secuencia fotográfica siempre será posible, si recordamos que cada fotograma está integrado por algo más de la mitad del que le precede y sucede, trasladar, mediante el uso del estereoscopio, el punto principal de cada una de las vistas citadas, de manera tal que cada uno de los fotogramas (con excepción del primero y del último de una secuencia) contará con tres puntos marcados: el propio central (P. P.) y dos correspondientes a sus homólogos de la fotografía anterior y posterior. A estos últimos llamamos puntos principales conjugados (P. P. C.).

Uniendo por medio de una línea los tres puntos que se acaban de men cionar de cada fotograma, se determina su eje horizontal, vale decir, la pró yección del itinerario del vuelo fotográfico, y es a lo largo de este eje que tendremos que hacer desplazar nuestros fotogramas bajo el estereoscopio para efectuar nuestro exámen. En la práctica, muchas veces se prescinde de esta marcación, sobre todo cuando el operador ha ganado ya en experiencia; sin embargo, es una operación sencilla, fácil de realizar, y proporciona in dicaciones que, cuando llega el momento de armar un conjunto con miras a con feccionar un fotoplano, suele prestar señalados servicios.

El exámen de los fotogramas debe ser efectuado, como se deduce de

lo que hemos venido diciendo, de a pares contiguos. Las observaciones pueden graficarse mediante signos convencionales en colores directamente sobre la fotografía, utilizando lápices grasos. Sin embargo esta práctica tiene sus inconvenientes ya que el fotograma sobre el que se dibuja va perdiendo claridad a medida que aumenta el número de trazas que sobre él se van dibujando. Se supera este inconveniente cubriendo las fotografías con una placa de material lo suficiente transparente y de su mismo tamaño, adherida a la fotografía mediante un par de pequeños trozos de papel o cinta engomada. Es bien conocida la utilización para estos fines del material llamado kodatrace, caracterizado por su buena transparencia e indeformabilidad y por presentar una cara brillante y otra mate, pudiéndose sobre esta última dibujar perfectamente bien con lápices comunes de color. En el país cada vez se usan más láminas de vinilo, con características muy semejantes aunque algo menos de transparencia, pero de costo varias veces inferior.

Partiendo de lo que se ha dicho más arriba de que cada fotograma abarca más de la mitad del que lo precede y sucede en una determinada secuencia, es evidente que sólo será necesario dibujarlos alternadamente para completar una franja o, dicho de otra manera, sólo será necesario consignar las observaciones sobre los fotogramas de numeración par o impar.

Los calcos deberán ser fijados cuidadosamente en el fotograma respectivo, efectuarle marcas fiduciarias (por lo menos dos en costados opuestos) para el caso de tener que ser despegados y vueltos a adherir, y anotar en cada calco la misma numeración que tiene el fotograma correspondiente.

La fotointerpretación se ejecuta invariablemente con el estereoscopio y su finalidad consiste en detectar todos los objetos y figuras que aparecen en los fotogramas para llegar a identificarlos, estableciendo las relaciones que cada uno tenga con la vecindad. Para ello las fotografías deben ser analizadas cuidadosamente, teniendo en cuenta principalmente las siguientes características: tamaño, forma, sombra, color, tono y textura. Todas estas características deben ser prolijamente evaluadas por el operador, contorneadas mediante dibujo cuidadoso y dotadas de símbolos apropiados.

Para el caso de fotointerpretación geológica o fotogeología, lo deseable será siempre que sea ejecutada por un geólogo ya formado y posteriormente entrenado en interpretación de fotografías aéreas. En estas condiciones el trabajo será realizado con un mayor margen de rapidez y seguridad (y la consecuente economía en los viajes de contralor al campo) y, por otra parte, nada mejor que el criterio de un geólogo para resolver un problema geológico.

Es indudable que un conjunto de fotografías aéreas puede servir a varias finalidades. Si se procede a estudiarlas con el objeto de extraer de ellas el máximo posible de información -y es recomendable que ésto se haga siempre- habrá que estudiarlas lenta y pacientemente, en lo posible sin dejar pasar ningún punto sin identificar y evaluar debidamente.

