

# 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.

## FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE Y AÉREA

Discurso leído en el acto de su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,

POR

D. JOSÉ MARÍA TORROJA

Ingeniero de Caminos (1)

Viniendo en el método de Laussedat determinado cada punto por intersección de sus dos rayos proyectantes, es preciso, para que no resulten errores inadmisibles, que estos rayos se corten bajo un ángulo suficientemente grande. Ello obliga, al tratarse de zonas cada vez más distantes del emplazamiento de las dos fotografías, a separar proporcionalmente una de otra, es decir, a aumentar la base fotográfica.

Pero este aumento no puede hacerse sin tropezar con dos inconvenientes graves, en primer lugar, al ir aumentando los ángulos bajo los cuales se ven desde los extremos de esta base las zonas distantes, se pierden las próximas, que dejan de aparecer en las placas, y en segundo, el aspecto del terreno en las dos fotografías va siendo cada vez más diferente y más difícil la indentificación de las dos imágenes de un mismo punto.

Esta circunstancia impide que el alcance y rendimiento de la Fotogrametría ordinaria puedan franquear cierto límite; la práctica ha demostrado que no suele pasar aquél de 5 ó 6 kilómetros, y éste de 3 ó 4 kilómetros cuadrados en la escala del 1/25.000, corriente en los trabajos geográficos.

Pero la estereoscopia, que, como acabamos de ver, no pudo constituir por sí sola un método topográfico completo, sirvió en cambio para prestar a la Fotogrametría ordinaria una superior ayuda, y, juntas las dos, constituyen hoy día la Fotogrametría estereoscópica, reuniendo las ventajas de una y otra y salvando casi todos sus inconvenientes.

\*  
\*  
\*

El fundamento de este nuevo método consiste precisamente en sustituir aquella intersección gráfica por la coincidencia óptica de un estilete que aparece en el plano focal de un estereoscopio, con cada uno de los puntos del terreno que en éste se contempla.

Para aumentar la base estereoscópica —y, por tanto, el alcance

del relieve—de las fotografías, no se obtienen éstas con verásco-  
pos corrientes, sino con una misma cámara (llamada fototeodolito o fototaquímetro), colocada sucesivamente en dos posiciones que pueden estar separadas cuanto se quiera uno de otra y provista de disposiciones especiales para asegurar el paralelismo de la placa en uno y otro extremo de la base. Claro que los resultados que así se obtengan serán idénticos a los que produciría un veráscopo gigante cuya base fuera de decenas o centenares de metros. En esta forma puede llegarse a unos 15 kilómetros de alcance, empleando en cada caso una base cuya longitud sea, aproximadamente, el 4 por 100 de la distancia media de la zona que se quiere representar.

Colocadas las dos placas que forman un conjunto estereoscópico en un aparato llamado estereocomparador, proyectado por el doctor Pulfrich y construido por la Casa Zeiss, se observan por un microscopio binocular, cuyo retículo consiste en un estilete fijo, que, mediante movimientos apropiados de los soportes de aquéllas, puede llevarse a coincidencia con cada uno de los puntos del terreno.

En el instante en que esta coincidencia óptica se verifica, en tres escalas que lleva el aparato se leen tres números, que son, respectivamente, la abscisa de la imagen del punto en la placa de la izquierda, la ordenada de la misma imagen y la paralaje del punto, o sea la diferencia entre las abscisas de sus imágenes en las dos placas, refiriéndose siempre estas coordenadas a los ejes de cada placa.

Fácil es ver que de estos tres datos, variables de uno a otro punto, y de la distancia focal del objetivo y longitud de la base, constantes para todos los de un mismo par de placas, se deducen, mediante cuartas proporcionales, las tres coordenadas de los puntos del terreno, pudiendo, por tanto, construir un plano de éste.

Como las medidas de las placas efectuadas en las escalas del estereocomparador son de una exactitud grande (0,01 y 0,005 de milímetro), la precisión del método depende exclusivamente de la agudeza visual estereoscópica o facultad de apreciar la coincidencia óptica del estilete con el terreno.

La práctica demuestra que un mediano operador, después de cierta práctica, efectúa esa coincidencia con exactitud comparable a la de aquellos límites de error.

