

LA FOTOGRAMETRIA COMO AUXILIAR DEL INGENIERO

Por JOSE PACHA CASTRO,
Ingeniero de Caminos.

Con sencillez y claridad expone el autor unos cuantos casos de aplicación concreta de la Fotogrametría en nuestras actividades profesionales, confeccionando con ellos el interesante artículo que publicamos a continuación.

Aunque al decir Fotogrametría sobrentendemos generalmente que se trata de la formación de planos por medio de fotografías, esta aplicación de la Fotogrametría, en verdad la de mayor importancia hasta ahora y la que principalmente ha determinado su rápido desarrollo, no es, sin embargo, la única, y en la actualidad, numerosas ramas de la técnica utilizan las posibilidades de dicha ciencia, que, como es sabido, permite deducir de las fotografías de un objeto, tomadas en ciertas condiciones, la forma y dimensiones del objeto y su posición respecto a los que le rodean.

Algunas de estas aplicaciones prácticas corresponden al campo de la Ingeniería, y por ello, estimamos de interés resumirlas brevemente, comenzando por las ya clásicas y acabando por las iniciadas con fecha reciente.

1.º Proyecto de obras.

Los progresos de la Fotogrametría aérea permiten obtener no sólo los planos en escalas 1:50 000 ó 1:25 000, necesarios para los tanteos y anteproyectos de canales y vías de comunicación, sino los de escala 1:2 000 y hasta 1:1 000, convenientes para los proyectos definitivos y aun para estudiar las variantes que permitan la mejora del trazado o la compensación de los movimientos de tierras.

Una sola pasada de un avión provisto de cámara fotogramétrica (por ejemplo, la normal Zeiss de 21 centímetros de focal y formato 18 × 18 cm.), volando a 2 000 m. de altura, cubrirá en el terreno una faja de 1 700 m. de ancho y permitirá obtener un plano en escala 1:1 000 con equidistancia de medio metro, si se han levantado y señalado en el eje de la zona un número suficiente de puntos de apoyo; estos puntos, aproximadamente uno por kilómetro, pueden ser vértices topográficos o estaciones de itinerarios taquimétricos y servirán también para marcar al piloto del avión el recorrido que ha de efectuar.

De modo análogo podrán conseguirse los planos precisos para proyectar las obras de urbanización y ensanche de poblaciones y otras semejantes, aunque,

naturalmente, exigirán itinerarios aéreos de varias pasadas, y las fotografías que se obtuvieran, observadas estereoscópicamente, completarían las indicaciones del plano con detalles planimétricos y altimétricos que en él no pueden figurar. En cambio, para los proyectos de embalses y otros parecidos, que precisan planos de reducida extensión y escala grande, no resultará, en general, económica la realización de un vuelo fotogramétrico (ya que el recorrido útil será, por lo común, una parte muy pequeña del total realizado por el avión); pero entonces puede acudir a la fotogrametría terrestre, que además permitirá, durante la ejecución de la obra, determinar los avances periódicos con facilidad y exactitud.

Se podría objetar, contra la utilización de planos fotogramétricos, que el Ingeniero no dispondrá, por lo general, de los aparatos que su formación exige; pero tales aparatos existen en nuestro país, y el Consejo Superior Geográfico, organismo encargado de la coordinación de los trabajos cartográficos, en el que existe un representante del Ministerio de Obras Públicas, pudiera interesar la cooperación de las entidades oficiales que poseen restituidores de precisión (Instituto Geográfico y Catastral y Servicio Geográfico del Ejército), tanto más cuanto que, terminado ya prácticamente el Mapa Nacional en escala 1:50 000, podrá aumentar la cuantía de los trabajos de formación de planos en escalas mayores, que ya hace tiempo se realizan en 1:25 000, 1:10 000 y hasta 1:5 000.

2.º Estudios geológicos.

La riqueza de detalles planimétricos y altimétricos que caracteriza a las fotografías del terreno (en las que aparecen con su verdadero aspecto y forma en lugar de estar representados esquemáticamente como en los planos), y la claridad y realce con que tales detalles se aprecian en la observación estereoscópica, llevaron hace años a utilizar ésta en los estudios geológicos.

El examen del modelo en relieve del terreno que produce un par estereoscópico de vistas, da una visión de conjunto de sus formas y accidentes que no puede

lograrse al recorrerlo, y asimismo, la observación estereoscópica permite al geólogo experimentado apreciar la estructura del suelo, sus líneas de fractura, las pendientes medias, etc., etc., prescindiendo de pequeños detalles y atendiendo tan sólo a los esenciales y de carácter general. Por otra parte, tal observación permite también fijar el programa de investigaciones complementarias a realizar sobre el terreno, pudiendo señalarse los puntos concretos que hay que recorrer, bien en las propias fotografías o sobre los planos obtenidos por su restitución.