Pero en otras ocasiones solo se requiere un exámen preliminar rápido para, por ejemplo, delimitar una determinada formación geológica que ha de ser prospectada. En este caso el geólogo con buen conocimiento regional podrá distinguir a grandes trazos la formación que interesa, llamando la atención

sobre los sectores dudosos. El avance de los trabajos irá indicando las áreas que deberán ser estudiadas con mayor detalle.

Para el primer caso, es decir, para un estudio geológico integral de un área dada, se han establecido algunos pasos, el primero de los cuales ha adquirido jerarquía de clásico: se trata de que el operador deberá dibujar con la máxima prolijidad y en forma exhaustiva la red de drenaje del área en cuestión. Parecerá excesivo, pero nunca será suficientemente exigente sobre el particular ya que una red hidrográfica fielmente llevada al papel suministra al geólogo un cúmulo de información de incalculable riqueza puesto que le permitirá opinar acerca de la naturaleza de las rocas sobre las que se deslizan los ríos y arroyos, el tipo de pendiente, la presencia de discontinuidades geológicas o cambios de formaciones, fallas, diaclasas, plegamientos y, en algunos casos, hasta la sutil insinuación de estructuras sepultadas (domos, bloques de montaña, plegamientos). La red hidrográfica siempre es fácil de seguir y dibujar: un operador con mediana práctica podrá detectarla inclusive en una comarca llana y cubierta de selva.

Dibujada la red de drenaje el geólogo procederá a distinguir e individualizar los elementos que aparezcan en la fotografía siguiendo un orden decreciente en cuanto a tamaño e importancia, y en esta apreciación vuelven a tener vigencia los factores ya citados: tamaño, forma, sombra, color, tono y textura. Prestará atención a los cuerpos masivos y a las rocas estratificadas. En este último caso se afinará la observación para tratar de determinar la secuencia y establecer comparaciones con otros afloramientos dentro del mismo fotograma o en los vecinos. Anotará la mayor cantidad de rumbos y buzamientos de capas inclinadas: consignará todas las discontinuidades que puedan deberse a diaclasas o fallas y, en este último caso hasta es posible que puedan establecerse sentidos de desplazamientos y valores de rechazo. Las rupturas de pendiente en río y arroyos, como asimismo ciertas tendencias reiteradas en sus rumbos u ordenamientos serán evaluadas cuidadosamente. Los alineamientos que aparenten corresponder a largas fisuras o cordonadas podrán ser sospechados de rocas vetiformes más o menos duras que su roca encajante. En fin, la cita de casos posibles de resolver podría ser tan extensa como un buen tratado de geología.

Agregaremos ahora que una vez confeccionados todos los calcos correspondientes al área en estudio, el geólogo los ensamblará por el simple procedimiento de yuxtaponerlos, corrigiendo las eventuales deformaciones del conjunto mediante redes de triangulación cuando disponga de ellas. Así dispuestos los calcos se hará un nuevo dibujo de la totalidad del área y el trabajo estará listo o, en caso necesario, en condiciones de ser sometido a los controles de campo que resulten necesarios.

En esta última fase del trabajo la misma fotografía aérea presta un nuevo e inestimable servicio al poner en evidencia los mejores afloramientos o los perfiles más completos donde el geólogo podrá resolver más fácil y rápidamente sus dudas, al tiempo que podrá seleccionar las vías de acceso más apropiadas para cada caso.

Nos corresponde ahora referirnos al uso que se hace de las fotografías aéreas en la Gerencia de Exploración de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Fundamentalmente se las utiliza en trabajos de prospección por uranio, lo cual no quita que en algunas ocasiones se acuda a ellas para otros

finos como puede ser el caso de planificación de obras complementarias, caminos, actividades mineras, etc. Cuando se seleccionó el terreno para la Central Nuclear Atucha se lo hizo en base a fotografías aéreas especialmente obtenidas con ese objeto por la Gerencia de Exploración y con el posterior de planificar las distintas obras a ejecutar.

La República Argentina, gracias a un incremento apreciable en la actividad de los últimos años tiene fotografiado su territorio en casi el 100% de su superficie. La cobertura con imágenes satelitales es total (a escalas 1:3.369.000; 1:1.000.000; 1:500.000 y 1:250.000).

La información fotográfica disponible es de distinto valor y calidad, aunque las calificaciones del material son en general muy satisfactorias. Las escalas varían por lo común entre 1:20.000 y 1:60.000, ya que corresponden a relevamientos ejecutados con finalidades diversas.

