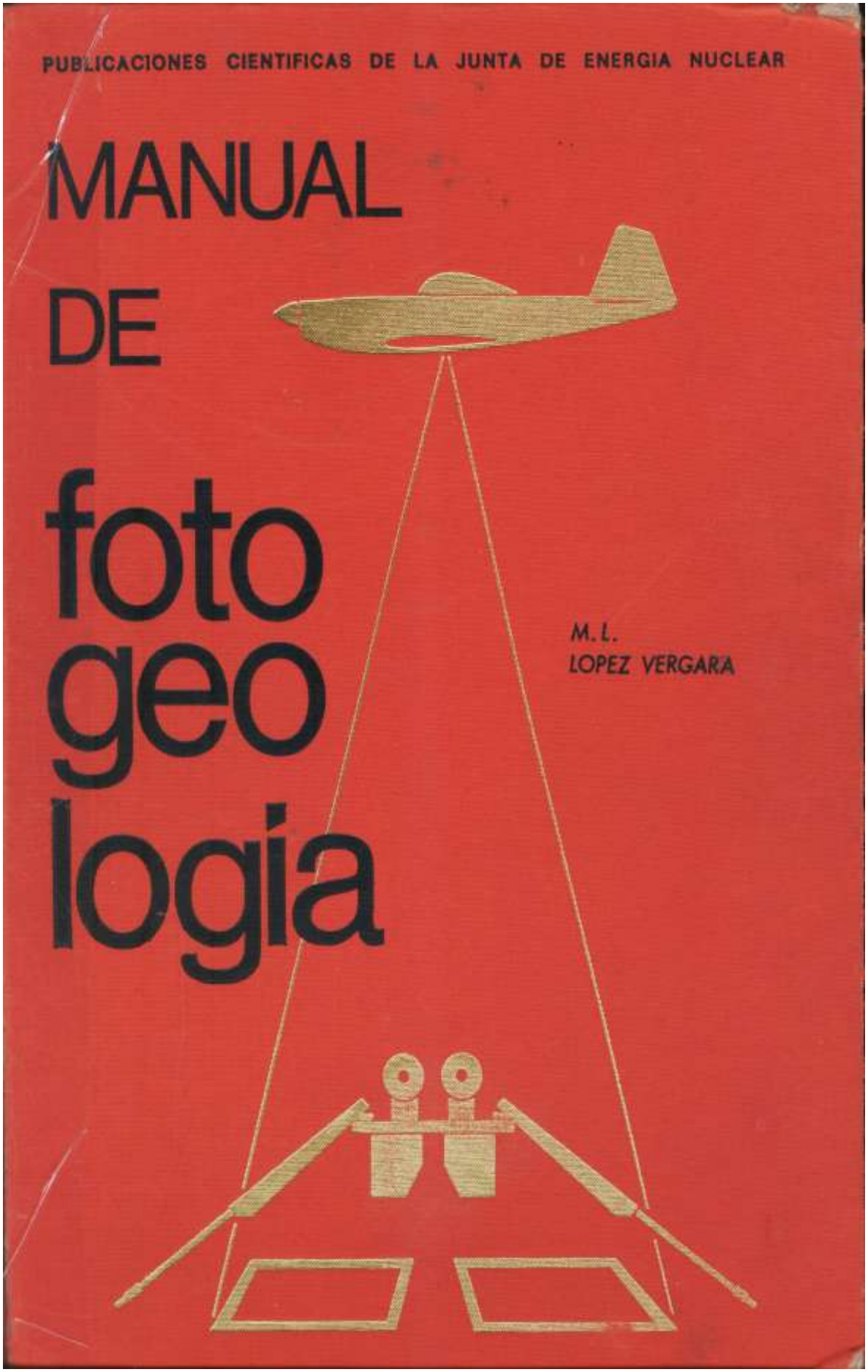
PUBLICACIONES CIENTIFICAS DE LA JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

MANUAL DE fotogeología



M. L.
LOPEZ VERGARA

PUBLICACIONES CIENTIFICAS DE LA JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

MANUAL
DE
FOTOGEOLOGIA

M. L. LOPEZ VERGARA

Fotogeólogo al servicio de la Junta de Energía Nuclear

SERVICIO DE PUBLICACIONES DE LA J. E. N.

MADRID, 1971

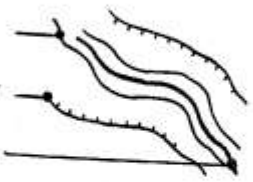
Leyenda

A) VIAS DE COMUNICACION Y OBRAS HUMANAS (en color rojo).

1. Carreteras ... ...
2. Caminos ... ...
3. Cañadas ... ...
4. Vías férreas .. ..
5. Ciudades y pueblos . ...
6. Castros (celtas, íberos, etc.) ... ...
7. Mina .. ..
8. Cantera ... ...
9. Mina abandonada ... ...
10. Cantera abandonada ... ...
11. Escombrera ... ...

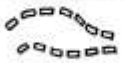
B. HIDROGRAFIA (en color azul).

1. Ríos
   - *a)* cauce normal ... ...
   - *b)* » de inundación ... ...
   - *c)* canal de estiaje . ...



2. Arroyos
   - *c)* esporádicos .. ..
   - *b)* estacionarios . ...
   - *a)* perennes .. ..

3. Brazos de crecida ... ...

4. » muertos .. .. 

5. Meandros abandonados ... ...

6. Valle ciego ... ...

7. Río que reaparece en un punto ... ...

8. Lagos y lagunas
   - *a*) permanente .. ..
   - *b*) estacionario .. ..

9. Cubeta de decantación .. ..

C) FORMAS MARINAS (en color azul).

1. Nivel del mar ... ...

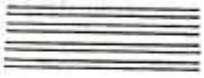
2. Nivel máximo de marea ... ...

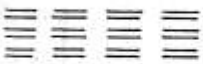
3. Marismas ... ...

4. Costas de emergencia ... ...

5. Costas de subsidencia .. ..

D) GEOMORFOLOGIA (en color negro).

1. Superficies de erosión .. .. 

2. Superficies de erosión degradadas ... ... 

3. Escarpes .. ..

4. Terrazas marinas o playas colgadas ... ...
5. Plataforma de abrasión ... ...

6. Tierras malas ... ...

7. Torcas y dolinas
   - *a*) pequeñas ... ...
   - *b*) grandes ... ...

E) FORMAS DE ACUMULACION

1. Solifluxión ... ...

2. Colada fangosa ... ...

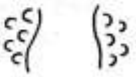
3. Desprendimiento de tierras ... ...

4. Conos de deyección . ...

5. Zona de derrubios .. ..

Glaciares:

6. Morrenas
   - *a*) de fondo .. ..
   - *b*) laterales ... ...



7. Conos fluvioglaciares ... ...

8. Zona de derrubios fluvioglaciares . ...

Eólicas:

9. Dunas . ...

10. Dunas con escarpe marcado ...

Marinas:

11. Playas con
    - *a*) limos ...
    - *b*) arenas ...

12. Flecha litoral ...

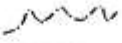
13. Dunas litorales ...

14. Cordones litorales o restingas ...

15. Deltas sumergidas ...

16. Corriente fangosa que se adentra en el mar ...

F) RASGOS GEOLOGICOS

1. Contacto entre dos formaciones distintas (en tinta china negra) ...
    - *a*) seguro ...
    - *b*) probable ...
    - *c*) no localizado ... 

(A ambos lados del contacto debe marcarse el color correspondiente a la formación.)

2. Afloramiento de estratos (en el color correspondiente) ...

3. Afloramiento de estratos con escarpe ...

4. Estrato con
   - *a)* buzamiento pequeño ...
   - *b)* » medio ...
   - *c)* » grande ...

   La flecha debe ocupar la superficie visible del estrato (1.°); caso de ser ésta muy limitada, se pondría el buzamiento como en el 2.° caso.

5. Estratos horizontales ...

6. » subhorizontales ...

7. » verticales ...

8. Buzamiento conocido ...

9. » hallado por métodos fotogeológicos ...

10. Dirección de esquistosidad ...

G) GEOLOGIA ESTRUCTURAL

1. Sinclinal simétrico ...

2. » asimétrico ...

3. Anticlinal simétrico ...

4. » asimétrico ...

5. » volcado ...

6. Sinclinorio: eje de la charnela regional ...

7. Anticlinorio: eje de la charnela regional ...

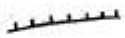
H) TECTONICA (en negro).

1. Diaclasas ... ...

2. Fracturas
   - *a*) seguras ... ...
   - *b*) probables ... ...

3. Fallas
   - *a*) seguras ... ...
   - *b*) probables ... ...
   - *c*) no localizadas ... ...
   - *d*) ocultas ... ...

4. Falla en dirección ... ...

5. Falla de gravedad
   - *b*) directa ... ... 
   - *a*) mostrando el labio hundido ... ...
   - *c*) inversa ... ...

6. Falla de gravedad con escarpe ... ...

7. Cabalgamiento ... ...

8. Ventana tectónica ... ...

9. Klippe ... ...

CAPITULO I

Estudio de los diversos tipos de fotografías aéreas y técnicas fotográficas

I.1. *Diversos tipos de fotografías aéreas.*

I.2. *Fotografías en color.*

I.3. *Fotografías tomadas con película infrarroja.*

I.4. *Utilización de las fotografías.*

I.5. *Formato de las fotografías aéreas y principales tipos de escalas empleados.*

I.6. *Datos informativos de las fotografías.*

I.7. *Orientación de las mismas.*

I.8. *Adquisición.*

CAPITULO I

Estudio de los diversos tipos de fotografías aéreas y técnicas fotográficas

I.1. DIVERSOS TIPOS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS. Las técnicas que emplean fotografías aéreas encuentran cada día mayor difusión, presumiéndose que su extensión será tanto mayor cuanto más se perfeccionen los sistemas empleados en ellas. Actualmente se emplean en planimetría, geología, edafología, arqueología, agricultura, estudios forestales, urbanismo, ingeniería, análisis de vías de comunicación, etc.

Según el ángulo de toma, las fotografías aéreas pueden ser *verticales*, cuando el eje óptico de la cámara coincide con la vertical de lugar del campo fotografiado (Fig. I-1 a), y *oblicuas*, cuando la toma se realiza con un cierto ángulo respecto a esta vertical, ángulo que normalmente oscila entre los 10 y 30 grados para fotografías aéreas, pudiendo ser mayor en las fotografías tomadas desde satélites artificiales.

Dentro de las fotografías oblicuas, se pueden obtener *fotografías oblicuas bajas*, con un ángulo de toma superior a los 10°, pero inferior al que sería necesario para poder fotografiar el horizonte (Figs. I-1 b y I-2). En las *oblicuas altas o panorámicas* (Fig. I-1 c), el ángulo de toma es superior, siendo visible en la fotografía la línea del horizonte (Fig. I-3).

Existen también tomas especiales como el **TRIMETROGON**, compuesto de una fotografía vertical y dos oblicuas altas tomadas simultáneamente con una triple cámara (Fig. I-4). Las cámaras laterales están situadas de tal manera que su eje óptico forma un ángulo de 30° con respecto al eje óptico de la cámara central. La escala a la que se suele trabajar con el Trimetrogón es de 1/40.000, y el tamaño de las fotografías obtenidas es de 23 × 23 cm.

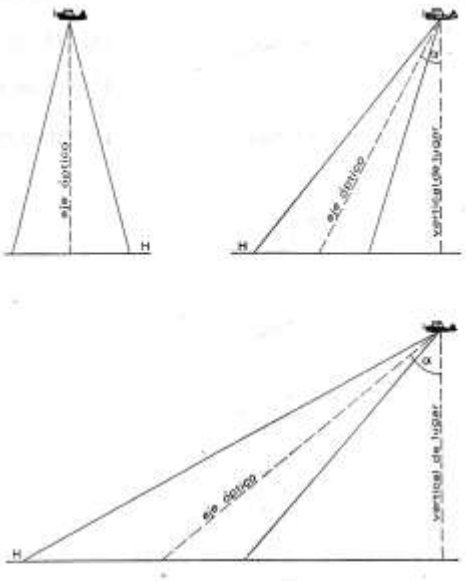


FIG. I-1. DIVERSOS TIPOS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS SEGÚN SU ÁNGULO DE TOMA.—a) *Fotografías verticales*: En este caso el eje óptico de la fotografía coincide con la vertical de lugar.—b) *Fotografía oblicua baja*: El eje óptico forma un ángulo (α) con la vertical de lugar, ángulo que debe ser superior a 10° e inferior al que sería necesario para fotografiar el horizonte.—c) *Fotografía oblicua alta o panorámica*: Angulo de toma (α) suficiente para que quede fotografiada la línea del horizonte.

El sistema del Trimetrogón ofrece una serie de ventajas sobre las fotografías verticales en algunas ocasiones. Estas pueden ser, por ejemplo:

— El menor coste del vuelo, al poder cubrir rápidamente y con menos pasadas una zona determinada.

— El conjunto de fotografías sacadas por este medio permiten una rápida inspección del

FIG. I-2. *Fotografía oblicua baja.*—El ángulo de toma es superior a los 10°, pero inferior al que sería necesario para fotografiar el horizonte.

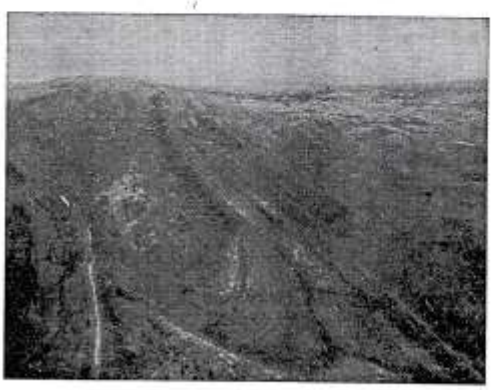


FIG. I-3. *Fotografía oblicua alta o panorámica.*—El ángulo de toma es suficiente para que aparezca fotografiada la línea del horizonte. La presente fotografía muestra un anticlinal formado por calizas cretácicas. A la derecha de la misma, y formando la llanura, aparece el Mioceno.

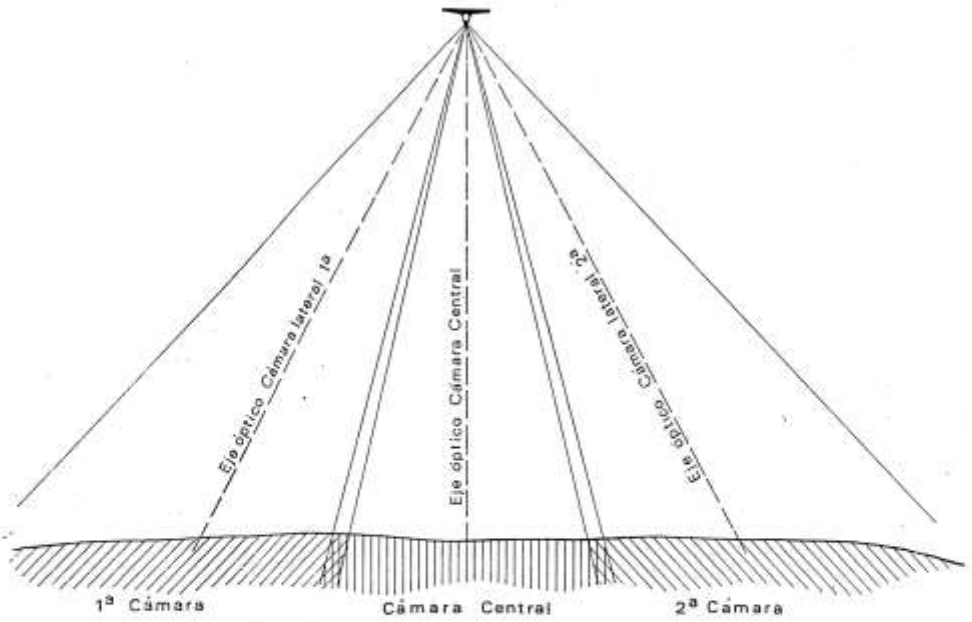


FIG. I-4. *Trimetrogón*, mostrando el montaje de tres cámaras fotográficas que actúan simultáneamente. La cámara central está dispuesta para tomar fotografías verticales, mientras que las dos laterales son las encargadas de tomar fotografías oblicuas, con un ángulo de toma de 30° con respecto a la vertical. Este sistema se emplea principalmente en vuelos de reconocimiento, por la gran extensión de terreno cubierto por medio de las fotografías oblicuas.

terreno, dada la gran extensión del mismo cubierto por las fotografías oblicuas.

— Las condiciones de navegación en la toma de estas fotografías no son tan precisas como las que exige la toma de fotografías verticales, en cuanto a constancia de rumbo, altura, verticalidad de la cámara en el momento de la exposición, etc., lo cual permite sacar las fotografías con mucho menor costo.

Sin embargo, las desventajas que ofrece este sistema son también considerables, como son, por ejemplo:

— Las fotografías oblicuas son de calidad muy inferior a las verticales.

— La escala de las mismas decrece rápidamente hacia los bordes, siendo inservible para trabajar con una cierta precisión. Así, la escala del Punto Central en las fotografías oblicuas, viene a ser la mitad de la del Punto Central de las fotografías verticales.

Por todas estas razones, el sistema Trimetrogón se suele aplicar para la inspección previa de grandes áreas, a fin de delimitar las zonas más convenientes para un reconocimiento posterior más detallado.

En fotogeología se emplean casi exclusivamente las fotografías verticales, por suministrar una información más completa para los fines perseguidos.

Actualmente se emplean principalmente fotografías en blanco y negro tomadas con película pancromática, sensible entre 4000 y 7000 A, ya que es la más uniforme en sensibilidad a las longitudes de onda comprendidas en el espectro visible. Con el fin de intensificar el contraste, es frecuente el empleo de filtros con tonos azulados. En el Capítulo VIII se hablará más ampliamente de este tipo de películas.

I.2. FOTOGRAFÍAS EN COLOR.—El uso de la fotografía en color ofrece una serie de ventajas sobre la película pancromática, entre ellas una mayor facilidad para la identificación de materiales, al aportar los cambios de matiz y el matiz característico, dato que falta en las fotografías en blanco y negro, en las que el único elemento de juicio que tenemos sobre el color original de una roca es el cambio de intensidad del negro dentro de una gama reducida de grises.

Sin embargo, sus limitaciones, principalmente las de tipo económico, son también muy grandes, y esto ha hecho que la extensión y comercialización de este tipo de fotografías sean por ahora mínimas.

La fotografía en color puede obtenerse por dos sistemas distintos. Uno es el de la obtención de un negativo cuyo revelado posterior dará lugar a la obtención del positivo o fotografía, al igual que ocurre con las películas pancromáticas. El otro es el empleo de película reversible, cuya toma y revelado se realiza directamente sobre el mismo papel. Este tiene la ventaja de la mejor resolución de las diapositivas, al no ser necesario el empleo de copias. Las copias de contacto, sin embargo, siempre sufren una pérdida de resolución. Este sistema ofrece el inconveniente de que la fotografía obtenida es el único documento resultante, con todos los inconvenientes que esto puede suponer.

Las principales desventajas de la fotografía en color respecto a la de blanco y negro se pueden reducir a dos factores principales: el técnico y el económico.

— Aunque la sensibilidad de la película en color cubre el espectro visible, la *linearidad de su escala* es diferente respecto a la del ojo humano, lo que se traduce en que los colores obtenidos en la fotografía no coinciden con los percibidos por el ojo humano.

— *La influencia de la humedad sobre la sensibilidad de estas películas es muy grande*, dando lugar a que las zonas húmedas aparezcan en la fotografía en unos colores muy distintos a los que tendrían si estuviesen secas.

— *Las condiciones atmosféricas y luminosas que se requieren para la toma de estas fotografías son muy críticas.* Ello repercute de varias maneras en las limitaciones de las mismas, como pueden ser:

1.º El tiempo en el que es factible la toma de fotografías queda reducido a las horas centrales del día, quedando disminuido en un 50 por 100 con respecto al que se ne-

cesita para trabajar con película pancromática.

2.° Esta reducción influye también en los meses en los cuales es posible trabajar con este tipo de película. Todo ello da lugar a una producción anual muy baja.

3.° Esta limitación en la producción, repercute en el costo de las fotografías, siendo el mismo muy alto en comparación con el de las obtenidas por el sistema de blanco y negro. *Este costo puede suponer de un 30 a un 100 por 100 o más del precio de las fotografías en blanco y negro,* dependiendo el encarecimiento de las condiciones de trabajo de la zona sobrevolada.

4.° La necesidad de una buena visibilidad, luminosidad y, en general, de las condiciones atmosféricas óptimas que estas fotografías requieren, dan lugar a que *la altura de vuelo máxima a la que se puede trabajar sea generalmente baja.* Ello repercute, por lo tanto, en que la escala de la fotografía quede muy limitada, alcanzando una escala máxima de 1/20.000 para películas reversibles, y 1/15.000 para las obtenidas con el sistema positivo-negativo.

5.° El revelado de este tipó de películas es mucho más laborioso y complicado que el de las pancromáticas, además de resultar su costo mucho más elevado.

Sin embargo, el empleo de la fotografía en color ofrece una serie de ventajas considerables en el estudio fotogeológico. Así, *son una valiosa ayuda en el estudio de las rocas plutónicas,* pudiéndose separar, por su distinto color, tipos de rocas que en las fotografías de blanco y negro se confunden. como pueden ser gabros, sienitas, distintos tipos de granitos, etc.

— El estudio de las *rocas metamórficas* también se puede realizar mejor con la fotografía en color que con la de blanco y negro. Esto es porque, debido a la gran complejidad que este tipo de rocas ofrece, el poder trabajar con el dato del color, significa una gran ventaja en la identificación de los diversos materiales y seguimiento de los contactos.

— El empleo de la fotografía en color es muy útil en el caso de tener que trabajar en un terreno en el que debido al intenso recubrimiento, los *afloramientos aparezcan muy dispersos.* La intensidad del color de las rocas aflorantes, contrastando con el del recubrimiento, es una gran ayuda para el estudio de la extensión del afloramiento y localización de los contactos.

— El estudio de las fallas puede ser detectado por las anomalías existentes en la intensidad del color.

— Otra faceta interesante de las fotografías sacadas con esta técnica es el *estudio de las zonas mineralizadas y de alteración.* Así, por ejemplo, el intenso color de los minerales de uranio, confiere a las zonas mineralizadas un color anómalo en comparación con el resto de la misma roca que se presenta sin mineralizar. Esta diferencia de color puede llegar a ser detectado en algunos casos en la fotografía.

— La mejor sensibilidad de la película en la zona azul-violeta del espectro, en comparación con las películas pancromáticas (en éstas, esta zona queda prácticamente eliminada por el empleo de filtros), hace de la fotografía en color un elemento muy valioso en el estudio de las *zonas de bajos fondos,* tanto marinos como lacustres. Así, en el estudio de puertos, corrientes costeras, deltas sumergidos, etc., este tipo de fotografía es una valiosa ayuda.

— Las *zonas sombreadas* se pueden estudiar también con mayor facilidad en la fotografía en color que en la de blanco y negro. Es, por tanto, útil en las zonas de alta montaña, donde la densidad de sombras es bastante alta. Esta ventaja queda limitada con el empleo de películas espectrozonales, debido a la densidad de los filtros empleados con ellas.

Todo lo expuesto anteriormente limita el empleo de la fotografía en color, debido a su alto costo, a las zonas en las cuales su uso es muy conveniente, y aún así en estos casos se suele realizar una inspección general del terreno, trabajando primero con película pancromática, y una vez se-

leccionadas las zonas interesantes, se realiza un segundo vuelo con película en color.

Actualmente las áreas sobrevoladas sistemáticamente con película en color son muy escasas, siendo necesario, en la mayoría de los casos, encargar vuelos especiales de las que se deseen.

I.3. FOTOGRAFÍAS TOMADAS CON PELÍCULA INFRARROJA.—El uso de este tipo de fotografías no está aún muy divulgado en el estudio fotogeológico, aunque últimamente se está empezando a extender. La película con la que estas fotografías están tomadas, es sensible desde los 4.000 hasta casi los 9.000 Å.

Las fotografías en infrarrojos son aconsejables para trabajar en zonas de baja visibilidad, por la claridad de detalle que se obtiene con este tipo de película pancromática. Ello es debido a la menor difusión que sufren los tonos rojos (y con mayor motivo los infrarrojos), en comparación con los tonos azules. Por lo tanto, las partículas de vapor de agua, darán lugar a una difusión de la luz solar que tiende a igualar la luminosidad relativa de los objetos, haciendo desaparecer los contrastes. Dado que la fotografía infrarroja es insensible al azul con filtros adecuados (rojos y negros) y sólo queda impresionada por radiaciones que apenas quedan difundidas por las partículas antedichas, puede operarse con ellas en zonas de baja visibilidad y malas condiciones atmosféricas, como son las de nieblas, zonas húmedas, poca luminosidad (zonas de alta montaña), etc., sin que por ello queden disminuidos los contrastes.

Esta característica de las fotografías en infrarrojo de poderse trabajar con ellas en zonas de malas condiciones atmosféricas, permite que la toma sea posible durante una parte considerable del año, en contra de lo que sucede con las fotografías en blanco y negro, y principalmente con las fotografías en color, como dijimos al hablar de las mismas. Esta mayor eficacia del equipo fotográfico durante una mayor parte del año, repercute en una *reducción del costo de las fotografías*, factor muy importante a la hora de considerar la utilización de las mismas.

Otra de las grandes ventajas de las fotografías en infrarrojo es que *no son sensibles a la luz difusa o polarizada*, no influyendo, por tanto, la dirección de los rayos solares en el momento de la exposición.

Al ser el agua absorbente de los rayos infrarrojos, en este tipo de fotografías *la superficie de la misma aparece totalmente negra*, por lo que son idóneas para el reconocimiento de líneas de costa, sobre todo en zonas en las que las fotografías pancromáticas fallan, como pueden ser costas brumosas o con poca visibilidad. Los cursos de los ríos pueden ser trazados con estas fotografías con toda precisión.

La fotografía en infrarrojos permite detectar muchas diferencias litológicas que no se perciben en las fotografías tomadas con película pancromática. *La vegetación aparece en tonos blancos y claros*, debido a que la clorofila es transparente a los rayos infrarrojos, a diferencia de lo que ocurre en las fotografías en blanco y negro en las que aparece en tonos oscuros. Ello da lugar a que estas fotografías sean muy utilizadas en estudios forestales y agrícolas. También aportan la ventaja de que pueden obtenerse por el método de rayos infrarrojos fotografías nocturnas, impresionando la película los rayos infrarrojos emitidos por los objetos calientes, por lo que este tipo de película es empleado para el estudio de problemas de urbanismo, tráfico, etc.

Una desventaja que tienen estas fotografías es el *tono casi negro con el que aparecen las sombras*. Ello las descarta para el trabajo en zonas de montaña, en las cuales la densidad de sombras suele ser muy alta.

I.4. UTILIZACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS.—Desgraciadamente, como ocurre con muchas otras técnicas, el mayor impulso recibido en el campo de la aerofotografía ha sido debido a fines bélicos. Así, en la última guerra mundial se hizo un empleo masivo de la fotografía aérea con el fin de descubrir objetivos militares (fábricas de armas, bases de aprovisionamiento, bases de lanzamiento, maniobrabilidad del terreno, etc.). Actualmente los vuelos fotográficos realizados por los EE. UU. y la URSS. tienen la cobertura de toda la tierra a distintas escalas y con distintas técnicas.

El empleo de la fotografía aérea en todos los campos es cada vez mayor. En *arqueología* se han descubierto, gracias a ella, monumentos, ciudades,

calzadas, etc., cuya existencia no se hubiese conocido por otros medios o sólo se hubiesen encontrado debido a un hecho casual. En *estudios forestales*, el recuento de especies arbóreas, extensión de las mismas, estudio de enfermedades, cubicación de madera, etc., se hace actualmente a través de fotografías. En *agricultura* se lleva a cabo sobre ellas la concentración parcelaria, estudio de cosechas, estudio de suelos, evaluación de los mismos, clasificación de tierras como más apropiadas para un determinado tipo de cultivo, planteamiento de repoblaciones forestales, estudios sobre la erosión, etcétera. En *urbanismo*, muchos problemas sobre planificación de ciudades, vías de comunicación, estudios de tráfico, construcciones, obras públicas, etcétera, son resueltos directamente sobre fotografías.

Sería muy largo enumerar aquí todos los usos de las fotografías aéreas, ya que son prácticamente ilimitados. Resumiremos sus diversas aplicaciones, sabiendo que todo aquel rasgo geológico, topográfico, agrícola, urbano, etc., que pueda quedar impreso en una fotografía, podrá dar lugar a un estudio exhaustivo del mismo a través de ésta, creándose la correspondiente rama de fotointerpretación.

En el campo concreto de la *geología*, la utilización de fotografías aéreas es cada vez mayor, dada la gran ayuda que suponen para el trabajo de campo, como más adelante veremos; además del menor costo que ofrece el estudio fotogeológico sobre el campo, se puede considerar como más completo en muchos casos y, desde luego, siempre como complementario e imprescindible. Como luego estudiaremos, se pueden medir sobre la fotografía columnas estratigráficas, direcciones, espesores, buzamientos, alturas, etc. Además, actualmente se cartografía sobre la fotografía en lugar de sobre el mapa, como hasta ahora se venía haciendo. Las fotografías deben ser de la escala más conveniente para ello, que oscila entre 1/10.000 y 1/5.000.

Como final llamaremos la atención sobre el inmenso campo que se abre a la fotografía aérea, con el desarrollo que últimamente está adquiriendo la balística. Entre todas las técnicas que se están empleando en el estudio de otros astros, es, sin duda, la fotografía la que más datos y conocimientos puede aportarnos sobre ellos.

I.5. FORMATO DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y PRINCIPALES TIPOS DE ESCALAS EMPLEADOS.—El formato de las fotografías aéreas verticales suele ser de tipo cuadrado, pudiendo variar su tamaño para las distintas escalas. En España se usan principalmente cinco vuelos, siendo sus principales características las siguientes:

Vuelo A.—Es un vuelo americano.

Escala aproximada: 1/44.000.

Tamaño del formato de la fotografía: 23 × 23 cm.

El número aproximado de fotografías que corresponden a una hoja topográfica 1/50.000, oscila de 20 a 30.

Zona cubierta: Península y Baleares.

Observaciones.—Es un vuelo tomado en algunos casos en condiciones no favorables, existiendo fotografías cubiertas total o parcialmente de nubes, otras veces con falta total de visibilidad, etc.

Vuelo B.—Es un vuelo americano.

Escala aproximada: 1/30.000.

Tamaño del formato de la fotografía: 23 × 23 cm.

El número aproximado de fotografías que corresponden a una hoja topográfica 1/50.000, oscila entre 40 y 50.

Zona cubierta: Península y Baleares.

Vuelo C.—Es un vuelo americano.

Escala aproximada: 1/44.000.

Tamaño de la fotografía: 23 × 23 cm.

El número aproximado de fotografías que corresponden a una hoja topográfica 1/50.000, oscila entre 20 y 30.

Zona cubierta: Península y Baleares.

Vuelo 2.ª serie.—Español.

Escala aproximada: Oscila entre 1/10.000 y 1/30.000.

Tamaño de la fotografía: 18 × 18 cm.

El número aproximado de fotografías que corresponden a una hoja topográfica 1/50.000, oscila según la escala de la fotografía.

Zona cubierta: Se está volando actualmente, estando cubierta sólo una parte de España.

Vuelo 4.ª serie.—Español.

Escala aproximada: Variable.

Tamaño del formato de la fotografía: 23 × 23 cm.

El número aproximado de fotografías que corresponden a una hoja topográfica 1/50.000, depende de la escala de la fotografía.

Zona cubierta: Se está volando actualmente.

I.6. DATOS INFORMATIVOS DE LAS FOTOGRAFÍAS.—En los márgenes de las fotografías aparecen unas muescas de control, puntas de flecha, cuadrados, triángulos, etc., que coinciden exactamente con el punto medio geométrico de cada lado (Fig. I-5). En uno o dos márgenes aparecen fotografiadas las distintas referencias que nos pueden servir para la identificación de la fotografía y estudio de la misma, como pueden ser:

— Número de la fotografía.

— Número de rollo al que pertenece.

— Fecha en la que ha sido tomada.

— Reloj con indicación exacta de la hora.

— Distancia focal de la lente.

— Altímetro indicando la altura del avión en el momento de la exposición.

La lectura podrá venir en pies o en metros (pondrá *feet* o *m*, en un caso u otro, aunque a veces se precisa la ayuda de una lupa para observarlo). En los vuelos americanos suele venir en pies, y en los españoles en metros.

Los dos primeros datos son precisos para tener una referencia exacta de cada fotografía, y los cuatro últimos son necesarios para el estudio de la misma, como ya veremos en el capítulo IV.

En España existen diferentes compañías que se dedican a realizar vuelos especiales o bien de encargo, pudiéndose, por tanto, obtener fotografías aéreas, tanto verticales como oblicuas, a la escala que se desee.

I.7. ORIENTACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS.—Las fotografías aéreas se orientan según el criterio adoptado para los mapas, es decir, con el Norte de las mismas situado hacia arriba. El método más rápido y seguro para saber cuál es el Norte, es mirando hacia donde están proyectadas las sombras.