En cuanto a los mapas y planos geológicos, así como los mapas se forman cuando ya se dispone de los topográficos y son, por tanto, posteriores a éstos, en los planos geológicos para utilización técnica no podrá hacerse lo mismo, pues generalmente no se dispondrá de los planos topográficos en escalas grandes que para ellos serían necesarios. Por tal causa, en Suiza por ejemplo (país de gran tradición fotogramétrica y que durante el momentáneo *eclipse* de la técnica alemana destaca en el campo de la fotogrametría europea), se procede simultáneamente a la restitución de fotografías con fines topográficos y geológicos, lo que produce la consiguiente economía en tiempo y en coste, y después de estudiar las fotografías, el geólogo, lo mismo que hace el topógrafo, recorre el terreno y señala en ellas, o sobre pruebas ampliadas, las líneas y detalles de interés geológico, para lo que utiliza los métodos de levantamiento que correspondan a la exactitud con que tales líneas y detalles deban aparecer en el plano al restituir las fotografías.

Cuando éstas han sido tomadas con fototeodolitos en tierra, o son vistas aéreas oblicuas, los planos que con ellas se obtengan pueden completarse con *alzados*, proyecciones del terreno sobre un plano vertical, que tienen las mismas características técnicas y de exactitud que los planos normales (proyecciones ortogonales del terreno sobre el plano horizontal de comparación), por lo que dichos alzados reemplazan ventajosamente a los croquis y esquemas de los cortes y partes abruptas del terreno, que los geólogos utilizaban para sus trabajos.

En los Estados Unidos se emplea intensamente la fotogrametría, no sólo en las investigaciones geológicas que se efectúan con fines diversos (proyectos de embalses, incluso, los estudios del vaso y de la cimentación de la presa, prospecciones mineras, etc.), sino también en las de índole morfológica, por ejemplo, en el estudio de las modificaciones de las zonas costeras.

3.º Obras marítimas.

El estudio de las zonas del litoral a que acabamos de hacer referencia tiene, como es lógico, íntima relación con el de las obras marítimas, el cual es también auxiliado por la fotogrametría en la formación de los *planos de oleaje*, y si bien este auxilio tendrá ma-

yor interés para los países que no posean las modernas instalaciones del Laboratorio de Puertos de nuestra Escuela, siempre resultará conveniente cuando se trate, por ejemplo, de estudiar la acción del mar sobre una obra ya construída.

Así, para estudiar dicha acción en el dique Mustafá, del puerto de Argel, se instalaron frente a él, a 24 m. de altura, dos cámaras cinematográficas, separadas entre sí 90 m. y provistas de obturadores accionados sincrónicamente por un dispositivo eléctrico que permitía obtener 24 imágenes dobles por segundo; los ejes ópticos de las cámaras eran paralelos y estaban dirigidos hacia la zona del puerto que se deseaba estudiar.

Para realizar la restitución de los pares de fotografías correspondientes a los distintos momentos, y dado el relieve tan poco acusado y el aspecto casi uniforme con que aparecía la superficie del mar, se acudió al sistema utilizado en los *Múltiplex Zeiss*, es decir, a la doble proyección en *anaglifos*, empleándose como colores complementarios el rojo y el verde-azulado.

En el piso de un cobertizo de 15×10 m., considerado como plano horizontal de cota -100 m. (figura 1.ª), y tomando por base la recta $d_1 d_2$, representación del paramento vertical del dique, se situaron en escala 1:100 los puntos c_1 y c_2 , correspondientes a los de situación de las cámaras, y los b_1 y b_2 , que representaban las proyecciones de dos señales, B_1 y B_2 , colocadas en el dique, con objeto de que sus imágenes en las fotografías pudieran utilizarse para la determinación de escalas; asimismo se marcó en el piso la recta $e e'$, paralela a la proyección sobre él de los ejes de las cámaras.