En el país ejecutan tareas de relevamiento aerofotográficos varias instituciones oficiales como asimismo diversas empresas comerciales. El equipamiento es bueno y se espera que en pocos años más esté concluido el relevamiento total del país y se comience a renovarlos en aquellas áreas que vayan requiriendo modernización o escalas más detalladas.

Cuando en la Gerencia de Exploración se planifican trabajos de prospección, sean radiométricos aéreos o terrestres, geoquímicos o geofísicos, uno de los primeros pasos a dar consiste en procurar la cartografía del área programada. Si existe cobertura de fotografía aérea se prefiere este tipo de información, y el especialista que ha de actuar en la misión puede solicitar un estudio fotogeológico tan exhaustivo como lo requieran las circunstancias.

En el caso de las más recientes misiones prospección llevadas a cabo en el país, donde la exploración estuvo guiada por fotoplanos a escala 1:50.000 y en los cuales las formaciones geológicas más propicias para el hallazgo de minerales uraníferos y por lo tanto sujetas a exploración preferencial, resaltaban de modo tan claro y evidente por su coloración (tono) y por su tipo distintivo de relieve, pudo usarse el fotoplano aún sin la interpretación fotogeológica preliminar. Sin embargo, esa tarea deberá ejecutarse indefectiblemente en las áreas que resulten anómalas.

Cuando las tareas de prospección ponen en evidencia anomalías radiactivas interesantes y en la zona no existe cartografía o fotografía aérea a escala apropiada para apoyo de trabajos de exploración, trazado de caminos, ubicación de campamentos, obras complementarias, etc., se procede a efectuar relevamientos propios. En algunas oportunidades se utilizó el mismo tipo de avión que se empleaba en prospección aérea, es decir, un monomotor liviano tipo Cessna 180, y una cámara fotográfica aérea marca Kodak, tipo K-24.

La cámara mencionada tiene una distancia focal de 178 milímetros y foco 1:2,5, velocidades de obturación de 1/150; 1/450 y 1/900 avos de segundo (obturación a cortina); puede ser accionada manualmente o en forma automática mediante un equipo eléctrico completo que comprende motor de arrastre de la película y disparador automático o intervalómetro, alimentados por corriente de 12 v, CC. Esta cámara está habilitada para operar desde aviones

con velocidades de crucero que van de 130 a 800 kilómetros por hora. Utiliza película Kodak Super XX Aerographic, tipo 14, clase L (Topográfica), en rollos de 26 ó 56 pies de largo, útiles para obtener 54 ó 125 vistas de 140 milímetros de lado cada una.

Con una cámara de las características apuntadas y utilizando aviones pequeños pueden efectuarse relevamientos a escalas que oscilan entre 1:5.000 y 1:20.000 - dependiendo en gran medida esta circunstancia de la altura sobre el nivel del mar del terreno a fotografiar - y generalmente sobre áreas reducidas (entre 25 y 100 kilómetros cuadrados), para resolución de problemas particulares. Con todo, cuando fue necesario un esfuerzo mayor para apoyo de tareas de exploración en áreas vírgenes de cartografía, se efectuó en Patagonia en relevamiento de 1:200 kilómetros cuadrados.

Este tipo de trabajo resulta relativamente caro puesto que en la actualidad el costo es de algo más de 8 dólares por kilómetro cuadrado para levantamiento a escala 1:10.000, pero en cambio es de rápida obtención puesto que se emplea el mismo avión que para prospección aérea, y el cambio de instrumental insume contados minutos.

En cuanto a las fotografías aéreas que se adquieren en instituciones oficiales o empresas comerciales, generalmente a escalas que oscilan alrededor del 1:50.000, y en formatos de 18 x 18 ó 24 x 24 centímetros, cuestan entre 2,00 y 3,00 dólares cada una.

Los costos de fotointerpretación geológica -aún menteniéndose dentro de márgenes modestísimos- son extremadamente variables y, naturalmente, inciden en los mismos en forma determinante la escala y las posteriores tareas que deban efectuarse sobre el terreno para realizar las comprobaciones necesarias. También importa el tipo de trabajo que se realiza: si se trata de una labor formal y definitiva o de un simple reconocimiento fotogeológico.