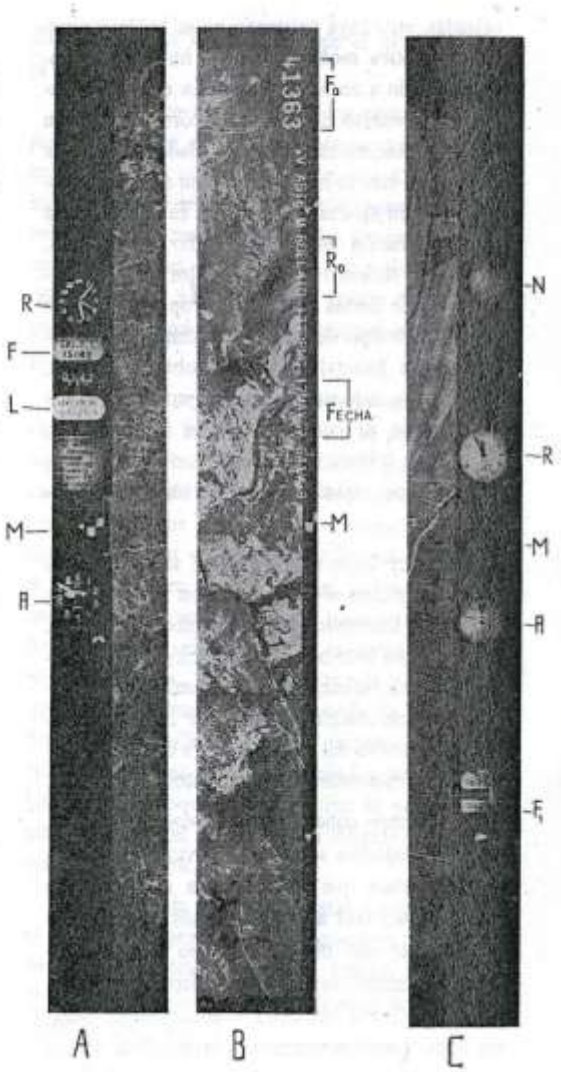


FIG. I-5. Las dos primeras fotografías, A y B, corresponden, respectivamente, a los dos márgenes de una misma fotografía del *vuelo B*, en las que aparecen fotografiadas las distintas referencias necesarias para su identificación y estudio, como son: Reloj con la hora exacta de la toma (R); distancia focal de la lente con la que ha sido tomada la fotografía (en milímetros) (F); tipo de lente (L) y altímetro (medido en pies) (A), en el margen izquierdo. En el derecho vemos el número de la fotografía (F_o); número de rollo (R_o) y fecha en la que se ha tomado la fotografía (Fecha). En ambos márgenes aparecen las muescas de control de las fotografías por medio de dos pequeños cuadraditos blancos (M), que marcan el centro geométrico de cada lado. La fotografía C corresponde al margen de una fotografía de la cuarta serie. En él aparecen fotografiados el Nivel (N), reloj (R), altímetro en metros (A) y distancia focal de la lente en milímetros (F_l). La muesca central (M) viene marcada por un pequeño entrante en el margen fotográfico.

Dada la latitud en la que España está situada, desde que el sol sale hasta que se oculta, la sombra de un objeto describe un semicírculo proyectado hacia el Norte. Por eso, las laderas de las montañas reciben el nombre popular de «solana» o «umbría», según estén o no expuestas al sol todo el día. Basta entonces mirar en la fotografía cuáles son las laderas sombreadas para saber cuál es el Norte (Fot. I-1). Esta orientación es la correcta, siempre que se consulten las fotografías como si fueran un mapa, o si se usan en visión estereoscópica.

Sin embargo, la visión individual de una fotografía ofrece un grave inconveniente orientada de este modo, por dar la sensación de que el *relieve está invertido* (efecto pseudoscópico) (Fot. I-2). Si se desea obtener una impresión correcta del relieve, debe orientarse la fotografía de manera que *las sombras estén situadas entre el observador y el objeto que las proyecta*, es decir, con el Sur hacia arriba, al contrario de lo que antes aconsejábamos. Esto se debe a una ilusión óptica ocasionada por la costumbre que tenemos en la vida real de ver las sombras proyectadas por los objetos interpuestas entre éstos y nosotros, pues cuando se proyectan en sentido contrario, el mismo objeto nos intercepta su visión. Al mirar unas fotografías que tengan las sombras mal orientadas, pensamos instintivamente que están producidas por el elemento topográfico que tienen detrás, en lugar de por el que está delante, como ocurre en realidad; esta falsa atribución nos hace creer que es aquél el que está en relieve en lugar de éste, lo que nos produce la sensación de la inversión del mismo.

I.8. ADQUISICIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS.—Los cinco tipos de fotografías aéreas anteriormente descritos se pueden adquirir en el Servicio Cartográfico del Ministerio del Aire, siendo su precio actual aproximado de 35 pesetas.

Como dijimos anteriormente, los vuelos especiales se tienen que encargar directamente a las compañías que a ello se dedican, existiendo varias en España.

En todos los casos, las fotografías aéreas pueden ser solicitadas en *brillo, mate* y *semimate*, así como sobre *papel* o *cartulina*, dependiendo el tipo de fotografía del empleo que se vaya a dar a la misma. En el capítulo V, al hablar de la «Elección de las fotografías», hablaremos del uso más conveniente para cada tipo.

CAPITULO II

Estudio y terminología de las fotografías verticales

II.1. *Toma de una fotografía vertical.*

II.2. *Estudio y terminología de las fotografías verticales.*

II.3. *Escala de una fotografía.*

II.4. *Desplazamiento radial debido a la diferencia de relieve.*

II.5. *Diferencias existentes entre las fotografías aéreas y los mapas*

II.6. *Restitución de las fotografías aéreas.*

CAPITULO II

Estudio y terminología de las fotografías verticales

II.1. TOMA DE UNA FOTOGRAFÍA VERTICAL.—Como dijimos anteriormente, las fotografías verticales son aquellas en las que en el momento de la toma el eje óptico de la cámara coincide con la vertical de lugar del campo fotografiado. En el caso de que dicha coincidencia no sea absoluta, la desviación puede ser atribuida a dos causas: el *cabeceo* del avión en el momento de la exposición, o la inclinación de alas o *alabeo* (Fig. II-1).

Actualmente, con los modernos métodos de navegación aérea, se pueden obtener fotografías con una desviación de la vertical menor a 2°, error que se puede considerar despreciable frente al resto de los errores que se introducen en las mismas por diversas causas, distorsiones de los bordes, terreno accidentado, etc., que ya veremos más adelante.

La toma de las fotografías suele ser sistemática, barriendo por completo la zona seleccionada (Fig. II-2). El barrido de la misma se hace por bandas, y al final de cada una se invierte la dirección del avión para empezar otra nueva paralela a la anterior. Corrientemente se sigue un rumbo N-S o E-W, salvo que por características particulares del terreno se imponga otro distinto. Los vuelos *A* y *B*, por ejemplo, están realizados E-O. Sin embargo, en

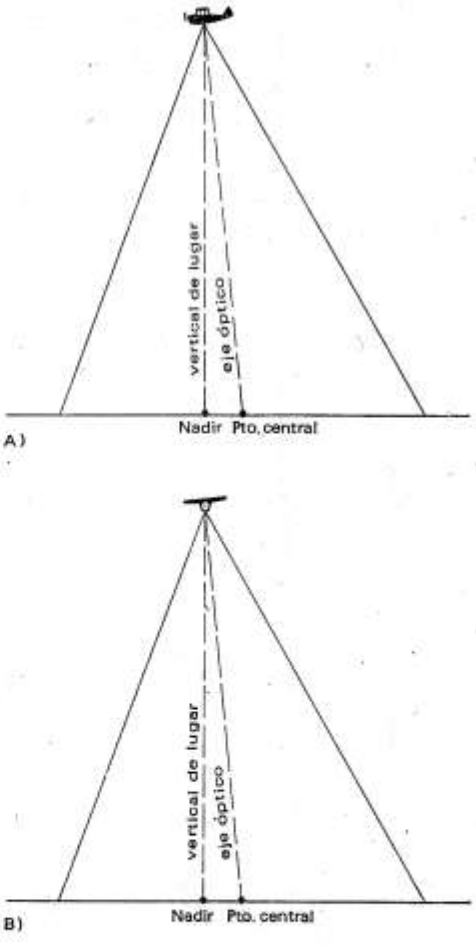


FIG. II-1. Dos casos de fotografías verticales en las que el eje óptico no coincide exactamente con la vertical de lugar. En el primer caso es por CABECEO del avión, y en el segundo por ALABEO.

la 4.ª serie el rumbo del avión es arbitrario. Cada pasada fotográfica del avión se la denomina «*banda*»; el número de éstas que sea necesario para recubrir fotográficamente un terreno dependerá de la escala de la fotografía, que a su vez dependerá de la altura de vuelo y la distancia focal de la lente con la que se esté trabajando. Por ejemplo, para recubrir el terreno correspondiente a una hoja topográfica de escala 1:50.000, si las fotografías son de escala 1:30.000, el número de bandas oscila entre 4 y 5, y el de fotografías por banda es alrededor de 10, en el caso de que se desee obtener una visión estereoscópica.

Volviendo a la figura II-2, en la primera y tercera bandas, la toma de fotografías ha sido realizada en dirección E-W, mientras la segunda ha sido tomada en dirección W-E. Por lo tanto, las referencias fotográficas anotadas en los márgenes de las fotografías, en unas bandas quedarán orientadas al derecho, y en las bandas consecutivas al revés, debido a la inversión de sentido que sufre la cámara.

De la figura se desprende que el *rumbo* del avión debe mantenerse constante durante la toma de una banda, con objeto de que las fotografías no queden desfasadas unas con respecto a otras. La *altura de vuelo* debe ser asimismo constante para que la escala sea igual en todas las fotografías.

Para un buen recubrimiento estereoscópico, *el solapamiento de dos fotos consecutivas debe ser de un 60 por 100 del total de la fotografía, y entre dos bandas adyacentes, de un 25 por 100.*

La calidad de la fotografía tendrá una influencia decisiva en su posterior interpretación. La toma se efectúa en días de buena transparencia y luminosidad, por lo que se suele elegir la época que corresponde al final de primavera y principio de verano, salvo en zonas donde la intensidad forestal es considerable, eligiéndose entonces el principio de primavera o final de verano, cuando el ciclo vegetativo de las plantas está en su comienzo o ha concluido. Esto se traduce en una menor densidad de follaje y, por tanto, en un menor enmascaramiento del terreno.

II.2. ESTUDIO Y TERMINOLOGÍA DE LAS FOTOGRAFÍAS VERTICALES.—La figura II-3 representa la toma de una fotografía aérea. En ella se represen-

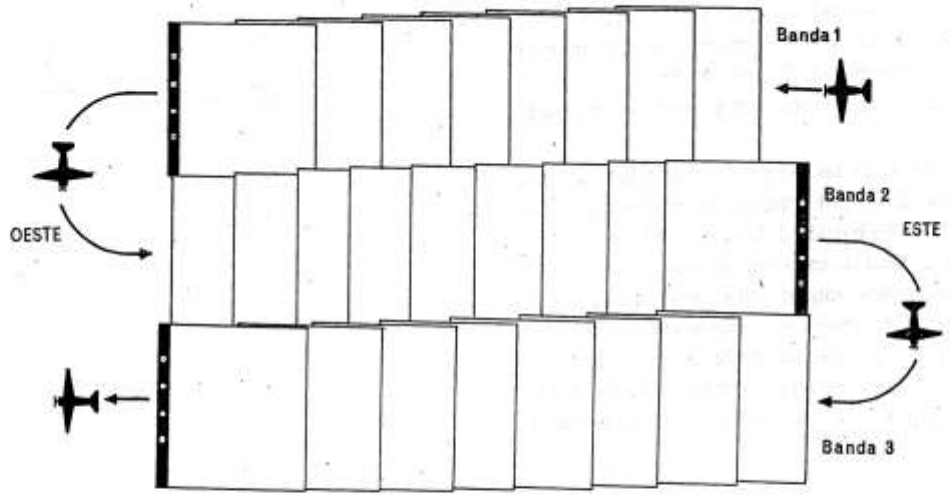


FIG. II-2. TOMA SISTEMÁTICA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.—La toma de fotografías se hace por bandas, volándose cada banda en sentido contrario a la anterior, por lo que los márgenes de las fotografías quedan invertidos en dos bandas consecutivas. Para un buen recubrimiento estereoscópico, el solapamiento de dos fotografías consecutivas debe ser de un 60 por 100 del total de la fotografía, y de un 25 por 100 entre dos bandas adyacentes.

tan los principales elementos geométricos de la misma, con cuya terminología debe estar familiarizado el fotogeólogo.

La distancia focal y la altura de vuelo no se han representado en la misma escala, para lograr una mayor claridad del dibujo. Al expresar la terminología de la fotografía consideraremos directamente el positivo de la película, teniendo en cuenta que su situación geométrica está invertida con respecto al negativo, lo que no altera las constantes de proporcionalidad de la figura.

Vamos a definir a continuación los principales términos usados en las fotografías aéreas verticales.

Altura de vuelo (H).—Es la distancia existente entre el centro de la cámara y el terreno en el momento de la exposición.

Distancia focal (f).—Es la distancia que existe entre el foco de la lente y el negativo de la película.

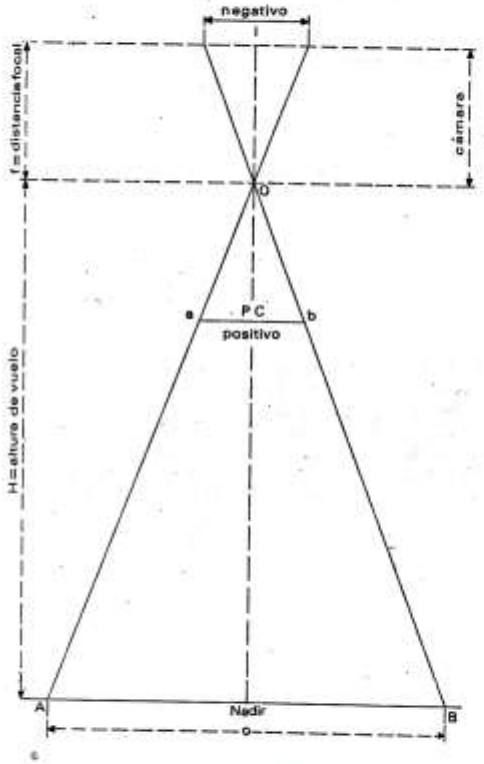


FIG. II-3. Terminología de una fotografía vertical.

Eje óptico.—Es la línea ideal que, pasando por el centro de la cámara, es perpendicular a la película expuesta en su punto medio.

Punto central (PC).—Se llama punto central a la intersección del eje óptico y la película. Corresponde al centro geométrico de la fotografía.

Nadir (N).—Es la proyección vertical del centro de la cámara sobre el terreno en el momento de la exposición. Cuando la fotografía es absolutamente vertical, el nadir coincide con el Punto Central, es decir, con la proyección del eje óptico. Como actualmente se consigue que la desviación del eje óptico sea menor de 2°, se puede considerar como coincidentes el Punto Central y el Nadir en una fotografía.

II.3. ESCALA DE UNA FOTOGRAFÍA.—En la figura II-3, considerando semejantes los triángulos $\widehat{AOB}$ y $\widehat{aOb}$, podemos establecer la siguiente relación:

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H} = \frac{i}{o} = \text{escala de la fotografía} \qquad \text{[II-1]}$$

siendo i el tamaño de la imagen obtenida, y o, el del objeto fotografiado.

Es decir, *para hallar la escala media de una fotografía, basta dividir la distancia focal por la altura de vuelo.*

Por lo tanto:

a) Cuando la altura de vuelo aumenta, la escala de la fotografía disminuye.

b) Cuando la distancia focal aumenta, la escala de la fotografía aumenta.

La distancia focal y la altura de vuelo suelen ir relacionadas, usándose las más apropiadas para cada tipo de escala.

Al hallar la escala de una fotografía tenemos que tener en cuenta dos puntos importantes:

1.° El altímetro que viene fotografiado al margen de la fotografía nos da la altura de vuelo sobre el nivel del mar, mientras que la que nos interesa es la que existe en realidad sobre el terreno.

En este caso habrá que restar a la lectura del altímetro la altitud media del terreno, que podemos saber de antemano, o bien hallar en un mapa.

La fórmula [II-1] quedaría de esta forma:

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H - H_m} \qquad \frac{1}{E} = \frac{f}{H_o} \qquad \text{[II-2]}$$

siendo:

f = distancia focal de la lente.

H = altura de vuelo medida en el altímetro.

H_m = altura media del terreno.

H_o = altura de vuelo sobre el terreno.

$1/E$ = escala de la fotografía.

2.° La distancia focal de la lente suele venir dada en mm., mientras la lectura del altímetro suele venir en pies o en metros. Hay que tener en cuenta esta diferencia de unidades a la hora de operar, reduciendo todos los datos a la misma unidad.

3.° Estos cálculos son válidos cuando el tamaño de la fotografía empleada es el mismo que el del negativo obtenido en vuelo.

La escala media de una fotografía sólo se puede usar cuando la zona sobrevolada es llana, sin cambios acusados de relieve.

En el caso de tratarse de un terreno accidentado, la escala variará de un punto a otro de la fotografía, al variar continuamente el factor de corrección H_o. Así, la altura de vuelo sobre un valle será mayor que sobre una montaña (Fig. II-4). Por lo tanto, hay que tener siempre en cuenta que un monte, collado, etc., siempre tendrá una escala superior en una fotografía vertical, a un valle o depresión. Esta es una de las principales diferencias que existen entre las fotografías y los mapas.

Para trabajar en fotogrametría habrá que hallar las distintas escalas correspondientes a las distintas elevaciones del terreno.

Escala de una fotografía calculada con la ayuda de un mapa.—Otra manera de hallar la escala de una fotografía es empleando el otro término de la ecuación [II-1]

$$\frac{1}{E} = \frac{i}{o}$$

siendo o la distancia medida entre dos puntos del terreno, e i su equivalente medida sobre la fotografía.

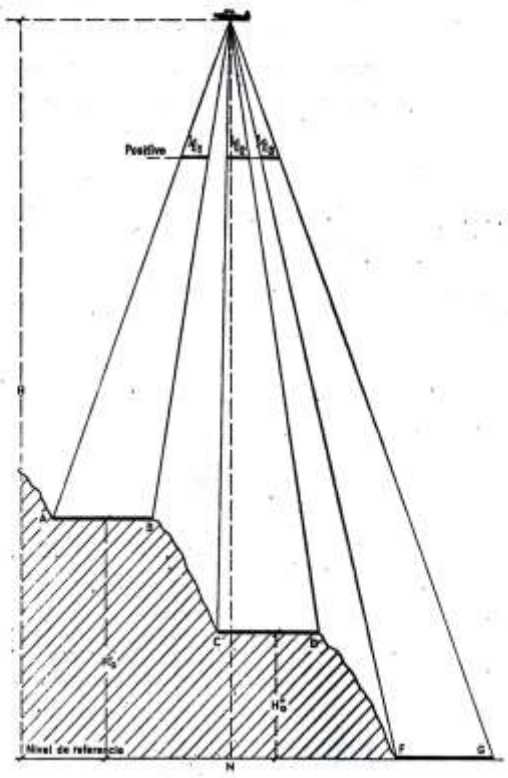


FIG. II-4. VARIACIÓN DE LA ESCALA DE UNA FOTOGRAFÍA TOMADA SOBRE UN TERRENO ACCIDENTADO.—La figura nos representa en esquema el corte de un terreno en el que AB, CD y FG corresponden, respectivamente, a la superficie de una montaña, terreno llano y valle. Supongamos que dichas superficies tienen la misma extensión y sólo varía su distancia a la cámara. Al ser $H'_o > H_o''$ (H_o''' sería nula), al sustituir en la ecuación $\frac{1}{E} = \frac{f}{H - H_o}$, dado que H y f son constantes, quedará modificado el término E, siendo

$$\frac{1}{E_1} > \frac{1}{E_2} > \frac{1}{E_3}$$

Es decir, cuanto menor sea la distancia entre el objeto fotografiado y la cámara del avión, con mayor escala aparecerá dicho objeto en la fotografía.

En la imposibilidad de medir dicha distancia sobre el terreno, podemos hallarla sobre un mapa, quedando la ecuación:

$$\frac{1}{E\,(\text{foto})} = \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{E\,(\text{mapa})} \qquad [\text{II-3}]$$

siendo:

$1/E$ (foto) = escala de la fotografía.

$1/E$ (mapa) = escala del mapa.

b = distancia entre dos puntos medida en el mapa.

a = distancia entre esos mismos puntos medida sobre la fotografía.

Este método resulta más cómodo que el anterior, siendo de hecho el más usado.

II.4. DESPLAZAMIENTO RADIAL DEBIDO A LA DIFERENCIA DE RELIEVE.—Las fotografías aéreas están tomadas con un *sistema de proyección cónico*, siendo el centro óptico del objetivo el centro de perspectiva. La proyección de los objetos que se hallan bien por encima o por debajo del plano de proyección, quedará desplazada con respecto a la que tendrían si dicho sistema de proyección fuese ortogonal (Fig. II-5). *La dirección de este desplaza-*

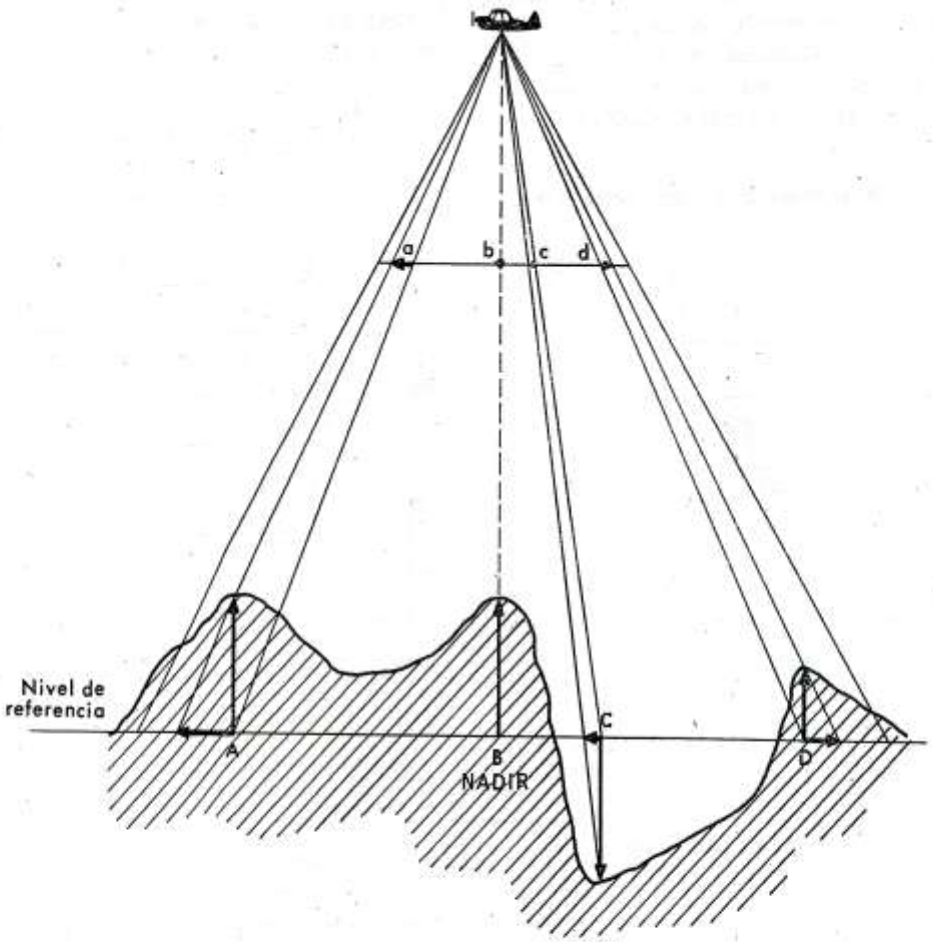


FIG. II-5. DESPLAZAMIENTO RADIAL DEBIDO AL RELIEVE.—Al ser la fotografía aérea una proyección cónica, los relieves positivos (los situados por encima del plano de proyección), A y D, sufren un desplazamiento radial hacia el exterior de la fotografía. El desplazamiento de C (relieve negativo) tiene un sentido contrario al anterior, desplazándose hacia el centro de la misma. La proyección de B es ortogonal por coincidir con el nadir, no quedando desplazada, por lo tanto, y siendo independiente de que el relieve sea positivo o negativo.

miento es radial a partir del nadir, y su sentido será hacia el Punto Central cuando el objeto proyectado esté situado por debajo del plano de proyección, y en sentido contrario cuando esté situado por encima.

El Punto Central, al ser coincidente con el nadir en las fotografías verticales no sufre ningún desplazamiento, siendo igual su proyección en el sistema cónico que en el ortogonal.

Vamos a calcular a continuación la fórmula del desplazamiento. La figura II-6 nos muestra en esquema la toma fotográfica de un terreno.

Sea $A\,B$ un objeto de altura h situado en el terreno a una distancia d del Nadir. La proyección de dicho objeto vendría representada por $A'\,B$, siendo D el desplazamiento sufrido en la proyección de la parte alta del objeto A, con respecto a la posición que tendría si la proyección fuese ortogonal.

Siendo H_o la altura de la cámara sobre el terreno, C el centro óptico de la misma, y N el Nadir, podemos establecer la siguiente relación:

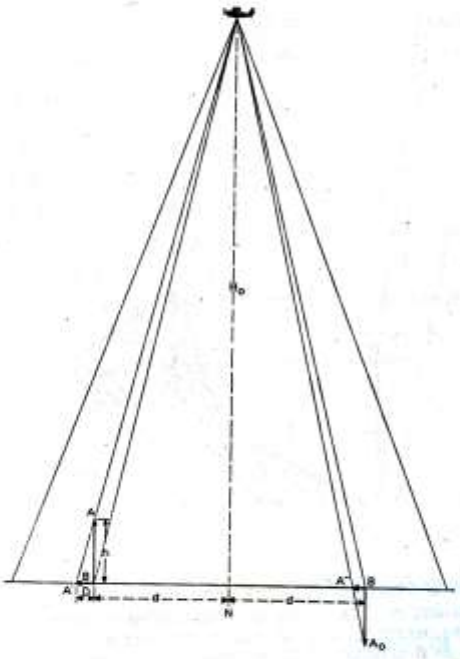


FIG. II-6. Desplazamiento radial de un punto.

$$\widehat{A'\,C\,N} \simeq \widehat{A'\,A\,B}$$

$$\frac{h}{D} = \frac{H_o}{d+D} \quad \rightarrow \quad h\,(D+d) = H_o \cdot D$$

$$h \cdot d + h \cdot D = H_o \cdot D \;\rightarrow\; h \cdot d = D\,(H_o - h) \;\rightarrow$$

$$\boxed{D = \frac{h \cdot d}{H_o - h}} \qquad \text{[II-4]}$$

En el caso de *estar situado el objeto por debajo del nivel de referencia*, que en este caso sería $A_o\,B$, la semejanza la estableceríamos entre los triángulos $A''\,C\,N$ y $A''\,A_o\,B$,

$$\frac{h}{D} = \frac{H_o}{d-D} \;\rightarrow\; \text{despejando } D$$

$$\boxed{D = \frac{h \cdot d}{H_o + h}} \qquad \text{[II-5]}$$

En los casos en que la altura del objeto sea despreciable frente a la magnitud de la altura de vuelo, la fórmula puede quedar reducida a

$$\boxed{D = \frac{h \cdot d}{H_o}} \qquad \text{[II-6]}$$

siendo:

D = desplazamiento.

H_o = altura de vuelo sobre el terreno.

h = altura del objeto.

d = distancia del Nadir a la base del objeto.

Por lo tanto:

A) El desplazamiento sufrido en la proyección de un objeto será mayor cuanto mayor sea la distancia de dicho objeto al Punto Central de la fotografía.

B) Para un mismo objeto, el desplazamiento con el que aparece en la fotografía con respecto a la situación que tendría si su proyección fuese or-

togonal, será menor cuanto mayor sea la altura de vuelo con la que dicho objeto fue tomado.

C) El desplazamiento de un objeto será proporcional a la altura del mismo.

D) El desplazamiento sufrido por una montaña, cima, antena, etc., y, en general, por cualquier objeto situado por encima del plano de proyección, será mayor y de sentido contrario que el que tendría otro objeto de la misma magnitud y de igual distancia al Nadir que estuviese situado por debajo de dicho plano, por ejemplo, un valle, sima, foso, etc.

Si en la fórmula [II-4] despejamos *h:*

$$h = \frac{H_o \cdot D}{d + D} \qquad [II\text{-}7]$$

Es decir, podemos calcular la altura de un objeto midiendo su desplazamiento en la fotografía, siempre que la base y la cima del mismo sean bien visibles en ésta.

II.5. DIFERENCIAS EXISTENTES ENTRE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y LOS MAPAS.—A lo largo de este capítulo han quedado implícitamente expuestas las principales diferencias existentes entre las fotografías aéreas y los mapas. Nos limitaremos aquí a hacer un breve resumen de todas ellas que, sintetizado en forma de cuadro, haga más fácil su consulta y estudio.

	MAPAS	FOTOGRAFIAS	
TIPO DE PROYECCION	ORTOGONAL	CÓNICA	
	— La proyección de los rasgos topográficos coincide con su vertical de lugar.	— Desplazamiento radial de la proyección, con respecto a dicha vertical.	
		— Sentido del desplazamiento:	— Hacia el Punto Central, para los objetos que están situados por debajo del nivel de referencia.
			— En sentido contrario, para los situados por encima del mismo.
		— El desplazamiento aumentará con:	— La altura de vuelo en la toma de la fotografía.
			— La altura del objeto.
			— La distancia entre éste y el Punto Central.
ESCALA	— *Constante* para todos los puntos del mapa, independiente del tipo de terreno.	— *Constante* para todos los puntos en caso de terreno llano.	
		— *Variable* de un punto a otro, si el terreno es accidentado. En este caso será { *Mayor* para las montañas. *Menor* para los valles.	
DISTORSIONES	— No existen.	Los bordes de las fotos suelen presentar una serie de distorsiones más o menos acusadas, dependiendo del tipo de lente con que han sido tomadas, tipo de terreno, etc. El aprovechamiento de la foto queda reducido a su parte central (aprox., un 80 por 100 del total).	

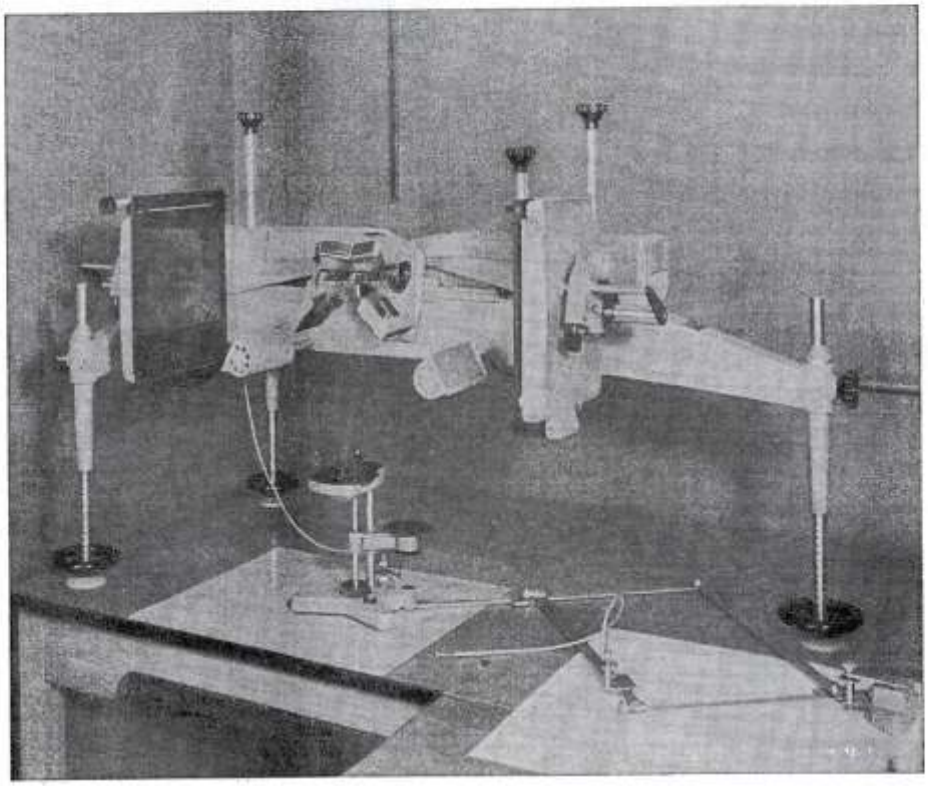


FIG. II-7. Stereoflex SOM, instrumento para lograr una restitución simple y rápida. Su manejo es muy sencillo y cómodo. (Fotografía cedida por cortesía de la Société d'Optique, Précision, Eléctronique et Mecanique.)

II.6. RESTITUCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS. La restitución ortoscópica consiste en obtener, a partir de fotografías aéreas verticales tomadas con el sistema clásico de proyección cónica, *ortofotografías*, es decir, fotografías en las que todos los puntos de las mismas tienen proyección ortogonal. Es decir, la fotografía queda corregida en cuanto a:

— Distorsiones debidas a desniveles del terreno;

— distorsiones debidas a la inclinación de la cámara en el momento de la exposición (cabeceo y alabeo);

— inclinación y desplazamiento radial de la imagen debido a la proyección cónica.