Colocados sobre c_1 y c_2 , a 1,24 m. de altura, dos proyectores provistos de filtros rojo y verde y en posición análoga a la que tenían las cámaras tomavistas, por medio de un telón se reprodujo en B'_1 y B'_2 sobre las verticales de b_1 y b_2 , y también en escala 1:100, la posición de las señales B_1 y B_2 ; después de ajustar sobre B'_1 y B'_2 las proyecciones de sus imágenes en las fotografías de cada par, se cortaban

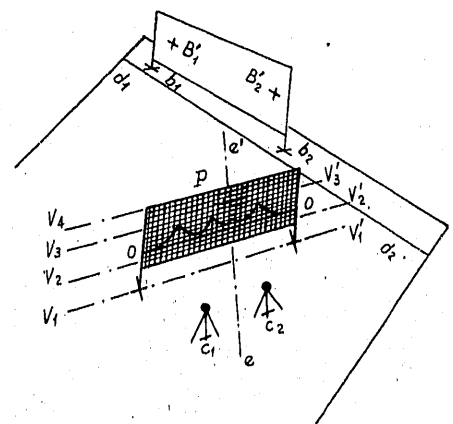


Figura 1.ª

las de las vistas con una pantalla vertical móvil, P (donde se había dibujado un cuadrículado centimétrico formado por rectas horizontales y verticales), y que, en dirección perpendicular a $e e'$, se colocaba sucesivamente sobre las rectas equidistantes $V_1 V'_1$, $V_2 V'_2$, ..., obteniéndose así para cada momento los perfiles de la superficie del mar según los planos verticales cuyas trazas eran las referidas rectas.

Dichos perfiles, cuya escala se determinaba por la inversa de la relación entre la distancia real $B_1 B_2$ y la longitud de su imagen en la pantalla, se dibujaban en escala 1:1 000 por el método de la cuadrícula, y como las alturas de sus puntos se apreciaban fácilmente por su posición respecto a las rectas horizontales de la pantalla, podían acotarse los perfiles y sus bases; dibujando éstas en escala 1:1 000, en análoga posición a la que tenían las rectas $V_1 V'_1$, $V_2 V'_2$, ..., acotándolas y uniendo los puntos de igual cota, se obtenía el plano de la superficie del mar en cada momento (fig. 2.^a) y podía hallarse la intersección de dicha superficie con el paramento vertical del dique.

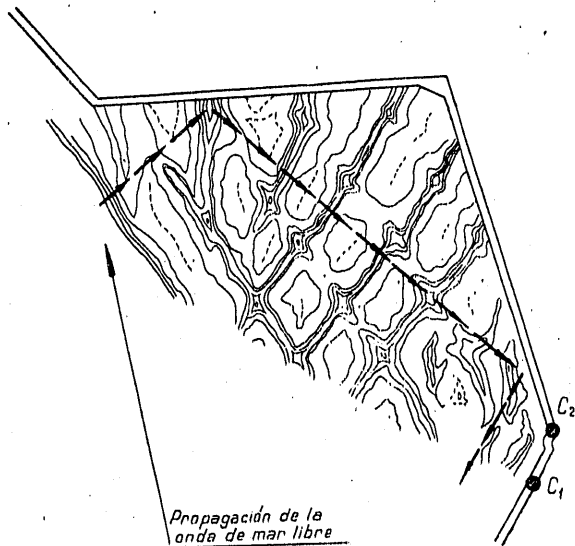


Figura 2.^a

El ejemplo indicado, que data de hace casi veinte años, prueba lo que, con medios improvisados, puede conseguir el ingenio aliado con un perfecto conocimiento de los procedimientos que pueden resolver el problema cartográfico planteado; pero en la actualidad, éste podría tener una solución fotogramétrica mucho más rápida y cómoda utilizando fotografías oblicuas en restituidores Multiplex con proyectores inclinados, y para facilitar el ajuste de los pares estereoscópicos bastaría disponer en la zona a estudiar algunos flotadores o boyas y determinar previamente su situación por medios topográficos.

4.º Experiencias hidrodinámicas.

En los ensayos con modelos reducidos, de obras hidráulicas, se utilizan en ocasiones algunos datos que pueden obtenerse por medios fotogramétricos especiales, constitutivos de la llamada *fotogrametría de objetos cercanos*; ésta, como su nombre indica, se caracteriza porque el objeto fotografiado se encuentra próximo a la cámara, en lugar de hallarse lejos de ella, como sucede cuando se trata del terreno, lo que hace que las imágenes resulten en escala grande y, dada la relación que dicha escala ha de guardar con la de la restitución, permite obtener planos de gran escala (de 1/10 a 1/200).

Las cámaras que en este caso se utilizan son dobles y semejantes a la que aparece en la figura 3.^a; ambas cámaras, C_1 y C_2 , cuyos ejes quedan siempre paralelos, por construcción, están sólidamente unidas a un soporte tubular, T , giratorio alrededor de su eje, que puede tomar cualquier orientación y alturas inferiores a un cierto límite, girando y elevando el eje E , y éste puede colocarse en posición exactamente vertical, actuando los tornillos nivelantes de la plataforma del trípode que sostiene el conjunto.

