

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Levantamiento de planos

POR MEDIO DE LA FOTOGRAFÍA ESTEREOSCÓPICA ⁽¹⁾

POR

JOSÉ MARÍA TORROJA

Ingeniero de caminos, canales y puertos, Doctor en Ciencias ó Ingeniero geógrafo.

(CONTINUACIÓN)

Determinación de la posición de los puntos en el plano por el cálculo; construcciones geométricas.—Fijada en la hoja que contiene la triangulación previa la posición de una base estereoscópica, hay que proceder al cálculo y transporte á aquella de las coordenadas de cada punto, referidas á tres ejes rectangulares, de los cuales el de abscisas (x) es la proyección de la base, el de ordenadas (D) perpendicular á esta proyección en el mismo plano del dibujo y de alturas (Y) perpendicular á este plano; el centro de este sistema de ejes coordenados es la proyección sobre el plano del dibujo de la estación directora.

Por el punto que representa esta proyección trazaremos una perpendicular á la proyección de la base; sobre esta perpendicular tomaremos la distancia D deducida de la fórmula

$$D = b \frac{f}{\pi},$$

para cuyo cálculo conocemos b y f (que son constantes para todos los puntos), y π , que mediremos para cada uno de éstos en el estereocomparador; por el punto así hallado trazaremos una paralela á la base, que será la traza del plano de frente que á aquél corresponde; sobre esta traza, y á partir del punto en que le corta la recta anteriormente hallada, llevaremos á uno ú otro lado, según se vea en la placa de la estación directora, la abscisa

$$X = x \frac{D}{f},$$

que deduciremos de la abscisa x , obtenida, como la paralaje π , con el estereocomparador. Con esto tendremos ya determinada la proyección horizontal del punto elegido. Para buscar su cota referida á la de la estación directora, basta medir en la placa correspondiente á ésta la abscisa y y aplicar la conocida fórmula:

$$Y = y \frac{D}{f};$$

(1) Véase el núm. 2007.

la cota obtenida (sumándole la de origen si se quiere transformar en absoluta) se escribe junto á aquella proyección. Y repitiendo estas operaciones para todos los puntos notables del terreno que en las fotografías aparecen, tendremos el plano dispuesto para el trazado, por interpolación de las curvas de nivel y líneas características necesarias para su determinación completa.

El método estereoscópico, aplicado como acabamos de ver, resulta rapidísimo en el campo, y en el gabinete, próximamente, igual que el taquimétrico. Pero como éste tiene el inconveniente de exigir para cada punto algunas operaciones numéricas que, á pesar de su sencillez, resultan, por el gran número de veces que han de repetirse, pesadas y expuestas á fáciles equivocaciones.

Este inconveniente se evita, en parte, sustituyendo el cálculo numérico por algunas construcciones geométricas que son sumamente sencillas, toda vez que se reducen á construir, para cada una de las coordenadas X , Y , $Z = D$, una cuarta proporcional.

Para construir la fórmula de la distancia

$$D = b \frac{f}{\pi},$$

ó sea

$$\frac{D}{b} = \frac{f}{\pi},$$

tendremos sobre una recta Om (fig. 1.^a) una distancia $Oa = f$, igual á la distancia focal principal de la cámara y paralela á ésta y á distancia igual á la base b , trazaremos otra recta bn ; para obtener ahora la distancia D correspondiente al plano de frente

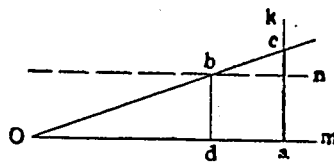


Fig. 1.^a

de un punto cualquiera, bastará llevar sobre la perpendicular ak á Om la magnitud $ac = \pi$; igual á su paralaje, unir el extremo c con el origen O y por el punto b de encuentro de esta recta Oc con la bn , trazar una paralela á ak ; esta recta interceptará en la Om un segmento Od , igual á la distancia buscada D .