La restitución se realiza por medio de unos aparatos llamados *Restituidores*, existiendo varios modelos en el mercado, desde los semiautomáticos, en los que el operador ajusta la marca de medi-

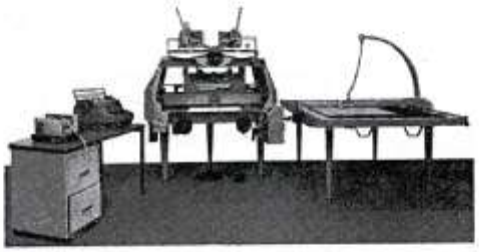


FIG. II-8. Planimat, de la casa Carl Zeiss, restituidor fotogramétrico de precisión de segundo orden que permite la restitución de fotografías de escalas medianas y grandes, así como de fotografías supergranangulares. (Fotografía cedida por cortesía de la Casa Zeiss Ibérica, S. A.)

ción sobre la altura del terreno, analizando la fotografía por pequeñas unidades de superficie (pueden ser, p. ej., de 4 mm. × 1 mm.), hasta los totalmente automáticos que exploran mecánicamente las fotografías (Figs. II-7, II-8 y II-9).

Para la obtención de fotografías restituidas se pueden encargar éstas directamente a casas especializadas en la restitución de fotografías aéreas, existiendo varias en nuestro país.

La restitución de fotografías aéreas es un trabajo costoso y complicado que precisa de personal muy especializado para su realización; es, sin embargo, imprescindible en la construcción de fotomosaicos controlados (véase capítulo VI), planos fotogramétricos, diseño de proyectos, estudios urbanísticos, silvicultura, etc.

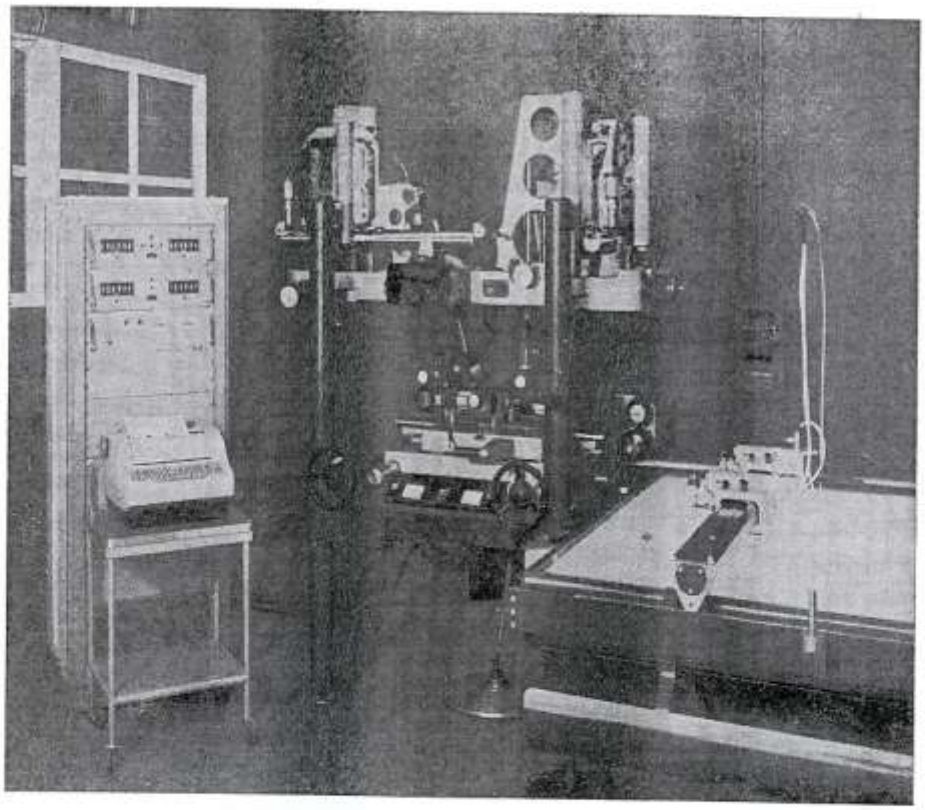


FIG. II-9. Presa 225, aparato de restitución con una precisión de primer orden, que admite incluso la restitución de fotografías supergranangulares. (Fotografía cedida por cortesía de la Societé d'Optique, Précision, Eléctronique et Mecanique.)

CAPITULO VII

Estudio Fotogeológico

VII.1. *Objeto de la fotogeología.*

VII.2. *Limitaciones y ventajas de la fotogeología.*

VII.3. *Rutina fotogeológica.*

VII.4. *Estudio geológico.*

VII.5. *Estudio bibliográfico.*

CAPITULO VII

Estudio Fotogeológico

VII.1. OBJETO DE LA FOTOGEOLOGÍA.—El objeto de la fotogeología es el estudio de la superficie terrestre, es decir, de los diversos tipos de materiales que la integran y de las huellas que han dejado en ellos la serie de procesos a los que han estado sometidos a lo largo de los tiempos geológicos.

El estudio de la fotogeología abarca la estratigrafía, litología, geología estructural, geomorfología, tectónica, hidrogeología, y, en resumen, todas las ramas de la geología que admitan para su estudio una escala macroscópica. Hay ramas que se salen de su campo, como pueden ser la paleontología, paleobotánica, mineralogía, y, en general, cualquier técnica que necesite una escala reducida de trabajo. Además de en trabajos puramente geológicos, el uso de la fotogeología se hace cada vez más imprescindible en obras públicas, localización de materiales de construcción, trazado de carreteras y canales, estudio de cerradas, embalses, búsqueda de diversos minerales, etc.

El fotogeólogo reúne e interpreta datos igual que lo puede hacer el geólogo de campo. La única diferencia estriba en la distinta escala a la que trabajan uno y otro. La gran perspectiva que ofrecen las fotografías aéreas y la exageración del relieve que se logra en la visión estereoscópica, permite un claro enfoque de los problemas y una gran precisión de dibujo.

Como en cualquier otra técnica, en fotogeología es sumamente importante la experiencia y práctica del intérprete. Además de tener los conocimientos precisos y necesarios de un buen geólogo, la visión de conjunto que le permite la fotografía le obliga a actuar con un criterio de selección distinto al que tiene el geólogo de campo.

El fotogeólogo emplea para su estudio una serie de datos distintos a los empleados en los trabajos de campo. A falta de la proximidad y contacto del material en estudio (distintos tipos de rocas, variaciones dentro de éstas, dureza, etc.), el fotogeólogo se basa en una serie de observaciones de las cuales sacará la conclusión final, respecto a la litología, estratigrafía, tectónica, etc. Estas observaciones, como pueden ser el modelado del drenaje, el tono, la vegetación, relieve, topografía de la zona, etc., serán estudiadas en los cuatro capítulos siguientes de manera general (Análisis del tono y la vegetación, análisis geomorfológico, estructural y fracturación), y en particular para cada roca, en los capítulos destinados al estudio de las mismas.

A la hora de explicar o enseñar cualquier método científico, el profesor se encuentra ante el problema que presenta el querer explicar a los demás lo que en España se llama «ojo clínico», es decir, esa serie de pequeñas observaciones y detalles, hijos de una larga práctica, y en los cuales se basa el intérprete, muchas veces inconscientemente, para llegar a una serie de conclusiones generalmente acertadas. Se pueden explicar, más o menos claramente, una serie de criterios generales, características fotogeológicas de las rocas, más o me-

nos eficaces a la hora de intentar su identificación en fotogeología, pero es difícil poder resumir en unas cuantas explicaciones ese complicado proceso mental analógico, por el cual el fotogeólogo experimentado, a la vista de un par estereoscópico, puede decir inmediatamente: esto es granito.

En este libro se ha intentado resumir en forma de cuadros ese rápido y complicado proceso mental al que antes aludíamos, por creer que es más rápido, claro e intuitivo un cuadro que una larga parrafada. De todas maneras, el estudio de las fotografías incluidas a lo largo del libro creemos que puede servir no sólo para aclarar cualquier duda surgida a lo largo de la lectura del texto sino, lo que es más importante, para familiarizarse con los principales tipos de rocas y estructuras de la corteza terrestre.

VII.2. LIMITACIONES Y VENTAJAS DE LA FOTOGEOLOGÍA.—Se tiene la creencia de que la fotogeología es una técnica que necesita una continua contrastación de campo. Esto es verdad, pero sólo hasta cierto punto. En la formación básica de un fotogeólogo debe estar presente una buena formación de trabajos prácticos de campo, pero esta misma formación la necesita el minerálogo, el petroquímico y, en general, cualquier geólogo, se dedique luego a la rama que sea.

Desde luego, la fotogeología tiene una serie de limitaciones para las cuales resulta de gran ayuda en la mayoría de los casos, y en muchos imprescindible, una confrontación del trabajo de campo con el fotogeológico, bien hecha por el propio fotogeólogo o por un geólogo de su equipo. En este último caso, las discrepancias que puedan surgir servirán para corregir errores, tanto de uno como de otro, hasta conseguir un trabajo lo más perfecto posible.

Sin embargo, la fotogeología es una técnica independiente que se puede mantener por sí sola. Cuanto más se aísle del campo el fotogeólogo, más correrá el peligro de convertirse en un «geólogo de laboratorio», pero insistimos que exactamente igual les pasa al resto de los geólogos de las otras técnicas.

Un mapa fotogeológico suele tener una serie de aciertos respecto a precisión de contactos, detalles, estudios estructurales, tectónicos, geomorfológicos, etcétera, que no suelen tener los mapas realizados pie a tierra. Sin embargo, uno de los campos en que peor se desenvuelve es en el análisis litológico. Sólo se pueden identificar fácilmente y sin ayuda exterior, los materiales más simples, como son granito, neises, yesos, pizarras, cuarcitas, etc., y dentro de éstos, sus variaciones, aunque sin precisar exactamente en qué consisten.

Por ejemplo, en el estudio de unos granitos hemos distinguido, por su distinto drenaje, tono, diaclasamiento, etc., tres tipos diferentes, y delimitado claramente sus contactos. Si no tenemos otra referencia que la fotogeología, la leyenda será muy imprecisa, pudiendo quedar de este modo:

1. Granito de tipo A.
2. Granito de tipo B.
3. Granito ligeramente orientado.

Una posterior comprobación sobre el terreno nos ayudará a formar una leyenda más exacta, comprobando la verdadera identidad de las formaciones 1, 2 y 3, que podrían ser:

1. Granito de grano fino.
2. Sienitas.
3. Anatexitas.

Otras veces se puede afinar más en fotogeología que en un estudio de campo. Por ejemplo, en una formación de pizarras, la fotogeología ha diferenciado tres tipos distintos, mientras que en el terreno aparece como una formación homogénea. Un estudio detallado de microscopio revela una distinta composición en los tres tipos señalados en fotogeología. ¿Qué ha pasado? Sencillamente que una ligera variación en la composición de las pizarras que no era suficiente para una diferenciación a simple vista, ha sido suficiente, sin embargo, para que éstas se comportasen de un modo distinto frente a la acción de los diversos agentes erosivos, dando como resultado una topografía distinta que sólo un estudio de conjunto como permite la foto aérea podía revelar.

Otro ejemplo: Supongamos un batolito granítico enterrado bajo unas arenas terciarias (Figura VII-1). En la parte en que el espesor es más somero (zona comprendida entre *M* y *N*), las arenas aparecerán en la fotografía con un drenaje y tono distinto, al no filtrarse el agua libremente

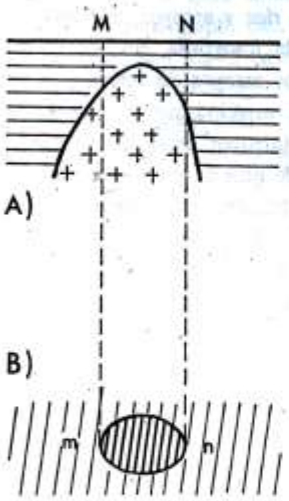


FIG. VII-1. La figura *A* nos muestra en perfil un ejemplo de batolito granítico enterrado bajo unas arenas terciarias. En la parte de espesor más somero (zona comprendida entre *M* y *N*), el drenaje y tono de las arenas puede ser distinto, por lo que aparecería en la fotografía una zona anómala que nos podría ayudar a localizar la posición del batolito (Fig. *B*).

igual que en el resto de la zona, por encontrarse con el substrato impermeable mucho más próximo. Sin embargo, sobre el terreno esto pasa totalmente desapercibido, mientras la fotogeología nos muestra una zona anómala. Posteriores estudios y sondeos nos pondrán de manifiesto el batolito.

Podemos citar un caso que se presenta en el estudio de los yacimientos de uranio con una cierta frecuencia, sobre todo en terrenos que por su espesa vegetación o denso recubrimiento es difícil efectuar el estudio geológico sobre el mismo. En la prospección de dicho mineral se encuentran una serie de anomalías radiactivas que han señalado la presencia de uranio a lo largo de unas determinadas direcciones, sin que aparentemente sobre el terreno se las encuentre una razón de ser. Estudiando la zona en fotogeología se pueden, sin embargo, localizar una serie de direcciones tectónicas de fracturación a favor de las cuales aparecen los indicios radiactivos. El estudio fotogeológico detallado del resto de la zona puede determinar estructuras tectónicas similares a las anteriores que podrían indicar nuevas zonas de anomalías.

Otra de las grandes ventajas de la fotogeología es que, debido al estudio sistemático de una zona que se hace por este método, cualquier afloramiento que en el campo pasaría inadvertido, en fotogeología es localizado automáticamente. Esto permite la confección de mapas geológicos muy completos en cuanto a localización y emplazamiento de los distintos afloramientos. Igualmente es sumamente útil el realizar un estudio fotogeológico previo al trabajo de campo, en el que quedan ya esbozados o planteados los problemas fundamentales y localizados los lugares donde éstos pueden resolverse.

No vamos a seguir hablando de la serie de ventajas que posee la fotogeología que quedan bien patentes a lo largo de este libro. En cuanto a sus limitaciones, además de las ya expuestas sobre la identidad geológica de las formaciones, citaremos su ineficacia en las zonas que aparecen cubiertas de espesa vegetación. Por ejemplo, en algunas partes de Galicia es verdaderamente difícil realizar un buen estudio fotogeológico, pero téngase en cuenta que en las zonas de estas características el estudio geológico de campo también lo es.

Citaremos además su ineficacia para la localización de pequeños afloramientos, el realizar una estratigrafía fina y, en general, todos aquellos trabajos de campo cuya pequeña escala no permite su reflejo en las fotografías.

VII.3. RUTINA FOTOGEOLÓGICA. — La manera correcta de comenzar un trabajo en fotogeología consiste en la anotación cuidadosa y constante de todos los datos que puedan ser necesarios para una posterior interpretación geológica. Analizaremos a continuación los diversos pasos a seguir para la construcción de un mapa fotogeológico.

1.° **Anotación de obras humanas.** — Una vez preparado y montado sobre las fotografías el papel de calco con sus diversas rotulaciones previamente hechas (Punto Central y Transferidos, número de fotografía, hoja a la que pertenece, etc.), comenzaremos anotando con un lápiz rojo bien afilado, a fin de que resalte, las obras humanas más destacables de la fotografía, carreteras, ferrocarriles, pueblos, minas, etc. Es conveniente tener a mano un mapa topográfico de la zona, siendo una gran ayuda para la localización y rotulación de caminos, canales, nombres de pueblos, etc.

Daremos aquí una ligera orientación para el principiante en fotogeología, sobre la identificación de vías de comunicación en la fotografía, dado que a veces se confunden carreteras y vías de ferrocarril; sin embargo, son fácilmente diferenciables dado que estas últimas presentan un trazado recto, con curvas de gran radio y pendientes suaves, a diferencia de las carreteras que, debido a la mayor movilidad de los vehículos que las usan, pueden adaptarse mejor a la topografía de la zona, pudiendo mostrar curvas muy cerradas y fuertes pendientes (Fot. VII-1).

Aconsejamos que junto a los pueblos se rotule su nombre, por resultar muy práctico para la posterior identificación de la zona. En la leyenda existente al principio del libro hemos anotado los símbolos de uso más frecuente.

Una advertencia que nos permitimos recordar al fotogeólogo, es que bastantes hallazgos arqueológicos se deben precisamente a la fotografía aérea, y en muchos casos a personas que no eran arqueólogos. Y es que, aunque la arqueología se sale del campo del geólogo, nunca está de más anotar cualquier rasgo curioso que se pueda observar, como son los castros, calzadas romanas, etc., que en una posterior comprobación del trabajo en el campo pueden ser un aliciente de tipo artístico y cultural, además de, en algunos casos, poder llegar a ser una gran aportación a la arqueología (Fot. VII-2).

2.° **Hidrografía.**—Una vez terminado el trabajo de pasar al papel de calco todo lo referente a obras humanas, pasamos a realizar el estudio de la red hidrográfica. Este estudio se puede presentar bajo dos aspectos:

a) Que la red hidrográfica trazada tenga como finalidad el servir de guía para el paso del trabajo fotogeológico al mapa final, en el caso de que exista un mapa topográfico, o bien, para ser pasada al mapa planimétrico confeccionado por el método de las plantillas (Cap. VI).

b) Cuando se desea un estudio exhaustivo del drenaje, bien para la separación litológica de distintos materiales, o cuando el trabajo sirve de base para el informe geológico de un pantano, canal, trasvase de aguas y estudios de hidrología en general.

En el primer caso se marca con un lápiz azul los cauces de ríos y arroyos más importantes que aparecen en la fotografía, sin necesidad de tener que anotar los arroyos de tercer y cuarto orden, etcétera, ni la variación que pueda existir en el tipo de corriente (arroyos esporádicos, perennes, brazos muertos de un río, brazos de crecida, lecho de inundación, etc., que estudiaremos en los capítulos IX y XIII). En el caso de que se necesite confeccionar un mapa planimétrico final, la precisión y abundancia de anotaciones realizadas irán de acuerdo con la cantidad de datos con que se desee obtener el mapa final.

En el segundo caso hay que aprovechar las enormes ventajas que ofrece la fotografía aérea y anotar con la mayor exactitud y precisión todos los detalles hidrográficos que ésta puede ofrecernos, que en la mayoría de los casos es superior a los obtenidos con el trabajo de campo (además de los citados anteriormente, arroyos esporádicos, perennes, el estudio de valles ciegos, formas de disolución, etc.). El estudio de los diversos tipos de corriente y demás rasgos topográficos se ha realizado más extensamente en los capítulos VIII y XIII.

VII.4. ESTUDIO GEOLÓGICO.—Una vez terminados los dos estudios anteriormente citados, pasaremos al estudio geológico propiamente dicho. Igual que los pasos anteriores deben ser definitivos, es decir, una vez terminado el estudio del drenaje no debe ser necesario volver sobre la fotografía para rectificar ni añadir ningún dato, en el estudio geológico se debe obrar con una metodología distinta, dando sucesivas pasadas al trabajo hasta completarlo definitivamente.

En la primera pasada o estudio preliminar, pretendemos tener una visión de conjunto de la zona y nos limitaremos a anotar sólo los rasgos más seguros e importantes de la misma. Este trabajo se debe realizar de una manera metódica y exhaustiva, es decir, anotando todo tipo de capas, afloramientos, fracturas, fallas y demás rasgos geológicos que sean claramente visibles en la fotografía. Se debe prescindir de realizar la interpretación geológica en esta primera pasada, limitándose a realizar un trabajo puramente mecánico. Así, los contactos entre dos formaciones sólo se deben anotar en el caso de que sean absolutamente seguros. Dichos contactos se pueden anotar, por ejemplo, con una línea de pequeños trazos mar-

cada con un rotulador de tinta china negra del tipo Rapidograph, Standargraph, etc., de un diámetro máximo de 0,2 mm. En el caso de que no se esté seguro de la exactitud de un contacto, pero sea conveniente su anotación para localizarlo en otras fotografías en las que aparezca la zona colindante a la misma, se puede realizar éste por medio de una línea de puntos que se rectificaría a pequeños trazos en el caso de que la seguridad del contacto se hiciera más patente.

Tanto en un caso como en otro, a ambos lados de la línea de contacto se anota otra a lapiz, del color correspondiente a la formación que representa. Este tipo de anotación tiene por objeto el no comprometerse a un color definitivo en el caso de estar seguros de la existencia de dos formaciones litológicas distintas pero no de su identidad, además de que la precisión de dibujo obtenida por este método es superior a la obtenida usando el lápiz exclusivamente.

Para los distintos tipos de rocas, formaciones, etcétera, usaremos lápices de distintos colores, teniendo bien presente que deben estar siempre perfectamente afilados a fin de que no se empaste el dibujo. Hay costumbre de seguir la tabla internacional de colores de los mapas geológicos, y de hecho estos colores se deben emplear en el mapa final, pero al realizar la fotogeología tienen el inconveniente de que dicha gama de colores queda muy reducida, pues debido a la finura del trazo se pueden confundir dos colores que en la mano o en un empaste no se confundirían.

En el caso de no disponer de colores suficientes para el número de formaciones distintas que aparecen, se pueden trazar rayados horizontales, verticales, cruces, etc., procurando no empañar la claridad del dibujo.

Los afloramientos, buzamientos, direcciones de esquistosidad y, en general, todos los rasgos propios de una roca, se anotan en el color que previamente hemos destinado a la misma, que es el mismo con el que limitaremos el contacto. No así las fallas, fracturas, ejes de pliegues y demás rasgos estructurales que puedan afectar a una zona extensa y no a una roca en particular, que anotaremos en negro.

Una vez terminada esta primera pasada, volvemos a dar una o dos pasadas más (suelen ser necesarias), en las que afirmaremos o rectificaremos las anotaciones anteriores, añadiendo las que nos faltaban por hacer; así haremos el estudio estructural, marcando las estructuras tectónicas caso de que las haya, terminaremos de marcar las fallas, concluiremos los contactos, etc.

Según sea la naturaleza del contacto y el fin al que vaya encaminado, haremos un estudio más completo en un sentido u otro. Por ejemplo, si el estudio fotogeológico va encaminado al trazado de una carretera, nos interesará marcar las zonas de desplomes, avalanchas, peligro de coladas fangosas, etc.

En el caso de no encontrar el límite entre una formación y otra, como de hecho ocurre a veces, se pone el símbolo de «contacto no localizado» (Leyenda al principio del libro) y se cierra el trabajo sin intentar forzar un contacto que de hecho no se ha podido ver.

Y, por último, no olvidemos lo que decíamos al hablar del estudio fotogeológico en la página 96, de que una leyenda fotogeológica nunca será como una leyenda efectuada en el campo, y que en los casos en los que hayamos anotado una formación pero sin haber podido identificar su litología, no tenemos que comprometernos a dar ninguna, sino que tranquilamente la podemos dejar anotada como «Formación A», y en la memoria que acompaña al trabajo se explican las características de la misma.

VII.5. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO. — Como todo geólogo, el fotogeólogo debe consultar la bibliografía de la zona que está trabajando, a fin de realizar un trabajo lo más completo posible. Aquí sólo queremos llamar la atención sobre los problemas que se encuentra al hacerlo el principiante en fotogeología.

Las consultas bibliográficas deben hacerse siempre con criterio, es decir, que en caso de que no correspondan los resultados del mapa o trabajo consultado con los de uno mismo, éstos no se deben desechar nunca a la ligera. Muchas veces estudiando una zona en fotogeología y consultando algún trabajo publicado sobre la misma, encontramos que una formación que teníamos ya marcada en la fotografía, en el mapa consultado no viene ni esbozada. Salvo que el fotogeólogo posea mucha experiencia y seguridad en el trabajo, tiende a pensar que se ha equivocado en su apreciación.

Esta postura es errada y conviene prevenir contra ella a todos los que inician sus trabajos en fotogeología. Si se está estudiando un terreno y vemos en él algo que nos llama la atención y que hubiésemos cartografiado sin dudar, en el caso de no tener el otro mapa delante, ese «algo» existe. Puede tener o no tener la importancia suficiente como para quedar identificado como una formación aparte, pero estudios posteriores se encargarán de confirmarlo. Téngase en cuenta que, independientemente de que el mapa consultado esté bien realizado o no, al principio de este capítulo hablábamos de una serie de casos en los que la fotogeología llega más allá de lo que puede llegar la geología de campo. Sirvan como ejemplo los casos del batolito granítico y las diferencias en pizarras citadas en la página .

También ocurre a menudo que los contactos que vienen en el mapa consultado y los realizados por el fotogeólogo son totalmente distintos; si dichos contactos aparecen claramente en la fotografía y el fotogeólogo creé estar seguro de los mismos, no debe modificar su criterio por seguir los resultados de otra persona de la que no conoce su forma de trabajar ni los medios empleados. Resumiendo: Cualquier trabajo consultado sobre la zona, y sobre todo si es un trabajo exclusivo de campo, debe servir exclusivamente de orientación y ayuda, pero no para crear una continua duda sobre el trabajo fotogeológico que se está realizando.

CAPITULO VIII

Estudio del tono y vegetación en las fotografías aéreas

VIII.1. *Tono.*

VIII.2. *Estudio de los factores principales que afectan a la gama de grises.*

VIII.3. *Factores técnicos.*

VIII.4. *Factores propios del material fotografiado.*

VIII.5. *Factores climatológicos y meteorológicos.*

VIII.6. *Factores humanos.*

VIII.7. *Vegetación.*

CAPITULO VIII

Estudio del tono y vegetación en las fotografías aéreas

VIII.1. TONO.—El estudio de la intensidad de los grises en las fotografías aéreas es una base imprescindible para la interpretación de las mismas. Sin embargo, es difícil realizar una síntesis correcta del estudio de los tonos y su aplicación en fotogeología, dado que la intensidad de éstos es el resultado de una serie de factores totalmente dispares entre sí, como pueden ser los puramente técnicos de la toma de la fotografía, los climáticos, litológicos, etc. Esto impide el poder atribuir una intensidad característica de gris a cada tipo de roca, lo que simplificaría considerablemente su estudio.

Estudiaremos a continuación, en líneas generales, los factores que influyen directamente en la variación de intensidad dentro de la gama de grises. En los capítulos dedicados al estudio de cada tipo de roca, incluiremos un apartado denominado **TONO,** en el que expondremos la intensidad de gris más o menos característica de ese tipo de material, aunque hay que tener en cuenta las limitaciones antedichas.

VIII.2. ESTUDIO DE LOS FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN A LA GAMA DE GRISES.—Para un estudio más claro de los mismos podemos agrupar dichos factores en cuatro grupos:

1.° **Factores técnicos,** dependientes de la toma de fotografías y del material empleado, como pueden ser el:

— Tipo de película empleada.

— Tiempo de exposición.

— Revelado.

— Papel empleado, etc.

2.° **Factores propios del material fotografiado,** por ejemplo:

— Color de la roca.

— Textura de la misma.

3.° **Factores climatológicos y meteorológicos,** como:

— Tipo de vegetación y estado vegetativo de la misma.

— Humedad del terreno.

— Presencia de agua.

— Presencia de nieve.

— Clima de la zona.

— Estación del año en que se ha tomado la fotografía.

— Hora de la toma.

— Inclinación del sol.

— Luminosidad del ambiente, etc.

4.° **Factores humanos:**

— Obras públicas de irrigación.

— Vías de comunicación.

— Cultivos.

— Explotaciones mineras.

VIII.3. FACTORES TÉCNICOS.—No nos extenderemos en la enumeración de la serie de factores puramente técnicos que afectan a la toma de la fotografía, por no creerlo de gran interés para el lector. Nos limitaremos a hablar de los negativos empleados, cuyo estudio puede ayudar a éste para un mejor conocimiento de las fotografías.

Negativos empleados.—Como dijimos anteriormente en el capítulo I, al hablar de los diferentes tipos de fotografías verticales, las fotografías en blanco y negro son las más empleadas, tanto por su bajo costo, como por no haber sido aún lanzadas comercialmente el resto de las fotografías tomadas con otra técnica (fotos en color, infrarrojos, radar, etc.).

Las fotografías en blanco y negro están tomadas con película pancromática muy rápida, sensible a todas las longitudes de onda del espectro visible. La gama de grises obtenida en estas fotografías es reducida, ya que las densidades de ennegrecimiento están limitadas tanto en el mínimo (la mínima densidad perceptible queda enmascarada por el fondo del papel fotográfico, es decir, no existe en las fotografías el blanco puro), como en el máximo, quedando éste limitado por la densidad del grano, estando bastante por debajo del nivel de saturación, no existiendo por tanto tampoco el negro absoluto. Las películas pancromáticas son más sensibles a los extremos de la escala cromática que la propia vista humana, por lo que en una fotografía tomada con este tipo de película se pueden apreciar una serie de detalles que a simple vista pasarían inadvertidos.

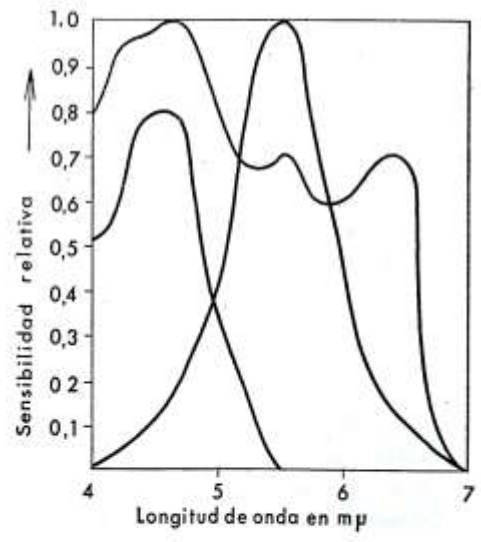


FIG. VIII-1

Existe otra serie de emulsiones que poseen un grado de sensibilidad distinto para las diferentes longitudes de onda, como la *película ortocromática*, sensible sólo a la escala cromática comprendida entre el violeta y el amarillo, ambos inclusive, la *película universal*, tipos de emulsiones más o menos rápidas, etc., que darán una gama de grises distinta a la obtenida con película pancromática (Fig. VIII-1).

Es frecuente el empleo de filtros en las tomas fotográficas, variando la intensidad de los grises de la película correspondiente. Los más empleados con las películas pancromáticas son los azules.

VIII.4. FACTORES PROPIOS DEL MATERIAL FOTOGRAFIADO.—*Color.*—Una de las características de las rocas que más íntimamente está relacionada con el tono con que ésta aparece en la fotografía, es el color de la misma. Así, según tenga originalmente colores oscuros o claros, la tonalidad de gris correspondiente será más o menos intensa. Por ejemplo, las arenas, margas, yesos, darán tonos claros, mientras que las pizarras, rocas básicas, arcillas y demás rocas de colores fuertes, aparecen en tonos oscuros en la fotografía.

Textura.—En fotogeología, la palabra textura no tiene el mismo significado que puede tener en petrografía. Cuando se habla de la textura de una roca en fotogeología, se refiere al conjunto de pequeñas imágenes que dan idea del color, formas de disolución, superficies a las que da lugar una roca, etc. Es la apariencia general de la misma en la fotografía. Así, las texturas moteadas que suelen ser bastante comunes, pueden ser debidas a cambios de porosidad, filtraciones de agua, pequeños niveles impermeables dentro de la formación, fenómenos de disolución, etc. (Fot. VIII-1). Las superficies graníticas, debido a la irregularidad de las mismas, a la acumulación de cantos rodados existentes en ellas, etc., dan como consecuencia una textura rugosa, como ya se verá en el capítulo XXVI. Las rocas metamórficas presentan una

textura bandeada relacionada con la esquistosidad, los yesos moteada, relacionada con sus formas de disolución interna, etc.

La textura tiene, por tanto, una íntima relación con el origen de la roca, compacidad de la misma, porosidad, permeabilidad, dureza, grado de erosión, etc.

VIII.5. FACTORES CLIMATOLÓGICOS Y METEOROLÓGICOS.—Tienen también una gran influencia en el tono de las fotografías. Estudiaremos aquí los principales, como pueden ser:

Vegetación.—La vegetación aunque no forma parte del conjunto de materiales rocosos, por estar superpuesta a los mismos, queda reflejada en la fotografía como si formara una unidad con ellos. La influencia de la vegetación en el análisis tanto litológico como estructural de las formaciones geológicas, conocimiento de las mismas, etc., la analizaremos más ampliamente en la segunda parte de este capítulo. Aquí nos limitaremos a hacer constar que la presencia de vegetación siempre contribuye a intensificar los tonos grises propios de las rocas sobre las que se aposenta, o bien en algunos casos a enmascararlos totalmente al cubrir por completo una zona, debido a su gran densidad. En este caso, la zona cubierta suele aparecer con los tonos propios de la vegetación.

Humedad del terreno.—Igual que la vegetación contribuye grandemente a la intensificación de los tonos grises, las zonas húmedas de una roca aparecerán en la fotografía en un tono gris más oscuro que el que presenta esa misma roca en sus partes secas. Este oscurecimiento de grises será tanto mayor cuanto mayor sea el grado de humedad de la zona afectada. Esta característica tiene una gran importancia en el estudio fotogeológico, principalmente en la parte estructural. Cuando estudiemos la identificación de fracturas en el terreno, veremos que uno de los métodos usados en la identificación de las mismas por la presencia de una franja más oscura que el resto del material, debiéndose el cambio de tonalidad a la humedad de la misma y la presencia de vegetación. Dada la estrecha relación existente entre los factores humedad y vegetación, el efecto de ambos se aúna, contribuyendo, por tanto, a una intensificación de los grises por cuenta de ambos factores (Fotografía VIII-2).

Presencia de agua y nieve.—Las corrientes de agua y las extensiones de las mismas, mares, lagos, etc., aparecen en negro en aquellas zonas en las que la profundidad es superior a los 10 m. (Fot. VIII-3). Algunas veces, el reflejo de la luz sobre el agua hace aparecer a ésta de un tono blanco rutilante que puede desorientar (Fotografía VIII-4). En este caso, no hay lugar a duda si se comprueba en la fotografía inmediata, pues el agua aparecerá en su verdadero tono, debido al distinto ángulo con que está tomada esta fotografía respecto a la anterior. En las zonas costeras, la espuma formada por el oleaje aparece igualmente en tonos blancos.

