

ALTIMETRIA FOTOGEOLOGICA

LUIS GUILLERMO DURAN S.

Profesor Asociado, Depto. de Geología.
Laboratorio de Geología Experimental.
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional
de Colombia, Bogotá, D. E.

RESUMEN

En este artículo se describe la escalera o cuña paraláctica para la medición de diferencias de elevación sobre aerofotografías estereoscópicas verticales, y se discute su uso en fotogeología, según resultados obtenidos en el Laboratorio de Geología Experimental del Departamento de Geología.

Se ilustra el uso de la escalera en un problema de geología estructural (desplazamiento neto de una falla) para el cual se ofrece una solución nueva, estrictamente fotogeológica. Finalmente se discute la posibilidad y conveniencia de generalizar el uso de este tipo de estereómetros, con el auxilio del control vertical terrestre suministrado por nivelación barométrica moderna.

ABSTRACT

This paper is a description of the parallax ladder or wedge and its use in the measurement of elevation differences on air photographs. Their applications to photogeology are discussed on the basis of work carried out in the Laboratory of Experimental Geology of the University.

The actual use of the parallax ladder is illustrated with an example in structural geology (net displacement in a dip slip fault) for which a new solution, completely based on photogeology, is given. Finally, the paper discusses the possibilities and convenience of extending the use of this type of stereometers to general photogeology, with the aid of vertical ground control furnished by modern barometric leveling.

RÉSUMÉ

Dans cet article on décrit l'escalier ou coin paralactique pour la mesure de différences d'altitude sur les aérophotographies stéréoscopiques verticales et on discute son emploi en photogéologie, d'après les résultats obtenues dans le Laboratoire de Géologie Expérimentale de l'Université.

On met en valeur l'emploi de l'escalier dans un problème de géologie structurale (déplacement net d'une faille) pour lequel on propose une solution nouvelle, strictement photogéologique. Finalement on discute la possibilité et la convenance de généraliser l'emploi de ce type de stéréomètre, avec l'aide du contrôle vertical terrestre par nivellement barométrique moderne.

I. INTRODUCCION

"In the book of Genesis we learn that it was God's plan to give man 'dominion over all the Earth... and to subdue it'. This Manual is an attempt to describe one of the most valuable means to that end that man has ever devised".

R. N. COLWELL

(Introduction to "Manual of Photographic Interpretation", Amer. Soc. of Photogram., 1960).

Resumimos en el presente trabajo algunos de los resultados obtenidos en el Laboratorio de Geología Experimental del Departamento de Geología, en la aplicación de métodos fotogramétricos sencillos a problemas altimétricos en geología. El objetivo inmediato en estas investigaciones es un mejor conocimiento del alcance y limitaciones de estos métodos y sus aplicaciones, tratando de coordinarlos con los respectivos sistemas de control de campo, como lo han expuesto en buena parte Low (1957, pp. 105-127) y Compton (1962, pp. 150-169), y como lo hemos intentado nosotros anteriormente (Durán, 1945-57, pp. 106-119).

El artículo se refiere en particular al uso de la *escalera o cuña paraláctica*, tal como fue diseñada hacia 1940 por el Dr. L. E. Nugent, Jr. y sus colegas de la Marina Americana, y según fue modificada e introducida por nosotros en el Departamento Geológico de la Texas Petroleum Co. en Bogotá, en 1947. Aun cuando en la actualidad se usa este tipo de *estereómetro* comúnmente, inclusive en el U. S. Geological Survey (W. T.

Pecora, comunicación personal, 1964), sólo en pocas publicaciones ha sido descrito y discutido con la extensión y detalle que a nuestro juicio merece (véanse: Spurr, 1948; Ray, 1956, 1960; Chittenden, 1959; Rayner-Schmidt, 1957; Breed, et al., 1961; Moessner, 1961).

Deseamos aquí en primer lugar hacer conocer los detalles de la *escalera paraláctica* y su utilidad, en particular en un ejemplo de geología estructural (desplazamiento neto de una falla) para el cual ofrecemos una solución nueva, y en segundo lugar discutir la posibilidad de generalizar el empleo del mencionado estereómetro mediante métodos de control vertical expeditos y económicos, como puede ser el barométrico, en su más moderna concepción.

Nos complace dejar constancia de nuestro agradecimiento a Don Antonio Reyes, colaborador del Laboratorio, por su ayuda con fotocalcos y restituciones; al Dr. William Aitken, de la Cities Services Oil Co., quien nos suministró el altímetro Paulin para la nivelación experimental del Guavio; a la Texas Petroleum Co., por

su autorización para publicar algunos datos topográficos y geológicos; a los profesores A. D. Howard (Stanford) y Ph. Kissam (Princeton) por su amable información sobre estereómetros y nivelación barométrica, respectivamente; a Mr. W. T. Pecora, jefe de geólogos del U.S.G.S., por sus valiosos datos acerca del equipo fotogeológico de aquella entidad; finalmente, a nuestro ex-alumno el Dr. Pedro Mojica, por las fotografías del Laboratorio.

II. ALTIMETRIA FOTOGRAMETRICA

a) Generalidades

En fotogrametría es posible determinar diferencias de elevación y cotas sobre pares estereoscópicos mediante los *paralajes*. Esto se consigue por diversos métodos, con diferentes grados de precisión, valiéndose de muy variados tipos de instrumentos (*estereómetros*). Entre éstos, los más sencillos y conocidos son la *barra de paralajes* (Figs. 1, 9) y la *escalera o cuña paraláctica* (Figs. 2, 5) para usar con estereoscopios de reflexión y de bolsillo, respectivamente.

El principio en que se funda el aludido método es el de los desplazamientos diferenciales (*paralajes*) de las imágenes homólogas en el estereopar. Como puede deducirse de la Fig. 1, de la semejanza de los triángulos opuestos por el vértice, ACB y DCE , entre dos puntos cualesquiera del terreno (base y parte superior del árbol), la diferencia de elevación resulta dada por la expresión:

$$h = \frac{\Delta p (H - h)}{b} \quad (1)$$

en la cual Δp es la diferencia de paralajes, medida en milímetros, H es la altura de vuelo sobre el nivel medio del terreno, en metros, y b es la estereobase, o distancia promediada entre los centros conjugados en las dos aerofotos, en milímetros. Por razones prácticas y teóricas cuya discusión no tiene cabida aquí, la fórmula (1) se convierte en la siguiente, que es la generalmente usada:

$$h = \frac{\Delta p H}{b + \Delta p} \quad (2)$$

Como se ve en la Fig. 1, Δp representa en realidad el desplazamiento horizontal diferencial sobre las fotografías para los dos puntos cuya diferencia de elevación h , desea determinarse, y puede medirse directamente con una escala, pero los estereómetros lo hacen con mayor precisión mediante un tornillo o dispositivo micrométrico que mide la separación de dos marcas grabadas sobre pequeñas placas de vidrio (m y m' en las Figs. 1, 9). Estas marcas se hacen coincidir mediante el tornillo micrométrico con las imágenes de cada punto, simultáneamente en las dos aerofotos, por lo cual se ven estereoscópicamente "flotar" (en el espacio), a la altura correspondiente sobre el modelo espacial. A este dispositivo se le llama en general *marca flotante*, y en los *estereocomparadores* e instrumentos más complicados sirve para seguir y dibujar las curvas de nivel del modelo observado.