Los triángulos semejantes Odb y Oac justifican las construcciones anteriores, como fácilmente puede verse. De esta misma figura pueden deducirse los valores de la abscisa X y la altura Y del punto, en función de las x é y de su imagen, medidas en

la placa correspondiente á la estación directora. En efecto, el segundo miembro de las igualdades

$$\frac{X}{x} = \frac{D}{f} \quad \text{é} \quad \frac{Y}{y} = \frac{D}{f}$$

está representado en la figura 1.^a por la relación de bases de los triángulos Odb y Oac ; luego si sobre ak tomamos las magnitudes de x é y y unimos con O los extremos de estos segmentos, obtendremos sobre ab , á partir del punto a , los valores de X é Y .

En la práctica, siendo los valores x , y , π muy pequeños, en lugar de ellos habrá que emplear en las construcciones anteriores múltiplos suyos, cuidando de tomar el mismo múltiplo de la distancia focal f .

Llamando n á este factor de ampliación, las fórmulas anteriores se convierten en sus equivalentes

$$D = b \frac{nf}{n\pi}, \quad \frac{D}{X} = \frac{nf}{nx} \quad \text{y} \quad \frac{D}{Y} = \frac{nf}{ny}$$

Por el contrario, convendrá tomar la base b á la escala $\frac{1}{e}$ á que el plano haya de dibujarse, que será la misma á que se obtengan la distancia D y las coordenadas X é Y . Las fórmulas fundamentales serán, pues, en la práctica las siguientes:

$$\frac{D}{e} = \frac{b}{e} \frac{nf}{n\pi}, \quad \frac{D}{X} = \frac{nf}{nx} \quad \text{y} \quad \frac{D}{Y} = \frac{nf}{ny}$$

Tablero de Pulfrich para facilitar las construcciones anteriores. Fácilmente se comprende que las construcciones geométricas que acabamos de explicar pueden simplificarse mucho con el empleo de reglas y escuadras dispuestos al efecto. Entre la infinidad de disposiciones que á este efecto pueden idearse, describiremos la llamada *tablero de Pulfrich*, por haber sido inventado por el autor del estereocomparador.

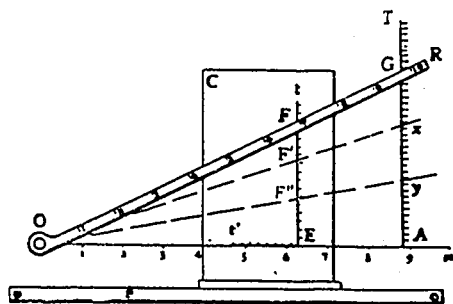


Fig. 2.^a

Los elementos principales de este tablero, cuyo conjunto se ve en la figura 2.^a, son tres: la regla fija r , la placa de celuloide C , que desliza sobre ella, y la regla R , giratoria alrededor del punto fijo O .

Esta última va dividida, á partir de O , en kilómetros, á la escala del plano, lo mismo que la r . La placa de celuloide es transparente, resbala, como hemos dicho, sobre la regla fija r , y lleva dos graduaciones á la escala del plano; una paralela t' y otra perpendicular t á esta regla. Para tener el tablero dispuesto á funcionar hay que trazar por el punto O la paralela OA al borde de la regla r , tomar sobre ella, á partir de este punto, una distancia igual á vez y media la distancia focal de la cámara empleada en el campo, y por el extremo A de este segmento levantar una perpendicular AT á t y dividir esta perpendicular á partir de su origen en divisiones de 1,5 milímetros. Claro que este factor 1,5

con que se amplifica la distancia focal y la división natural de la regla AT , pudiera ser otro cualquiera, habiendo sido la práctica la que ha aconsejado su empleo.