A simple título ilustrativo puede adelantarse que, en un programa de envergadura de exploración minera completa de un territorio de varios miles de kilómetros cuadrados (de 10.000 a 15.000, como mínimo), la obtención de la fotografía aérea a escala 1:50.000 representa alrededor de un 4% de los gastos totales del plan, en tanto que un porcentaje similar debe ser asignado a los gastos inherentes al control sobre el terreno, compilación planimétrica y confección de mosaicos controlados. Estas cifras son válidas -se insiste- cuando se consideran planes de envergadura, de jerarquía nacional, en los cuales los costos totales finales ascienden a 50 o más dólares por kilómetro cuadrado.

Para finalizar conviene dejar dicho que América Latina necesita lanzarse definitivamente por el camino de su progreso económico y social y que para lograrlo es imprescindible intencificar al máximo el desarrollo de sus riquezas naturales y para ello es evidente que necesita contar con buenas bases cartográficas. La fotografía aérea y su explotación eficiente ayudarán de manera inestimable.

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

Es copiosísima la bibliografía existente sobre temas de Fotogeología, de modo que el interesado en el tema puede escoger entre una amplia gama de libros, folletos y publicaciones. La circunstancia de que se citen tan pocas obras -lo cual va sin desmedro de la multitud que no figura- se debe al hecho de que en ellas se encontrará también mencionada una amplia bibliografía, eventualmente con clasificación temática.

- (1) - BANDAT v., H.F. - Aerogeology - Gulf Publish. Co., Houston. (1962).
- (2) - CHEVALLIER, R. - Photographie Aérienne - Gauthier - Villars, París. (1965)
- (3) - MILLER, V.C. - Photogeology - Mc Graw Hill, N. York. (1961).
- (4) - DE ROMER, H.S. - Fotogeología Aplicada - Editorial Universitaria de Buenos Aires, Bs.Aires. (1969).

Además deberá tenerse en cuenta la *Révue de Photo-Interpretation*, Editions Technip, que se edita en Francia desde el año 1962.

Mención especial merecen las valiosas publicaciones en idioma castellano, producidas por el Centro Interamericano de Fotointerpretación de Bogotá (Colombia).