Como generalmente Δp es muy pequeño comparado con b , aquél puede suprimirse en el denominador de la expresión (2), en la mayoría de los casos en la práctica; o puede determinarse h multiplicando a Δp por

el factor V , obtenido del gráfico de Hemphill (1958, p. 43), quien lo ha elaborado con arreglo a la ecuación:

$$V = \frac{H}{b + \Delta p} \therefore h = V \Delta p \quad (3)$$

Existen calculadores fotogramétricos, en forma de círculos concéntricos, que permiten determinar a V , y que además facilitan los cálculos de escalas, altura de vuelo, distancia focal, etc.

b) La escalera o cuña paraláctica

Este dispositivo es la versión más sencilla del estereómetro (Figs. 2, 3). Se trata en realidad de una escala transversal transparente, basada en el principio de la escala diagonal que se usa en dibujo y cartografía para medir con exactitud pequeñas distancias o segmentos de rectas. Consiste en dos líneas rectas ligeramente convergentes, dibujadas sobre un material plástico y transparente que experimente mínimas variaciones dimensionales con los cambios de temperatura. En nuestra versión, las líneas están separadas 7 cm. en la base y 6 cm. en la parte superior, siendo la altura del trapecio de 27 cm., dividida en 10 partes iguales, subdivididas a su vez en décimas. Así se obtienen lecturas de paralajes en milímetros y décimas de milímetro, pues cada una de las subdivisiones representa una centésima del centímetro de diferencia que hay entre las dos bases del trapecio o escalera. La distancia entre estas bases, o longitud de la escalera (27 cm. en nuestro caso) es arbitraria, en tanto que las dimensiones de aquéllas deben mantenerse en las proximidades de la distancia interpilar.

Las dos líneas convergentes de la escalera, fundidas en una sola bajo el estereoscopio de bolsillo, se ven flotar en el espacio, sobre el modelo estereoscópico, a una altura que depende de su posición, a medida que se hace deslizar la escalera, en contacto con las aerofotos, a lo largo de su eje longitudinal, normalmente a la estereobase o línea de vuelo, y al eje longitudinal del estereoscopio (Figs. 2, 3).

Para determinar diferencias de elevación con la escalera basta colocar las aerofotos como para ser observadas con el estereoscopio de bolsillo, alineándolas perfectamente según la línea de vuelo (Fig. 2), con sus centros conjugados a 6,5 cm. de distancia aproximadamente. Se procede luego a hacer coincidir estereoscópicamente la línea flotante sobre cada punto deseado, leyendo directamente los valores de la escalera que corresponden a tal posición (Fig. 3). El valor Δp de la ecuación (2) para cualquier diferencia de elevación, h , entre dos puntos elegidos, es sencillamente la diferencia entre las dos lecturas de la escalera correspondientes a esos dos puntos. Debe advertirse que, teóricamente, las lecturas con la escalera pueden hacerse sin el estereoscopio, como se lee una escala cualquiera; sin embargo, la percepción del relieve con la ayuda de aquél es lo único que en la práctica ofrece seguridad absoluta en las mediciones, especialmente en las diferencias de elevación más pequeñas, y permite obtener la máxima precisión inherente al sistema.

Hemos elaborado un nomograma (basado en el del Dr. Fichter, de la Compañía Shell) que permite resolver la ecuación (2) con solo leer los datos con ayuda de una escuadra o triángulo mediano (Fig. 5). La escalera

funciona satisfactoriamente para diferencias de elevación entre puntos relativamente próximos entre sí, y actualmente investigamos la posibilidad de hacer su uso extensivo a toda el área del estereopar mediante la construcción de los correspondientes *gráficos de corrección*, semejantes a los que se usan con los demás estereómetros o *estereocomparadores* (Nugent, Jr., 1947; Desjardins, 1950; Chittenden, 1959; Hallert, 1960, p. 169; Howard, 1960).

III. APLICACIONES FOTOGEOLOGICAS

a) Aplicaciones generales

Como queda dicho, la escalera paraláctica puede usarse prácticamente en todos los casos de la fotogeología en que se requiera determinar diferencias relativas de elevación y cotas, y proporciona, según hemos constatado, resultados de una precisión comparable a la de los demás estereómetros sencillos. Esta afirmación concuerda con los resultados obtenidos y publicados recientemente por K. E. Moessner (1961), en relación con alturas de árboles, en escalas de 1 : 12.000 y 1 : 20.000. Pueden enumerarse como sigue, las aplicaciones de este estereómetro, según nuestros trabajos en el Laboratorio:

- a—Diferencias de elevación en general.
- b—Elevaciones para cálculos de buzamiento.
- c—Elevaciones para curvas de forma y de nivel.
- d—Elevaciones para secciones topográficas y geológicas.
- e—Elevaciones para mapas estructurales.
- f—Elevaciones para intervalos estratigráficos.

Los buzamientos se pueden determinar ordinariamente midiendo en las pendientes estructurales (dip slopes) la diferencia de elevación entre su punto más alto y el más bajo, sobre la línea del buzamiento, y calculando la tangente del ángulo en función de dicha diferencia (*h*) y de la distancia horizontal (*D*), medida esta última sobre las fotografías. En la Fig. 6 se ven ejemplos de este problema en pendientes estructurales muy típicas. En caso de que la distancia horizontal se halle substancialmente alterada por desplazamientos relativos de los puntos, puede corregírsela previamente con una sencilla triangulación radial gráfica. El diagrama añadido por nosotros al nomograma del Dr. Fichter (Fig. 5) permite leer directamente el buzamiento en función de *h* y *D* (Durán, 1957, pp. 113-116). Procedimientos semejantes para otros estereómetros han sido descritos por Desjardins (1950), Elliott (1952), Tanner (1953), Raasveldt (1957) y Ray (1956, 1960).

También pueden construirse secciones geológicas con la escalera, ajustando gráficamente el perfil topográfico obtenido con ella, a puntos del control terrestre convenientemente seleccionados e identificados (Durán, 1957, pp. 116-119). La Fig. 6 es un ejemplo de este caso; el perfil definitivo fue ajustado gráficamente, por simple rotación, entre los puntos *a* y *b* del control terrestre, pertenecientes, o enlazados a las poligonales de tránsito y plancheta.