Para usar el tablero de Pulfrich se lleva sobre la escala t la base estereoscópica, multiplicada por 10, y sobre la escala AT se toman tantas divisiones como milímetros tiene la paralaje, multiplicada por 10 también, del punto que se quiere determinar en el plano. Por el extremo de esta paralaje se hace pasar la regla R , y se corre la placa C hasta que el extremo de la distancia medida en t (que era 10 b) caiga bajo el borde superior de aquella; la distancia del punto O á la escala t será, en esta posición, la distancia D del punto elegido en las placas del estereocomparador. En efecto, los triángulos semejantes que las rectas OA y R forman con cada una de las t y AT , nos dan:

$$\frac{OE}{EF} = \frac{OA}{AG},$$

ó sea,

$$\frac{OE}{10B} = \frac{1,5 \times f}{10 \times 1,5 \times \pi},$$

es decir,

$$OE = \frac{10 \times B \times 1,5 \times f}{10 \times 1,5 \times \pi} = \frac{B \times f}{\pi},$$

de donde se deduce que

$$OE = D$$

es la distancia buscada, reducida á la escala del plano, y que pueden medirse los kilómetros en la escala OA , y su fracción en la t' .

Hemos visto ya cómo puede determinarse la distancia D del punto: pasemos ahora á la fijación de las otras dos coordenadas. Para efectuarla es preciso conservar la placa de celuloide en la posición en que no ha dado el valor de D . Tomando sobre AT una magnitud diez veces mayor que la coordenada x , medida en el estereocomparador, y llevando la regla R al extremo de este segmento, podremos leer en la escala t el valor de X , multiplicado también por 10, y haciendo otro tanto con la ordenada y , deduciremos la Y . Los triángulos semejantes que en uno y otro caso se formarán sobre las rectas OA y R , nos permitirán escribir

$$\frac{EF'}{1,5 \times 10 \times x} = \frac{D}{1,5 \times f}; \quad \frac{EF''}{1,5 \times 10 \times y} = \frac{D}{1,5 \times f'}$$

de donde se deduce que

$$EF' = 10 \times X \quad \text{y} \quad EF'' = 10 \times Y.$$

En las anteriores líneas hemos visto cómo podían hallarse los valores de las coordenadas X , Y , $Z = D$ de los puntos del plano, en función de las x , y y π , medidas en las placas con el estereocomparador.

Si en lugar de tomar sobre la escala AT la magnitud $10x$, se toma la abscisa x en su valor natural, en t se leerá el de X , reducido á la escala del plano, y en OF' , sobre la regla R , la distancia del centro de estación O á la proyección horizontal F' del punto que estamos determinando. Para fijar la posición de éste por coordenadas polares, en lugar de hacerlo en rectangulares, basta medir, además del radio vector OF' , el ángulo que éste forma con el rayo origen OA , que representa la traza del plano principal de la vista obtenida desde la estación directora. Este ángulo puede medirse en un limbo colocado en su centro en O y su origen en OA .

Dibujo del plano con las coordenadas de los puntos obtenidas analítica ó gráficamente. — Por cualquiera de los métodos analíticos ó

gráficos expuestos en los dos párrafos anteriores pueden determinarse las tres coordenadas que fijan la posición de cada punto. Colocando en la hoja del plano la traza de la recta principal de la placa de la izquierda, y en esta recta una regla graduada, se transportan las distancias D . Sobre esta regla desliza una escuadra, cuyo cateto libre lleva igualmente una graduación hecha, como la anterior, á la escala del plano; haciendo que este cateto corte á la regla en el extremo de la distancia, mediremos sobre él la abscisa X y marcáremos así la proyección del punto. Al lado de ésta se describe la altura, deducida como ya sabemos.

Si se han obtenido las distancias de los puntos á la estación O y los ángulos que los visuales de éstos forman con la traza OA del plano principal de la placa, pueden aquéllos transportarse al plano por coordenadas polares, como se hace en el método taquimétrico.

El tablero de Pulfrich, ligeramente modificado, nos da un medio más rápido y sencillo de dibujar el plano. Para emplearlo en esta operación, ha de prolongarse la escala AT por debajo del punto A para medir sobre esta prolongación las x de los puntos situados á la derecha de la recta principal de la placa, como por encima se llevaban las x de los que se hallan á la izquierda de esta recta.

La regla r ha de alejarse de la recta OA en la cantidad suficiente para que esta prolongación sea posible. Como más arriba vimos, hay que tomar las abscisas x en verdadera magnitud (1) para que las X resulten á la escala del plano, como las distancias D .