FOTOGRAFÍAS VERTICALES

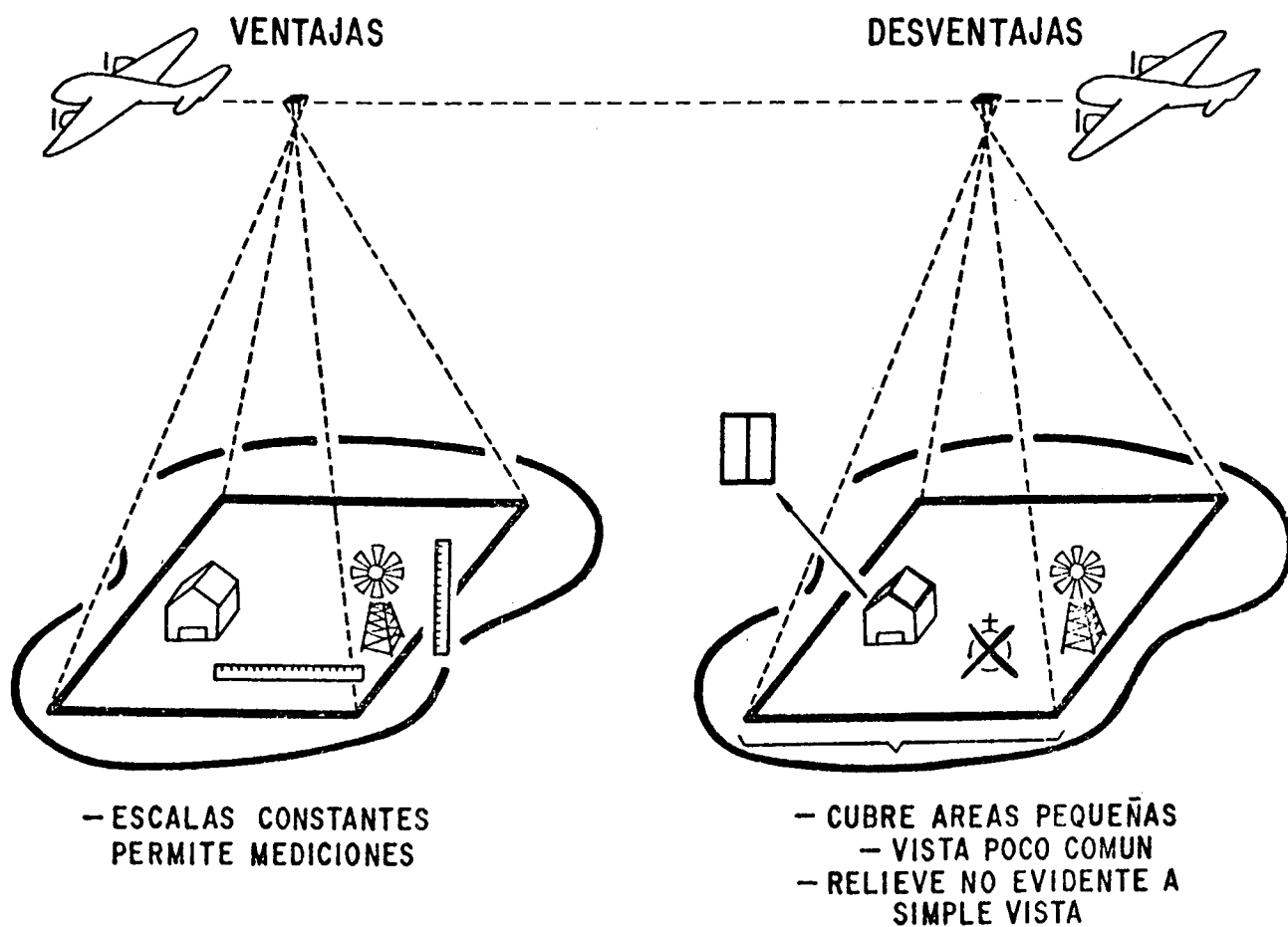


Figura 1

FOTOGRAFIAS OBLICUAS