La longitud de la base estereoscópica que determinan los centros ópticos de las cámaras varía de 0,40 m. a 1,20 m., según los modelos, y, como es lógico, convendrá emplearlos de base pequeña o grande, según sea menor o mayor la distancia de los objetos que deban fotografiarse. El soporte de las cámaras puede elevarse hasta unos 2,50 m. de altura.

Las características de las cámaras dobles, ejes ópticos paralelos y base estereoscópica de longitud constante, facilitan la restitución de los pares de fotografías tomadas simultáneamente con ellas y permiten realizarla con restituidores ligeros, aparatos sencillos, de pequeño volumen, coste relativamente reducido, fáciles de manejar y que, a pesar de todo ello,

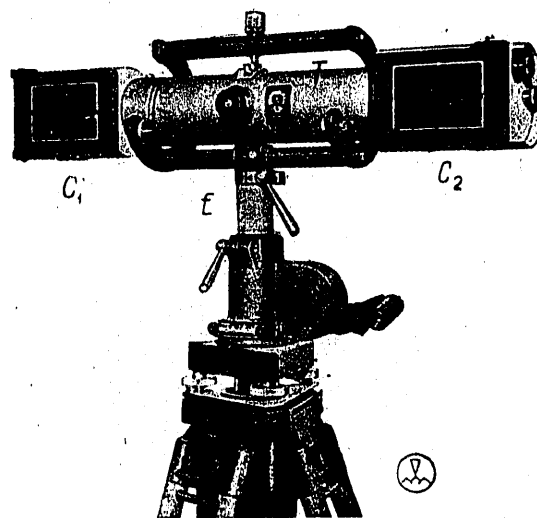


Fig. 3.^a — Cámara doble estereométrica Zeiss.

dan suficiente exactitud en la mayoría de los casos. Cuando se precise mejorarla, se utilizarán los restituidores de precisión.

La figura 4.^a corresponde a un restituidor ligero para fotogrametría de objetos próximos, basado, como todos los que hoy se usan, en la posibilidad de hacer coincidir un índice estereoscópico con los distintos puntos del modelo óptico del objeto a que corresponden las dos vistas, que se colocan en los proyectores P_1 y P_2 , de objetivos semejantes a los de las cámaras tomavistas.

Dicha coincidencia se logra mediante desplazamientos relativos del índice y del modelo, que se efectúan en sentido del eje X (con el volante V_x), del eje Y (con el volante V_y) y del eje Z (con el discopedal D), desplazamientos que se comunican al lápiz l que dibuja el plano restituído (planimetría y altimetría) en el tablero t_1 ; en el t_2 pueden obtenerse perfiles naturales o realzados correspondientes a la traza marcada por el borde de la regla R .

El Instituto de Investigaciones Hidráulicas de la Escuela Politécnica suiza ha utilizado la fotogrametría de objetos cercanos con un restituidor de precisión (Autógrafo A-5 Wild), para estudiar, en modelos reducidos, el arrastre de materiales por corrientes de agua y para obtener numerosos perfiles de las ondas