También habrá de prolongarse la escala t por bajo de su intersección con OA , y habrá de colocarse toda ella en el borde de la placa para poder marcar con el lápiz los puntos que con ella se determinen.

Preparado en esta forma el tablero Pulfrich, y colocando entre el tablero, propiamente dicho, y las reglas y placa de celuloide, un papel transparente, se dibujan en éste la recta OA y las proyecciones de todos los puntos. Luego se levanta este papel, se coloca sobre aquel en que el plano ha de dibujarse, de modo que el punto O caiga sobre la estación directora y la recta OA sobre la principal de la placa correspondiente. Se calcan los puntos que en aquel papel se obtuvieron y después se escribe al lado de cada uno su cuota correspondiente, quedando el plano en disposición de dibujar en él las curvas de nivel y líneas notables que han de completarle.

Al ocuparnos del modo de manejar el estereocomparador dijimos que había que restar de las lecturas hechas sobre cada punto las iniciales correspondientes á las rectas de horizonte y principal de la placa de la izquierda. Esta operación puede evitarse disponiendo convenientemente varias numeraciones en la escala AT , una con el 0 en A para las paralelas, y otras dos, para las abscisas y alturas, en las que se leyera en este punto los valores de las x é y correspondientes, respectivamente, á las rectas principal y de horizonte de la placa citada.

Teniendo ya trasladadas al plano las proyecciones y cotas de los puntos, se completa aquél como en los métodos no fotográficos.

Ventajas que sobre la fotogrametría ordinaria presenta la estereoscópica, aun sin emplear en ella el estereoautógrafo.—Conocido ya en todos sus detalles el método estereoscópico, tal como antes de la invención del aparato de Orel se aplicaba, podemos hacernos cargo de sus innegables ventajas sobre el de Laussedat ó de intersecciones.

Al comenzar la exposición del método estereoscópico, hicimos ya notar que gracias á él podía reducirse extraordinariamente la longitud de las bases necesarias para efectuar un cierto levantamiento topográfico. En el método de intersecciones, las bases han de medir, para que aquéllas se verifiquen en buenas condiciones, más de la mitad de la distancia á que de aquéllas se encuentren los más alejados de los puntos que en el plano han de fijarse; y como ésta llega á veces hasta 8 ó 10 kilómetros, las bases correspondientes serán de 4 ó 5 kilómetros. En el método estereoscópico bastaría, para el mismo caso, disponer de bases de 400 á 500 metros (tomando entre una y otra magnitud la relación máxima, de $\frac{1}{20}$). Las bases han quedado, pues, reducidas al

décimo de su primitivo valor. Fácil es convencerse de la importancia que esta reducción tiene, por permitir una exactitud mucho mayor en la orientación de las vistas y en la medida de las bases, cuando ésta se ha de efectuar directamente, y por el ahorro grande de tiempo que supone el abreviar de modo tan considerable la distancia que hay que recorrer para transportar los aparatos de una estación á la inmediata.

Aun presenta esta reducción de base otra ventaja de más importancia que la anterior. Refiérese á que, cuanto más reducida es la distancia que separa dos estaciones, más fácil será que desde ésta se divise, como conviene, gran zona común. Es frecuente en la práctica el caso de encontrarse un punto que domine y enfile un valle ó barrancada, pero los puntos de ésta sólo se ven desde una zona reducida alrededor de aquél; si nos alejamos, una de las laderas del valle ocultará su fondo, y el trabajo puede llegar á ser, por el método de Laussedat, completamente imposible de realizar, porque si para evitar el citado escollo, reducimos la base, desde ésta podrán fijarse sólo los puntos cuya distancia á ella no exceda del doble de su longitud. El método de las paralajes, en cambio, nos permite levantar el plano de vaguadas, cuya longitud llegue hasta 25 ó 30 veces la de la zona de que en su boca pueda disponerse normalmente á su dirección general.

Y esta ventaja se traduce, en todo caso, en una reducción en el número de bases y estaciones que para un mismo trabajo son necesarias, con la consiguiente economía de tiempo y de dinero.