En relación con los mapas estructurales, el uso de la escalera paraláctica permite utilizar en general el método de elevaciones uniformemente distribuidas en el área cartografiada, y no limitadas a las líneas de sección, como suele hacerse, tal como lo hemos expuesto en un trabajo anterior (Durán, 1951).

Para los intervalos estratigráficos, el U.S.G.S. está usando experimentalmente un dispositivo especialmente diseñado para el efecto, recientemente descrito por su autor (Hackman, 1960), y cuyo conocimiento debemos a la gentileza del Dr. W. T. Pecora (comunicación personal, 1964). Este dispositivo es, sin embargo, esencialmente un estereómetro, y por tanto la escalera paraláctica también puede servir en estos casos, aun cuando probablemente con menor eficiencia.

b) Desplazamiento neto de una falla

En su *Field Geology*, F. H. Lahee (1961, pp. 756-757) da una solución por geometría descriptiva, en proyección estereográfica paralela, para el desplazamiento neto de una falla de desplazamiento según su buzamiento (*ab* Fig. 7). Con base en ella hemos resuelto analíticamente el problema conforme al desarrollo siguiente:

$$\tan a = bg : gf = bg : ac \quad (4)$$

$$\therefore bg = ac \cdot \tan a \quad (5)$$

$$ab = bg : \sin \phi = \frac{ac \cdot \tan a}{\sin \phi} \quad (6)$$

La fórmula (6) puede reducirse a términos fotogeológicos, reemplazando en ella sus elementos por las respectivas mediciones paralácticas y distancias fotogramétricas, y así tendremos:

$$\tan a = \frac{\Delta p H}{(b + \Delta p) D} \quad (7)$$

$$\therefore ab = \frac{\Delta p H \cdot ac}{(b + \Delta p) D \sin \phi} \quad (8)$$

Hemos aplicado la solución al caso de la aerofoto de la Fig. 8, para determinar el desplazamiento neto de la falla transversal normal (buzamiento supuesto, $\phi = 45^\circ$) que corta y desplaza apreciablemente (500 m.) las colinas estructurales o de buzamiento. Estas definen el contacto entre series de areniscas y arcillolitas más o menos resistentes del Mioceno (al occidente) y lutitas subyacentes blandas, grises, del Oligoceno (al oriente), como se ve en las ilustraciones de la Fig. 8, basadas esencialmente en los datos de campo de la Texas Petroleum Co. (Bower-Wheeler-Durán, 1930, 1942). Estas características estructurales y litológicas de la comarca se reflejan con bastante claridad en las aerofotos, tanto en el tono de las dos zonas separadas por el contacto Mioceno-Oligoceno, como en el relieve, en las formas fisiográficas, en la textura topográfica y en la disposición y densidad de las redes hidrográficas.

Reemplazando en la ecuación (8), hemos obtenido para el desplazamiento neto (*ab*) de la falla en cuestión, haciendo las medidas con la escalera:

$$ab = \frac{0,6 \times 3.960 \times 500}{(70 + 0,6) 200 \times 0,7071} = 119 \text{ m.}$$

La solución por la ecuación (6) nos da 124 m.; la discrepancia entre ésta y la solución fotogeológica propuesta es, como se ve, de sólo 5 m., y podría deberse a muchos factores, siendo probablemente el buzamiento el de mayor importancia. En efecto, la solución matemática de 124 m. corresponde a un buzamiento $\alpha = 10^\circ 45'$, en tanto que fotogeológicamente hemos obtenido 10° , lo cual puede atribuirse a errores tolerables en las

medidas de los paralajes, o puede obedecer a una real discrepancia entre las superficies topográficas y los planos de estratificación en las pendientes estructurales utilizadas (areniscas y arcillolitas del Mioceno). En rigor, podría obtenerse una solución más acorde con la realidad (al menos teóricamente) midiendo buzamientos a ambos lados de la falla. En tal caso tendríamos como sustituto para la ecuación (8 empleada, la siguiente:

$$ab = \left(\frac{\Delta p H}{(b + \Delta p) D} + \frac{\Delta p' H}{(b + \Delta p') D'} \right) \frac{ac}{2 \sin \phi} \quad (9)$$

El fotocalco de la Fig. 8 es la versión rectificada en el *estereótopo* Zeiss, del originalmente elaborado en el *estereocomparador* (Zeiss también, *Aerotopograph*), usando los dos puntos de control altimétrico A y B. A título de información, debemos decir que este fotocalco difiere muy poco de otro preliminar que elaboramos con elevaciones determinadas con la escalera, y que omitimos por falta de espacio. Como detalle interesante del fotocalco en cuestión, queremos destacar la acentuación de los segmentos rectilíneos de las curvas de nivel, característicos de la fisiografía cartografiada, y que constituyen un aspecto casi siempre descuidado en los mapas generales (ya sean topográficos o geológicos), sobre el cual nunca se insistirá demasiado (Durán, 1945, pp. 10-21; 1949).

IV. NUEVAS POSIBILIDADES PARA LA ALTIMETRIA FOTOGEOLOGICA

a) Antecedentes

Las mediciones altimétricas con estereómetros son correctas solamente cuando las aerofotografías no presentan errores de horizontalidad de la cámara, de variaciones de escala, o de otras clases. Como estos errores casi siempre están presentes, el control vertical terrestre es generalmente indispensable, y su defecto limita considerablemente los métodos de la fotogrametría y la fotogeología analíticas (Smith, 1943; Amer. Soc. of Photogram., 1952; Chittenden, 1959; Miller, 1960; Bandat, 1962).

Cuando se planea o se busca control vertical para las aerofotos, tradicionalmente se piensa en cotas determinadas por métodos geodésicos o topográficos más o menos dispendiosos y costosos. Nosotros creemos, sin embargo, que la nivelación barométrica con altímetros modernos ofrece posibilidades que desafortunadamente entre nosotros no han sido suficientemente comprendidas y aprovechadas hasta hoy. En efecto, se cree regularmente que el altímetro proporciona resultados siempre inciertos, con errores probables de 10 a 50 o más metros, cuya verdadera magnitud es de imposible predicción o determinación.