La nieve se presenta en un tono blanco nítido. Cuando está en grandes extensiones es fácil de identificar, pero las fotografías que se usan en fotogeología suelen estar tomadas en época de deshielo. De este modo, lo más que aparece, salvo que sea una zona de nieves perpetuas, son pequeños ventisqueros, que si no se está sobre aviso suelen sorprender al fotogeólogo hasta que los identifica como tales. Estos ventisqueros suelen aparecer orientados al Norte en España, por ser la parte que no queda expuesta al sol a lo largo del día.

Presencia de nubes.—La presencia de nubes interpuestas entre la cámara fotográfica y el terreno en el momento de la exposición, tiene el doble efecto de interferir la buena visibilidad de éste, dando lugar a una mancha blanquecina más o menos transparente u opaca según el volumen y la densidad de la masa de nubes interpuesta, y a la aparición de unas zonas de tonos más oscuros en el terreno, correspondiente a la sombra proyectada por aquéllas (Fot. VIII-5).

Los tonos de una fotografía variarán según la *época del año* en que ésta esté tomada, *altitud e inclinación del sol* en el momento de la exposición, *luminosidad* ambiental, etc. La variación existente entre los tonos de las fotografías tomadas en invierno y las tomadas en verano se debe principalmente al estado vegetativo de las plantas más que a la diferencia de luminosidad ambiental, cuya influencia se compensa en el momento de obtener las fotografías.

El otro factor que contribuye a modificar el tono, es la posición del sol en el momento de la toma. Un material sombreado aparecerá con tonos más oscuros que uno que está expuesto al sol. La

hora en que esté tomada la fotografía (se suele elegir horas del mediodía) tiene gran importancia debido a la inclinación del sol y a la influencia que ésta tiene sobre la longitud de las sombras y la desvirtuación de los colores de las rocas.

VIII.6. FACTORES HUMANOS.—Y, por último, hablaremos de los cambios de tonalidad debidos a la intervención humana. Las obras públicas tales como carreteras, desmontes, rellenos, etc., al poner de manifiesto materiales menos alterados que el resto se presentan en tonos más claros que los demás (Fot. VIII-6). Los cultivos pueden presentarse en tonos claros y oscuros, dependiendo del tipo de los mismos, orientación de los surcos, barbechos, tipo de riego y demás características propias de los mismos (Fot. VIII-7).

VIII.7. VEGETACIÓN.—La presencia de la vegetación en la fotografía aérea suele contribuir a destacar los principales rasgos, tanto litológicos como estructurales del terreno, aunque en el caso de que dicha vegetación sea muy densa puede contribuir a su enmascaramiento, como ya dijimos (Fot. VIII-8).

La presencia de vegetación sobre un terreno dependerá de varios factores como son humedad, permeabilidad, formación de suelos, etc., que podemos reducir a dos: litología y clima.

La influencia de la *litología* sobre la vegetación es considerable; existen algunos tipos de rocas que debido a su composición y características no permiten el desarrollo de la vegetación sobre ellas, o bien una vegetación muy pobre (p. ej., los yesos). Otras, sin embargo, por sus condiciones especiales de composición, permeabilidad, etc., suelen ser buena base para cultivos, prados, etc. (por ejemplo, aluviones y arcillas de decalcificación).

Clima.—Es el factor de influencia más considerable, al ir asociados a él factores tan importantes para la vegetación como temperatura y régimen de lluvias. Así, tenemos que a cada tipo de clima le corresponde un tipo de vegetación más o menos exhuberante, según las características de aquél.

La vegetación, en general, se presenta en tonos oscuros en las fotografías. Estos tonos irán ligados a una serie de factores como:

— Humedad del suelo.

— Tipo de vegetación.

— Estado vegetativo de la misma.

— Epoca del año en que está tomada la fotografía.

— Inclinación del sol en el momento de la toma, etc.

Así tenemos que, por ejemplo, los cultivos pueden presentarse en tonos que varían del blanco al gris oscuro, no sólo por la época del año en que se encuentren (en primavera, los cereales darán tonos oscuros, mientras en verano éstos serán claros), sino también por la disposición del surco con respecto a los rayos del sol en el momento de la toma (cuando están transversales al sol, la proyección de sombras dará lugar a unos tonos más oscuros que cuando están paralelos) (Fot. VIII-7).

Como hemos dicho, la vegetación suele contribuir a resaltar los rasgos estructurales y litológicos del terreno. Así, en las rocas sedimentarias, la alternancia de estratos de diferente composición dará lugar a una distribución zonada de la vegetación (Fot. VIII-9). Las fallas y fracturas, por la mayor humedad que presentan respecto al resto de la zona, suelen dar lugar a una franja de vegetación coincidente con ella.

De todos modos, el tomar la vegetación como única guía de cambios litológicos o estructurales puede conducir en algunos casos a conclusiones engañosas. Citaremos algunos casos:

— Un camino abandonado puede ser lugar propicio para el crecimiento de vegetación, dando lugar a una franja anómala que se puede confundir con una fractura.

— Al intervenir la mano del hombre en la distribución de la vegetación, puede dar lugar a confusiones, dando importancia geológica a simples manchas de repoblación forestal, plantaciones, cultivos, etc. (Fot. VIII-10).

— Muchas veces los contactos pueden quedar delimitados por un cambio de vegetación. Sin embargo, es frecuente que ésta se extienda algo más allá del verdadero contacto por influencia del suelo, mano del hombre, etc., pudiendo dar lugar a errores en la delimitación del mismo (Fot. VIII-11).

— La distinta orientación de las laderas de una montaña puede originar microclimas que da-

rán lugar a un tipo de vegetación distinto en unas y otras, sin que esto indique cambio geológico alguno.

— La tala de árboles, incendios, corrimientos de tierras, etc., dan lugar a calveros en medio del bosque que podrían ser igualmente causa de errores (Fot. VIII-8).

— Y, por último, nos limitaremos a citar los casos en los que, por existir en los rellanos topográficos o zonas protegidas un espesor de suelo mayor, aparece una densidad de vegetación distinta a la correspondiente al resto de la roca, que podría dar lugar a confusiones de tipo estructural o geológico.

CAPITULO IX

Análisis geomorfológico

IX.1. *Análisis geomorfológico.*

IX.2. *Drenaje.*

IX.3. *Control litológico.*

IX.4. *Control topográfico.*

IX.5. *Control estructural.*

IX.6. *Topografía.*

IX.7. *Clima y grado de erosión de la roca.*

CAPITULO IX

Análisis geomorfológico

IX.1. Análisis geomorfológico.—El análisis geomorfológico que se puede hacer desde las fotografías aéreas es muy importante, aunque no exhaustivo, teniendo que recurrir al trabajo de campo para poder completar el mismo. Sin embargo, su uso no sólo reduce considerablemente este último sino que puede aportar una serie de datos que de otra manera pasarían inadvertidos.

Dado que una de las bases principales de la interpretación fotogeológica es el análisis geomorfológico, el fotogeólogo debe estar ampliamente formado en este tema por ser uno de los que más directamente pueden influir en su trabajo. A lo largo de este libro se hace un análisis de la morfología a la que da lugar los distintos procesos, tipos de rocas, fracturaciones, plegamientos, etc., pero la limitación de espacio y la finalidad del libro impiden una mayor dedicación a dicho tema, por lo que recomendamos a los fotogeólogos y estudiantes de fotogeología se formen ampliamente en el mismo con libros especializados al efecto.

En este capítulo nos limitaremos a hacer un breve análisis de dos características geomorfológicas principales: el drenaje y la topografía.

IX.2. Drenaje.—Llamaremos drenaje al conjunto de ríos, vaguadas, barrancos y demás huellas impresas en el terreno que deja el agua que constante o intermitentemente circula por el mismo.

El método fotogeológico es el más adecuado para realizar un estudio completo y detallado del drenaje de una zona debido a varias razones, entre las que citaremos las principales:

1.ª La gran extensión de terreno abarcado en las fotografías, muy superior a la que se puede obtener en el campo, permite un estudio rápido de la zona.

2.ª Debido a la exageración del relieve se aprecian con detalle señales que sobre el terreno pasarían inadvertidas.

3.ª La disposición del método permite realizar un dibujo exacto de la red, sobre todo en áreas no elevadas, donde las distorsiones de las fotografías son mínimas, con un detalle y precisión que sobre el terreno es imposible realizar o requiere mucho tiempo y trabajo.

El estudio del drenaje en fotogeología puede tener dos vertientes: La primera es la ayuda que significa para la identificación litológica de un material el estudio de su modelo de drenaje; la otra consiste en el estudio de la red fluvial en sí, disposición de la misma, adaptación a las estructuras y fallas de la zona, capturas, estudio del basculamiento o movimiento del terreno, etc.

En los capítulos destinados al estudio de cada material hablaremos del modelo de drenaje correspondiente a cada tipo de roca. Aquí nos limitaremos a estudiar los criterios generales que hay que tener en cuenta en el estudio del mismo.

El estudio del drenaje es una de las principales guías empleadas en fotogeología en la identifica-

ción litológica de los materiales. Cuando dicho estudio se realiza con tal fin, hay que dar más importancia al estudio de la situación, distribución y longitud de los arroyos de pequeño orden, que a los ríos principales, dado que aquéllos están íntimamente relacionados con las principales características de las rocas sobre las que corren, mientras estos últimos son un reflejo de una serie de factores que abarcan a toda la zona, independientemente de la litología de cada tramo en particular.

El tipo de drenaje más frecuente es el dendrítico, formado por arroyos que se van ramificando en forma arborescente (Fig. IX-1 y Fot. IX-1).

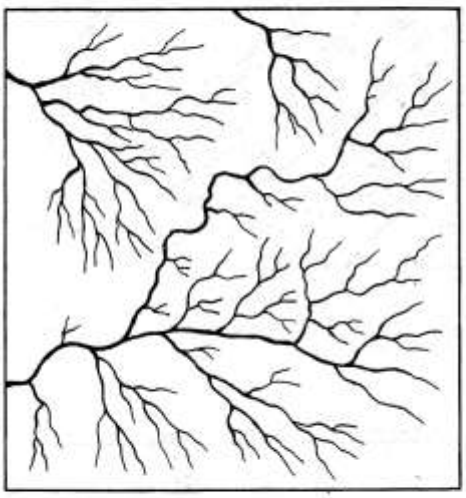


FIG. IX-1. *Drenaje dendrítico* formado por arroyos que se van ramificando en forma arborescente.

Existen varios tipos de controles que pueden influir sobre la disposición de la red, controles que se pueden reducir a tres principales:

— Control litológico.

— Control topográfico.

— Control estructural (Fot. IX-2).

IX.3. CONTROL LITOLÓGICO.—Cada tipo de roca dará lugar a una serie de modificaciones en la forma del drenaje, principalmente en la:

a) Forma de los arroyos.

b) Densidad de la red.

c) Uniformidad de la misma.

a) Forma de los arroyos.—La forma de los arroyos, tanto en planta como en perfil, dependerá de una serie de características de la roca, como son la distribución isótropa o anisótropa de los minerales dentro de la misma, cohesión, permeabilidad, etc. Así, las rocas plutónicas dan lugar a una terminación típica de los arroyos en forma de pinza, las arcillas presentan un perfil en forma de V, etc.

Estas modificaciones las estudiaremos en los capítulos dedicados a analizar el estudio fotogeológico de cada tipo de roca.

b) Densidad del drenaje, o espaciado existente entre los arroyos, es uno de los elementos de juicio más claros que tenemos sobre una serie de propiedades de la roca, como pueden ser la erosión, permeabilidad de la misma, clima, etc. Así tenemos que:

— A mayor dureza y resistencia, menor densidad.

— Cuanto más finos sean los materiales que la integran, más tupida y ramificada se hace la red (Fot. IX-1).

— En climas áridos, la densidad del drenaje es mayor que en climas húmedos, aunque los ríos principales están más separados de lo que pueden estar en éstos.

c) Uniformidad.—La uniformidad del drenaje es un dato indicativo de la homogeneidad de los materiales por los que corre. Esta homogeneidad se refiere tanto a la litología de la zona como a la estructura de la misma (plegamientos, fallas, etc.). Así, el granito, neis, pizarras, etc., nos darán un drenaje uniforme, mientras que en una serie sedimentaria plegada, dicha uniformidad habrá desaparecido al estar condicionada la red por las estructuras, corriendo principalmente por los materiales más débiles (drenaje subsecuente).

IX.4. CONTROL TOPOGRÁFICO.—Como su nombre indica, la red hidrográfica está influenciada por la topografía de la zona. Los ríos principales a los que da lugar son (Fig. IX-2):

Ríos consecuentes.—Son aquellos cuyo curso sigue la pendiente topográfica primitiva.

Ríos resecuentes.—Son del mismo sentido que los anteriores, pero se han formado posteriormente después de la erosión de la zona.

Ríos obsecuentes.—Son de sentido contrario a los resecuentes y de su misma edad.

Red paralela.—La corriente principal y las secundarias corren en la misma dirección y sentido. Es propia de los estratos de superficie bien desarrollada y con una cierta inclinación, o bien de llanuras inclinadas como pueden ser las plataformas de abrasión, llanuras costeras, lavas, etc. (Fig. IX-3 y Fot. IX-3).

Red subparalela.—La corriente principal corre en sentido oblicuo con respecto a las secundarias que son paralelas entre sí. Se da en los mismos casos anteriores cuando existe una variación brusca de pendiente (Fig. IX-4).

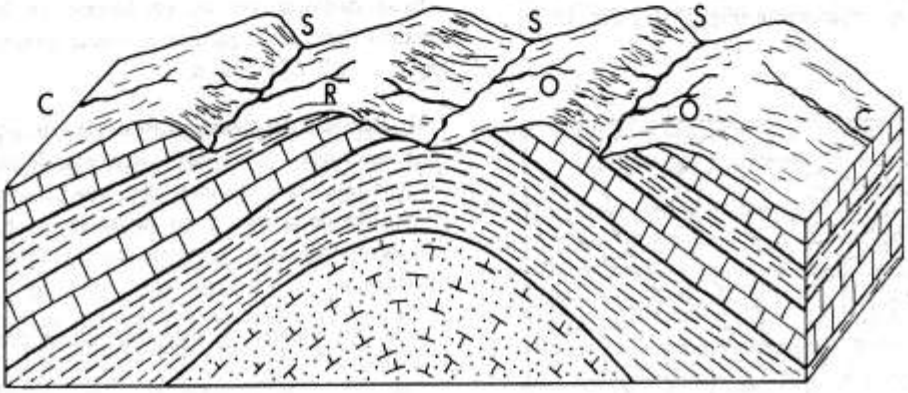


FIG. IX-2. CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS POR SU ADAPTACIÓN A LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA.—*C*, Ríos consecuentes; *O*, Obsecuentes; *R*, Resecuentes, y *S*, Subsecuentes.

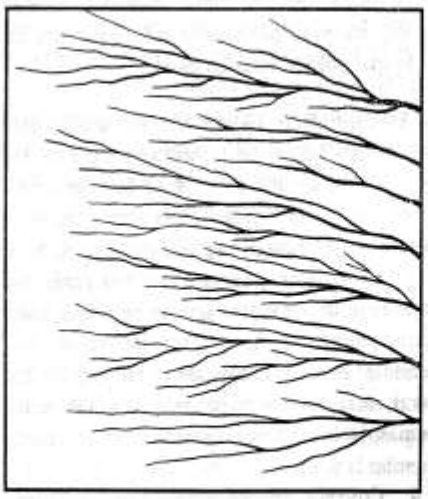


FIG. IX-3. *Red paralela.*—La corriente principal y las secundarias corren en la misma dirección.

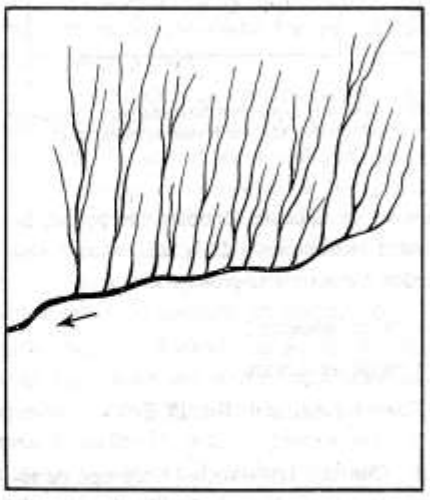


FIG. IX-4. *Red subparalela.*—La corriente principal corre en sentido oblicuo a las secundarias, que son paralelas entre sí.

Red radial.—Formada por ríos que partiendo de un terreno elevado, de forma más o menos cónica, se dirigen en todas direcciones. Es propia de conos volcánicos, domos homogéneos y cerros aislados de la forma antedicha (Fig. IX-5).

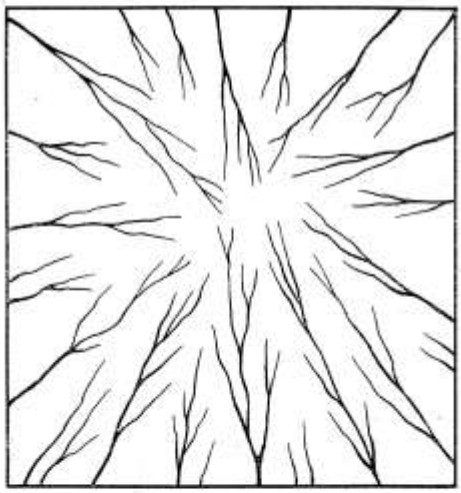


FIG. IX-5. *Red radial centrífuga* formada por ríos que partiendo de un punto elevado, de forma más o menos cónica, se dirigen en todas direcciones.

También puede existir una red radial centrípeta en el caso de depresiones de forma cónica.

Red anastomosada.—Propia de llanuras. Suele indicar una desproporción entre la carga transportada por el río y el gradiente del terreno. El río principal se divide en numerosos brazos que se entrecruzan en numerosos puntos, dejando entre sí barras de arena, gravas, etc. (Fig. IX-6 y Fotografía IX-4).

Red en abanico.—El río principal se abre en forma de abanico, ramificándose en múltiples arroyos. Propio de deltas y conos de deyección (Fig. IX-7).

IX.5. CONTROL ESTRUCTURAL.—El control estructural al que puede estar sometida una red hidrográfica puede ser de dos tipos:

a) Por plegamiento.

b) Por fracturación.

a) Control estructural por plegamiento.—Cuando los materiales están plegados, la red hidrográfica suele estar adaptada a las principales estructuras. Es más, a través del estudio de los casos de arroyos o ríos inadaptados a los rasgos estructurales, podemos llegar a una serie de conclusiones acertadas sobre la evolución de la zona, cap-

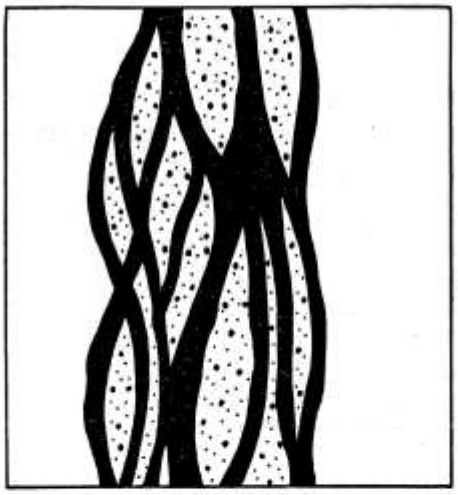


FIG. IX-6. *Red anastomosada.*—El río principal se divide en numerosos brazos que se entrecruzan en diversos puntos, dejando entre sí barras de arena, limos, gravas, etc.

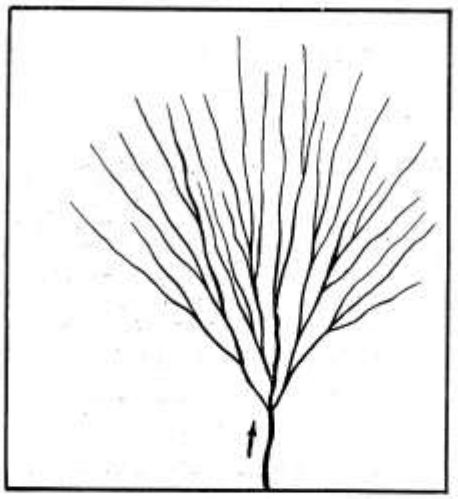


FIG. IX-7. *Red en abanico.*—El río principal se abre en abanico, como su nombre indica, ramificándose en múltiples arroyos.

turas, basculamiento, levantamientos sufridos por la región, etc.

Los ríos adaptados a las estructuras suelen estarlo igualmente a la litología de las mismas, siendo generalmente *ríos subsecuentes* (Fig. VII-2). Según la disposición de éstos recibirán el nombre de:

VALLES LONGITUDINALES	— *Valles anticlinales*, cuando coinciden con los ejes anticlinales erosionados. Suelen ser valles primarios (Fot. IX-6).
	— *Valles sinclinales*, cuando se han desarrollado sobre el eje de un sinclinal. Suelen ser más amplios que los anteriores.
	— *Valles homoclinales*, si corren por las rocas blandas situadas en los flancos de los pliegues. Generalmente son valles secundarios (Fot. IX-2).

Los ríos transversales a las estructuras suelen tener tres razones principales de existencia:

VALLES TRANSVERSALES (Fig. IX-8)	— *Topográfica.*—Dichos ríos son el desagüe natural de otro río longitudinal, producido al buscar éste su salida a través de la cota más baja, o bien los arroyos de ladera producidos por el encarrilamiento de las aguas de lluvia.
	— *Tectónica.*—Son ríos subsecuentes, coincidentes con fallas o fracturas transversales a los estratos.
	— *Genéticas.*—Son los ríos *sobreimpuestos*, encajados en la roca actual a partir de otra más blanda, antiguamente superpuesta a ésta.

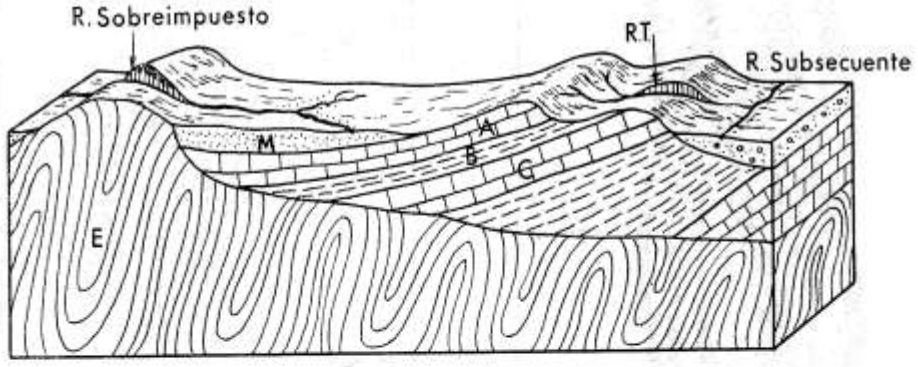


FIG. IX-8. En la figura vienen representados dos tipos de ríos transversales a las estructuras. El primero corrió inicialmente por un terreno blando (*M*) hasta que fué encajándose en los esquistos (*E*) a los que atraviesa transversalmente a su estructura. Es, por lo tanto, un río *sobreimpuesto*. El otro valle que aparece tiene un origen topográfico (*RT*). Es, simplemente, la salida del drenaje del estrato *A*, a través de los *B* y *C*, para empalmar con el valle longitudinal existente en terreno cuaternario.

Drenaje de domos y cubetas.—La adaptación de la red hidrográfica a los domos estructurales dará como resultado un *drenaje anular* (Fig. IX-9) formado por:

— Ríos radiales, transversales a la estructura.

— Ríos anulares, *subsecuentes*, que correrán por los estratos más blandos.

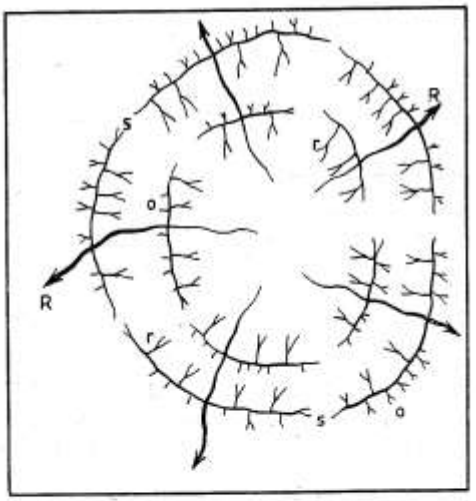


FIG. IX-9. Red anular centrífuga formada por: Ríos radiales transversales a las estructuras (*R*); ríos anulares subsecuentes que corren por estratos más blandos (*s*); arroyos de ladera resecuentes (*r*), y arroyos de ladera obsecuentes (*o*).

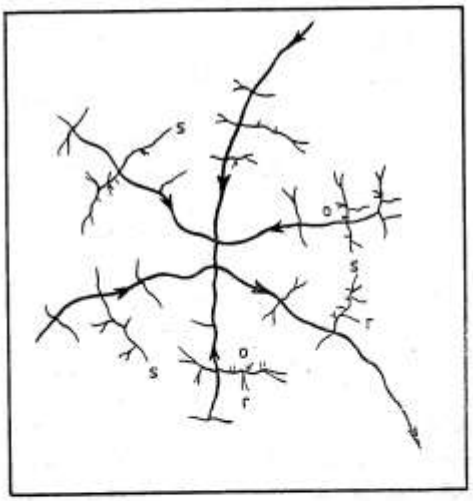


FIG. IX-10. *Red anular centrípeta.*—Está formada por: Ríos radiales transversales a las estructuras (*R*); ríos anulares subsecuentes (*s*); arroyos de ladera obsecuentes (*o*), y arroyos de ladera resecuentes (*r*).

— Arroyos de ladera, obsecuentes, en las vertientes de los estratos que miran hacia el centro del domo (en contra del buzamiento).

— Arroyos de ladera, resecuentes, por las vertientes anteriores (a favor del buzamiento).

La red puede ser centrífuga, salvo que exista una inversión de relieve debida a que las rocas aflorantes en el núcleo sean más débiles que el resto de la formación, con lo que obtendremos una red centrípeta.

En el caso de las cubetas, la disposición de la red será la misma, con la única diferencia de que los arroyos de ladera obsecuentes correrán por las vertientes internas (a favor del buzamiento) y los resecuentes por las externas (en contra del mismo).

La dirección del drenaje en principio será centrípeta, salvo que exista una inversión del relieve (Fig. IX-10).

b) Control estructural por fracturación.—En el caso de que el terreno esté fracturado, los ríos y arroyos tienden a correr por las fallas y fracturas por ser líneas de menor resistencia. Precisamente uno de los métodos empleados para reconocer éstas consiste en ver la alineación de ríos, arroyos y demás rasgos hidrográficos (Cap. XI). Como corrientemente los sistemas de fracturas forman una red que se entrecruza, si el sistema hidrográfico se adapta a ellas, nos dará un tipo de drenaje llamado *angular* (Fig. IX-11). Si las fractu-

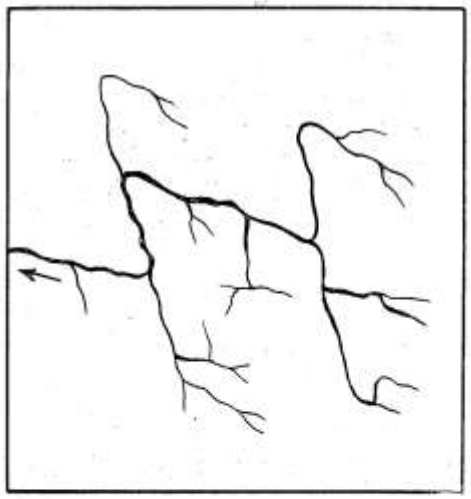


FIG. IX-11. *Red angular.*—Los ríos y arroyos se cortan en sentido oblicuo.

ras están bien desarrolladas correrán por ellas los ríos principales, mientras que si son de menor envergadura, la adaptación principal se hará en los arroyos. Un tipo particular de red angular será la *rectangular* (Fig. IX-12), en el caso de que las fracturas que condicionaran la red hidrográfica se cortasen en ángulo recto.

Como final diremos que la red hidrográfica suele ser de tipo mixto, adaptándose en cada tramo al tipo de material por el que corre.

IX.6. TOPOGRAFÍA.—El primer contacto que tenemos en fotogeología con un terreno es a través de su expresión topográfica. A través de ésta nos damos cuenta de si nos encontramos ante un terreno homogéneo, o bien formado por diversos tipos de rocas, según su topografía sea homogénea o variada, con diferencias de relieve, etc. El relieve producido por las distintas rocas va ligado a la naturaleza de éstas, estructuras, clima, etc.

a) La naturaleza de la roca será uno de los factores determinantes del relieve. La composición, cohesión, tamaño de grano, estructura interna de la misma, etc., determinarán la resistencia de ésta a la erosión. Téngase en cuenta que, en general, cuando se habla de que una roca es resistente o débil se debe entender que es al conjunto de agentes erosivos que actúan sobre ella y no solamente en el sentido físico. Así, una roca puede ser muy dura, hablando de dureza en el sentido estricto, y, sin embargo, ser débil frente a la acción de los agentes químicos. De todas maneras, dada la mayor importancia erosiva de los agentes puramente mecánicos frente a los químicos, las rocas muy duras o compactas, como pueden ser las cuarcitas, el granito, etc., suelen ofrecer una resistencia a la erosión muy superior a la de otros tipos de rocas más blandos y deleznables. De este modo se va moldeando el terreno, quedando los materiales más consistentes con un relieve superior a los blandos, salvo algunas excepciones. A esto se le llama el *relieve diferencial*. Así es frecuente que el cambio de unidades litológicas venga indicado por un *escarpe* (Fot. IX-5).

b) Las estructuras geológicas tienen una importancia decisiva en la topografía de la zona. Aquí, en el término «estructura», se incluyen tanto la estructura propia del tipo de roca, planos de estratificación, esquistosidad, diaclasas, etc., como deformaciones sufridas, plegamientos e intensidad de éstos, fracturas, fallas, etc., cuyas diferencias se encargará de acentuar la acción continuada de la erosión. Así, en un terreno fracturado el agua correrá principalmente a favor de las fracturas, como hemos indicado en el tema anterior, filtrándose a favor de éstas, dando como resultado, al cabo del tiempo, un acentuamiento de los rasgos tectónicos de la zona.

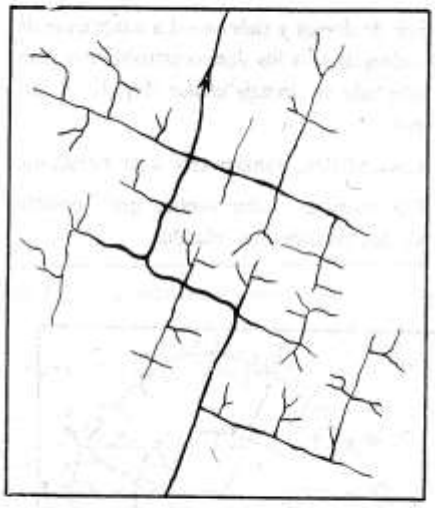


FIG. IX-12. *Red rectangular.*—La red sigue un sistema de diaclasas y fracturas que se cortan en ángulo recto.

En las zonas plegadas la topografía es una ayuda valiosísima para seguir las diversas estructuras y ver la dirección y buzamiento de las capas. La erosión diferencial actuará acentuando la diferencia existente entre los diversos estratos, erosionando más fácilmente los que ofrecen una menor resistencia y facilitando de este modo la identificación de capas guía, diferentes estratos, etc.

La clara visión que se puede obtener a través de la fotografía aérea de los buzamientos de los estratos suele ser suficiente para poder trazar los ejes anticlinales y sinclinales y los diversos tipos de pliegues que forman. Sin embargo, en algunos casos dicha apreciación no es tan fácil y es conveniente tener una serie de ideas claras sobre la interrelación de la estructura y la topografía. Unos pocos criterios generales sobre el caso bastarán para ello, pero teniendo en cuenta que dichos cri-

terios, a pesar de su generalidad no siempre son aplicables en todos los casos.

1.° Los *anticlinales* pueden aparecer erosionados o no, dando lugar a distintas formas topográficas:

Grado de erosión	*Características topográficas*
BAJO	— Montes alargados de cimas redondeadas (Fot. X-8).
	— Vertientes más o menos suaves, dependiendo del grado de buzamiento.
	— En los anticlinales simétricos, la pendiente de ambas vertientes es igual.
	— En los anticlinales asimétricos, la vertiente más abrupta corresponde al buzamiento más alto.
MEDIO	— Montaña alargada con un pequeño valle central, coincidente con la erosión de la charnela.
ALTO (Fot. IX-6)	— Puede producirse una inversión de relieve.
	— La charnela suele coincidir con una zona deprimida que corresponde a un valle principal.
	— En el caso de que la serie plegada esté formada por rocas alternantes, resistentes a la erosión y débiles, es formará una serie de sierras paralelas coincidiendo con las capas resistentes, cuya vertiente más abrupta mirará hacia el eje del anticlinal.

2.° En los *sinclinales* también puede darse la inversión del relieve. En este caso, da lugar a unos montes alargados de vertientes abruptas. Su parte superior puede ser plana o ligeramente deprimida.

En el caso de que los sinclinales aparezcan erosionados, sus principales características son las siguientes:

— La charnela suele coincidir con una zona deprimida por la que corre el valle principal. Suele ser de mayor extensión que en los anticlinales.