Además, la ventaja de tener el terreno á la vista en las fotografías sencillas del método antiguo, que son como croquis perfectos, para el trazado de curvas y dibujo del plano, aumenta extraordinariamente al ser aquéllas estereoscópicas, pudiendo decirse, en verdad, cuando se examinan éstas en el estereocomparador, que se lleva el terreno al gabinete, para reproducirlo en el papel del plano. En fotografías sencillas de parajes poco accidentados, es casi imposible encontrar puntos bien definidos para calcular su posición; en una vista estereoscópica el relieve aparece siempre, y con el estereocomparador puede conseguirse aquella elección, para la cual, por otra parte, presenta este aparato la inestimable ventaja de no exigir la identificación de puntos ó determinación del punto de una fotografía que corresponde á uno elegido en la otra. Y la dificultad de esta identificación es tal, que en más de un caso ha sido ella sola más que suficiente para que el método de intersecciones, en que era necesaria, fuese desechado.

Además de esta circunstancia, resulta el trabajo de gabinete más cómodo en el método estereoscópico que en el antiguo. En éste, después de efectuar la penosa identificación de puntos comunes, hay que medir el azimut y pendiente de cada proyectante, pasar luego al plano dos azimutes para cada punto, calcular la cota de éste, deduciéndola de las distancias y ángulos de pen-

(1) Es decir, sin multiplicarla por 10; en todo caso, el modo de estar hecha la graduación AT hará que las x del tablero sean vez y media las verdaderas.

diente correspondientes á cada una de las dos estaciones y tomar el promedio de estos dos valores como cota verdadera.

En el método estereoscópico se miden con el estereocomparador—porque nunca ha de prescindirse de este aparato—, más fácilmente que con el transportador, los elementos que definen la posición de cada punto; se calculan con el tablero de Pulfrich las coordenadas de éste y se transportan al plano. No sólo no es precisa aquí la identificación de puntos, sino que, como consecuencia de esto, tampoco hay que marcar éstos en la fotografía, como se hacía en el método antiguo.

Los trabajos de gabinete son, como vemos, próximamente iguales en ambos métodos, con la ventaja á favor del estereoscópico de no exigir la identificación de puntos y de disponer de vistas del terreno con efecto de relieve.

Muy de tener en cuenta es, en la fotografía estereoscópica, la facilidad con que puede comprobarse la disposición y valores de todos los elementos en que la determinación de las coordenadas de los puntos ha de apoyarse; basta, para efectuar esta comprobación, comparar las conocidas de puntos de la triangulación previa, con las que para los mismos se deducen al hacer coincidir con ellos el estilete del estereoscopio.

Finalmente, vamos á ver que la aproximación que con el método estereoscópico puede obtenerse es muy superior á la que da el de intersecciones, siendo ésta, indudablemente, la más trascendental de las ventajas que sobre éste presenta aquél. Para convencernos de esto, examinaremos someramente los errores que en uno y otro método pueden cometerse.

Comencemos por el de medidas de bases. Siendo las estereoscópicas, como ya hemos visto, diez ó doce veces menores que las otras, en esta misma proporción se reducirán los errores absolutos respectivos á igualdad de sistema de medida.

Las distancias á que los puntos se hallan de las estaciones se miden en el método de intersecciones gráficamente con un doble decímetro, y en el de paralajes se calculan, en función de la base, la distancia focal de la cámara y la paralaje del punto, resultando en éste mucho más exactas que en aquél.

A igualdad de distancias, los errores en la posición de dos puntos determinados por uno y otro método, son proporcionales á los que se cometan en la fijación de las imágenes respectivas en las placas. En el antiguo, este error era el diámetro del punto que con el lápiz se marca al hacer la identificación de imágenes, diámetro que no bajará de 0,00025 metros; en el método moderno, este error se reduce al que el estereocomparador comete en la medida de abscisas y ordenadas en la estación de la izquierda, es decir, á 0,0001 metros.