No obstante, la posibilidad de usar cotas barométricas simplificaría considerablemente el problema del control vertical terrestre para la fotogeología en general, y haría extensible el uso de los estereómetros sencillos a la mayoría de los proyectos. Por lo tanto, deseamos adelantar aquí algunos resultados alentadores en la investigación de este problema que nos preocupa desde hace años, y en el cual hemos sido recientemente estimulados por el profesor Kissam (comunicaciones personales: marzo, 1963; octubre, 1964), cuyos primeros trabajos sobre el tema conocimos en 1949 (Kissam, 1948, pp. 16-18).

b) Algunos resultados prometedores

Según los aludidos trabajos de Kissam y otros, la nivelación barométrica de precisión técnicamente efectuada, con una o más bases de control, puede suministrar cotas con errores probables de sólo 3 a 10 pies (Hodgson; Rayner-Schmidt, 1957, p. 764; Breed, et al., 1961, p. 192). En nuestro trabajo experimental en la región del Guavio (Texas Petroleum Co.) obtuvimos en 1961, con un solo altímetro Paulin (sin base de control) transportado por helicóptero, los resultados (en pies) que resumimos a continuación, comparándolos con los de la nivelación de precisión (debidamente contranivelada).

Punto	Cota de la nivelación de precisión	Cota barométrica	Error
1—G—1	2.900'	2.897'	— 3'
2—G—2	1.963'	1.964'	+ 1'
3—Sn. Carlos	977'	987'	+ 10'
4—Guaica	2.923'	2.922'	— 1'

Como puede observarse, el máximo error obtenido con el barómetro fue de 10 pies, y en la mayoría de los casos no excedió de 3 pies. Es evidente que esta precisión (fácilmente superable con el método de las bases) sería más que suficiente para el control vertical en la casi totalidad de los proyectos fotogeológicos, y podría competir con la mayor parte de los sistemas topográficos tradicionales más o menos costosos, de 3º y 4º orden, como el de la plancheta. Para éste, los errores probables verticales sólo pueden mantenerse aproximadamente dentro de los límites expresados en el gráfico de la Fig. 11, según nuestras propias experiencias e investigaciones (Durán, 1950), en notable discrepancia con las especificaciones dadas por J. W. Low en su obra (Low, 1952, pp. 158-159).

Nuestras aludidas especificaciones de precisión altimétrica para la plancheta reposan sobre una cuidadosa verificación experimental, y concuerdan esencialmente con las dadas por Lahee en su 5ª y 6ª ediciones (Lahee, 1961, p. 550), en las cuales dicho autor las modificó de acuerdo con nuestras sugerencias, con respecto a las de sus ediciones anteriores (un poco vagas), como lo hizo también en el punto que trataremos a continuación.

Aun cuando aquí no nos proponemos entrar en detalles sobre el control vertical terrestre en general, al hablar de él en relación con la fotogeología no podemos dejar de mencionar el caso de la triangulación a plancheta, que es un sistema altamente recomendable para el efecto, pues es imprescindible para controlar poligonales de considerable longitud, entre puntos de control muy distanciados (de tránsito o geodésicos), y constituye el relleno intermedio adecuado. En el control vertical de la triangulación es indispensable introducir la corrección combinada por curvatura y refracción, pero queremos llamar la atención sobre el hecho de que ésta, a pesar de su simplicidad, se ha aplicado erróneamente en casos que conocemos. El párrafo que sobre el tema trae la obra del Dr. Lahee se presta todavía a confusión, pese a que fue parcialmente modificado a partir de la 5ª edición (Lahee, 1961, p. 529). De la misma ambigüedad adolece en este punto el excelente capítulo de K. G. Smith y S. A. Wengerd, *Surface Geology*, en el moderno manual de G. B. Moody

(Moody, 1961, p. 10-74). La dificultad se resuelve ateniéndose a la sencilla regla siguiente: la corrección por curvatura y refracción es siempre positiva para las visuales hacia adelante (intersecciones), y negativa para las visuales hacia atrás (resecciones), irrespectivamente del signo del ángulo (Durán, 1945, p. 44).

Para terminar, daremos un argumento más en favor de la nivelación barométrica, en el sentido en que la venimos considerando, añadiendo que en nuestro trabajo experimental llevado a cabo en Monserrate, en 1936 (inédito), obtuvimos como error para la medición de la altura del cerro, en la iglesia (467 m. según nivelación trigonométrica con tránsito), valores que fluctuaron entre + 2 y + 18 m., según las diferentes fórmulas aplicadas. Las observaciones fueron hechas con un barómetro aneroide pequeño, y se hicieron correcciones por temperatura y variaciones de la presión, con base en termogramas y barogramas elaborados con ese fin. Sin embargo, el error se redujo posteriormente a sólo 10 ó 20 centímetros, cuando aplicamos a la fórmula de Laplace la corrección sugerida para ésta (para las regiones ecuatoriales) por el profesor Ruiz Wilches, de la Universidad Nacional (Ruiz Wilches, 1945). Esta corrección equivale aproximadamente a 1/290 de la diferencia de altura dada por la fórmula de Laplace mencionada.

Admitimos que resultado tan preciso podría deberse en este caso a una fortuita compensación de errores, pero téngase en cuenta que en la actualidad, el uso de los modernos altímetros de precisión (Kissam, 1948; Breed, et al., 1961; Kneissl, 1956) sí puede permitir alcanzar con seguridad esta meta, ambicionada desde el siglo pasado en el U. S. Geological Survey por el inventor del sistema barométrico con bases de control, ese gigante de la geología que se llamó Groove Karl Gilbert (Gilbert, 1882, pp. 405-566).

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY

- 1947 *Symposium of Information Relative to Uses of Aerial Photographs by Geologists*, Vol. 13, Nº 4 (pp. 531-628, illust.) Washington.
- 1952 *Manual of Photogrammetry* (876 pp., illust.), 2nd. ed., Washington.
- 1960 *Manual of Photographic Interpretation* (868 pp., illust.), Washington.

AVERY, T. E.

- 1962 *Interpretation of Aerial Photographs* (192 pp., 130 fs.), Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minn.

BANDAT, von, H. F.

- 1962 *Aerogeology* (350 pp., illust.), Gulf Publishing Co., Houston, Texas.

BREED, C. B.; HOSMER, G. L.; BONE, A. J.

- 1961 *Higher Surveying* (543 pp., illust.), 8th. ed., John Wiley & Sons, N. York.

COMPTON, R. R.

- 1962 *Manual of Field Geology* (378 pp., illust.), John Wiley & Sons, N. York.

CHITTENDEN, H. M.

- 1959 *Differential Elevation by Adaptation of the Parallax Correction Graph to Parallax Measurements on Aerial Photographs*, Photogram. Engineering, Vol. 25, Nº 1 (pp. 144-151, 6 fs.), Washington.

DESJARDINS, L.

- 1943 *Measurement of Dip Angles on Aerial Photographs*, Bull., Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Vol. 27, Nº 11 (pp. 1534-1551, 2 fs.), Tulsa.
- 1950-a *Structural Contouring for the Photogeologist*, Photogram. Engineering, Vol. 16, Nº 5 (pp. 784-796, 3 fs.), Washington.
- 1950-b *Techniques in Photogeology*, Bull., Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Vol. 34, Nº 12 (pp. 2284-2317, 7 fs.), Tulsa.