— Si la serie plegada está formada por estratos alternantes en cuanto a resistencia a la erosión, da lugar a una serie de sierras alargadas cuya vertiente más suave mira hacia el eje del sinclinal (principal diferencia con respecto a los anticlinales).

3.° *Terminaciones periclinales.*—En el caso de que no aparezcan claros los buzamientos en una terminación periclinal, dicha terminación corresponderá a:

— Un anticlinal, si la vertiente más abrupta mira hacia la parte cóncava de la curva (Fot. IX-7).

— Un sinclinal, si mira hacia la parte convexa (Fot. IX-7).

4.° *Sinclinales y anticlinales con ángulo de inmersión.*—Si tenemos una serie de sierras convergentes en las que no se aprecia claramente el buzamiento, hay que tener en cuenta que:

— Si la vertiente más abrupta de las sierras está situada hacia dentro de la formación, ésta corresponderá a un anticlinal buzante hacia el sentido de convergencia (Fot. IX-7).

— Si la vertiente más abrupta mira hacia el exterior, el pliegue será un sinclinal que buza en el sentido contrario al de convergencia.

5.° *Domos y cubetas.*—Su topografía será semejante a la de los anticlinales y sinclinales de doble terminación periclinal, pero con planta anular. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que al ir avanzando el grado de erosión de la estructura,

la exposición de las rocas del núcleo y el tipo de litología de éstas puede dar lugar a una inversión de relieve, como en los casos indicados en el cuadro siguiente:

	Tipo de estructura	*Rocas del núcleo*	*Tipo de relieve*
RELACION ENTRE EL RELIEVE Y LA ESTRUCTURA	DOMO	— Más resistentes que el resto.	Normal
		— Menos resistentes que el resto.	Invertido (Fot. X-13)
	CUBETA (Fot. X-14)	— Más resistentes que el resto.	Invertido
		— Menos resistentes que el resto.	Normal

IX.7. CLIMA Y GRADO DE EROSIÓN DE LA ROCA. Otro de los factores cuya importancia hay que tener en cuenta al analizar el relieve de una zona es el tipo de clima que afecta a la misma. Según cual sea éste, habrá influido de un modo u otro en la morfología del terreno. Así, las areniscas cuya estratificación es horizontal, en climas áridos darán lugar a cañones, mientras en climas húmedos su erosión dará lugar a una topografía más suave. El granito se erosiona más fácilmente en climas cálidos que en fríos. Las arcillas darán un tipo de erosión llamado «tierras malas» en climas áridos, y no bajo otro tipo de clima, etc.

De todos modos hay que tener en cuenta que la actuación de los climas hoy vigentes es corta, de manera que sólo han aportado una pequeña influencia en el modelado de los relieves actuales.

Y, por último, hay que tener en cuenta la fase en que se encuentra el proceso erosivo de la zona. Si dicho proceso está en sus comienzos, las diferencias de relieve entre unos materiales y otros será poco acusada, siendo, sin embargo, grandes en zonas donde dicho ciclo erosivo esté muy avanzado.

En los capítulos destinados al reconocimiento fotogeológico de cada roca se hablará más extensamente del tipo de relieve o relieves a los que pueden dar lugar, según el clima en que se encuentren, composición de las mismas, modo de presentarse, etc.

CAPITULO X

Análisis estructural

X.1. *Estudio de la dirección y buzamiento de los estratos.*

X.2. *Tipos de pliegues y estructuras.*

X.3. *Estructuras en domo y cubeta.*

X.4. *Representación gráfica de estratos y pliegues.*

CAPITULO X

Análisis estructural

La facilidad y rapidez de estudiar un conjunto que permiten las fotografías aéreas, hacen de éstas un elemento indispensable en el estudio estructural de una zona. A través de ellas se pueden seguir los plegamientos de las rocas en toda su extensión, pudiéndose trazar la posición de los ejes anticlinales y sinclinales con una gran precisión.

Todo esto hace de la fotografía aérea un elemento valiosísimo a la hora de realizar un mapa estructural. El trabajo previo de laboratorio nos permitirá realizar el estudio sobre el terreno de un modo rápido y seguro, al llevar planteados los principales problemas, así como la situación de los puntos más favorables para la resolución de los mismos.

En los capítulos destinados al estudio de la fotogrametría, al hablar de las medidas de buzamientos decíamos que éstas, en muchos casos, son más precisas que las realizadas en el campo, al estar libres de las pequeñas fluctuaciones que a veces son causa de errores en las medidas directas sobre el terreno (pág. 59). El mismo caso se presenta en las medidas de espesores, dirección de estratos, etc.

De todos modos, en la mayoría de los mapas fotogeológicos no es necesario realizar medidas de buzamiento con el estereomicrómetro, aunque sí es necesario anotar un buzamiento aproximado de éste.

X.1 Estudio de la dirección y buzamiento de los estratos.—La apreciación aproximada de un buzamiento, sentido de éste, dirección del estrato, etc., son observaciones fáciles de realizar en la fotografía, a poca práctica que tenga el fotogeólogo. La actuación de los agentes erosivos, ahondando y excavando con más facilidad en las rocas deleznables que en las resistentes, van acentuando los rasgos topográficos, poniendo de manifiesto las estructuras íntimamente relacionadas con ellos. Según la etapa en la que se encuentre el ciclo erosivo, la topografía será más o menos acusada, y, por tanto, los rasgos estructurales. De todas maneras, y aun en fase de arrasamiento total, las estructuras se acusan en la fotografía, traslucidándose la dirección de los estratos generalmente con claridad, aunque a veces no se pueda apreciar la intensidad del buzamiento y sentido de éste (Fotografía X-1). El tener una idea clara de la forma del afloramiento de las capas puede ayudar considerablemente en la identificación de éste en los casos que se presenten difíciles. La forma del afloramiento dependerá principalmente del:

Grado de buzamiento.—Este factor será el que tenga una mayor influencia en la forma del afloramiento. Veamos los casos principales:

A) *Estratos horizontales.*—El afloramiento de los estratos horizontales es siempre paralelo a las curvas de nivel. Según la resistencia y espesor de los estratos, la morfología de la zona será distinta, como vemos en los casos siguientes:

a) La serie horizontal es homogénea y coherente.—Dará lugar a superficies planas en las que

la red fluvial se irá encajando dando lugar a cañones o taludes más o menos inclinados; la inclinación de las paredes dependerá del *tipo de clima* (en climas áridos las paredes pueden ser verticales). En las laderas de dichos taludes frecuentemente se pueden apreciar los estratos por diferencia de tonalidad en la fotografía, pero no suele ser fácil su cartografía debido al empastamiento producido.

b) El estrato superior es más coherente que el resto de la serie.—Formación de extensiones planas a las que la erosión puede reducir a una serie de cerros de superficie plana y laderas inclinadas en las que aparece el resto de la serie (mesas). El espesor del estrato superior puede ser claramente visible en la fotografía. Cuanto menor sea la potencia de dicho estrato, más sinuoso será el trazado de la superficie del cerro (Fot. X-2 y Figura X-1).

FIG. X-1.—*Expresión topográfica de una serie horizontal.*—La serie representada en la figura tiene dos estratos más resistentes a la erosión que el resto de la misma (*C* y *A*). El primero de ellos (*C*) ha dado lugar a la mesa que aparece en el término izquierdo de la figura. Donde dicho estrato ha desaparecido aparece el resto de la serie más o menos erosionado, dando lugar a unos cerros de forma apuntada y redondeada. El otro estrato resistente (*A*) ha hecho frente a la erosión dando lugar a unas plataformas estructurales planas (*Pl*).

c) La serie horizontal es homogénea y poco coherente.—Suele dar lugar a una serie de cerros de forma redondeada o lobulada, más o menos apuntados, según la fase de erosión en la que se encuentren; en sus laderas se pueden apreciar los estratos en afloramientos concéntricos en los climas áridos, a manera de capas de hojaldre (Fotografía X-3 y Fig. X-1).

d) La serie es heterogénea.—Cuando los estratos más resistentes aparecen intercalados en una serie más blanda, darán lugar a una plataforma plana más o menos desarrollada; por encima y por debajo de ellos aparecerán las laderas inclinadas, correspondientes a los estratos más blandos (Fot. X-3 y Fig. X-1).

B) *Estratos inclinados.* — La intersección del borde de un estrato inclinado con la superficie topográfica formará una curva cuya parte cóncava mirará en el sentido del buzamiento (Fig. X-2). La forma y amplitud de dicha curva dependerá principalmente del:

a) Buzamiento del estrato.—Cuanto menor sea el buzamiento, más cerrado será el trazado de la curva descrita por el contorno de la capa. Así, en los buzamientos de ángulo bajo, la curva descrita por el borde del estrato es cerrada, mientras que en los de ángulo alto, dicha curva es casi lineal (Fot. X-4).

b) Red hidrográfica.—La disposición de la red hidrográfica influye igualmente en el trazado de las capas. Si los estratos están cortados transversalmente por frecuentes arroyos, el trazado estará formado por una serie de curvas situadas a lo largo de la dirección del mismo. La amplitud de dichas curvas será la marcada por el espaciado de la red (Fot. X-5).

c) Fase de erosión del estrato.—Según la fase erosiva en la que se encuentre el estrato, la influencia de la estructura en la topografía de la zona será más o menos acusada.

En la primera fase esta influencia no es muy grande, por no haber tenido tiempo suficiente los procesos de erosión para producir un relieve diferencial considerable. Los estratos estarán poco descubiertos y las curvas que origina su traza serán suaves. En la fase madura, la influencia será máxima; las capas aparecerán bien descubiertas y el arco formado por el borde del estrato será grande. En la fase senil, la erosión sufrida por los estratos ha sido máxima, coincidiendo prácticamente su traza con la dirección del mismo (Fot. X-1).

d) Litología.—La resistencia del estrato a la erosión influirá considerablemente en la forma del afloramiento. Si es un estrato débil se erosionará rápidamente, pasando a la fase senil, mientras que si es un estrato resistente, permanecerá largo tiempo en la fase madura.

C) *Estratos verticales.* — Su traza coincidirá exactamente con la dirección del estrato, independientemente de la fase de evolución en el que se encuentre, topografía de la zona, etc. (Fot. X-4).

X.2. TIPOS DE PLIEGUES Y ESTRUCTURAS.—En el cuadro siguiente vienen expresados los tipos de pliegues que se pueden ver en fotogeología:

Anticlinal	Simétrico	Eje horizontal	— Charnela intacta	— Da lugar a cimas redondeadas con vertientes de igual pendiente.
			— Charnela erosionada	— Da lugar a un valle encuadrado por sierras paralelas homoclinales buzando hacia fuera.
		Eje con ángulo de inmersión	— Charnela intacta (Fig. X-3)	— Montes de cima redondeada que se van estrechando y decreciendo en altura hacia el sentido del buzamiento del anticlinal.
			— Charnela erosionada (Fig. X-4 y Fot. X-6)	— Sierras homoclinales buzando en sentido contrario al eje, convergentes en el sentido del buzamiento del anticlinal, pudiendo verse en bastantes casos el cierre de terminación periclinal.
		Eje con doble ángulo de inmersión (Fot. X-7)	— Charnela intacta	— Monte de cima redondeada que se estrecha y decrece en altura en ambos extremos.
			— Charnela erosionada	— Sierras de buzamiento en sentido contrario al eje, convergentes en ambos extremos, pudiéndose ver a menudo el doble cierre periclinal.
	Asimétrico		— Charnela intacta (Fot. X-8)	— Todos los casos serán semejantes a los anteriores, con la diferencia de que el plano axial buzará en el sentido de la vertiente más suave.
			— Charnela erosionada (Fot. X-9 y Fot. X-10)	— Las disposiciones serán también semejantes a las anteriores, pero los buzamientos serán distintos en las sierras situadas a ambos lados del valle principal. El plano axial buzará en el mismo sentido que el flanco cuyo buzamiento sea más bajo.
Sinclinal	Simétrico	Eje horizontal	— Grado de erosión bajo	— Vertientes generalmente escarpadas en las que se ven los estratos buzando hacia el interior.
			— Grado de erosión alto	— Sierras paralelas homoclinales encuadrando al valle principal. Los buzamientos están situados mirando hacia éste.
		Eje con ángulo de inmersión (Fig. X-4)		- Pueden dar lugar a valles sinclinales. Las sierras homoclinales convergen en sentido contrario al del buzamiento del eje, pudiendo verse con frecuencia la terminación periclinal.
		Eje con doble ángulo de inmersión (Fotografía X-11)		— También suelen dar lugar a valles sinclinales enmarcados por sierras que convergen en ambas direcciones. A veces puede verse la doble terminación periclinal.
	Asimétricos			— Son semejantes a los anteriores, siendo distintos los buzamientos de las sierras a ambos lados del eje. El plano axial buzará en el mismo sentido que las sierras de buzamiento más bajo.

Pliegues volcados (Fot. X-12).—Los buzamientos de ambos flancos aparecerán en el mismo sentido y generalmente con ángulos diferentes. El plano axial buzará en el mismo sentido que ambos flancos. En el caso de que los buzamientos de éstos tengan un ángulo muy parecido, es posible confundir este tipo de pliegue con una serie homoclinal, o bien no saber si se trata de un anticlinal volcado o de un sinclinal, siempre que no se tenga bien determinada la serie estratigráfica.

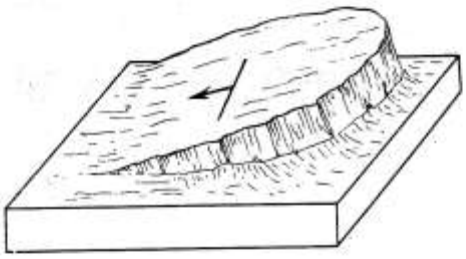


FIG. X-2. *Expresión topográfica de un estrato.*—La figura nos muestra la topografía originada por un estrato buzante cuyo techo ha dado lugar a una superficie estructural. La curva que describe el borde superior del estrato dependerá del buzamiento de éste, siendo más acusada cuanto menor sea el ángulo de dicho buzamiento y mayor su superficie visible. El símbolo anotado en la cara del estrato nos indica la dirección y sentido de buzamiento del mismo.

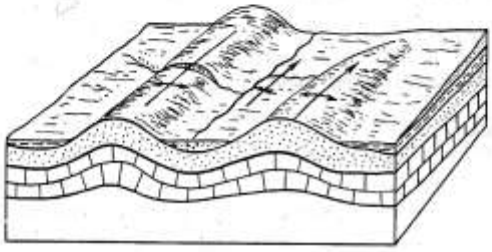


FIG. X-3. El bloque diagrama nos muestra dos anticlinales cuya charnela no ha sido erosionada. En el de la izquierda el eje es horizontal, mientras que en el de la derecha, el eje buza en el sentido que representa la flecha. El río que corre por el valle sinclinal es un río subsecuente, mientras que el que atraviesa el anticlinal izquierdo, posiblemente sea un río sobreimpuesto.

En estos casos, siguiendo el recorrido del estrato a lo largo de las fotografías, se puede encontrar alguna zona en la que por una mayor claridad en la disposición del pliegue quede aclarado el problema.

X.3. ESTRUCTURAS EN DOMO Y CUBETA.—En los domos, los estratos dispuestos circularmente buzan hacia el exterior de la estructura, mientras que en la cubeta el buzamiento es hacia el interior. Suelen ser fáciles de ver en la fotografía, debido a que su tamaño no suele ser muy grande y su grado de erosión suele permitir una clara apreciación de los mismos (Fot. X-13 y Fot. X-14).

X.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ESTRATOS Y PLIEGUES.—La cartografía geológica de estratos y pliegues es ligeramente distinta a la que se realiza sobre el terreno. Ello es debido a la diferencia en la apreciación de detalles que existe entre ambos métodos de trabajo; así, en la fotografía, en la mayoría de los casos se puede cartografiar claramente un afloramiento capa a capa, salvo que esto dé lugar a un empastamiento del dibujo.

Representación de estratos.—El borde de los estratos debe cartografiarse en el color que se haya asignado a la formación. Deben marcarse todos los bordes de estratos o al menos los más representativos, a fin de tener una representación clara del afloramiento.

En los estratos inclinados, el buzamiento se marcará con una flecha que comience en el borde superior del estrato y termine en la parte más baja de éste, es decir, abarcando toda la superficie visible del estrato. Según sea el ángulo de buzamiento, se anotará una flecha de una punta, dos o tres (véase la leyenda existente al principio del libro). En caso de que la parte visible del estrato aflore en pequeña extensión, bien por estar los estratos muy juntos, muy verticales, o cualquier otra causa, se sustituirá dicha flecha por un pequeño trazo perpendicular al borde del estrato. En el caso de que los buzamientos sean medios o altos se pondrán dos trazos o tres, respectivamente.

En la leyenda situada al principio del libro vienen indicados los principales símbolos empleados correspondiendo la mayoría a los utilizados en la cartografía normal efectuada en el campo. Los símbolos de dirección y buzamiento se anotarán en el mismo color que el empleado en el borde de los estratos para esa formación. Los de los pliegues, en negro.

CAPITULO XI

Estudio fotogeológico de la fracturación

XI.1. *Generalidades.*

XI.2. *Identificación de fracturas en fotogeología.*

XI.3. *Estudio de las fallas.*

XI.4. *Fallas de gravedad. Su reconocimiento en fotogeología.*

XI.5. *Modificación de las estructuras sedimentarias por las fallas de gravedad.*

XI.6. *Fallas de cizalla o de desplazamiento de rumbo.*

XI.7. *Criterios para el reconocimiento de fallas.*

XI.8. *Grado de evidencia de las fallas.*

XI.9. *Discordancias.*

CAPITULO XI

Estudio fotogeológico de la fracturación

XI.1. GENERALIDADES.—El estudio de la fracturación de una roca en la fotografía aérea tiene dos objetos: El primero es el *estudio tectónico de las formaciones*, equivalente al realizado en el campo, estudiando las diversas fracturas y fallas, desplazamientos efectuados por éstas, etc. El segundo consiste en el estudio del *grado de fracturación* de la roca y características del mismo, como ayuda para la identificación fotogeológica de ésta.

La fotografía aérea es un elemento de gran eficacia a la hora de realizar el estudio tectónico de una zona. Presenta una serie de ventajas, como son la magnitud del área abarcada, la facilidad de seguir a través de ella las fallas y fracturas durante varios kilómetros, la precisión de dibujo que permite, el bajo costo al que se puede realizar un estudio tectónico detallado, etc. Sin embargo, para realizar un estudio completo, es necesario efectuar sobre el terreno una serie de mediciones y comprobaciones que en la fotografía pueden ser imposibles, como son el ángulo de inclinación de una falla, salto de la misma, en algunos casos sentido del movimiento efectuado, etc.

La comprobación sobre el terreno de las fallas y fracturas marcadas en la fotografía puede dar lugar a errores si no se tiene en cuenta un factor muy importante:

1.° Hay fracturas y fallas que son visibles en la fotografía y sobre el terreno. Estas son las únicas que admiten comprobación.

2.° Otras pueden verse claramente (o deducirse) en el campo, pero no en la fotografía.

3.° Otras fracturas, sin embargo, son claramente visibles en la fotografía, pero no se ven en el campo. Pueden corresponder, por ejemplo, a fracturas enterradas por materiales más modernos o por suelos, de manera que la fractura aparece oculta sobre el terreno, pudiéndose seguir, sin embargo, su trazo en la fotografía.

El grado de fracturación de las rocas nos puede servir como guía para su identificación fotogeológica. La densidad de fracturas y la visibilidad y claridad de éstas en la fotografía son un índice de la rigidez de la roca, cohesión, dureza, plasticidad, elasticidad de la misma, etc. Así, el granito presentará un alto grado de fracturación en la fotografía, igual que ocurre con el neis, cuarcitas, etc., mientras que en las arcillas, arenas, yesos, etc., el grado de fracturación es mucho más bajo.

XI.2. IDENTIFICACIÓN DE FRACTURAS EN FOTOGEOLOGÍA.—Debido a la diferencia de escalas empleadas en el trabajo de campo y en el estudio fotogeológico, los criterios de identificación de fracturas usados sobre el terreno no son válidos para el reconocimiento de éstas en la fotografía.

Las ventajas o desventajas existentes en fotogeología con respecto al trabajo de campo, en la identificación de fracturas, quedan resumidas en el cuadro siguiente:

LA FOTOGEOLOGIA OFRECE UNA SERIE DE VENTAJAS, RESPECTO AL TERRENO, EN:	— La localización de fracturas de longitud media y grande.
	— Exactitud de la cartografía de las mismas.
	— Identificación de fracturas enterradas bajo materiales someros.
	— Facilidad y rapidez para el estudio de la fracturación en un área grande.

Las limitaciones de la fotogeología son:

— Dificultad de apreciación de las fracturas pequeñas.

— Dificultad de apreciación de diaclasas.

— Imposibilidad, en la mayoría de los casos, de apreciar la inclinación del plano de fractura.

— Imposibilidad de apreciar las fracturas cuyo plano es horizontal.

— Imposibilidad en bastantes ocasiones de distinguir una fractura de una falla.

Quien haya comparado un mapa fotogeológico con uno realizado sobre el terreno, habrá observado que los primeros presentan por lo general una densidad de fracturas muy superior a la representada en los segundos. Esta diferencia es debida a dos razones principales:

— La primera es que a la hora de confeccionar un mapa, sólo son cartografiables las fracturas de una cierta envergadura y éstas, como hemos dicho, se aprecian mejor en la fotografía que sobre el terreno.

— La otra razón, también de una cierta importancia, es que el fotogeólogo tiende a anotar todas las fracturas que ve, salvo en los casos en los que, por presentar la roca un alto grado de fracturación, se ve obligado a seleccionar las fracturas de una cierta importancia a fin de no empastar el dibujo. Sin embargo, el geólogo de campo no suele dar importancia a la fracturación de la roca, salvo en el caso de que por sus características especiales el trabajo así lo requiera, limitándose por lo general a cartografiar exclusivamente las fallas.

Un ejemplo de la eficacia de la fotogeología en el estudio de la fracturación de una roca, lo citábamos en el capítulo VII al hablar de la identificación de las estructuras tectónicas relacionadas con los yacimientos de uranio, identificación que sobre el terreno no había podido realizarse.

Pasemos ahora a estudiar los principales criterios de identificación de fracturas en la fotografía aérea. Como al fracturarse la roca, según planos de rotura, la traza de dichos planos sobre el terreno corresponderá a una línea recta, aunque en algunos casos pueda curvarse ligeramente, la expresión fotogeológica de una fractura será la alineación de una serie de factores como pueden ser el drenaje, vegetación, humedad, etc., que anotamos en el cuadro siguiente:

CRITERIOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE FRACTURAS EN FOTOGEOLOGIA	— Alineación de varios arroyos.
	— Tramo de río o arroyo que corre en línea recta durante un cierto trecho.
	— Angularidad de la red fluvial.
	— Alineación de la vegetación.
	— Alineación de formas de disolución.
	— Franja estrecha y alargada, con una humedad superior al resto. Se caracteriza por su tono más oscuro.
	— Línea recta y neta, generalmente de tono más oscuro, que atraviesa la roca.

Las Fots. XI-1 y XI-2 nos muestran una serie de ejemplos de fracturas en diversos materiales.

El estudio fotogeológico detallado de la fracturación de una roca es necesario, en el caso de mineralizaciones, de estudios de vasos y pantanos, trazado de carreteras, etc., siendo un complemento imprescindible del trabajo de campo.

XI.3. ESTUDIO DE LAS FALLAS.—En muchas ocasiones es difícil apreciar en fotogeología la diferencia existente entre fallas y fracturas, sobre todo en aquellos terrenos que no son sedimentarios o que siéndolo no presentan una serie estratigráfica clara o estratos bien definidos, cuya dislocación o desplazamiento pueda ser índice del movimiento efectuado.

Los criterios de identificación de fallas en fotogeología son distintos a los utilizados en el campo, como ocurría en el caso de las fracturas, aunque en este caso la diferencia de criterios no es tan acusada. Así, tenemos una serie de datos ampliamente usados en el campo tanto para la identificación de fallas como en el estudio del movimiento de las mismas, como son:

— Espejos de falla,

— planos de fricción,

— presencia de brechas de falla,

— zona de milonitas, etc.,

cuyo uso en fotogeología es totalmente imposible por motivos que saltan claramente a la vista. Otros, sin embargo, como discontinuidad de los estratos, desplazamiento de tramos de series, etc., son aplicables en ambos casos.

Esta limitación en el empleo de criterios de reconocimiento de fallas impide en algunos casos el estudio en fotogeología del movimiento de las mismas. Estudiaremos a continuación los dos tipos de fallas principales que se pueden ver en la fotografía: *de gravedad y de desplazamiento de rumbo.*

XI.4. FALLAS DE GRAVEDAD. SU RECONOCIMIENTO EN FOTOGEOLOGÍA.—*Son aquellas en las cuales la componente vertical es la más importante, dando como resultado el que un bloque se desplace verticalmente respecto al otro* (Fig. XI-1).

Las fallas de gravedad se aprecian en fotogeología a través de la modificación topográfica o estructural a la que dan lugar. En las *rocas homogéneas y cristalinas*, la expresión topográfica de una falla es la única que nos puede indicar la presencia de la misma. Dicha manifestación es mayor en las fallas cuyo plano forma un ángulo alto con la horizontal que aquellas en las que el ángulo es bajo.

La inclinación del plano de falla no suele apreciarse en la fotografía, excepto en los casos en los que da lugar a un escarpe (Fot. XI-3). Dichos escarpes se caracterizan por su morfología peculiar, formada por *facetas generalmente trapezoidales*, pudiendo ser también triangulares (Fig. XI-2). La cara del trapecio coincidiría con el plano de falla.

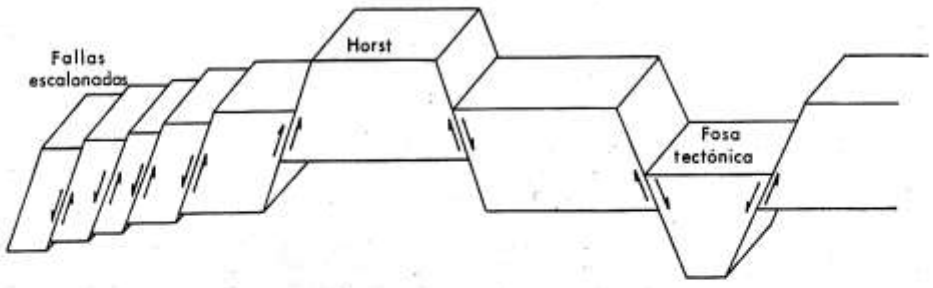


FIG. XI-1. La figura representa en esquema varios tipos de fallas de gravedad: *Fallas escalonadas*, conjunto de fallas de gravedad que han jugado en el mismo sentido; *Horst*, zona elevada situada entre dos fallas de gravedad que han jugado en sentido contrario, y *fosa tectónica*, si la zona que dejan entre ambas es deprimida.

y ambos lados estarían formados por gargantas, debidas a la rápida excavación de los ríos para adaptarse al nuevo nivel de base local. Esta rápida adaptación daría lugar a la formación de torrentes, frecuentemente con *conos de deyección* en su desembocadura. La madurez de estos conos sería un índice de la formación reciente o no de la falla (Fot. XI-4).

Los escarpes de falla no tienen por qué coincidir con la línea de falla (traza de la falla sobre el terreno), pudiendo haber retrocedido a causa de la erosión del bloque levantado, en cuyo caso se llama *escarpe de línea de falla.*

Dicho retroceso es difícil de apreciar claramente en fotogeología, aunque en algunos casos se aprecia la línea de falla situada a una cierta distancia del escarpe y más o menos paralela a éste.

Los *escarpes de falla* se pueden apreciar más fácilmente en climas áridos que en húmedos. El *salto de falla* no suele corresponder con la altura del escarpe, debido a la erosión sufrida por el lado levantado y a la colmatación del labio hundido (Fig. XI-3). Esta erosión y colmatación pueden llegar a hacer desaparecer por completo el escarpe, dando lugar a una nivelación del terreno. Puede llegar a producirse una *inversión del terreno,* de manera que la zona situada en una cota inferior corresponda al labio levantado de la falla, es decir, el escarpe actual miraría en sentido contrario al original. Los escarpes así formados serían, por tanto, *escarpes de falla resecuentes,* mientras que los que aparecen mirando hacia el labio hundido reciben el nombre de *escarpes de falla obsecuentes* (Fot. XI-5).

La única manera de comprobar en fotogeología si un escarpe es obsecuente o resecuente, es a través de la resistencia de los materiales situados a ambos lados de la falla:

FIG. XI-2. *Escarpe de falla.*—Se caracteriza por la formación de *facetas trapezoidales* coincidentes con el plano de falla. La continua erosión de las mismas llega a convertirlas en *facetas triangulares* (la segunda faceta que aparece en la figura tiene más bien forma triangular). La presencia de *conos de deyección* de una cierta envergadura formados a expensas de la erosión del bloque levantado, indica que la edad de la falla no es reciente.

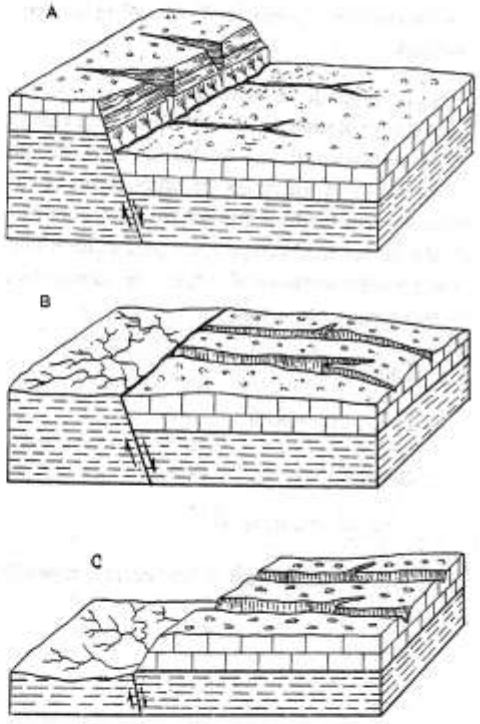


FIG. XI-3. *Inversión del relieve en un escarpe de falla.* La figura *A* nos muestra un *escarpe de falla obsecuente,* en el que el labio hundido corresponde a la cota más baja. La continua erosión del labio levantado ha llegado a arrasar éste nivelando el terreno (Fig. B). En este caso, el contacto brusco existente entre dos formaciones, calizas y margas en este caso, sería el dato principal que se tendría en la fotografía para deducir que nos hallábamos ante una falla de gravedad. En el tercer caso (Fig. C), la menor resistencia de las margas a la erosión ha dado lugar a una inversión de relieve, quedando el labio levantado con una cota más baja. El escarpe de falla será, pues, un *escarpe resecuente.* El río que corre por la falla en los tres casos sería un río subsecuente cuyo curso quedaría condicionado por la misma.

— El material situado a ambos lados del escarpe es el mismo.	— Escarpe obsecuente.
— El material situado a ambos lados del escarpe tiene la misma resistencia.	— Posiblemente sea un escarpe obsecuente.
— El material situado en la parte más alta del escarpe es más débil que el situado en la zona inferior.	— Suele corresponder a un escarpe obsecuente.
— El material situado en la parte más alta del escarpe es más resistente que el situado en la zona inferior.	— Puede ser un escarpe obsecuente o resecuente.

Las líneas de falla pueden ser curvas, al poderlo ser el plano de falla.

En el caso de que se determinen varias fallas de gravedad paralelas podríamos tener una serie de *fallas escalonadas* (Fots. XI-6 y XI-7) si aparecen todas en el mismo sentido. Si son de sentido contrario, darán lugar a un *Horst* si dejan entre sí una zona elevada, y a una *fosa tectónica* si a una deprimida (Fig. XI-1 y Fots. XI-8, XI-9, XI-10 y XI-11).

XI.5. MODIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS POR LAS FALLAS DE GRAVEDAD.—En los terrenos sedimentarios, la influencia de las estructuras en la topografía de la zona es decisiva. Las fallas producidas en estos materiales, al variar la continuidad de dichas estructuras, darán lugar a una modificación de la topografía originada por ellas, además de la modificación introducida por la propia falla.

La identificación fotogeológica de las fallas es mucho más fácil en terrenos sedimentarios que en cualquier otro tipo de terreno, debido a la gran ayuda prestada por las guías estratigráficas. En los climas áridos, sobre todo, en los que la carencia de vegetación permite una clara visión de la litología y estratigrafía de la zona, la identificación de fallas suele ser bastante fácil, pudiéndose seguir en algunos casos a lo largo de varios kilómetros.

Veamos a continuación una serie de ejemplos de modificación de las estructuras por las fallas de gravedad.

a) Falla de gravedad cuyo plano es perpendicular a la dirección de los estratos:

Estratos horizontales.—Desplazamiento vertical de los bordes de los estratos afectados (Fig. XI-4).

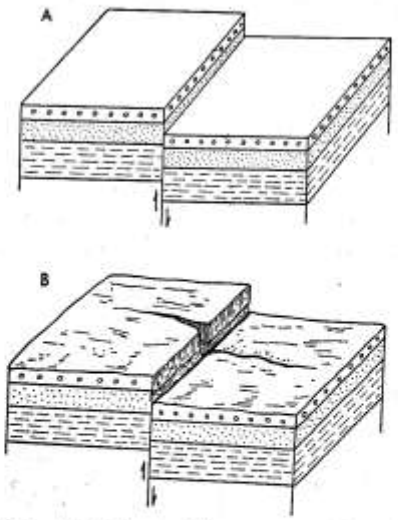


FIG. XI-4. *Falla de gravedad en estratos horizontales.* Dan lugar a un desplazamiento vertical de los estratos sobre el terreno. En el caso de que el bloque levantado fuese erosionado, la falla se notaría en la fotografía por el contacto neto que existiría entre dos materiales distintos.