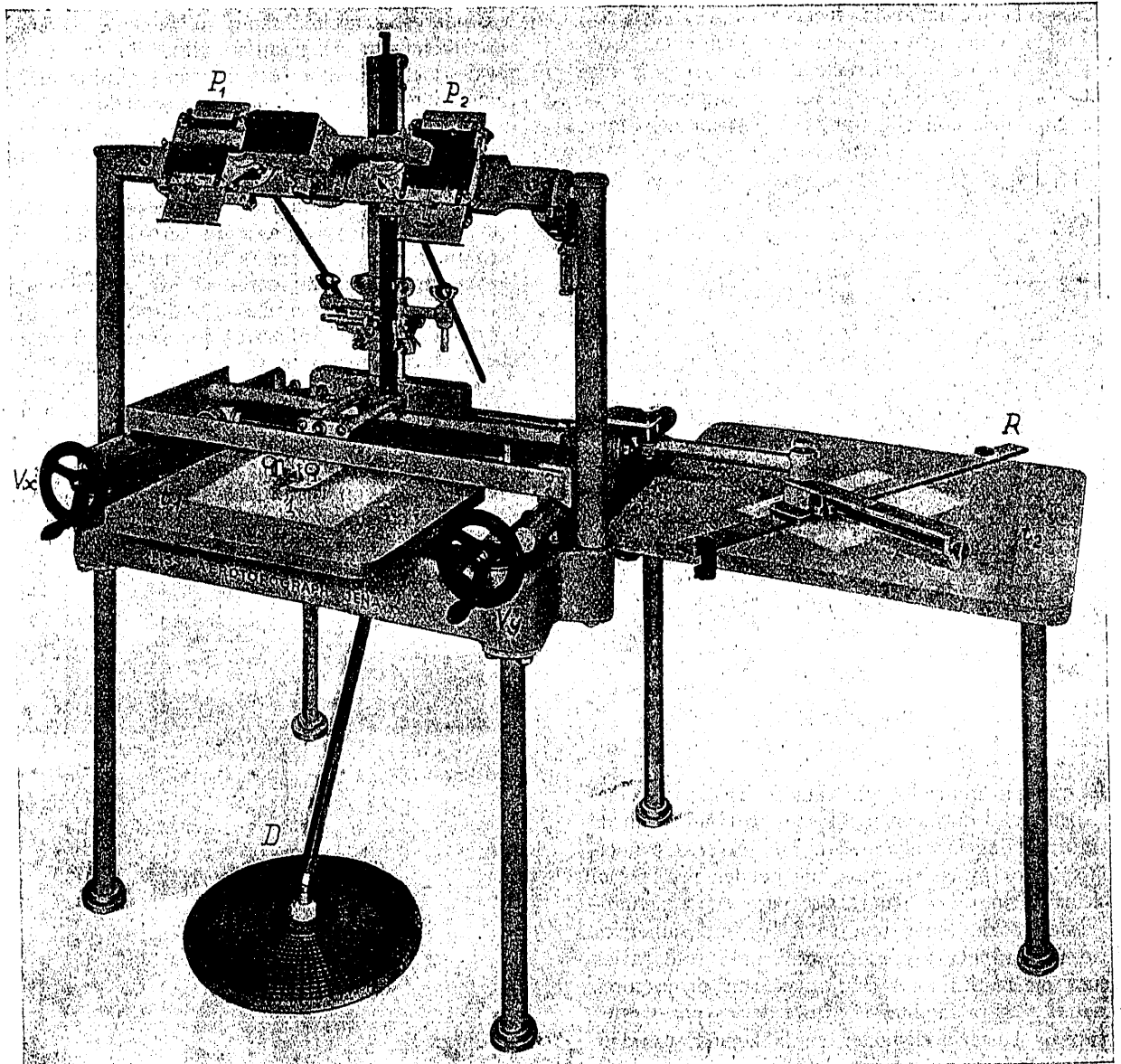


Fig. 4.^a — Autógrafo Zeiss.

producidas por el movimiento del agua en el canal de ensayos. A fin de hacerla más visible y que impresionara bien las fotografías, se espolvoreó la superficie del agua con polvo de aluminio, consiguiéndose en los perfiles de ondas restituídos un error medio altimétrico de ± 1 mm.

5.º Deformaciones estructurales.

Las deformaciones que se producen en un sólido bajo la acción de cualquier carga se hacen sensibles por el desplazamiento de algunos de sus puntos y, en consecuencia, la magnitud de tales deformaciones puede medirse utilizando las propiedades fotogramétricas fundamentales.

Recordaremos que, si desde los puntos O_1 y O_2 (fig. 5.^a), situados a la misma altura y que, por tanto, determinan una *base estereoscópica horizontal*, se toman dos fotografías de un objeto con los ejes de la cámara también horizontales y perpendiculares a la base, las placas resultarán en un plano vertical paralelo a la recta $O_1 O_2$, y se estará en las condiciones del llamado *caso normal* de la fotogrametría terrestre, en el que las coordenadas de un punto cualquiera, M , del objeto, en el sistema de referencia constituido por los ejes señalados en la figura y cuyo origen es el punto O_1 , extremo izquierdo de la base, tienen los siguientes valores:

$$Y_M = O_1 N = \frac{O_1 O_2 \cdot O_2 O'_2}{m'_2 m''_1} = \frac{b \cdot f}{x_1 - x_2} = \frac{b \cdot f}{p}; \quad [1]$$

$$X_M = N M' = \frac{O_1 N \cdot O'_1 m'_1}{O_1 O'_1} = \frac{Y_M \cdot x_1}{f} = \frac{b x_1}{p}; \quad [2]$$

$$Z_M = M M' = \frac{O_1 N \cdot m_1 m'_1}{O_1 O'_1} = \frac{Y_M \cdot z_1}{f} = \frac{b' z_1}{p}. \quad [3]$$

Estas coordenadas vienen dadas, como se ve, en función de la base b , de la distancia focal, f , de la cámara, de las coordenadas de m_1 , imagen de M en la placa izquierda respecto al sistema de coordenadas que en dicha placa forman su eje horizontal y su línea principal (rectas determinadas por las marcas que en ella se impresionan) y de la diferencia p entre las abscisas de las imágenes de M en ambas placas (magnitud llamada *paralaje horizontal*, o simplemente *paralaje*) y suponiendo trazado el rayo $O_2 m''_1$, paralelo al $O_1 m'_1$, sus valores se deducen fácilmente de los diversos triángulos semejantes que en la figura se observan.