Por otra parte, al paso que en el último no existe otro error que el indicado al fijar la proyectante de cada punto, en el método antiguo se suma al ya precitado el procedente de la medida de ángulos azimutales y de pendiente, que ha de efectuarse con el transportador fotográfico, en el que la mayor apreciación es de diez minutos.

Vimos por las anteriores consideraciones que si el método de intersecciones representaba un notable adelanto en los procedimientos topográficos anteriores, el de paralajes le aventaja notablemente, y es insustituible en multitud de casos y ventajoso en casi todos por varias causas, siendo una de las principales, entre éstas, la enorme economía de tiempo y dinero que supone, y que puede llegar frecuentemente al 80 y hasta el 90 por 100.

Ahora veremos cómo el estereoaquígrafo del Capitán von Orel suprime por completo todos los cálculos, dibujos y construcciones auxiliares que antes de su aparición eran indispensables, y cómo la fotogrametría estereoscópica automática repre-

senta, respecto de la no automática, un avance aún mayor que el de ésta respecto de su predecesora, la metrofotografía de Laussedat.

(Continuará.)

Manantiales geodinámicos⁽¹⁾

(CONTINUACIÓN)

Algunas experiencias y ensayos de una teoría.

Expuestos á grandes rasgos los fenómenos que conozco más notables, indicadas algunas opiniones, quedame ahora la parte más difícil de mi trabajo; arremeter contra obra tan débilmente cimentada como la teoría geológica es tarea llana para cualquiera, como lo reconoce De Launay en su *Historia de la Tierra*, cimentar nuevas opiniones es abrumador trabajo, y si yo, menos que modesto estudiante, creíme facultado para atacar la obra de indudables prestigios, de reconocidos sabios, ¿qué ataques no aguardan á este pobre fruto de mi fantasía que ni tiene el apoyo de un nombre ni la aprobación de un prestigio ni siquiera el valor de la ciencia? Pero si el infierno se halla empedrado de buenas intenciones, el camino del saber se apoya sobre el polvo de las equivocaciones, y para tal uso acaso sea aceptable mi modesta publicación. Las opiniones de Schardt de De Launay, atribuyen la aparición de las aguas termales á un fenómeno parecido al de las capas artesianas, pues suponen que el agua no puede mecánicamente descender, y que se eleva bien por el tan discutible termosifón del primero, bien por el tubo acodado del segundo; el calor, en ambos casos, no desempeña otro papel que el de calentar el agua; Suess y A. Gautier dejan el problema en el misterio aun no concretado de las erupciones volcánicas, y en la teoría del geyser el agua siempre se supone que llega de zona más alta que el punto de erupción.

No satisfaciéndome ninguna de estas teorías, traté de averiguar si sería posible que pura y exclusivamente por la acción del calor el agua se elevara desde un recipiente hasta un punto de mayor cota, y creyendo que podría con ensayos de laboratorio resolver el problema, planteé y resolví éste en la forma que expongo en este capítulo.

Mis primeros ensayos no se hicieron con el aparato que va en estas láminas, sino que utilicé un matraz de doble boca uniendo una de ellas, por un tubo de goma de 6 metros de longitud y de un centímetro de diámetro, con un recipiente lleno de agua fría (en las primeras experiencias puse hielo) y sacando de la otra boca un tubo de vidrio vertical de 4 milímetros de diámetro y doblado en su extremo; el matraz lo dispuse sobre un foco de calor, quedando unos 30 centímetros por debajo del nivel del agua y elevándose el codo del tubo de vidrio á otro tanto sobre el mismo nivel; al cabo de poco tiempo, al empezar la ebullición, fué elevándose el agua por el tubo de vidrio saliendo por la boca sin que en el recipiente frío se notara la menor alteración de temperatura; en principio, estaba el problema resuelto; el calor sólo podía producir la elevación del agua; el núcleo central podía enviar á la superficie el agua del mar en forma de manantiales.

La fragilidad de los aparatos de cristal me obligó á sustituirlos por otros de metal, y tras larga serie de ensayos en los que me hallaba á veces ante casos imprevistos que hacían variar diametralmente mis ideas, creyendo unas veces que era mi artefacto-

(1) Véase el número anterior.