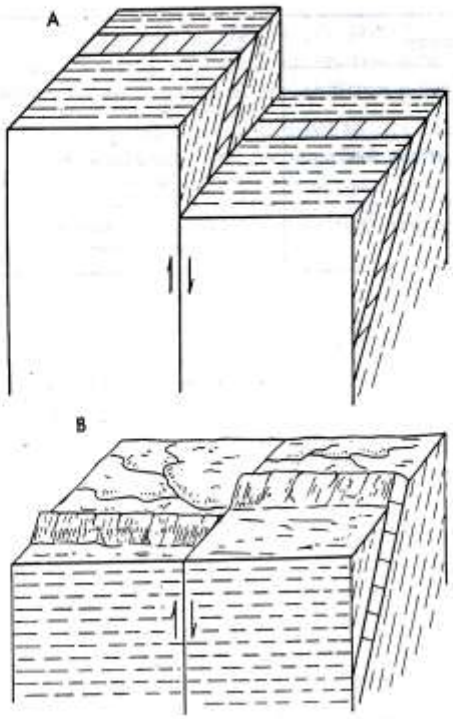


FIG. XI-5. *Falla de gravedad cuyo plano es transversal a la dirección de unos estratos inclinados.*—En este caso, el desplazamiento vertical del estrato originado por la falla de gravedad (Fig. A) da lugar a un *desplazamiento horizontal* de los mismos sobre el terreno (Fig. B), desplazamiento que se aprecia claramente en la fotografía. Cuando la falla es reciente y el estrato da lugar a un cierto relieve, se pueden llegar a distinguir las facetas triangulares correspondientes al borde del estrato truncado por la falla, pero este caso no es frecuente.

Estratos inclinados.—Desplazamiento horizontal del borde de los estratos; suele ser claramente visible en la fotografía, aunque a veces se puede confundir con fallas de *desplazamiento de rumbo* (Fig. XI-5 y Fot. XI-6).

Estratos verticales.—No existe desplazamiento aparente en los estratos. Se puede determinar la falla cuando ha dado lugar a un escarpe topográfico, o por una fuerte modificación de la red hidrográfica. En caso contrario, aparecerá en la fotografía como una línea de fractura con la que se podrá confundir (Fig. XI-6).

b) El plano de falla es paralelo a la dirección de los estratos:

Estratos inclinados.—Puede dar lugar a una repetición en la serie estratigráfica (generalmente, fallas inversas), o bien a la omosión de uno de sus tramos (más frecuentemente, las fallas directas). Suele ser preciso una comprobación estratigráfica en el campo, a fin de determinar con precisión la repetición u omisión de estratos (Fig. XI-7).

Las fallas cuya dirección es oblicua a la de los estratos modifican las estructuras de una manera semejante a la de las fallas cuyo plano es normal a éstas.

XI.6. FALLAS DE CIZALLA O DE DESPLAZAMIENTO DE RUMBO.—*Son fallas en las que el movimiento efectuado por un bloque con respecto a otro es horizontal.*

La inclinación del plano de falla no se suele apreciar en la fotografía, por lo que aquí las consideraremos como fallas de plano vertical.

En las *rocas homogéneas* y *cristalinas*, al no

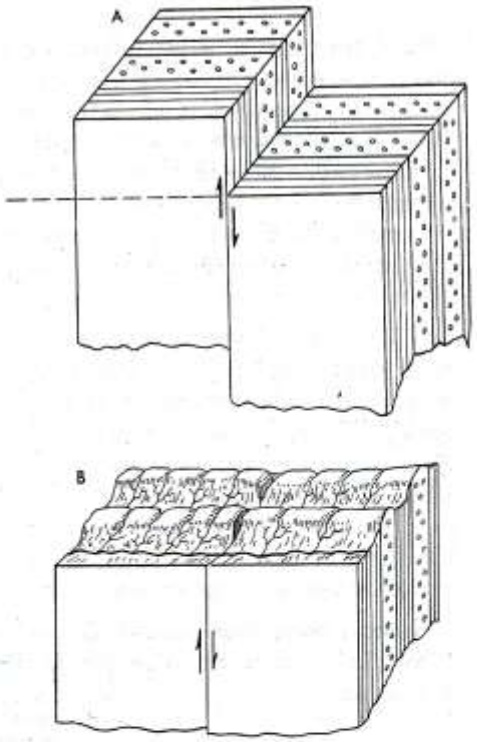


FIG. XI-6. *Falla de gravedad cuyo plano es transversal a la dirección de unos estratos verticales.*—El desplazamiento vertical sufrido por los estratos (Fig. A) no da lugar a un desplazamiento de los mismos sobre el terreno, de manera que es muy fácil confundir en la fotografía este tipo de fallas con simples fracturas.

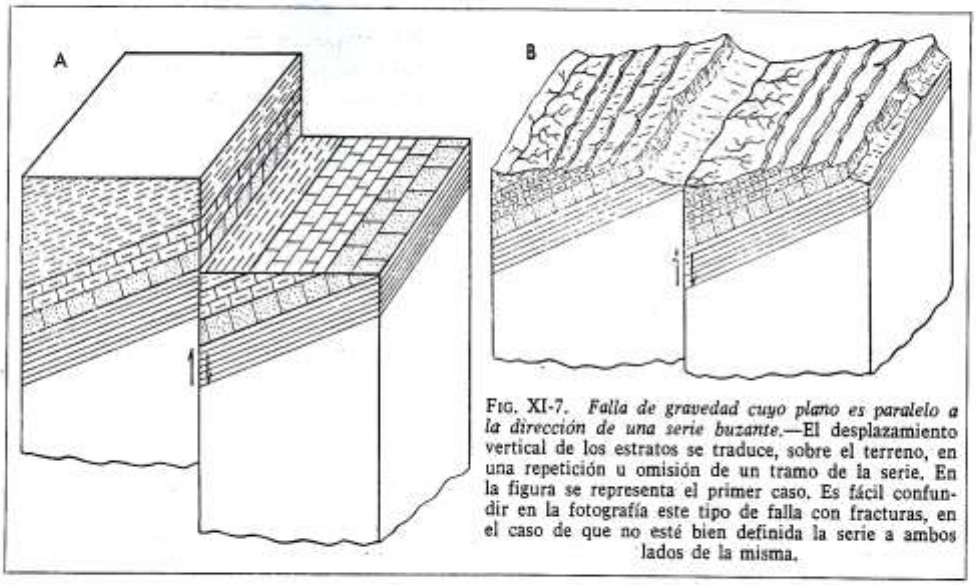


FIG. XI-7. *Falla de gravedad cuyo plano es paralelo a la dirección de una serie buzante.*—El desplazamiento vertical de los estratos se traduce, sobre el terreno, en una repetición u omisión de un tramo de la serie. En la figura se representa el primer caso. Es fácil confundir en la fotografía este tipo de falla con fracturas, en el caso de que no esté bien definida la serie a ambos lados de la misma.

existir estratos cuya discontinuidad nos indique que se ha efectuado un desplazamiento es muy difícil distinguir una *falla de desplazamiento de rumbo* de una fractura. Sólo podría determinarse que es una falla en los casos en los que, gracias a la presencia de un dique desplazado a ambos lados de la misma o al desplazamiento de una fractura, pueda apreciarse la realización de un movimiento en el sentido de éste.

En las *series sedimentarias* es más sencillo determinar la presencia de fallas de desplazamiento de rumbo debido al desplazamiento sufrido por los extremos del estrato a ambos lados de la falla, quedando claro el sentido de la misma. Sin embargo, *puede confundirse con fallas de gravedad, en el caso de que el plano de falla sea paralela a la dirección de los estratos* (Fig. XI-8). En algunos casos las fallas de dirección dan lugar a una curvatura más o menos acusada de los extre-

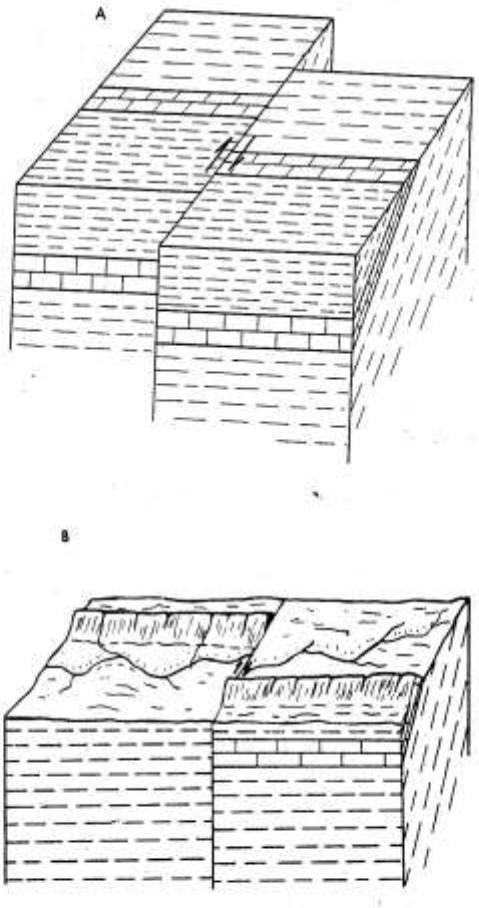


FIG. XI-8. *Falla de desplazamiento de rumbo cuyo plano es transversal a la dirección de una serie.*—Los estratos quedarán desplazados en el sentido de la falla, viéndose claramente este desplazamiento en la fotografía. Sin embargo, si cotejamos esta figura con la XI-5, veremos la gran similitud que hay entre ambas respecto al desplazamiento de los estratos, aunque el tipo de falla que lo ha originado es esencialmente distinto en ambos casos. Sobre la fotografía es muy fácil confundir ambos tipos de falla, salvo que exista una ligera curvatura en el extremo de los estratos que pueda indicar que es una falla de desplazamiento de rumbo (véase la foto XI-10).

mos de los mismos, debido al arrastre sufrido por ambos bloques en su desplazamiento (Fot. XI-12). Esta curvatura nos serviría para diferenciar las fallas de dirección de las de gravedad.

XI.7. CRITERIOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE FALLAS.—En el cuadro que viene a continuación están resumidos los principales criterios para el reconocimiento de fallas. En el caso de que por sus características una falla pueda ser de desplazamiento de rumbo o de gravedad, debe acudirse a sistemas de identificación como los anteriormente expuestos, pudiendo en algunos casos ser difícil llegar a una conclusión satisfactoria respecto al caso.

CRITERIOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE FALLAS	— Discontinuidad de estructuras.
	— Discontinuidad en la alineación de colinas, cerros, etc.
	— Desplazamiento de los estratos a ambos lados de una fractura.
	— Desplazamiento de diques a ambos lados de una fractura.
	— Desplazamiento de fracturas a ambos lados de otra (Fot. XI-13).
	— Cambio acusado de buzamiento, marcado por una línea neta.
	— Escarpe de falla.
	— Escarpe de línea de falla (Fot. XI-14).
	— Contacto brusco lineal y anormal entre dos materiales distintos (Fot. XI-14).
	— Alineación anormal de una costa.
	— Contacto neto entre un macizo antiguo y su borde sedimentario.
	— Repetición u omisión de tramos de las series estratigráficas sedimentarias.

XI.8. GRADO DE EVIDENCIA DE LAS FALLAS OBSERVADAS.—De todo lo expuesto se deduce que en fotogeología hay veces en que una falla queda determinada como tal, sabiéndose exactamente su posición. Otras queda la duda de si la línea de discontinuidad que aparece en la fotografía es efectivamente una falla, una fractura, o bien alguna alineación anómala no localizada.

Los tipos principales de fallas que se pueden presentar son:

Fallas seguras.—Aquellas cuya situación e identidad se ha determinado perfectamente en la fotografía.

Fallas probables.—Aquellas cuya existencia es hipotética por no poseer el observador suficientes elementos de juicio para su confirmación. Aquí estarían incluidos los casos en los que no se puede afirmar si una línea de discontinuidad corresponde a una fractura o a una falla.

Fallas no localizadas.—Son aquellas cuya existencia está comprobada (por ejemplo, omisión de un tramo de la serie, repetición de estratos, etc.), pero no se ha podido localizar exactamente su posición, bien por estar enterradas o por no apreciarse claramente en la fotografía.

Fallas ocultas.—En este caso se sabe la situación exacta de la falla, pero está enterrada bajo una serie de materiales que impiden el afloramiento de la línea de falla. (Véase «Fracturación de las arenas», capítulo XIX.)

En la leyenda situada al principio del libro vienen representados los distintos símbolos empleados en cada caso.

XI.9. DISCORDANCIAS.—Las discordancias existentes entre dos formaciones distintas no son fáciles de cartografiar en fotogeología, salvo en algunos casos en los que se presenten muy claras. Generalmente suele ser necesaria una comprobación de campo que ratifique la existencia de la misma.

Entre todas las discordancias son las *angulares* las únicas que se pueden apreciar bien en la fotografía. Estas se pueden manifestar por:

1.° Presencia de una serie depositada discordantemente sobre otra (Fig. XI-9).

2.° Diferencia de buzamiento entre dos formaciones distintas (Fig. XI-10).

3.° Convergencia de la dirección de los estratos de dos formaciones (Fig. XI-11).

En el primer caso la discordancia suele presentarse de un modo claro. Las más fáciles de ver son las de estratos horizontales o ligeramente inclinados, depositados sobre otros más antiguos de buzamiento más fuerte (Fot. XI-15). La discordancia a veces sólo se ve en algún talud, escarpe, etc.

Respecto a los otros dos casos, el problema existente es que, salvo que las discordancias se presenten muy claras, pueden confundirse fácilmente con

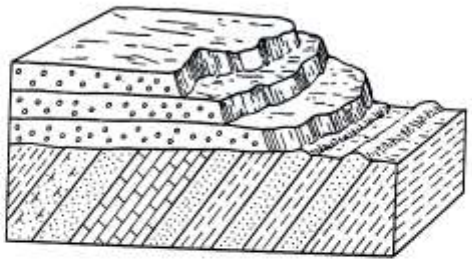


FIG. XI-9. *Discordancia angular.*—La figura representa una serie horizontal depositada sobre otra más antigua. El buzamiento de ésta es alto. Este tipo de discordancias se aprecia claramente en la fotografía, sin que suela dar lugar a confusiones.

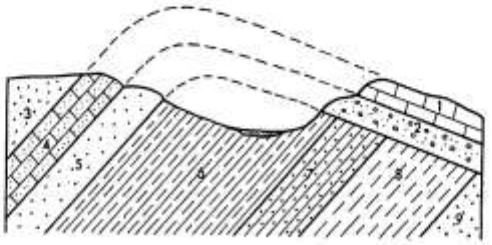


FIG. XI-10. *Posible confusión de una discordancia con un pliegue anticlinal.*—Los estratos 1 y 2 están apoyados discordantemente sobre una serie inferior. Sin embargo, la similitud fotogeológica existente entre los estratos 1 y 2, y los 4 y 5, respectivamente, puede dar lugar a la confusión de dicha discordancia con un pliegue, sobre todo en el caso de no apreciarse en la fotografía el buzamiento del estrato número 6. En este caso sería necesaria una comprobación de campo que aclarara la identidad de los estratos correspondientes a los posibles flancos del anticlinal.

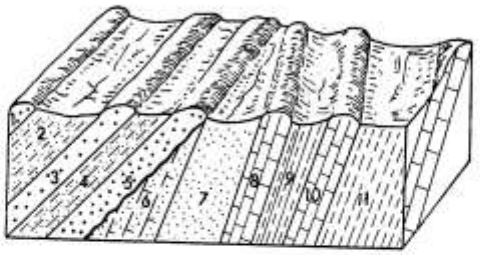


FIG. XI-11. *Posible confusión de una discordancia con una falla o con un pliegue.*—La discordancia representada en la figura se tendría que comprobar posteriormente en el campo. Ello es debido a que es muy fácil confundirla con una falla o con un anticlinal volcado, cuyo eje buzará en el sentido de convergencia de los estratos. En el primer caso, el que estén depositados los materiales más modernos sobre los antiguos, aboga en favor de la discordancia (si fuese al revés, abogaría en favor de la falla). En el segundo caso, la simple comprobación de la falta de identidad de los estratos a ambos lados del supuesto eje de pliegue bastaría para deshacer el error del anticlinal.

plegamientos o fallas. En el caso de que se pueda confundir con un pliegue, es indispensable una comprobación sobre el terreno a fin de ver la identidad de los estratos situados a ambos lados de la discordancia y si pertenecen a la misma serie o no.

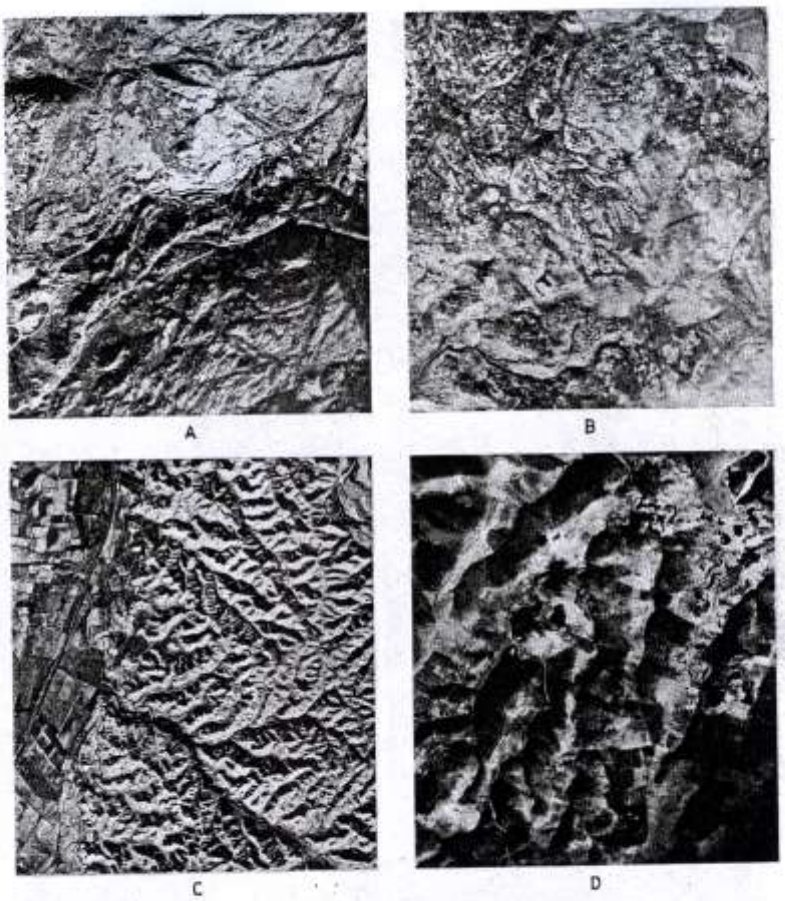
En el caso de que exista duda de si la supuesta línea de discordancia pertenece a ésta o bien a una falla, hay que tener en cuenta que:

1.º *Las líneas de discordancia suelen caracterizarse por su trazo irregular*, adaptándose a la topografía de la zona. Por lo tanto, si la discordancia se presenta como una línea recta o de amplia curvatura, lo más probable es que se trate de una falla (Fot. XI-16).

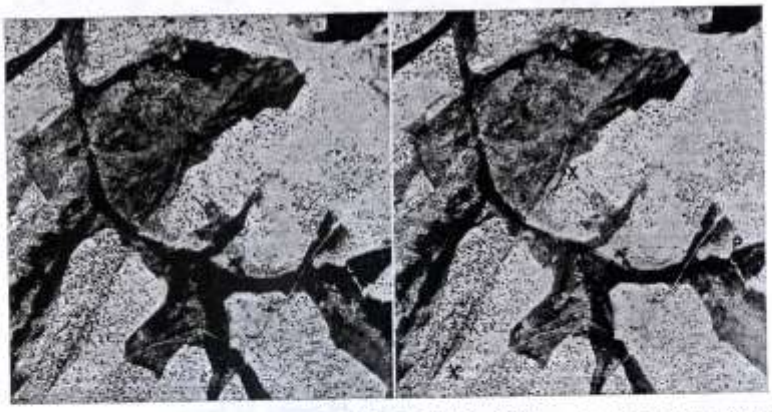
2.º *Si las formaciones más antiguas parecen estar depositadas sobre las más recientes*, el contacto probablemente se efectúe por *falla*.

De todos modos, es recomendable que se efectúe una comprobación de la discordancia sobre el terreno aun en el caso de tener una cierta seguridad, sobre todo teniendo en cuenta que la discordancia puede estar además fallada, por lo que la complejidad del problema se acentúa.

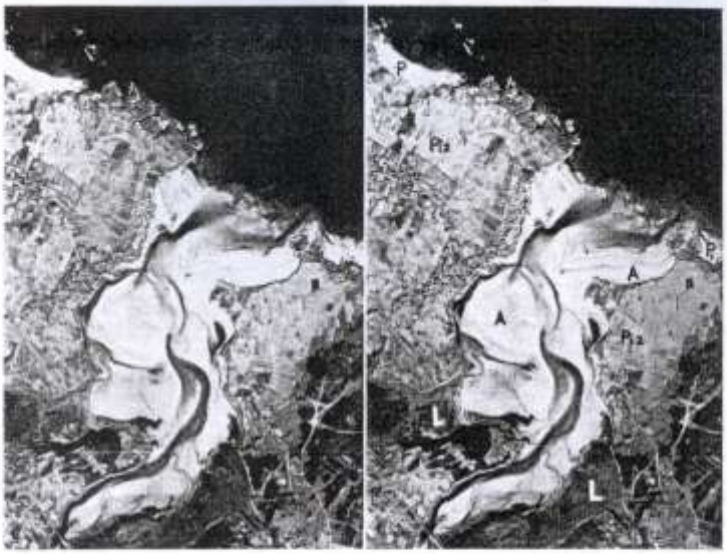
LAMINAS



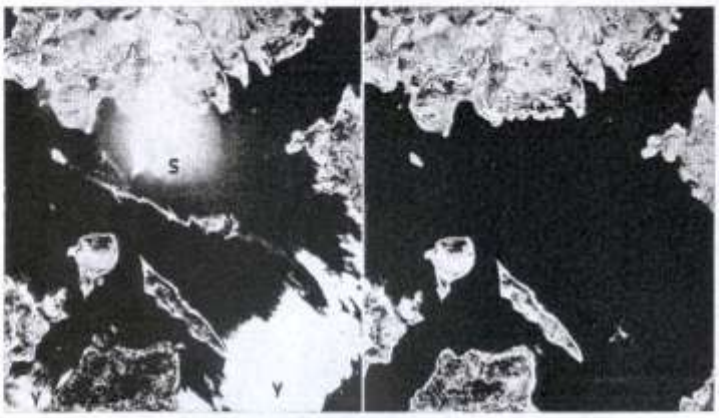
Fot. VIII-1.—Cuatro tipos de rocas en los que se pueden apreciar **cuatro texturas distintas: A)** granito, **B)** yesos, **C)** arcillas, y **D)** esquistos.



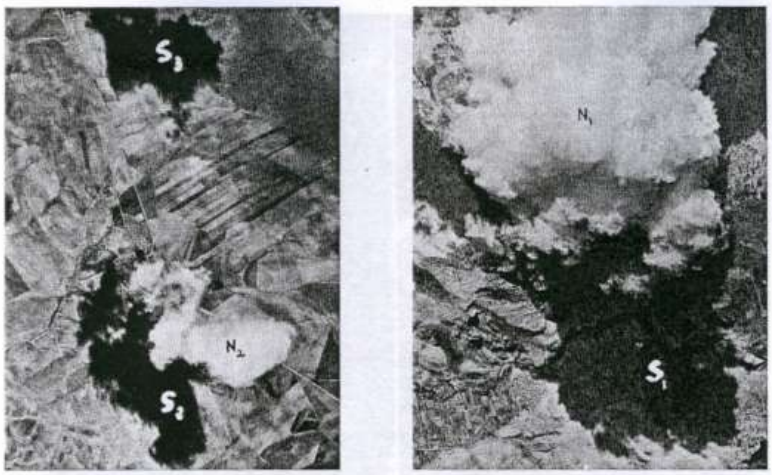
Fot. VIII-2.—INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN EL TONO. Nótese cómo las zonas más húmedas tienen una tonalidad mucho más oscura que el resto del terreno. Aprovechando estas zonas de mayor humedad, se ha excavado un pozo (**P**). El terreno es **granito,** y se puede ver con claridad la presencia de un **dique** (**X**), de dirección NE.-SO. (E. aprox. 1/30.000.)



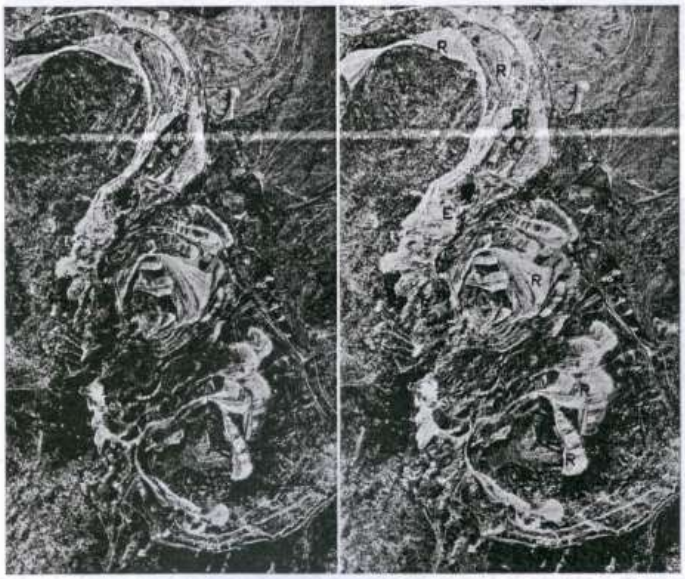
Fot. VIII-3.—En la presente fotografía, tomada en la ría de Foz, tenemos una muestra de la variedad de tonalidades que pueden aparecer. Éstas pueden oscilar desde el gris oscuro del mar, a los tonos blancos de las **playas** (**P** y P_1). Las **arenas** (**A**) aparecen en tonos claros, y las zonas de juncales y carrizales en tonos más oscuros (**L**). El tono de las **pizarras** (**Piz**) varía con el tipo y disposición de los cultivos, predominando los grises medios. (E. aprox. 1/44.000.)



Fot. VIII-4.—Tomadas en el pantano de Alarcón, las presentes fotografías son un buen ejemplo del efecto que puede producir el **reflejo del sol** en el agua. Mientras que en la izquierda se ve claramente el reflejo de éste (zona **S**), y los efectos derivados de la iluminación del oleaje (zona **Y**), en la fotografía derecha dicho reflejo no aparece. Obsérvese el tono negro del agua, correspondiente a una profundidad superior a los 10 m. (E. aprox. 1/30.000.)

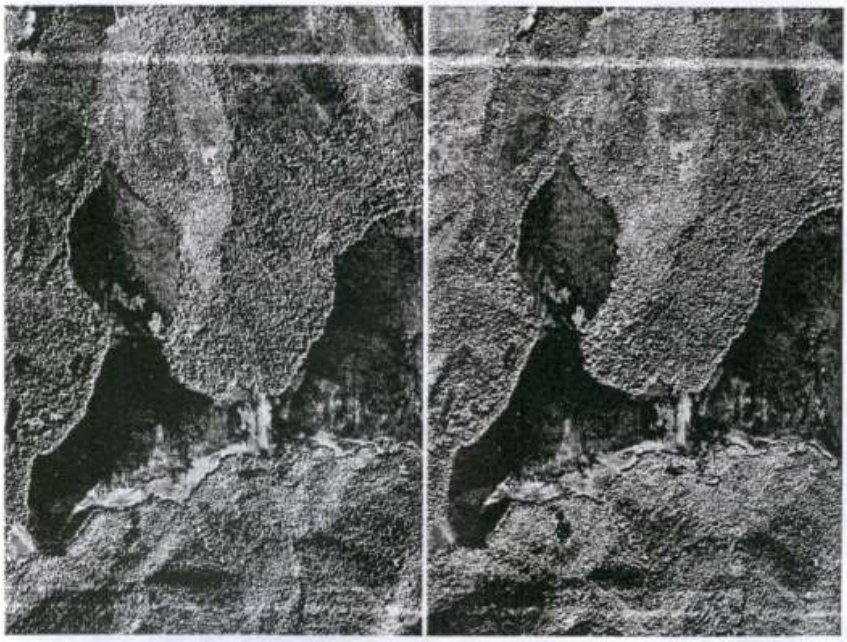


Fot. VIII-5.—Dos ejemplos en los que el terreno ha quedado enmascarado por la presencia de **nubes.** En ambos casos se puede observar el tono blanco de las mismas (N_1 y N_2), contrastando con el oscuro de las sombras proyectadas por ellas (S_1 y S_2). La sombra S_3 corresponde a una nube que no aparece en la fotografía. (E. aprox. 1/44.000.)



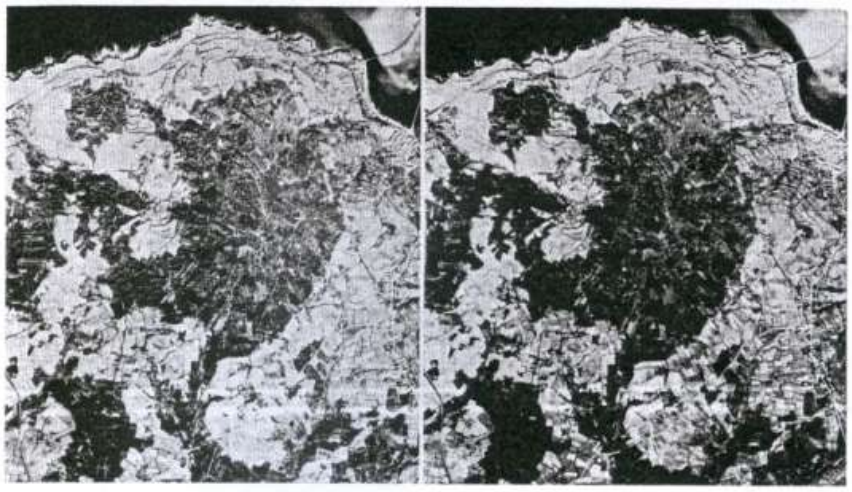
Fot. VIII-6.—MINA DE OJOS NEGROS (hierro). Se puede notar la tonalidad más clara que corresponde a los materiales recientemente removidos, escombreras, zonas de relleno, etc. (**R**). Con **E** vienen señaladas las zonas de excavación. (E. aprox. 1/30.000.)

Fot. VIII-7.—En el pueblo que aparece en la fotografía, las pequeñas manchas blancas corresponden a las **eras (E)**. La presencia de éstas puede llegar a desorientar al fotogeólogo cuando no las ha visto nunca. Los **cultivos** aparecen formando un reticulado de diferentes tonos, según la humedad de las distintas parcelas, tipo de cultivos, orientación de los surcos con respecto al sol, etc. (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. VIII-8.—Un ejemplo muy claro de **vegetación arbórea,** cuya densidad impide casi por completo la visión de la roca. (E. aprox. 1/30.000.)

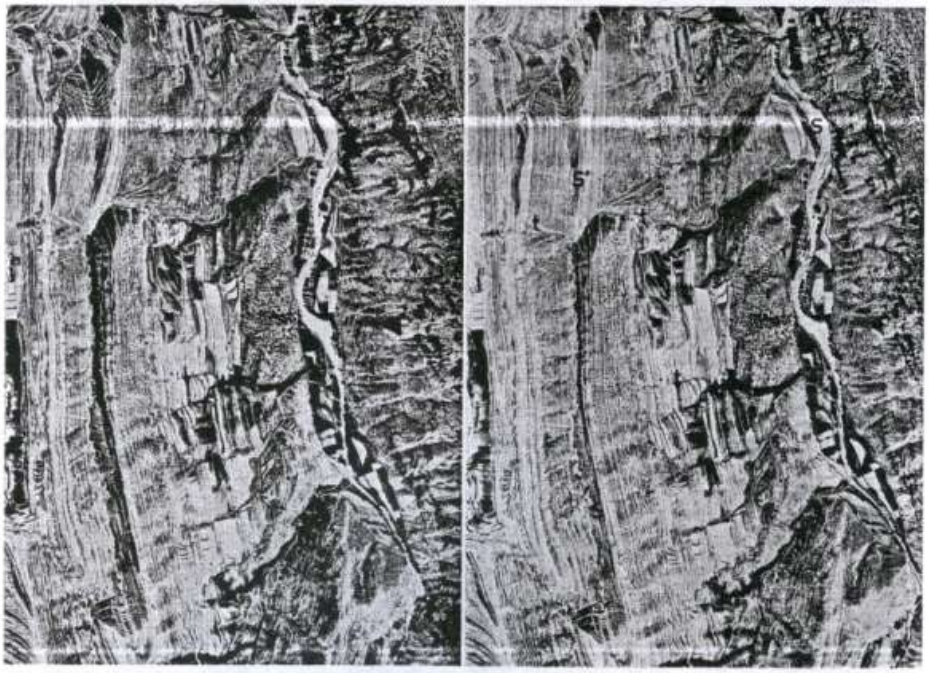
Fot. VIII-9.—INFLUENCIA DE LA LITOLOGÍA EN LA VEGETACIÓN. La fotografía muestra un anticlimal con ángulo de inmersión. Las diferencias litológicas (alternancia de calizas y margas) quedan resaltadas por la diferente vegetación. Así tenemos el caso curioso de la capa **A**, cuya existencia pasaría desapercibida de no existir un cambio de vegetación que la haga patente. (E. aprox. 1/30.000.)