El cálculo de las cuartas proporcionales que acabamos de decir son precisas para deducir las coordenadas de los puntos del terreno de los datos leídos en el estereocomparador, si bien es sencillo para cada uno, resulta penoso por su repetición continuada para cientos y miles de ellos.

(1) Véase el núm. 2331.

Para evitar estos cálculos, el doctor Pulfrich ideó el *tablero* de su nombre, en el que se sustituyen por sencillas construcciones, con excelente criterio sistematizadas. Realizadas éstas, tenemos ya las proyecciones y las cotas de los diferentes puntos, y podremos entre ellos interpolar las curvas de nivel como en los métodos topográficos corrientes.

Hemos supuesto hasta ahora que las dos semivistas que constituyen la estereoscópica se hallaban en un mismo plano. Pero frecuentemente conviene abarcar zonas que no se dominan desde ninguna ladera perpendicular a su dirección general, como con vendría para el establecimiento de la base estereoscópica, sino sólo desde otra oblicua a ella. Esto puede hacerse igualmente mediante vistas cuyas dos mitades se hallen en planos paralelos entre sí, pero no a la dirección de la base, constituyendo lo que se conoce con el nombre de par oblicuo de placas.

Las fórmulas que de este género de vistas deducen las coordenadas de los puntos del terreno son más complicadas que las anteriores y su construcción gráfica, mediante un tablero especial que el doctor Pulfrich ha ideado para este caso, es lenta y poco exacta. Para sustituirle, vuestro Académico-corresponsal, D. Antonio Torroja, ingeniero de Minas y catedrático de la Universidad de Barcelona, ha ideado un nuevo aparato, el estereógrafo, que resuelve a la vez este caso, y el caso anterior, de placas normales.

\*  
\* \*

Aunque el empleo combinado del estereocomparador para efectuar mediciones en las placas, y el tablero Pulfrich o el estereógrafo para deducir de estas mediciones las coordenadas de los puntos, puede resolver, como hemos visto, el problema de la construcción de planos, no cabe duda que sería del más alto interés hallar un aparato que realizara automáticamente estos cálculos, sin necesidad de intervención continua del operador para cada punto: algo así como una máquina algébrica fotogramétrica.

Por otra parte, la circunstancia de que a cada punto del terreno fotografiado corresponda una sola posición de los órganos del estereocomparador, cuando se hace coincidir el índice de éste con la imagen de aquél en el relieve aparente que el aparato produce, hizo pensar al entonces teniente del Ejército austriaco, caballero Eduardo de Orel, encargado especialmente del servicio fotogramétrico en el Instituto Geográfico Militar de Viena, en la posibilidad de construir un aparato que, guiado por el estereocomparador, dibujara automáticamente el plano topográfico.

El primer modelo del aparato que Orel proyectó con este objeto, y que lleva el nombre de estereoautógrafo, se terminó el año 1909, y a sus primeras pruebas tuvo la satisfacción de concurrir en Viena en la citada fecha, compartiendo con su inventor temores pronto desvanecidos y esperanzas siempre colmadas. No sólo da directa y automáticamente la situación y cota de cada punto, con el cual se lleva a coincidencia el índice del estereocomparador, sino que, obligando a permanecer fijo el punto de encuentro de una varilla con la escala en que se van leyendo los diferentes valores de la altura de los puntos, ésta permanecerá constante, y todos los puntos del terreno con que el índice puede llegar a coincidencia serán, por este enlace, de una curva de nivel.

Es decir, que si manejamos las tres manivelas del estereocomparador de modo que el estilete se mueva, estando constantemente en contacto con el terreno, los puntos de éste que habrá ido recorriendo, y que el trazador dibujará entretanto, son los de una curva de nivel.

Bastará colocar fijo en otro punto de la escala de alturas el

punto de lectura de éstas, y repetir la operación del estilete, para obtener otra curva de nivel, marcada de un modo continuo y automático por el trazador del estereoautógrafo.