Por tanto, si el punto M se desplaza a la posición M' y se obtiene entonces otro par de placas, sus nuevas coordenadas respecto a O_1 se deducirán de las fórmulas [1], [2] y [3], y las diferencias con las anti-

guas serán las componentes coordenadas del desplazamiento sufrido por M :

$$\Delta Y = b f \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} \right); \quad [4]$$

$$\Delta X = b \left(\frac{x_1}{p} - \frac{x'_1}{p'} \right); \quad [5]$$

$$\Delta Z = b \left(\frac{z_1}{p} - \frac{z'_1}{p'} \right). \quad [6]$$

Los valores de b y f son conocidos en cada caso, y los de las coordenadas de las imágenes y sus paralajes pueden medirse en un estereocomparador, con exactitud del orden de la centésima y aun de la milésima de milímetro; luego para deducir las deformaciones que en los diferentes elementos de una estructura produce un determinado régimen de cargas, bastará disponer dos cámaras fotogramétricas iguales en posiciones adecuadas y tomar con ellas sucesivos pares de fotografías.

Como para cada posición de las cámaras son constantes los valores de b y f , las diferenciales totales de las expresiones [1], [2] y [3]:

$$dY = - \frac{b f}{p^2} \cdot dp, \quad [7]$$

$$dX = b \left(\frac{dx_1}{p} - \frac{x_1 \cdot dp}{p^2} \right) = \frac{b}{p^2} (p \cdot dx_1 - x_1 \cdot dp), \quad [8]$$

$$dZ = \frac{b}{p^2} (p \cdot dz_1 - z_1 \cdot dp), \quad [9]$$

determinarán los errores que pueden afectar a las coordenadas de un punto obtenidas por medios foto-

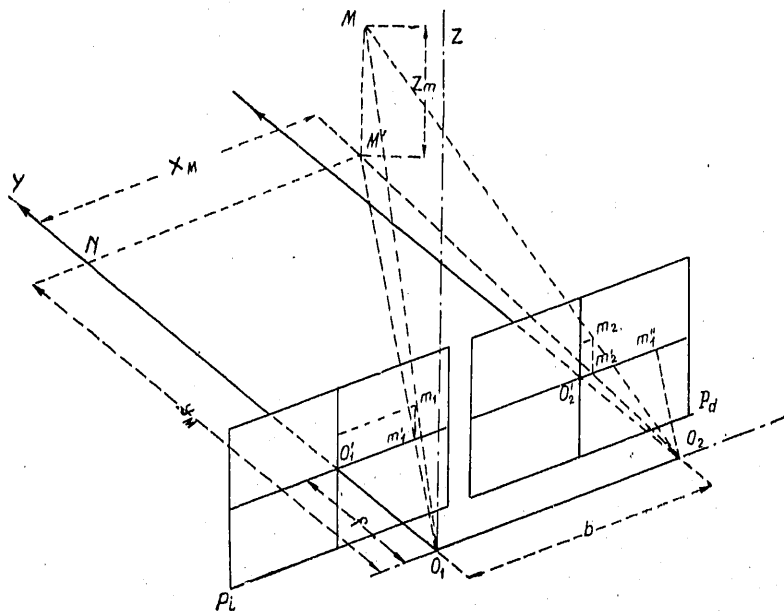


Figura 5.^a

gramétricos, deduciéndose por diferenciación de las fórmulas [4], [5] y [6] los correspondientes a las componentes coordenadas de las deformaciones.

Por tanto, como los errores de las coordenadas y de las paralajes dependen de las características del estéreocomparador en que se midan, para aumentar la precisión con que se obtengan las deformaciones habrá que disminuir en lo posible b y f y aumentar p , condiciones que resultan satisfechas empleando una cámara doble estereométrica (fig. 3.^a), ya que las de tal clase tienen menor focal que las cámaras fotogramétricas ordinarias, su base estereoscópica es menor que la de mínima longitud que con las cámaras ordinarias es posible establecer y, finalmente, siendo todas las cámaras fotogramétricas de foco fijo y las estereométricas dobles de menor distancia hiperfocal, podrán situarse más próximas al objeto, lo que, según la fórmula [1], aumentará los valores de las paralajes.