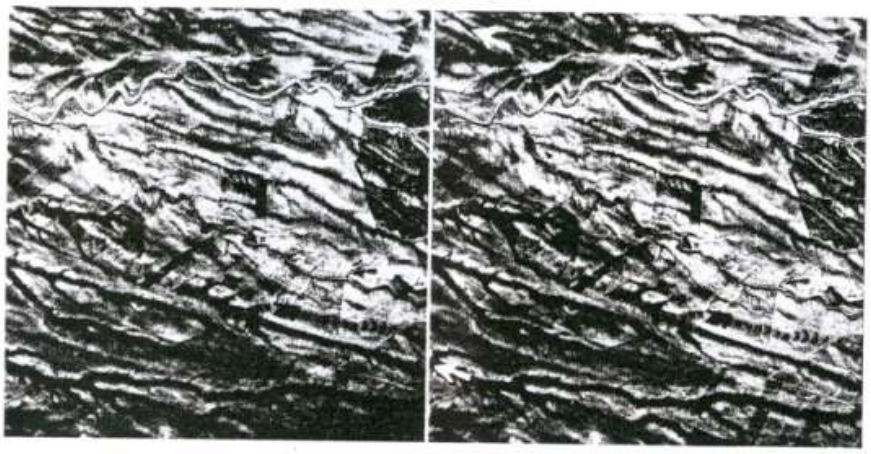
Fot. VIII-10.—**Micacitas** en la ría de Puentedeume. La diferencia de vegetación existente, debida a la mano del hombre y no a diferencias litológicas, podría ser causa de errores en la interpretación de la fotografía. (E. aprox. 1/44.000.)

Fot. VIII-11.—Otro caso de diferencia de vegetación debida exclusivamente a la mano del hombre, sin que tenga ninguna relación con la litología. Se suele conocer porque los límites son totalmente arbitrarios, sin tener ninguna dirección marcada. (E. aprox. 1/44.000.)

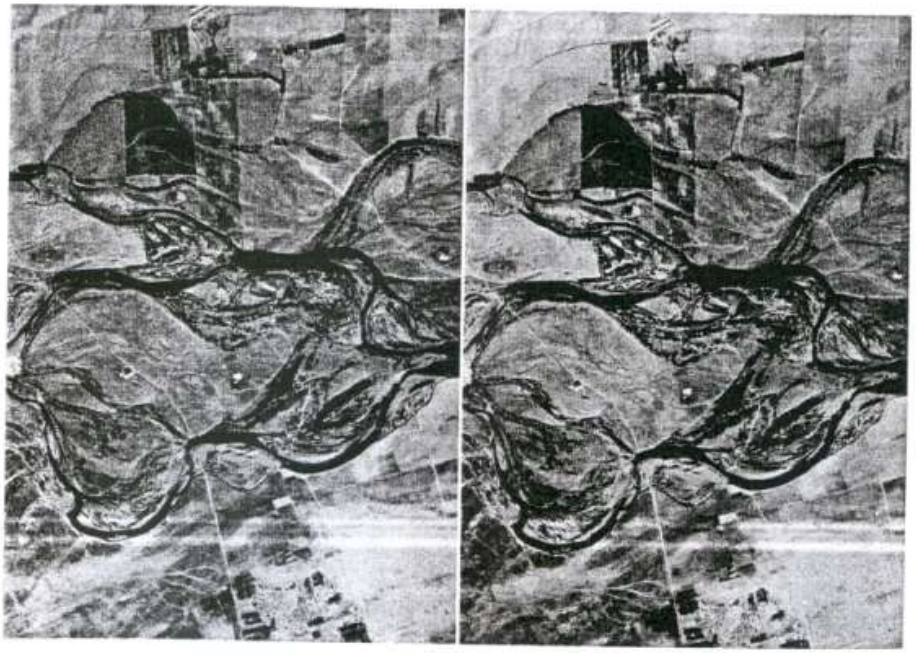
Fot. IX-1.—DIVERSOS EJEMPLOS DE DENSIDAD DEL DRENAJE. La fotografía muestra un típico ejemplo de densidad de drenaje en clima árido. Los materiales que aparecen son **conglomerados** (**D**), **margas** (**M**) y **arcillas** (**A**). El drenaje más tupido corresponde a estas últimas, por ser las que están formadas por materiales más finos. Las margas presentan un drenaje menos denso (zona **M** y **C**), pero donde la erosión deja al descubierto las arcillas, el drenaje es mixto, con características de ambos (zonas **B**). Los conglomerados presentan un drenaje muy espaciado. **E** corresponde al drenaje general de la zona, sin que tenga una estrecha relación con la litología de los materiales por los que transcurre. (E. aprox. 1/30.000.)



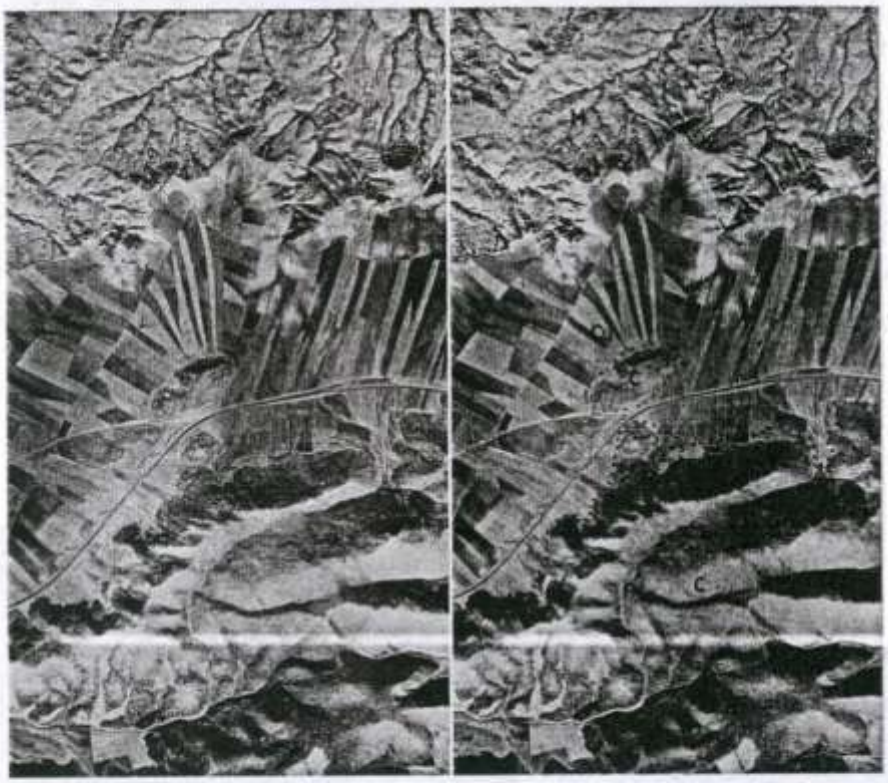
Fot. IX-2.—EJEMPLO DE ADAPTACIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA A LA ESTRUCTURA DE LA ZONA, que en este caso corresponde a unas sierras con capas homoclinales buzando hacia el Oeste. Los dos ríos principales (**S** y **S'**), siguen la misma dirección de los estratos, excavando su cauce a favor de los materiales más blandos. Los arroyos transversales a las estructuras (algunos se han marcado por medio de una **t**), serán el desagüe natural de la zona hacia el valle **S**. (E. aprox. 1/30.000.)



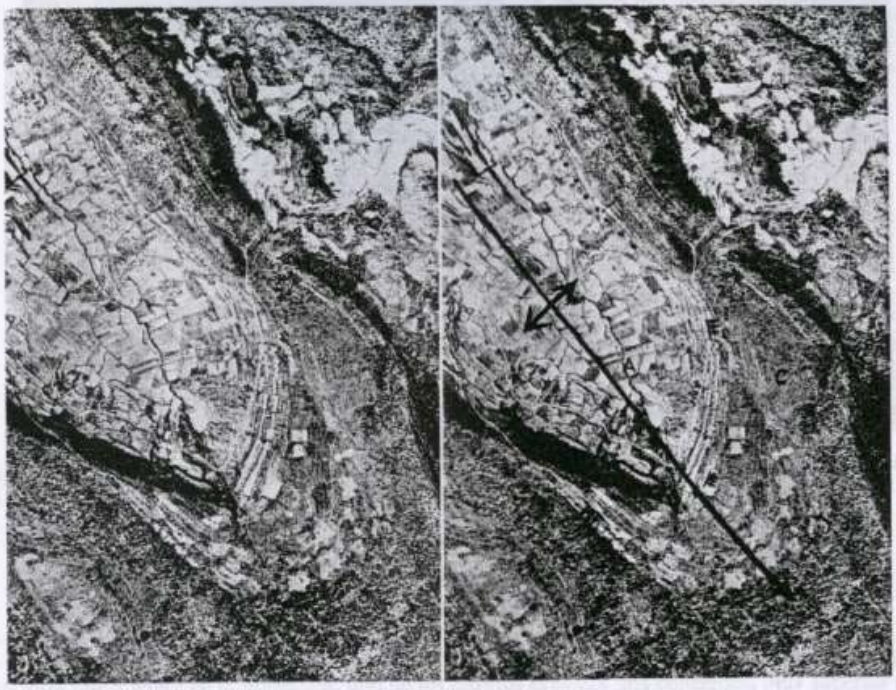
Fot. IX-3.—RED PARALELA. Se ha formado en una **llanura diluvial** que muestra una pequeña inclinación hacia el Oeste. Las corrientes de agua principales y secundarias corren en la misma dirección (indicada en la fotografía por flechas). (E. aprox. 1/30.000.)



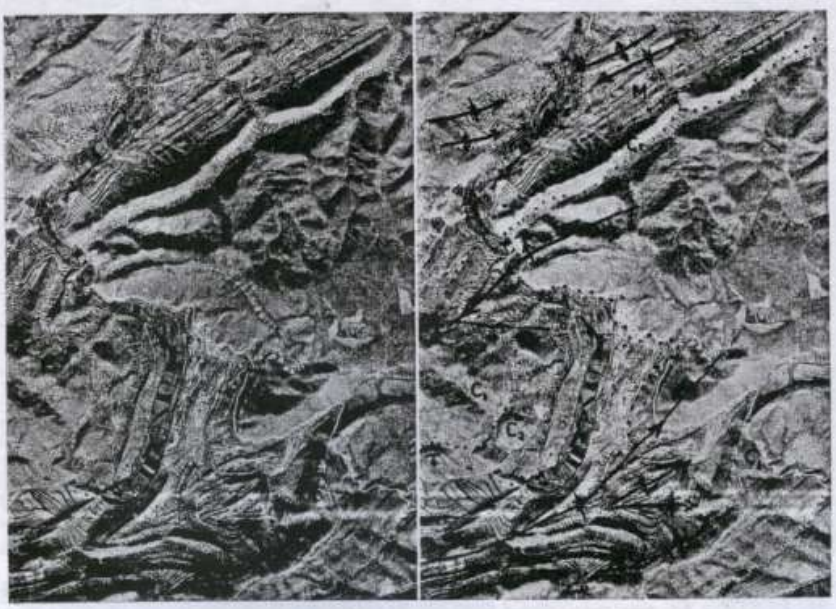
Fot. *IX-4.*—EJEMPLO DE UNA RED ANASTOMOSADA. Obsérvese cómo se entrecruzan los distintos brazos del río. (Para un estudio más completo de la fotografía, consúltese el cap. XIII.) (E. aprox. 1/44.000.)



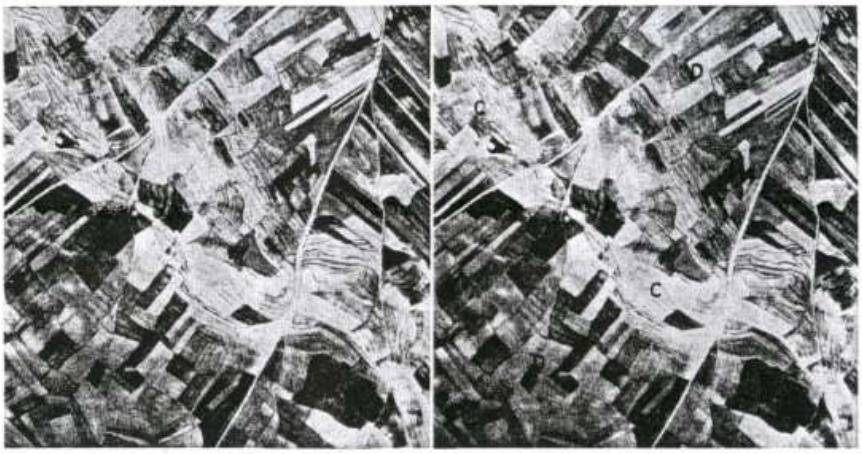
Fot. IX-5.—Aquí tenemos un ejemplo muy claro de la INFLUENCIA DE LA LITOLOGÍA EN LA TOPOGRAFÍA DE UN TERRENO. Los tres tipos de materiales que aparecen son: **calizas** del Lías medio (**C**), **cuaternario indiferenciado** (**Cu**), y **margas, arcillas** y **conglomerados** del Villafranquiense (**M**). Además de por su distinta morfología, cultivos, etc., los contactos entre estos materiales se pueden señalar exclusivamente por su diferente relieve. El contacto entre margas y conglomerados (**M**), con el cuaternario (**Cu**), sólo se ha marcado en la parte occidental. (E. aprox. 1/30.000.)



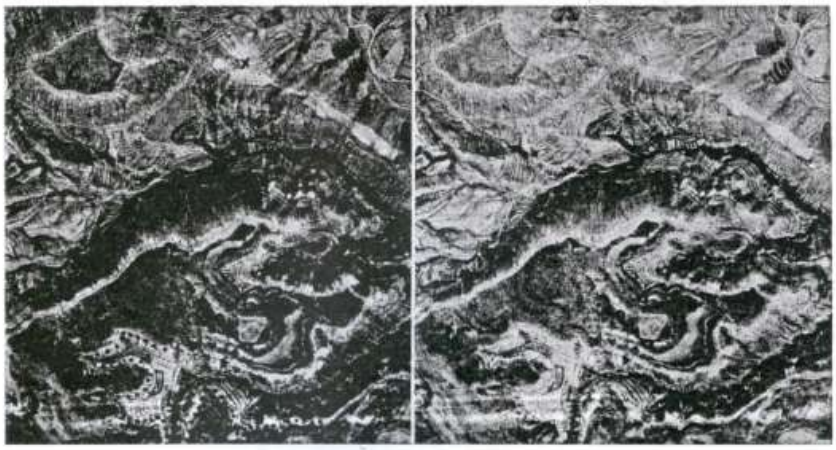
Fot. IX-6.—INVERSIÓN DEL RELIEVE EN UN ANTICLINAL. La charnela del pliegue corresponde a una inversión del relieve, dando lugar a un **valle anticlinal** excavado en materiales **albenses** (A). Los flancos, formados por **calizas,** presentan un relieve acusado con relación al valle. (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. IX-7.—Serie de pliegues cuyos ejes vienen representados por medio de los símbolos correspondientes. Las rocas que aparecen son: **calizas del Lías** (C_1), **calizas cretácicas** (C_2), **molasas oligocenas** (M) y **aluviones** (A). El ángulo de inmersión de los pliegues puede identificarse por las terminaciones periclinales de los mismos. (E. aprox. 1/30.000.)

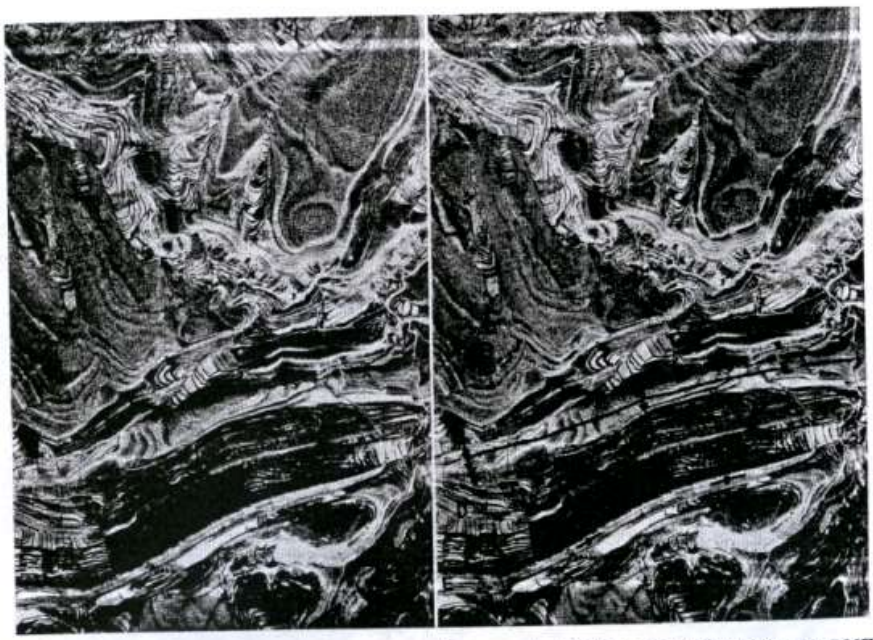


Fot. X-1.—Aun en el caso de que las estructuras estén arrasadas, en muchos casos se pueden estudiar con claridad en fotogeología. Sirva este ejemplo de unos estratos de **calizas (C)**, cubiertos en parte por una **llanura diluvial (D)**. (E. aprox. 1/30.000.)

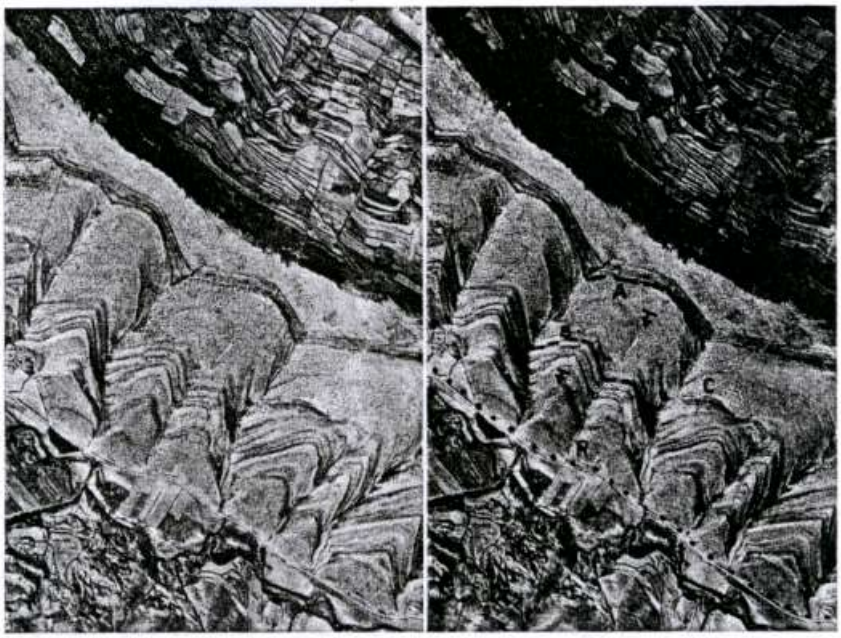


Fot. X-2.—EJEMPLO DE UNA SERIE HORIZONTAL, EN LA QUE EL ESTRATO SUPERIOR ES MÁS COHERENTE QUE EL RESTO. En este caso, dicho estrato está formado por **calizas** que protegen de la erosión al resto de la misma. En x, el estrato de caliza está próximo a desaparecer. Sólo se ha marcado parte del contacto entre las calizas y los otros materiales para mayor claridad de la fotografía. (E. aprox. 1/30.000.)

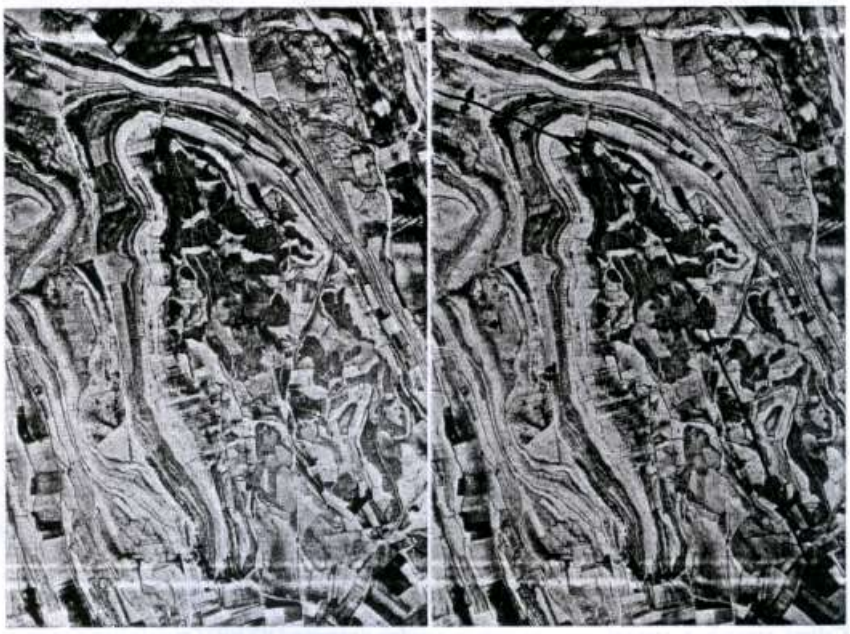
Fot. X-3.—EXPRESIÓN TOPOGRÁFICA DE UNA SERIE HORIZONTAL DE COHERENCIA HOMOGÉNEA. En la serie caliza que aparece en la fotografía, uno de los estratos presenta una coherencia muy superior a la del resto, formando una plataforma que resalta claramente (**C**). El resto de la serie, de coherencia menor, forma taludes suaves y cerros apuntados, redondeados o alargados según la disposición de la red hidrográfica. Obsérvense los afloramientos concéntricos de los estratos (**A**), resaltados por la vegetación. Otro dato importante es la **falla de gravedad** que en dirección NE.-SO. cruza la fotografía, y cuya trayectoria viene señalada por flechas. El bloque hundido es el izquierdo, como se puede apreciar por el descenso sufrido por la capa **C** situada a ese lado de la falla. (E. aprox. 1/30.000.)



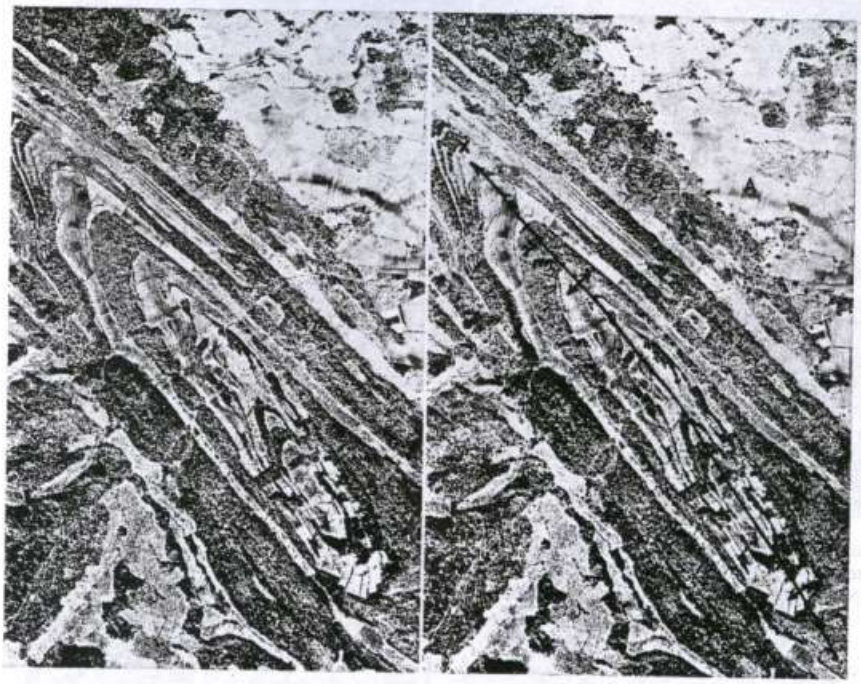
Fot. X-4.—**Calizas arenosas y margosas** en las que se pueden apreciar DIVERSOS GRADOS DE BUZAMIENTO. La estructura está formada por un **anticlinal asimétrico** (la charnela **C** viene marcada por el eje). El flanco Norte tiene un buzamiento suave, mientras que el del Sur es más fuerte. El borde del estrato **A**, de buzamiento más bajo, describe una curva más cerrada que el del **B** (línea de trazos). El estrato **D** buza más fuertemente hacia el Sur, por lo que su traza es casi recta. El estrato **E** es prácticamente vertical, coincidiendo así su traza y su dirección. (E. aprox. 1/30.000.)



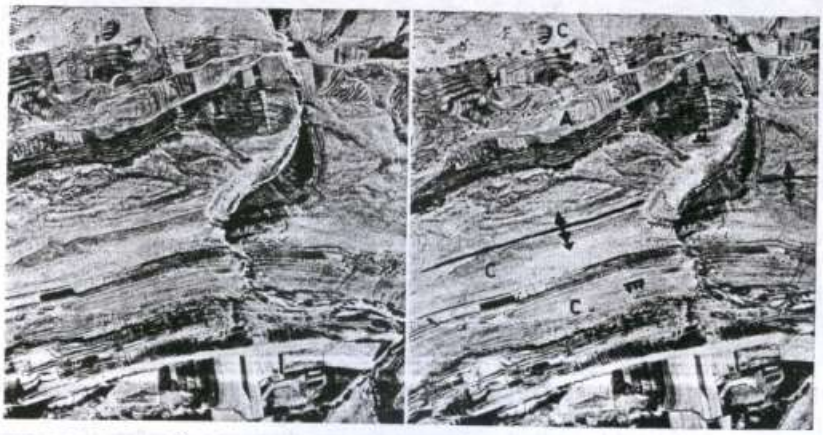
Fot. X-5.—RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA RED HIDROGRAFICA Y LA TRAZA DE LOS ESTRATOS. La fotografía muestra al Norte una serie **calizo-margosa (M)**, concordante con otra **caliza (C)**. Se aprecia muy bien la traza del borde de los estratos. Obsérvese que mientras el estrato **A** marca una curva amplia (línea de trazos), el borde del **B** tiene dos curvas, a pesar de ser ambos estratos totalmente concordantes. Ello es debido a la aparición del arroyo **R,** que divide al estrato **B** en dos zonas. (E. aprox. 1/30.000.)



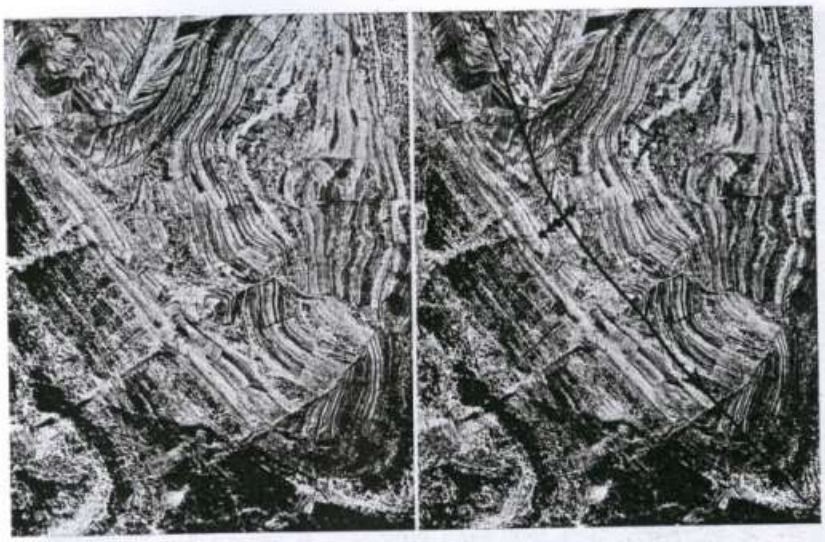
Fot. X-6.—ANTICLINAL CON ÁNGULO DE INMERSIÓN. El ángulo de inmersión del eje anticlinal hacia el NO. determina un **cierre periclinal** (zona **P**). La serie está formada por una alternancia de **margas** (bandas claras) y **calizas** (bandas oscuras). (E. aprox. 1/30.000.)



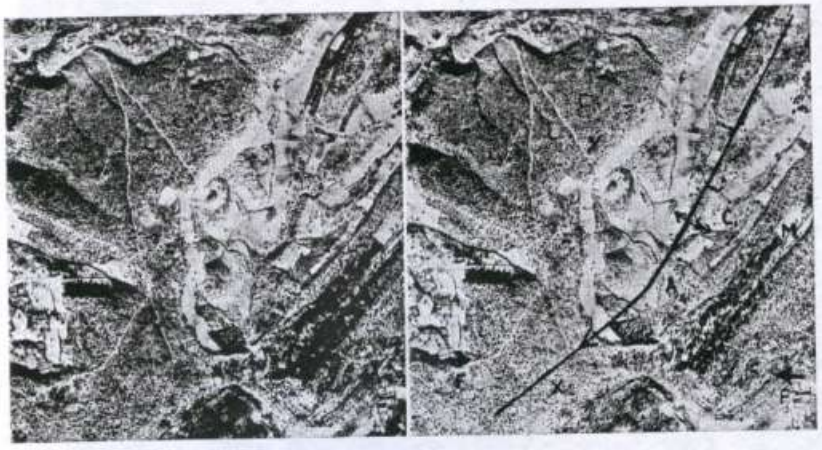
Fot. X-7.—ANTICLINAL CON DOBLE ÁNGULO DE INMERSIÓN. En algunas de las terminaciones periclinales (**m**) se ve perfectamente el buzamiento de las capas. La serie está formada por **calizas** y **areniscas cretácicas** (zona de arbolado), y **margas arenosas** y **arcillas** (bandas cultivadas). Esta diferencia de vegetación es la que más ayuda para seguir la estructura. En el ángulo NO. de la fotografía se ve una **falla** (**x**), con desplazamiento de estratos a ambos lados de la misma. En el ángulo superior derecho aparecen **arcillas de decalcificación** (**A**). (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. X-8.—ANTICLINAL ASIMÉTRICO. La charnela, sin erosionar, ha dado lugar a una loma redondeada. Donde el arroyo corta a la estructura transversalmente se puede apreciar el plegamiento en detalle. El flanco Norte tiene un buzamiento más suave que el Sur. Las rocas que forman la estructura son **calizas tableadas** (**C**), **margas y arcillas** (**M**), y **aluviones** (**A**). (E. aprox. 1/30.000.)



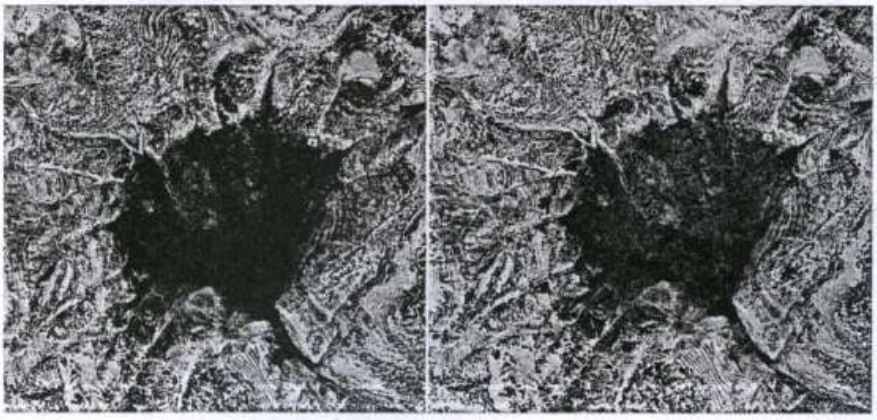
Fot. X-9.—Una curiosa muestra de un ANTICLINAL CON ÁNGULO DE INMERSIÓN, en el que el flanco oriental aparece casi horizontal, mientras el occidental tiene un buzamiento próximo a la vertical. El plano axial buza hacia el Este. En la zona Norte se han marcado dos pequeñas fallas de gravedad. (E. aprox. 1/30.000.)



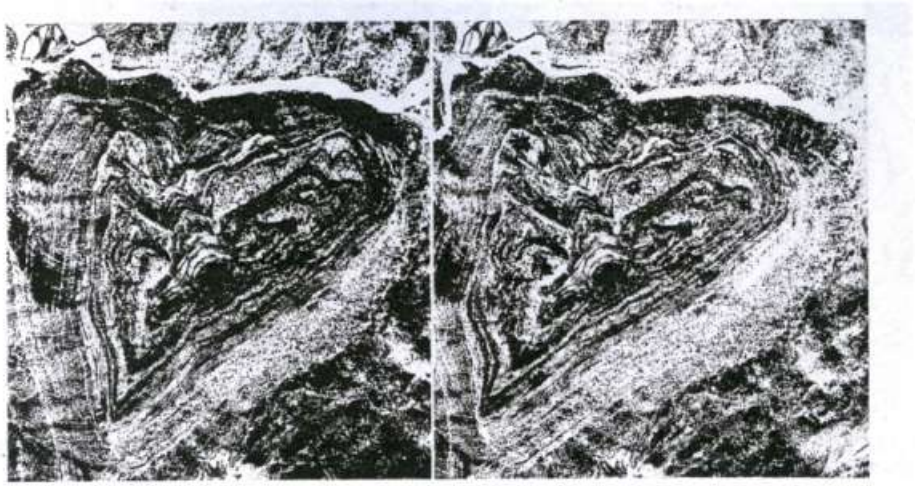
Fot. X-10.—EJEMPLO DE ANTICLINAL ASIMÉTRICO CON CHARNELA EROSIONADA. En este caso la capa de caliza **C** se presenta sin erosionar en su parte sur (zona **x**), dando lugar a una loma alargada y redondeada. Su erosión deja al descubierto el núcleo del anticlinal, compuesto por una alternancia de **calizas** (C_1), **margas** (**M**) y **arcillas** (**A**). El eje del anticlinal buza ligeramente hacia el SO. (en dirección a la flecha), y su plano axial en dirección NO., dando lugar a que el flanco Norte tenga un buzamiento más suave que el Sur. Las dos flechas (**F**) marcan la trayectoria de una falla, que corta oblicuamente a la estructura. (E. aprox. 1/30.000.)