DURAN, L. G.

- 1945-57 *Topographic and Geologic Instructions to Field Men*, (121 pp., illust.), Texas Petroleum Co. Manual, Bogotá.
- 1949-a *La Altimetría en los Levantamientos Geológicos*, Petróleo del Mundo, Marzo (pp. 10-11, 3 fs.), N. York.
- 1949-b *Topografía y Fisiografía*, Anales de Ingeniería, Soc. Col. de Ings., Vol. 57, Nos. 623-624 (pp. 13-46, 23 fs.), Bogotá.
- 1950 *Analysis of Probable Errors in Plane Table Surveying*, Surveying and Mapping, Amer. Congr. on Surv. and Mapping, Vol. 10, Nº 2 (pp. 104-109, 3 fs.), Washington.
- 1951 *Trigonometric and Graphic Solution of Problems in Structural Geology*, World Oil, Nov. (pp. 94-98, 2 fs.), N. York.

ELLIOTT, D. H.

- 1952 *Photogeologic Interpretation Using Photogrammetric Dip Calculations* (21 pp., 9 fs.), Dept. of Natural Resources, California.

GERARDS, J. F.; LADMIRANT, H. E.

- 1962 *Rapport sur l'Application de la Photo-géologie Pre-controlée en Afrique Centrale*, Archives Internat. de Photogram., Vol. 14 (pp. 115-119, 1 f.), Delft, Holland.

GILBERT, G. K.

- 1882 *A New Method of Measuring Heights by Means of the Barometer*, U. S. Geological Survey, 2nd. Annual Rept. (pp. 405-566, 7 lams., 1 f.), Washington.

GOODALE, E. R.

- 1957 *The Measurement of Elevation Differences by Photogrammetry Where no Elevation Data Exist*, Photogram. Engineering, Vol. 23, Nº 4 (pp. 774-778, 1 f.), Washington.

HACKMAN, R. J.

- 1956 *The Stereo Slope Comparator — An Instrument for Measuring Angles of Slope in Stereoscopic Models*, Photogram. Engineering, Vol. 22, Nº 5 (pp. 893-898, illust.), Washington.
- 1960 *The Isopachometer — A New Type Parallax Bar*, Photogram. Engineering, Vol. 26, Jun. (pp. 457-463, 7 fs.), Washington.

HALLERT, B.

- 1960 *Photogrammetry; Basic Principles and General Survey* (340 pp., illust.), McGraw-Hill Book Co., N. York.

HEMPHILL, W. R.

- 1958 *Determination of Quantitative Geologic Data with Stereometer Type Instruments*, U. S. Geological Survey, Bull. 1043-c (53 pp., 17 fs., 1 plt.), Washington.

HODGSON, R. A. (no date)

- Precision Altimeter Survey Procedures* (59 pp., 13 fs., 3 grphs.), 2nd. ed., American Paulin System, Los Angeles, Cal.

- HOWARD, A. D.
1960 *The Correction Graph in Photogeology*, Photogram. Engineering, Vol. 26, Jun. (pp. 412-424, 6 fs.), Washington.
- JORDAN — EGGERT — KNEISSL
1956 *Handbuch der Vermessungskunde*, Vol. 3, "Höhenmessung-Tachymetrie (749 pp., illust.), J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- LAHEE, F. H.
1961 *Field Geology* (926 pp., 639 fs.), 6th. ed., McGraw-Hill Book Co., N. York.
- LOW, J. W.
1952 *Plane Table Mapping* (365 pp., 148 fs.), Harper & Brothers, N. York.
1957 *Geologic Field Methods* (489 pp., 214 fs.), Harper & Brothers, N. York.
- MARTIN, R.
1960 *Leçons de Photo-Topographie* (313 pp., illust.), Editions Eyrolles, Paris.
- MILLER, V. C.
1950 *Rapid Dip Estimation in Photogeological Reconnaissance*, Bull., Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Vol. 34, Nº 8 (pp. 1739-1743, 2 fs.), Tulsa.
1961 *Photogeology* (248 pp., illust.), McGraw-Hill Book Co., N. York.
- MOESSNER, K. E.
1961 *Comparative Usefulness of Three Parallax Measuring Instruments in the Measurement and Interpretation of Forest Stands*, Photogram. Engineering, Vol. 27, Nº 5 (pp. 705-709, 3 fs.), Washington.
- MOODY, G. B.
1961 *Petroleum Exploration Handbook*, McGraw-Hill Book Co., N. York.
- NUGENT, Jr., L. E.
1947 *Aerial Photographs in Structural Mapping of Sedimentary Formations*, Bull., Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Vol. 31, Nº 8 (pp. 478-494, 5 fs.), Tulsa.
- RAASVELDT, H. C.
1957 *La Determinación de Alturas en Fotografías Aéreas y su Aplicación al Corte Geológico*, Instituto Geológico Nal., Informe 1226 (82 pp., 27 fs., 4 fts., 1 map., tabls. y escalas), Bogotá.
- RAY, R. G.
1956 *Photogeologic Procedures in Geologic Interpretation and Mapping*, U. S. Geological Survey, Bull. 1043-a (21 pp., 12 fs.), Washington.
1960 *Aerial Photographs in Geologic Interpretation and Mapping*, U. S. Geological Survey, Prof. Paper 373 (230 pp., 116 fs.), Washington.
- RAYNER, W. H.; SCHMIDT, M. O.
1957 *Surveying; Elementary and Advanced* (916 pp., 567 fs.), Van Nostrand Co., N. York.
- RUIZ-WILCHES, B.
1945 *Corrección a la Fórmula de Alturas Deducidas de Observaciones Barométricas*, Rev. Universidad Nal. de Colombia, Vol. 4 (pp. 385-391), Bogotá.
- SEARLES, W. H. — IVES, H. C. — KISSAM, Ph.
1948 *Field Engineering* (422 pp., 195 fs., 4 plts.), 22nd. ed., John Wiley & Sons, N. York.
- SMITH, H. T. U.
1943 *Aerial Photographs and their Applications* (372 pp., 51 fs., 62 plts.), D. Appleton Century Co., N. York.
- SPURR, S. H.
1948 *Aerial Photographs in Forestry* (340 pp., 94 fs.), The Ronald Press Co., N. York.
- TANNER, W. F.
1953 *Estimating Low Dips on Air Photographs*, Bull., Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Vol. 37, Nº 12 (pp. 2743-2751, 6 fs.), Tulsa.
- THOMPSON, M. M.
1958 *Development of Photogrammetry in the U. S. Geological Survey*, U. S. Geological Survey, Circular 218 (27 pp., 25 fs.), Washington.