En resumen, pues, para determinar las deformaciones que bajo la acción de las cargas sufren elementos resistentes tales como vigas de puentes, cerchas de grandes locales, cables funiculares, etc., puede utilizarse la fotogrametría de objetos cercanos, si bien por lo general, y dada la gran exactitud con que normalmente interesa medir las deformaciones, en lugar de restituir los pares de fotografías obtenidas, conviene llevarlos a un estéreocomparador, a fin de determinar las paralajes y coordenadas que, aplicando las expresiones [4], [5] y [6], permitirán obtener analíticamente los valores de los componentes coordenados de las deformaciones.

Estos valores podrán venir afectados de los errores que se obtienen diferenciando las fórmulas [4], [5] y [6], y, naturalmente, permitirían calcular los de las deformaciones si interesara conocerlos; cuando sea suficiente menor exactitud, pueden hallarse los valores de las componentes de las deformaciones por diferencia de las coordenadas de las posiciones sucesivas de cada punto, leyéndose tales coordenadas en las escalas de un restituidor al que se llevan los diversos pares de vistas.

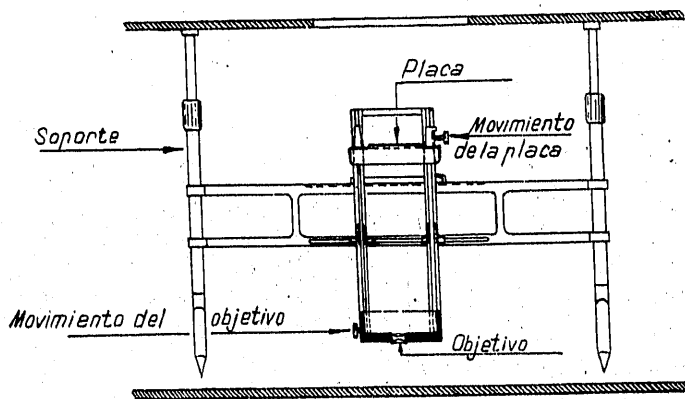


Figura 6.^a

6.º Microfotogrametría.

En el año 1937, el Instituto de Investigaciones Hidráulicas de la Escuela Politécnica suiza, y con objeto de estudiar las condiciones del movimiento del agua en las tuberías forzadas, solicitó del Instituto Fotogramétrico de la misma Escuela la formación de planos de la superficie interior de diversos tubos, alterados por las corrosiones o por los depósitos, y las experiencias realizadas para satisfacer tal petición llevaron a construir la microcámara representada en la figura 6.^a.

Según en ella se observa, va provista de fuelle, es decir, que por excepción entre las cámaras fotogramétricas es de foco variable, debido a lo cual lleva cristal esmerilado y dos engranajes que permiten realizar el enfoque cuando está la cámara dentro de la tubería, en cuyo interior se mantiene en la posición deseada mediante un soporte tubular que permite desplazamientos de la cámara en dos direcciones perpendiculares y cuyas magnitudes se leen en escalas dispuestas de modo adecuado.

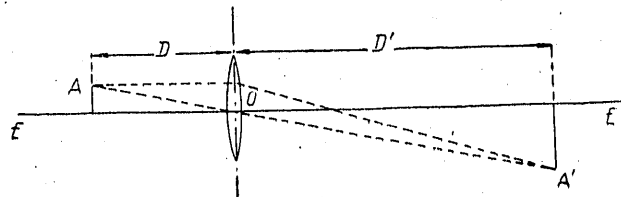
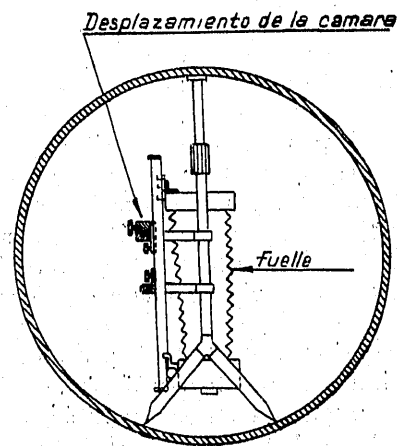


Figura 7.^a

La distancia focal del objetivo es $F = 42$ mm., y dada la proximidad de los objetos a la cámara, las imágenes no se formarán en el plano focal sino que un punto, A , y su imagen, A' (fig. 7.^a), se encontrarán en planos conjugados perpendiculares al eje óptico EE' , cuyas distancias D y D' al centro óptico O , que pueden leerse en la cámara, estarán ligados por la ecuación

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{D'} = \frac{1}{F} \quad [10]$$



Para conseguir pares estereoscópicos de vistas, después de tomar una fotografía, se desplaza la cámara 5 mm. en la dirección del eje longitudinal de la tubería y se obtiene la segunda; las placas y puntos de vista tendrán posición análoga a la indicada en la figura 5.^a, pero la magnitud $O O'_1$ no será igual a la distancia focal del objetivo, sino que tendrá el valor D' de la fórmula [10], y la expresión [1] se convertirá, en este caso, en la

$$Y = D = \frac{b \cdot D'}{p} \quad [11]$$

Asimismo y dados los fines perseguidos, convendrá que la restitución se realice tomando como plano de proyección el XZ , es decir, de modo que sean las X y las Z las coordenadas planimétricas, y que las Y , que caracterizan las rugosidades de la tubería, su relieve, se obtengan como *cotas* por lectura en el correspondiente tambor del restituidor.