Fot. X-11.—EJEMPLO DE DOS SINCLINALES CON DOBLE ÁNGULO DE INMERSIÓN. En este caso, la estructura está formada por un eje anticlinal que presenta una serie de ondulaciones que dan lugar a dos sinclinales doblemente buzantes. La serie es semejante a la de la fotografía *X-7*, formada por **calizas** y **areniscas cretácicas** (zonas de arbolado), y **margas arenosas** y **arcillas** (bandas claras con cultivos). En la zona **a** se puede ver una **falla** cuya trayectoria está señalada por pequeñas flechas, con desplazamiento de los estratos a ambos lados de la misma. (E. aprox. 1/30.000.)

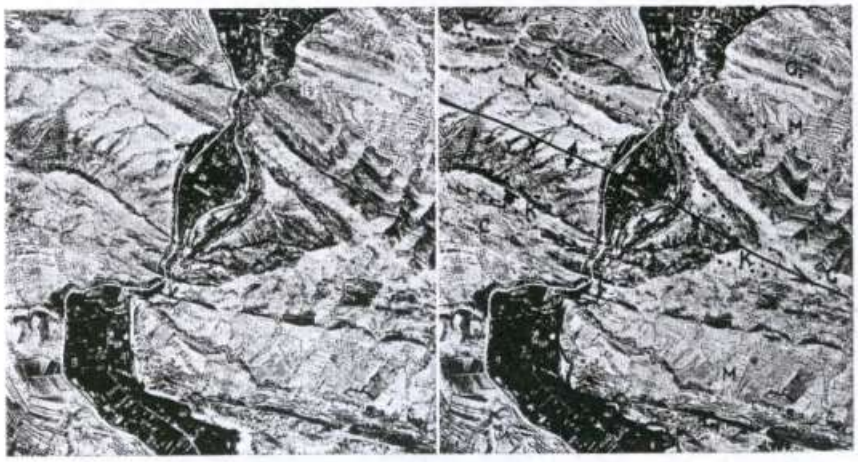
Fot. X-12.—Un bonito ejemplo de ANTICLINAL CON LA CHARNELA EROSIONADA, de la que queda un pequeño testigo en la zona **M**. Las **calizas cenomanenses (C)** presentan un buzamiento hacia el SO., medio en el flanco occidental, y muy fuerte, casi vertical, en el oriental. En las **areniscas oligocenas (AR)**, este buzamiento al SO. del flanco oriental se ve con más claridad. El centro del anticlinal está formado por **arenas albenses (AB)**, que al erosionarse han dado lugar a una inversión del relieve. En el valle fluvial que atraviesa la estructura, existe un depósito de **aluviones (A)**, pudiéndose también distinguir pequeños rebordes de **terrazas.** Los contactos se han marcado sólo en parte. (E. aprox. 1/30.000.)



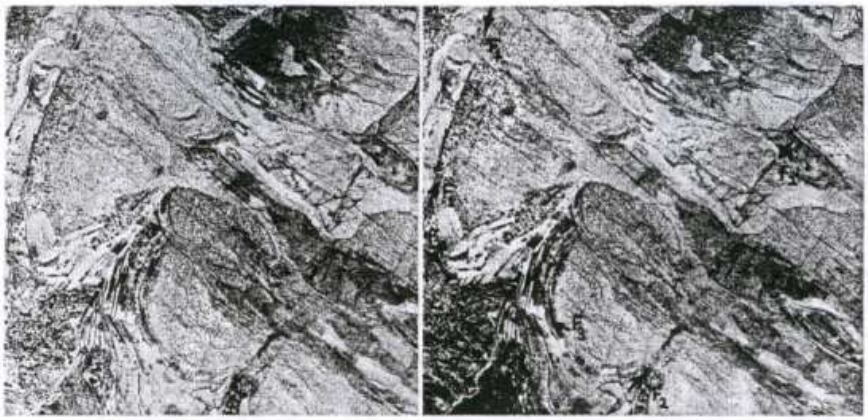
Fot. X-13.—DOMO ESTRUCTURAL CON RELIEVE INVERTIDO. Obsérvese la disposición circular de los estratos con el buzamiento hacia el exterior de la estructura. (E. aprox. 1/30.000.)



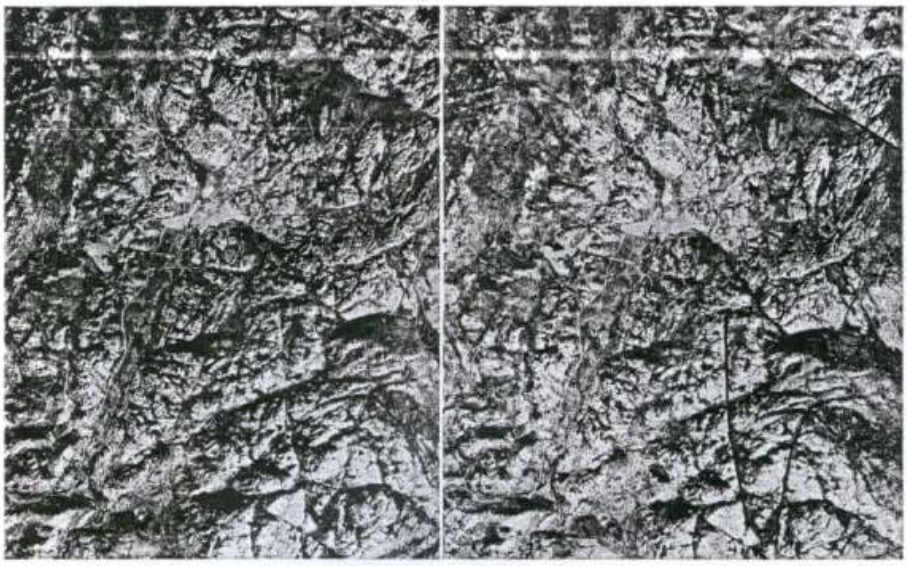
Fot. X-14.—CUBETA ESTRUCTURAL EN UNA SERIE CALIZA. Los buzamientos miran hacia el interior de la misma, siendo más fuertes en su parte meridional. Las flechas indican una línea de **falla.** (E. aprox. 1/30.000.)



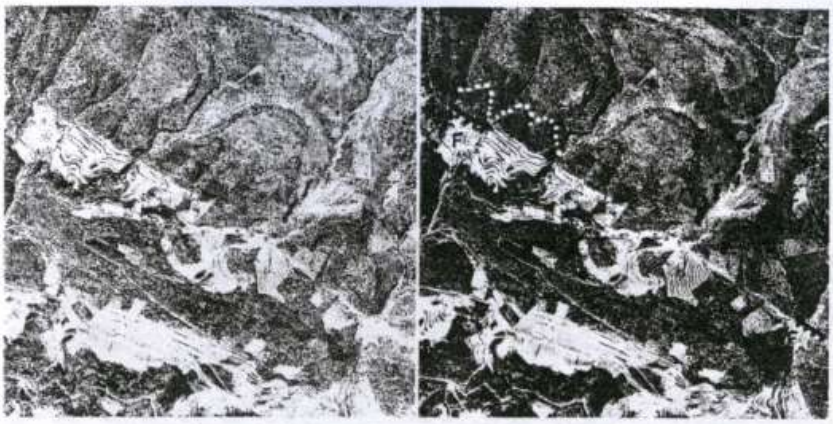
Fot. X-15.—ANTICLINAL CON ÁNGULO DE INMERSIÓN AL ESTE. Se aprecia parte de la **terminación periclinal,** quedando el resto de la misma fuera de la fotografía. En la parte derecha el relieve es normal, pero en la izquierda, donde la erosión ha hecho desaparecer las **calizas del Lías** (C) y las **carniolas** (K) correspondientes a la charnela, se ha formado una depresión ocupada por **yesos** y **margas** del Keuper (Y), dando lugar a un relieve invertido. Los **aluviones** del río destacan por sus cultivos en tonos muy oscuros, pudiéndose apreciar en ambas márgenes escarpes correspondientes a terrazas. El curso del río en su parte meridional aparece escalonado al adaptarse a las fallas existentes. (E. aprox. 1/30.000.)



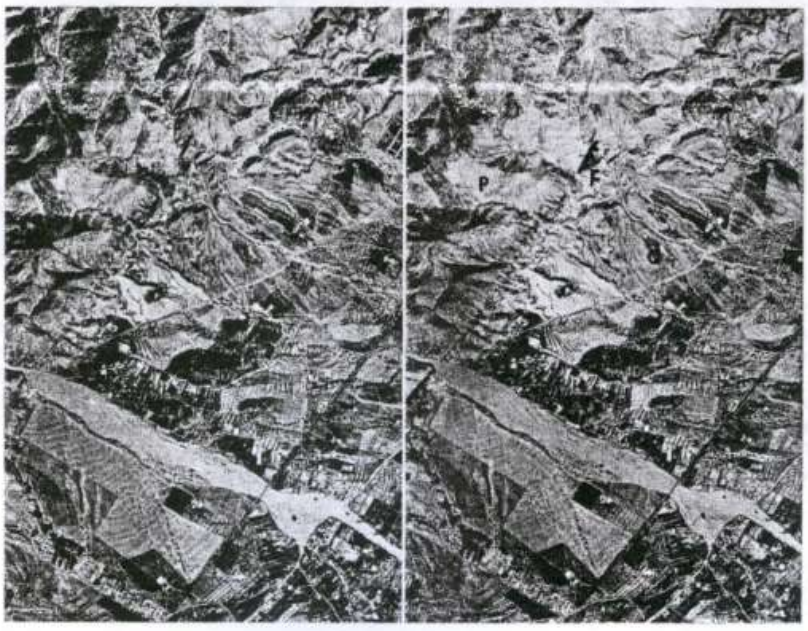
Fot. XI-1.—FRACTURAS EN CALIZAS. El estrato **calizo** está atravesado por multitud de **fracturas** que destacan por su trazo nítido, más negro que el resto de la roca. Las **fallas** han sido señaladas con flechas. Observando detenidamente la falla F_3, se puede apreciar un ligero desplazamiento de los estratos, a ambos lados de la misma. (E. aprox. 1/30.000.)



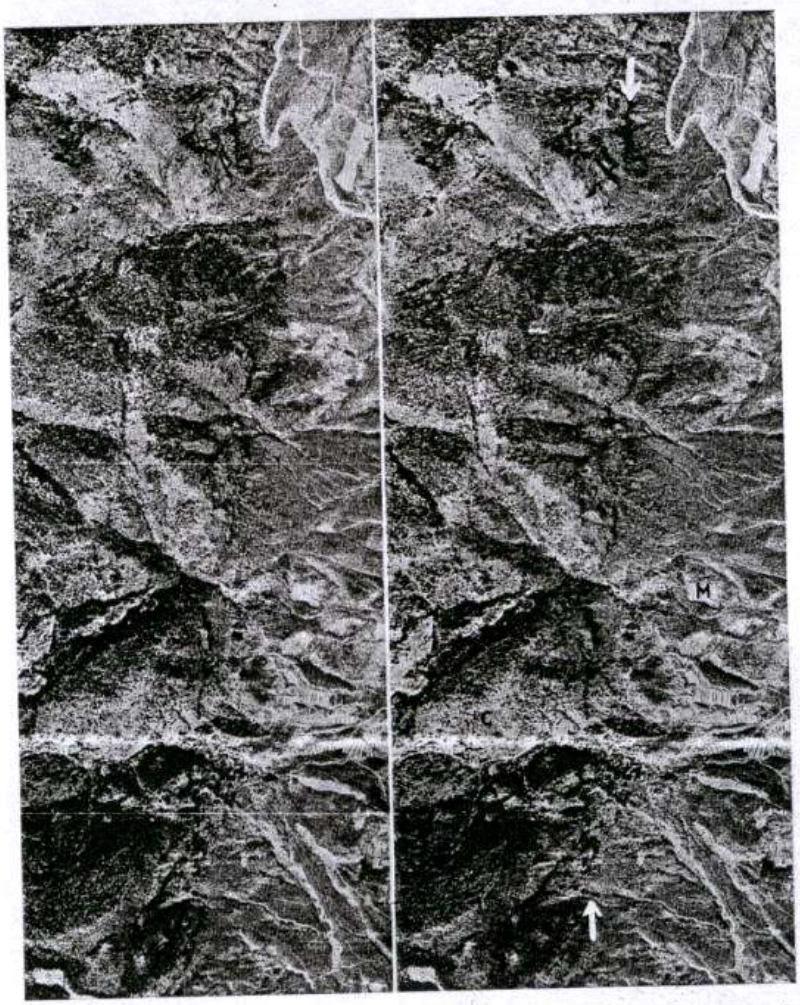
Fot. XI-2.—**Es el granito** la roca que normalmente presenta en fotogeología un índice más alto de fracturación. Las **fallas y fracturas** son muy numerosas, no pudiéndose distinguir con claridad unas de otras. Algunas de ellas se han marcado con líneas negras que marcan su posición, o bien con puntas de flecha que indican el principio y fin de su traza. (E. aprox. 1/30.000.)



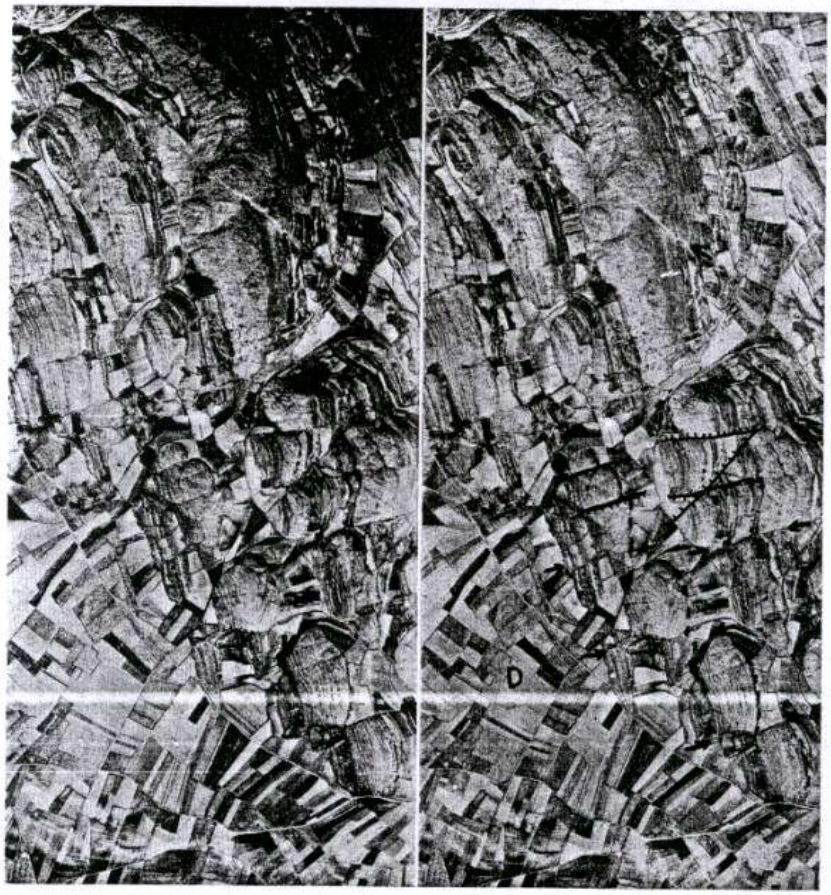
Fot. XI-3.—LA FALLA DE GRAVEDAD, marcada en su principio y fin con el símbolo correspondiente (**F**), ha dado lugar a la formación de **facetas** en el bloque Norte, que por tanto será el bloque levantado. Estas facetas son más bien triangulares, y la cara de las mismas coincide con el plano de falla. La línea de puntos blancos marca la posición de algunas. (E. aprox. 1/30.000.)



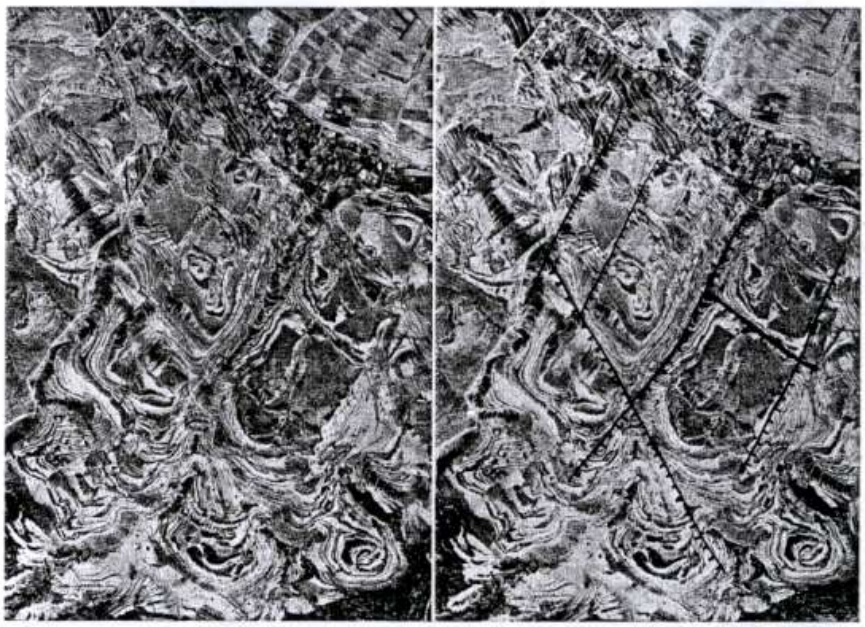
Fot. XI-4.—La presente **falla de gravedad,** marcada sólo en su principio y fin (**F**), ha dado lugar a la formación de una serie de **conos de deyección** (**C**), que forman una llanura de **pie de monte.** La amplitud y grado de madurez de dichos conos, y el haber desaparecido por erosión las facetas del escarpe de falla, nos habla de la antigüedad de la misma. El bloque levantado está formado por **pizarras silícicas.** (E. aprox. 1/30.000.)



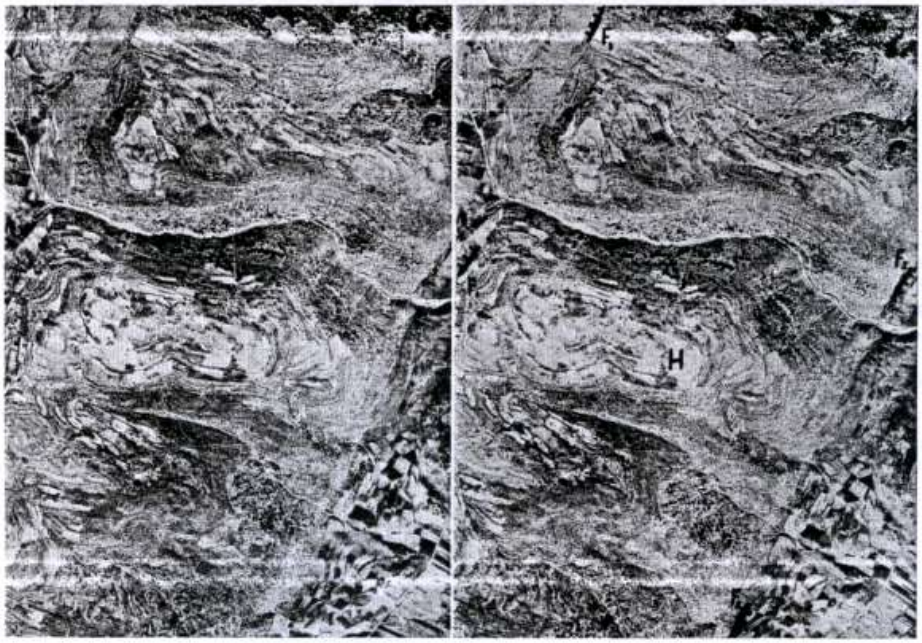
Fot. XI-5.—FALLA DE GRAVEDAD cuya posición está indicada por flechas blancas. En su parte izquierda aparecen **calizas cretácicas (C)**, y **margas jurásicas (M)** en la derecha. Aunque el escarpe de falla mira hacia éstas, no se puede asegurar con los datos que se tienen que éste sea el labio hundido, debido a la mayor erosionabilidad de las margas con respecto a las calizas, que podría haber dado lugar a un ESCARPE de falla resecuente. (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. XI-6.—**Calizas cretácicas** atravesadas por multitud de fallas. El desplazamiento de los estratos a ambos lados aparece claro. Algunas se han marcado con su simbolo correspondiente, y otras vienen indicadas por flechas. Aunque el desplazamiento de los estratos parece indicar que nos encontramos ante un conjunto de **fallas escalonadas,** sería necesario una comprobación de campo, a fin de poder determinar si son fallas de gravedad o de dirección, o bien fallas mixtas entre ambos tipos. No se han señalado un gran número de fallas, pudiendo el lector ejercitarse en su localización. Al SO. aparece una **llanura diluvial.** (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. XI-7.—Calizas y margas del Malm, atravesadas por una serie de **fallas escalonadas** que han dado lugar a resaltes topográficos. (E. aprox. 1/30.000.)



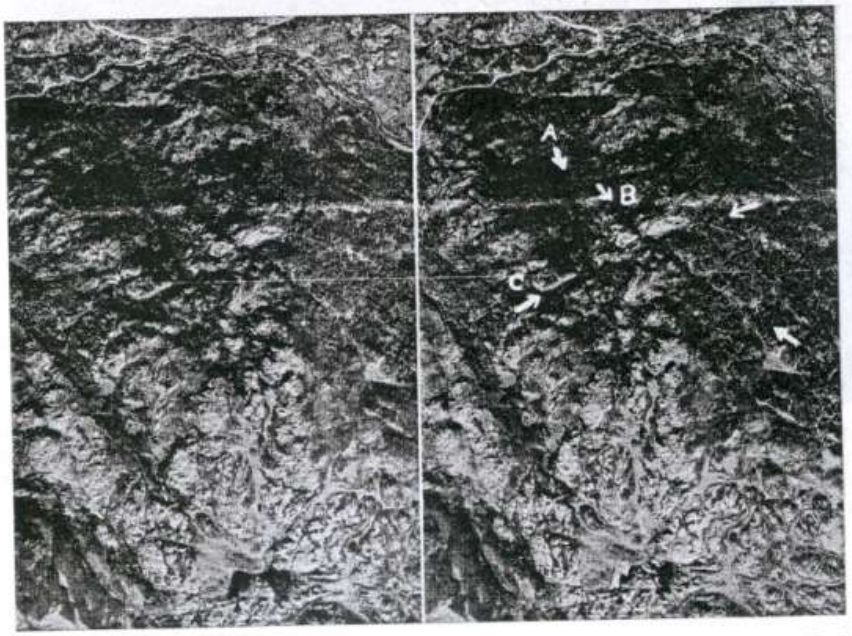
Fot. XI-8.—HORST TECTÓNICO EN CALIZAS, limitado por las fallas de gravedad $\mathbf{F}_1$ y $\mathbf{F}_2$, de las cuales se aprecia claramente el escarpe. (E. aprox. 1/30.000.)

Fot. XI-9.—Estratos de **calizas** atravesados por **fallas de gravedad,** de las que se ha marcado su principio y fin. Todas ellas dan lugar a escarpes. En las fallas F_3 y F_4 se puede apreciar el movimiento de los estratos, gracias al escarpe de la falla F_5 (zona **A**). La traza de las fallas F_3 y F_4 queda resaltada por la mayor densidad de arbolado. La zona comprendida entre ambas es una pequeña **fosa tectónica.** (E. aprox. 1/30.000.)

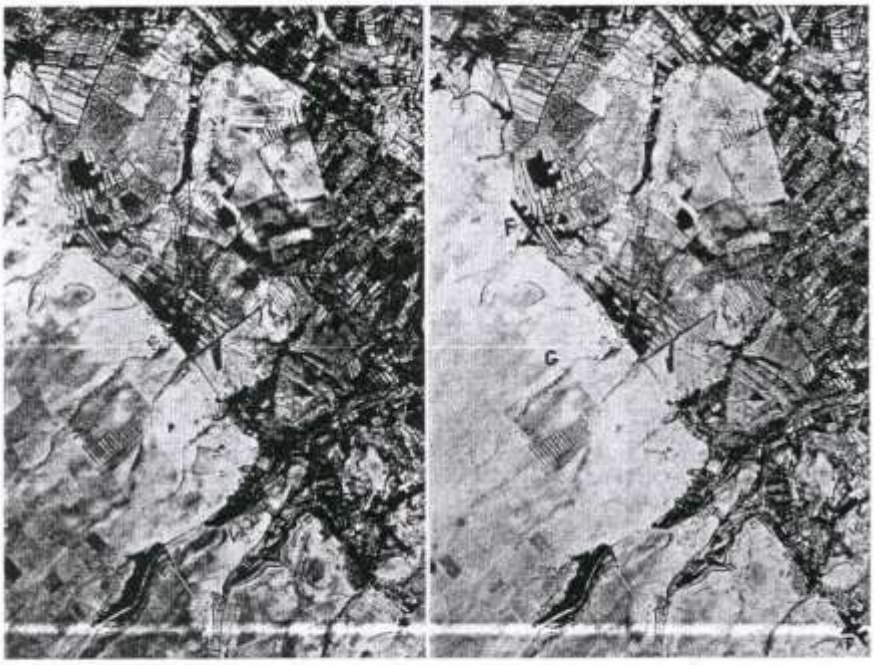
Fot. XI-10.—FALLAS DE GRAVEDAD de las que se han marcado las más representativas. Las fallas F_6, F_7, F_8 y F_9 forman un conjunto de **fallas escalonadas**. La zona **H** correspondería a una **fosa tectónica** por estar comprendida entre las fallas F_3 y F_5, y a un **Horst tectónico** por estar comprendidas a su vez entre las fallas F_{10} y F_{11}. (E. aprox. 1/30.000.)

Fot. XI-11.—CALIZAS JURÁSICAS (**C**) muy falladas. Algunas de estas fallas de gravedad se han anotado en su totalidad o en parte por medio del símbolo correspondiente. Las fallas F_5 y F_6-F_7, por ser de sentido opuesto dan lugar a la formación de una **fosa tectónica** (**H**), a favor de la cual aflora una serie Wealdense compuesta por **margas, calizas** y **areniscas.** (E. aprox. 1/30.000.)

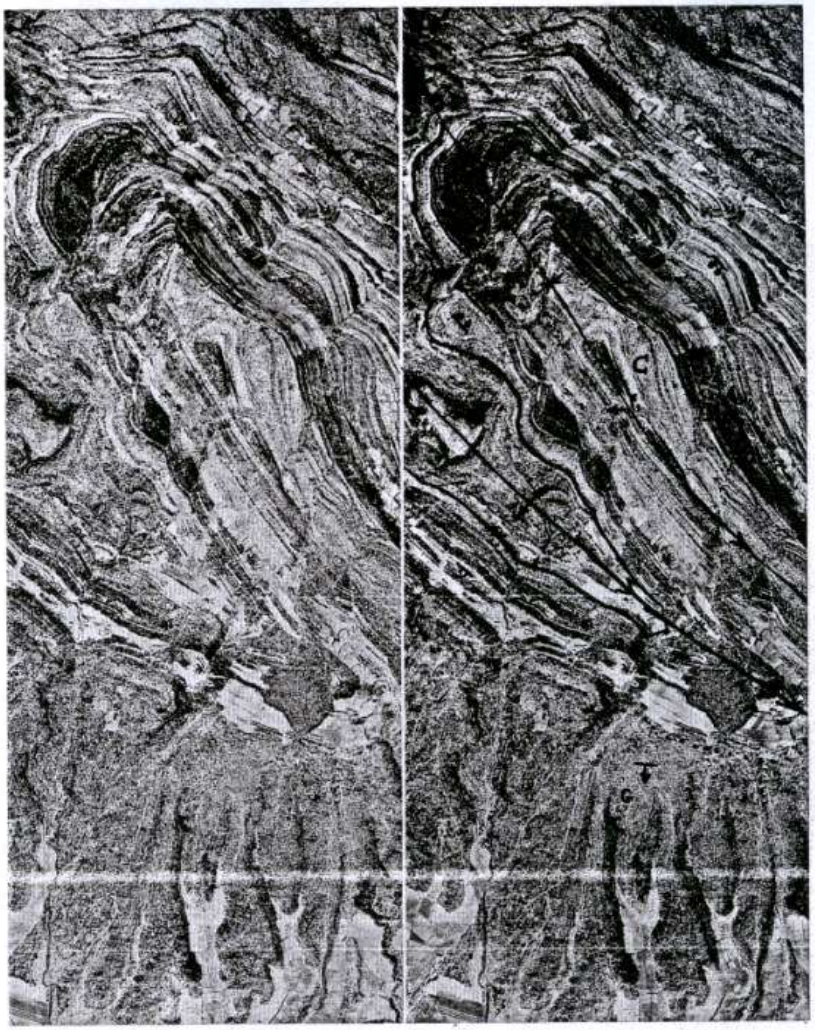
Fot. XI-12.—Un bonito y claro ejemplo de FALLA DE DIRECCIÓN en rocas sedimentarias. Su traza se ha señalado con flechas. Obsérvese el desplazamiento de los estratos de **calizas** y **margas** (los de calizas ofrecen mayor relieve), y su curvatura en el sentido de arrastre. Las líneas de puntos (**a**) marcan la posición de uno de los estratos desplazados, siendo visible el **salto de falla**. (E. aprox. 1/30.000.)



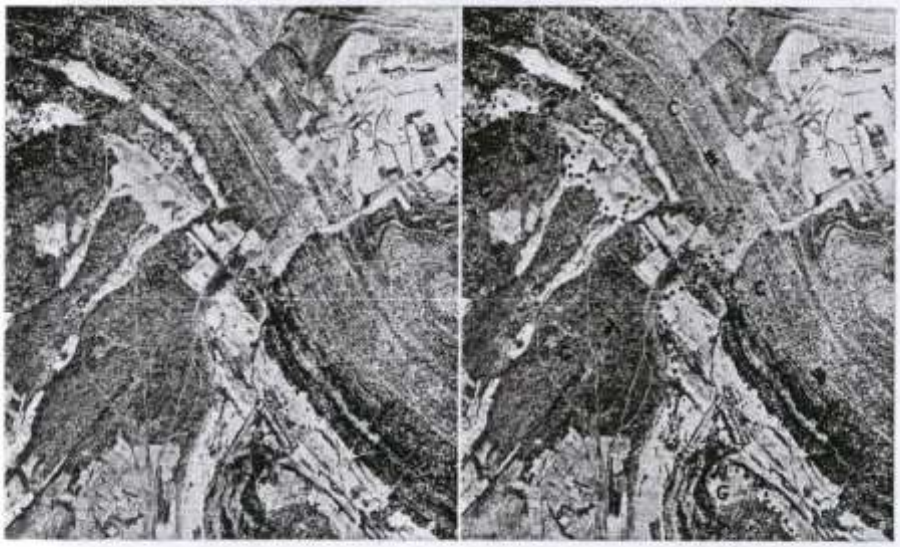
Fot. XI-13.—DESPLAZAMIENTO DE FRACTURAS A AMBOS LADOS DE UNA FALLA. En las rocas cristalinas (la roca que aparece en la fotografía es **granito**), la falta de estratos, cuyo desplazamiento pueda indicar el movimiento de la falla, hace la identificación de la misma más difícil que en terreno sedimentario. Observando con detenimiento las fracturas señaladas, con flechas, se puede llegar a la conclusión de que, tanto la fractura **A** como la **B**, aparecen ligeramente desplazadas a ambos lados de la falla **C**. Sería necesaria una comprobación de campo para determinar si la falla es de gravedad o de dirección. (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. XI-14.—La formación de la presente FALLA DE GRAVEDAD (**F**) es reciente, por haber afectado a los **conglomerados** pliocenos (**G**) que aparecen a la izquierda de la misma. La línea de falla destaca claramente. (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. XI-15.—DISCORDANCIA existente entre una serie **cretácica** plegada (**C**), y unos **conglomerados terciarios** (**G**). La discordancia viene marcada por una línea de puntos. Obsérvese el distinto ángulo de buzamiento de ambas rocas —los conglomerados tienen un ángulo de buzamiento más bajo— y el trazado irregular del contacto. La serie cretácica está compuesta por una alternancia de **calizas** y **areniscas** (forman los resaltes), y **margas** y **arcillas.** El plegamiento está formado por un anticlinal y un sinclinal con ángulo de inmersión al SE. Las capas se siguen con facilidad a ambos lados de los ejes; sirva como ejemplo al estrato marcado con trazo negro. Se han señalado dos fallas con flechas (**f** y $\mathbf{f}_1$). (E. aprox. 1/30.000.)



Fot. XI-16.—DISCORDANCIA ANGULAR existente entre **calizas cretácicas (C)** y **conglomerados oligocenos (G)**. El buzamiento de ambas rocas está representado por los símbolos correspondientes. Obsérvese el trazo irregular del contacto, que hace imposible la confusión del mismo con una falla. (**Ar** son **arcillas de decalcificación**.) (E. aprox. 1/30.000.)