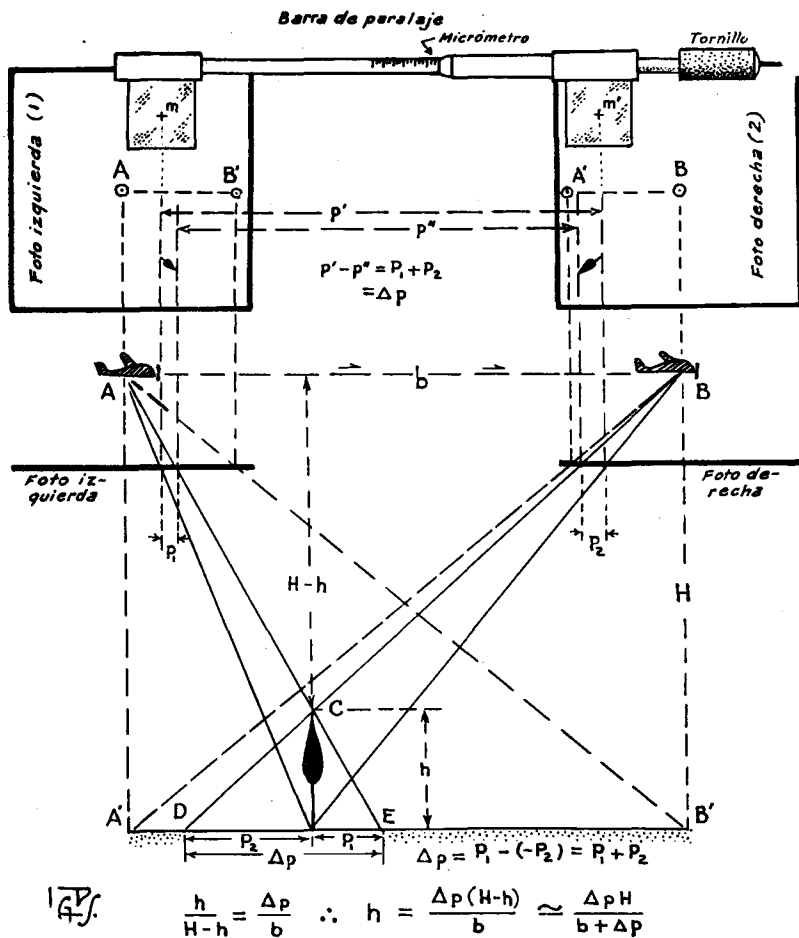


Fig. 1 — El principio altimétrico en fotogrametría

En la parte inferior, las relaciones geométricas entre elevaciones y desplazamientos de las imágenes en las fotos (paralajes). En la parte superior, la barra para medir los paralajes, con su marca flotante en las dos placas de vidrio ($m - m'$).

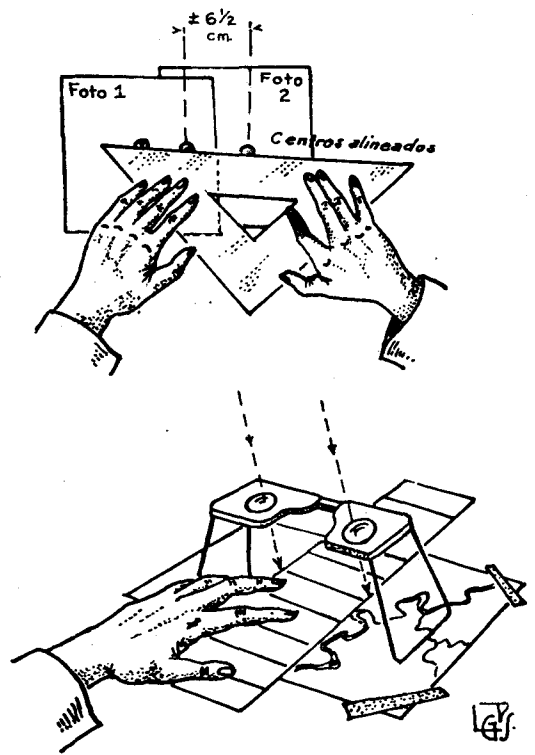


Fig. 2 — Empleo de la escalera paraláctica

En la parte superior, colocación y orientación de las aerofotos, con sus centros alineados y a 6,5 cm. de distancia. En la parte inferior, posición de la escalera bajo el estereoscopio para efectuar las medidas.

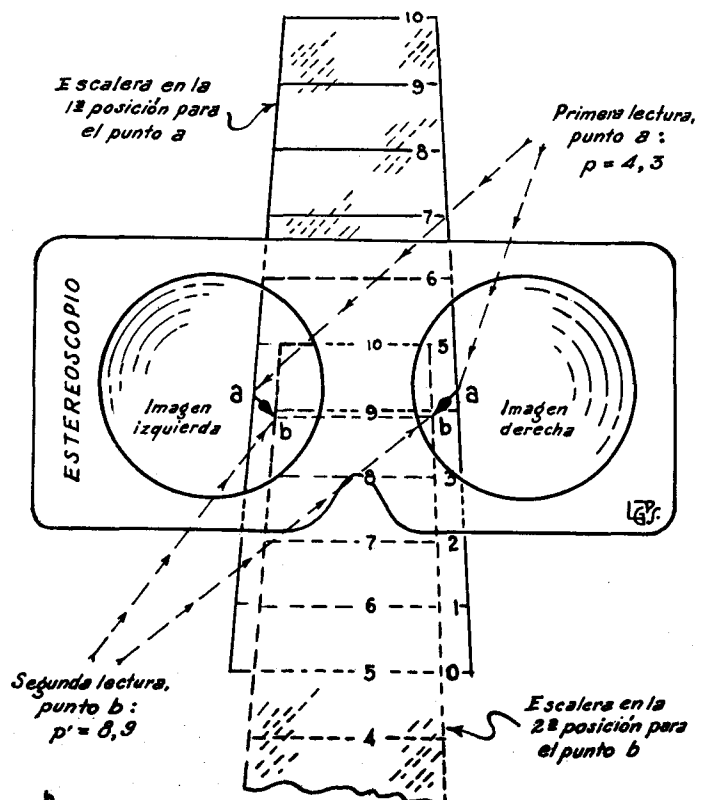
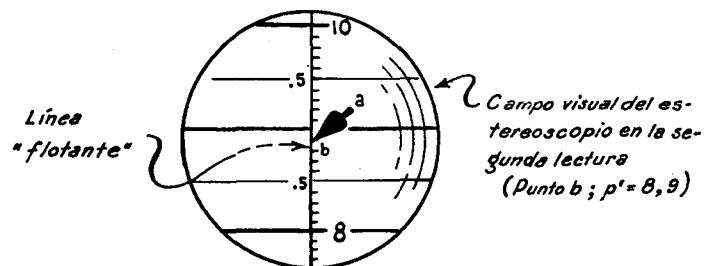


Fig. 3 — Determinación de la altura con la escalera

Para determinar la altura (h) del árbol se hacen las lecturas en la parte inferior (a) y en la superior (b). La figura muestra la escalera en las dos posiciones para efectuar estas lecturas. En la primera posición la lectura es 4,3 (punto a); en la segunda posición la lectura es 8,9 (punto b). La diferencia de paralaje (Δp) que entra en la fórmula para la determinación de h es la diferencia entre estos dos valores ($\Delta p = 8,9 - 4,3 = 4,6$). En el círculo de la parte superior se representa el aspecto de la "línea flotante", o fusión de las dos líneas laterales bajo el estereoscopio, en el caso de la segunda lectura (8,9).