La pequeñez de las magnitudes que han de obtenerse en la restitución obliga a realizarla con gran exactitud y, por tanto, en un restituidor de precisión, habiéndose utilizado el Autógrafo A-2 Wild, previa transformación afín de las fotografías, por ampliación, de modo que la distancia D' (fig. 7.^a) se convirtiera en la F' , focal del objetivo de los proyectores del Autógrafo; de este modo, si resulta

$$\frac{F'}{D'} = n, \quad [12]$$

los valores que en la ampliación tendrán las coordenadas de la imagen de un punto serán:

$$x' = n x, \quad [13]$$

$$z' = n z, \quad [14]$$

en función de las coordenadas de la imagen del punto de la fotografía primitiva, con lo que las paralajes respectivas estarán en la misma relación, ya que:

$$p' = x'_1 - x'_2 = n x_1 - n x_2 = n (x_1 - x_2) = n p. \quad [15]$$

Por tanto, el alejamiento del punto a que corresponden las imágenes en las dos ampliaciones de un par será, según las fórmulas [1], [11], [12] y [15]:

$$Y' = \frac{b' \cdot F'}{p'} = \frac{b' \cdot n D'}{n p} = Y \frac{b'}{b} = D \frac{b'}{b}, \quad [16]$$

y el valor que se elija para b' , dentro de los que el restituidor permite, determinará la magnitud de los que se lean para Y' y hará que el relieve con que se perciban las rugosidades de la tubería sea más o menos acusado. Si se hace

$$\frac{b'}{b} = m, \quad [17]$$

resultará de [16]:

$$\frac{Y'}{Y} = \frac{Y'}{D} = m = \frac{b'}{b}; \quad [18]$$

es decir, que la escala del modelo óptico vendrá dada por la relación entre la base de restitución y la estereoscópica de las vistas, debiendo tomarse como cotas en la restitución los valores de Y' leídos en el tambor de alturas del restituidor divididos por m .

El error alimétrico deducido de la fórmula [16], y teniendo en cuenta que las altitudes de la restitución han de dividirse por m , será:

$$\frac{d Y'}{m} = - \frac{b' F'}{m p'^2} d p', \quad [19]$$

y según las expresiones [18], [11] y [10], toma la forma:

$$\begin{aligned} \frac{d Y'}{m} &= d Y = - \frac{b \cdot D'}{p^2} d p = - \frac{D}{p} d p = \\ &= - \frac{D^2}{b \cdot D'} \cdot d p = \frac{1}{\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{D'}\right)^2} D' \cdot b \cdot d p, \quad [20] \end{aligned}$$

lo que indica que, para reducir el error, convendrá disminuir el valor de la focal f de la cámara y aumentar lo posible la base estereoscópica b y la distancia D' a que se forma la imagen (acercando la cámara al objeto). En los trabajos realizados por el Instituto Fotogramétrico suizo, se obtuvieron errores medios alimétricos de $\pm 0,004$ mm.

El tiempo relativamente escaso que lleva en uso la microfotogrametría hace que se haya aplicado poco, pero puede preverse que en el futuro tendrá gran desarrollo; por lo que respecta a nuestra técnica, es posible, sin duda, usarla para determinar los efectos de cavitación en las conducciones forzadas, aliviaderos de presas, etc.

* * *

Por no alargar excesivamente estas notas, dejaremos de exponer la aplicación de la fotogrametría en otras actividades técnicas (tendido de líneas de transporte de energía, regadío y parcelación de fincas rústicas, corrección de torrentes, reconstrucción de monumentos y edificios de interés histórico o artístico, clasificación e inventario de bosques, experiencias aerodinámicas y balísticas, etc., etc.), tanto más cuanto que algunas de ellas no son específicas del Ingeniero de Caminos. Pero creemos que lo expuesto basta para probar la utilidad que puede reportar al Ingeniero el empleo de la fotogrametría, ya con la cooperación de los especialistas o bien operando, por sí mismo, pues si los restituidores de precisión exigen un largo entrenamiento, los ligeros y especialmente el estéreocomparador son muy fáciles de manejar y pronto se consigue la práctica suficiente para usarlos con provecho.