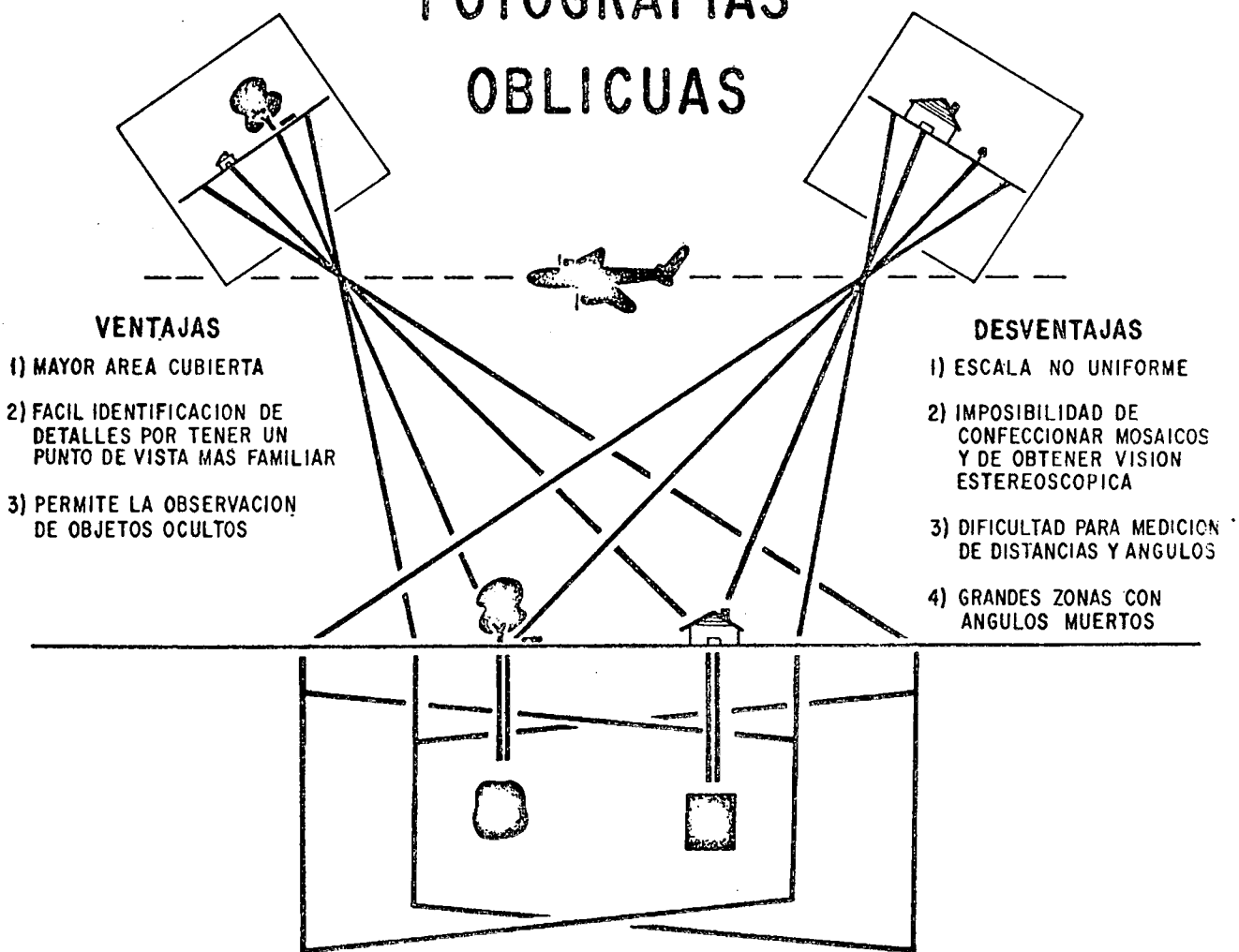


Figura .2

LONGITUD FOCAL ALTURA DE VUELO

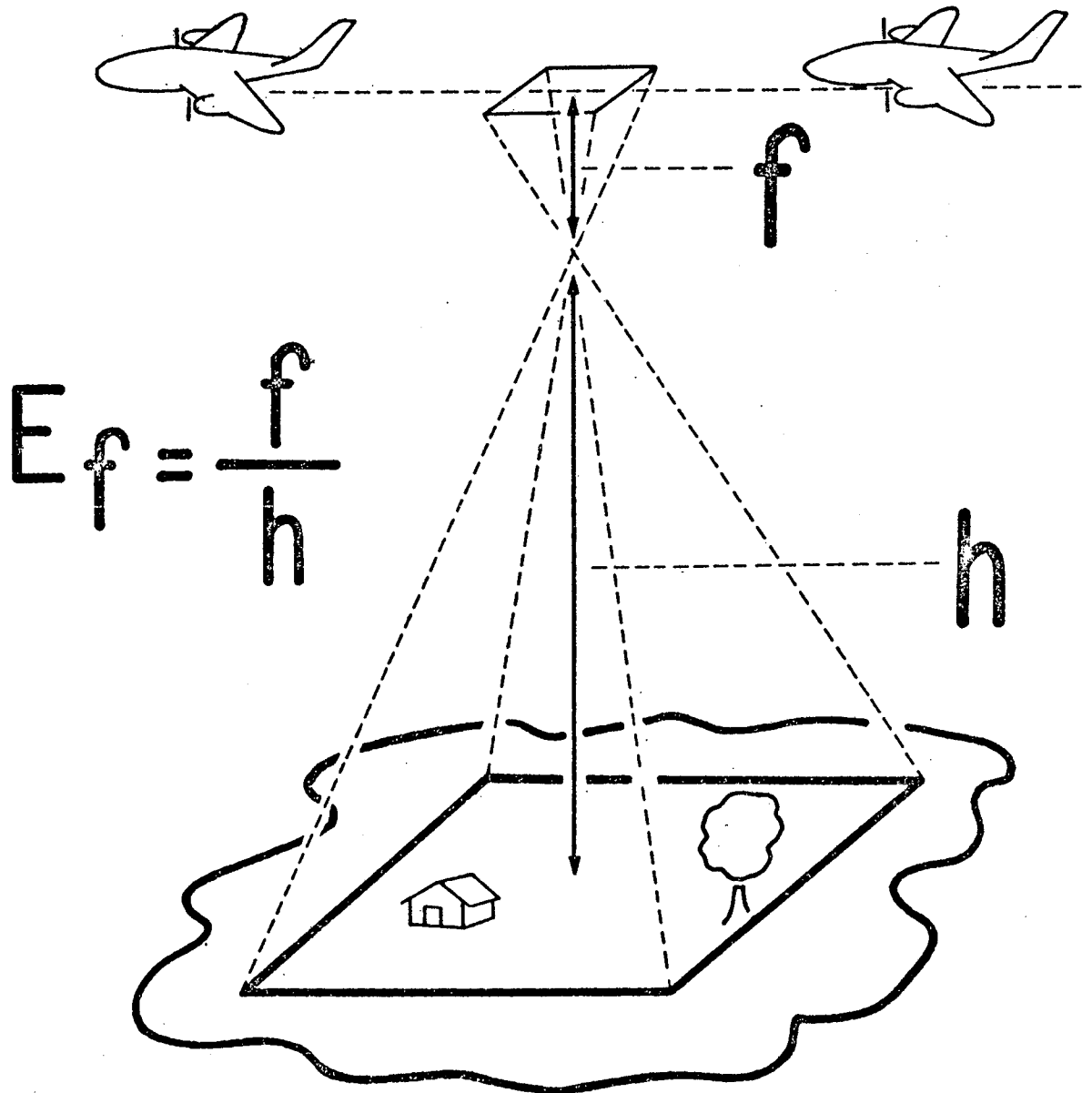