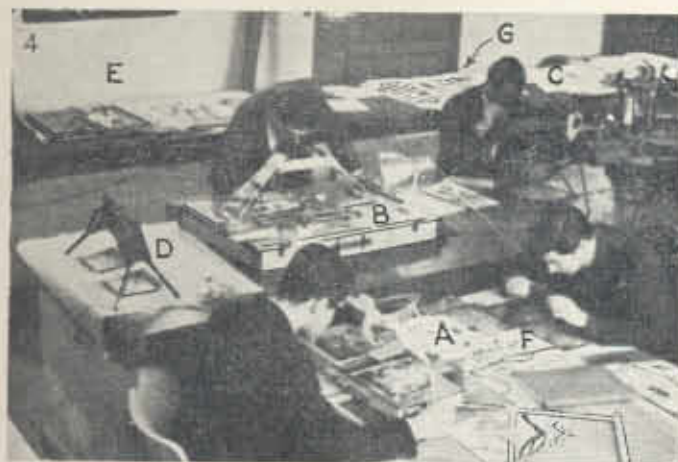


Fig. 4 — Laboratorio de Geología Experimental
(Sección de Fotogeología)

A—Estereótipo "Zeiss"; B—Estereocomparador "Zeiss"; C—Pareja de estereoscopios de reflexión, de observación simultánea, "Old Delft"; D—Estereoscopio de reflexión "Fairchild"; E—Equipo de aerotriangulación radial; F—Escalera paraláctica; G—Relieves.



Fig. 5 — Empleo de la escalera paraláctica

a—Escalera; b—Estereoscopio de bolsillo "Abrams"; c—Estereopar alineado; d—Nomograma para los cálculos, con gráfico para los buzamientos.

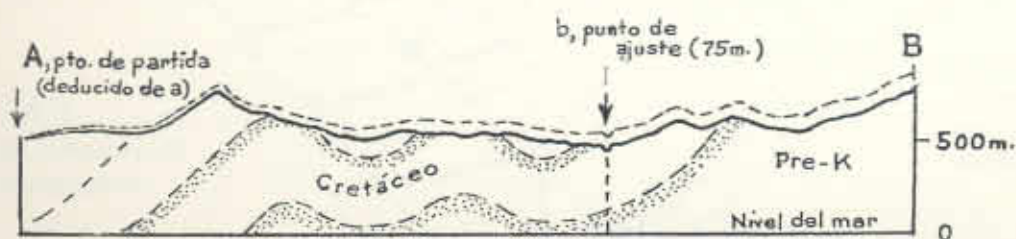
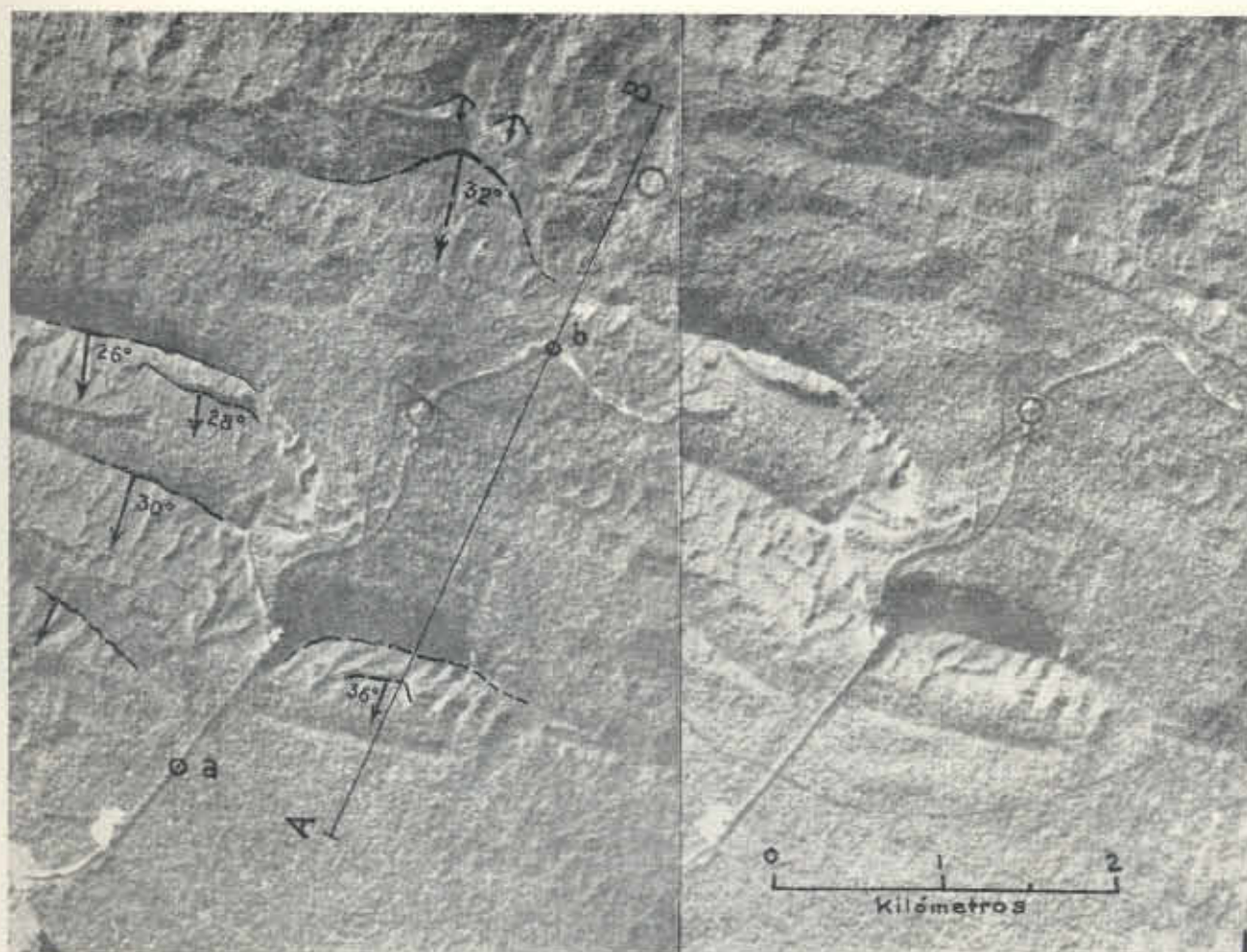


Fig. 6 — Stereopar con buzamientos calculados y sección ajustada

La línea original de la sección (trazos) se ajustó por rotación entre los puntos a y b, de la poligonal del río. Se corrigió así un error de +75 m. y se obtuvo la línea continua.