Figura 3

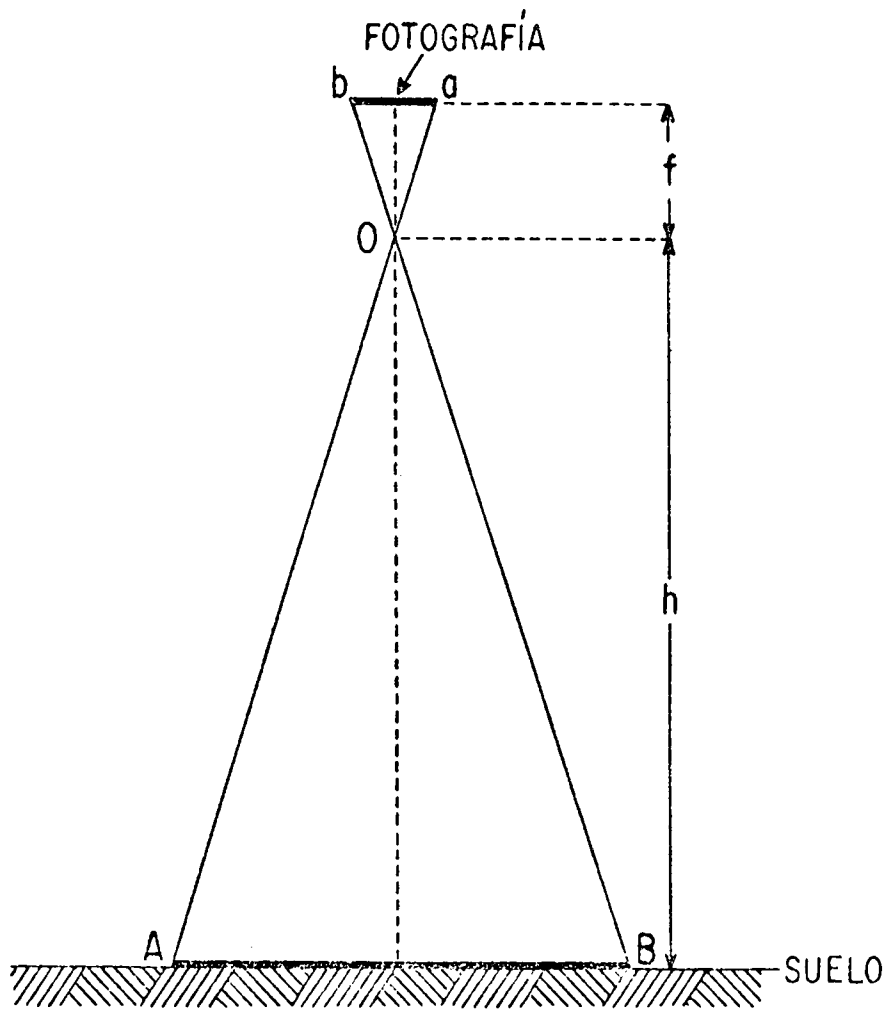


Figura 4

ESQUEMA DE UN VUELO FOTOGRAFICO