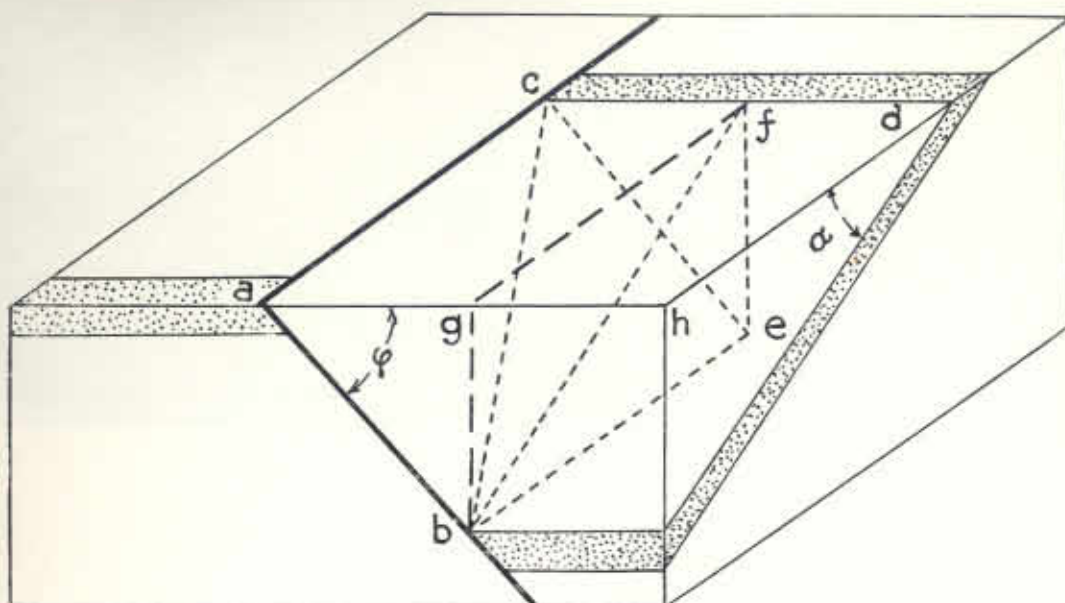
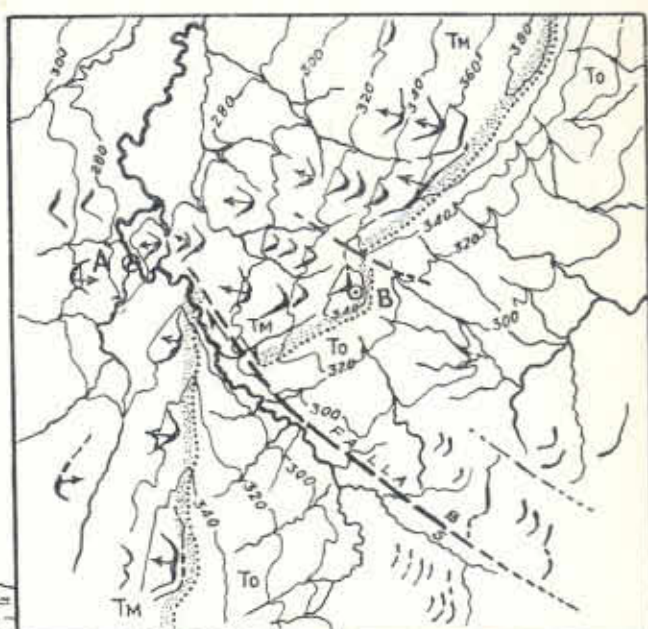


Fig. 7 — Geometría de la falla

ab—Desplazamiento neto; ac—Desplazamiento horizontal; α —Buzamiento de los estratos; ϕ —Buzamiento de la falla.



0 1 Km.

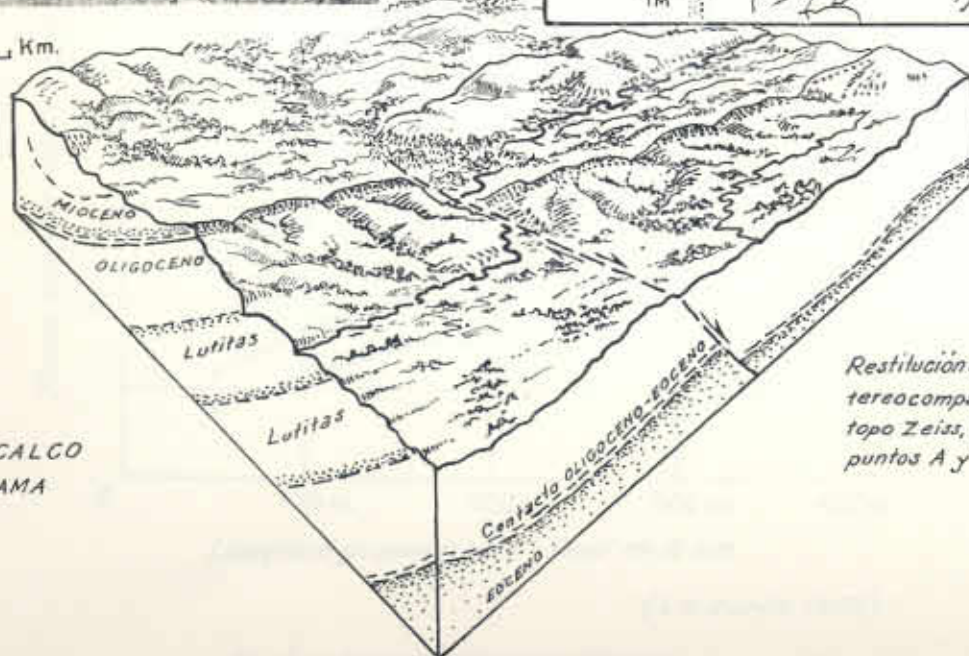


Fig. 8

AEROFOTO, FOTOCALCO
Y ESTEREOGRAMA

Restitución altimétrica con es-
tereocomparador y estereó-
topo Zeiss, con base en los
puntos A y B.

Durán-Reyes