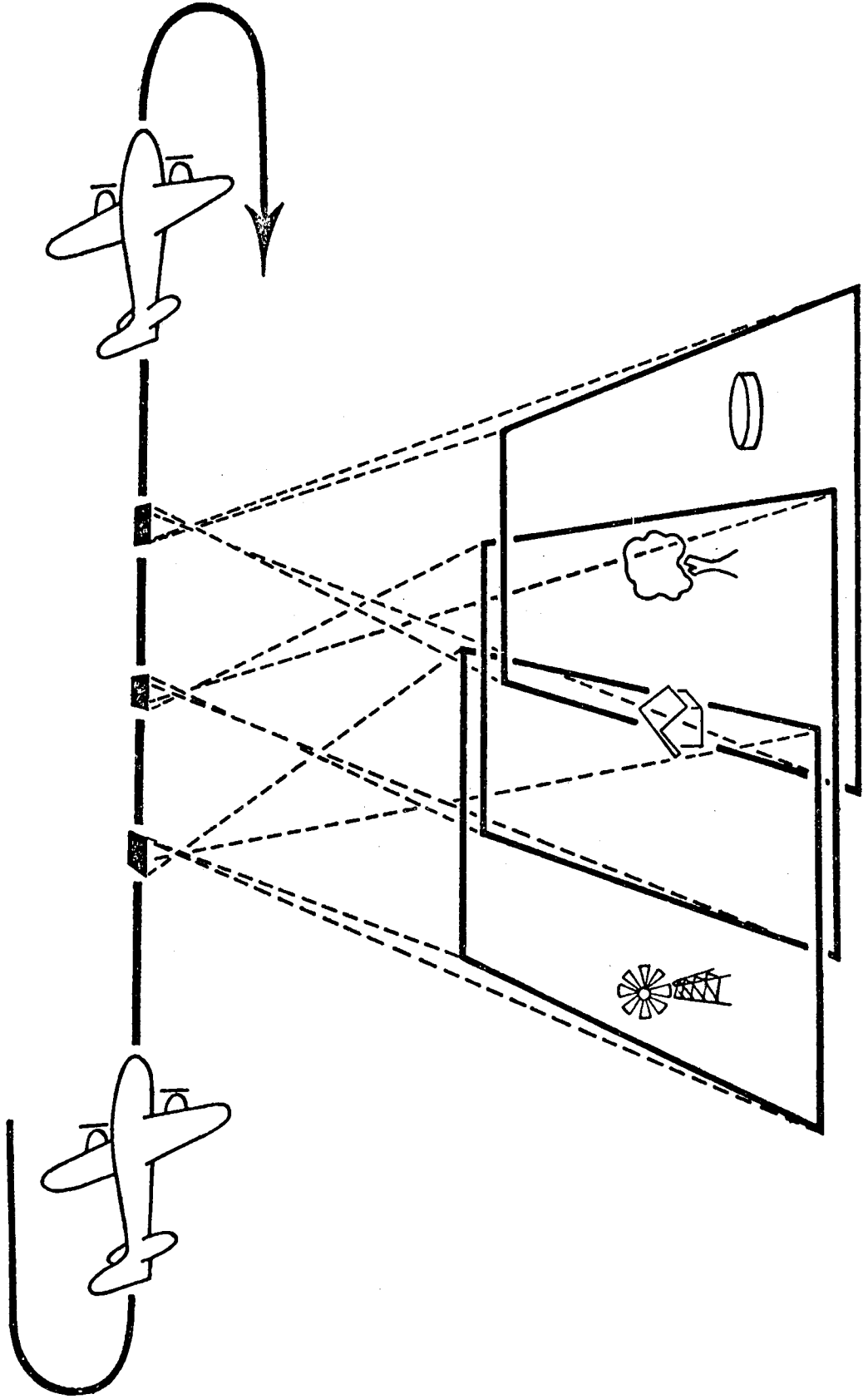


Figura 5

ETAPAS DE FOTOINTERPRETACIÓN Y OBTENCIÓN DE MAPAS