Limitábase el modelo descrito, como el primer tablero de Pulfrich, a resolver el problema en el caso de placas normales. Y, como antes, el interés del de las oblicuas no podía ser olvidado. Orel lo sabía, y ayudado por la Casa Zeiss, que construyó uno y otro, modificó su aparato para abarcar este caso, y lo consiguió con el modelo 1911. A la mayor complicación de las fórmulas de las placas oblicuas corresponde inevitablemente un aumento correlativo en la del aparato que ha de resolverlas; pero, en cambio, la precisión en éste es mayor, llegando a hacer el trazado de las curvas con error menor de un quinto de milímetro.

Actualmente se está terminando el cuarto modelo del estereoautógrafo, que llevará la fecha del corriente año y abarcará, además de los dos anteriores, el caso de placas no verticales, de especial interés para la Estereofotogrametría aérea, en que, seguidamente, nos ocuparemos. Como dato curioso, que revela la extraordinaria precisión del aparato, diremos que las articulaciones de este modelo son todas de bolas de acero especialmente fabricadas para este objeto, garantizando el ajuste de dos milésimas de milímetro.

Orel ha llegado, pues, con su aparato, a hacer posible, en condiciones extraordinarias de exactitud, el trazado automático de curvas de nivel de un terreno, deducido de dos fotografías de éste, verticales u oblicuas, paralelas o convergentes, siempre que el ángulo que sus planos formen no exceda de 30 grados.

Constituye el estereoautógrafo un formidable avance del automatismo en los dominios para él vedados hasta ahora, de la topografía; un paso más en la sustitución del hombre por la máquina; y nada de extraño tiene que, como los problemas que el topógrafo ha de realizar son complejos, compleja sea también la máquina que los resuelve.

No se trata de un peldaño más en la evolución racional de los métodos fotogramétricos; no es sólo un avance en rapidez, exactitud y economía; no se limita a hacer factibles trabajos que antes no lo fueran: el estereoautógrafo representa algo más fundamental en la historia del levantamiento de planos. La estadia logró dar las distancias sin necesidad de que el topógrafo las recorriera y midiera trozo a trozo; el inventado por Orel es el primer aparato que permite trazar líneas del terreno sin determinarlas punto por punto, reproduciendo con exactitud las verdaderas formas del terreno.

Imposible sería la enumeración de los trabajos realizados con el método de las paralajes, que debe su nombre a la analogía que presenta con el que desde antiguo emplean los astrónomos para determinar las distancias a que de nosotros se hallan algunos astros, en función de la paralaje angular de éstos, que en el fondo es lo mismo que la paralaje lineal medida en el estereocomparador.

Los Institutos Geográficos de Viena, Berlín, Florencia y Río de Janeiro disponen de estereoautógrafos, y casi todos los centros similares de los restantes países, de estereocomparadores Pulfrich. Además, existen varias Sociedades nacionales, federadas bajo la dirección de Orel, para aplicar el aparato de éste a trabajos topográficos de diversa índole, tanto en escalas pequeñas o geográficas, como grandes o técnicas, y el importe total de los trabajos realizados asciende ya a muchos millones, siendo indudable que la normalización gradual de las relaciones entre los diversos países favorecerá la rápida difusión de estos métodos y aparatos, tan útiles para el progreso general de las naciones.

\*  
\* \*

El pintor que quiere reproducir un paisaje sobre un plano vertical se coloca respecto del lienzo en la misma posición que tomará el observador que más tarde ha de admirarle. La ejecución de la obra ha de hacerse lógicamente desde el mismo punto de vista que su examen.

Los mapas topográficos son la proyección del terreno sobre un plano horizontal desde un punto infinitamente lejano sobre él. Natural parece que el topógrafo, por no ser menos racional que el pintor, ejecute su trabajo desde un punto que sea, al menos, elevado sobre el suelo: desde un aeronaue.

Y así se ha hecho, con éxito creciente, desde el principio de la navegación aérea.

Pero durante muchos años las fotografías aéreas no eran documentos que bastaran para obtener directamente planos topográficos, sino croquis, más o menos perfectos, que ayudaban a los formados por los métodos corrientes. Hoy comienza a revestir la Fotogrametría aérea los caracteres de exactitud y seguridad que la pueden hacer figurar dignamente al lado de la terrestre.

Como ésta, la Fotogrametría aérea nació en Francia. En 1858 obtuvo Nadar desde la barquilla de un globo cautivo la primera fotografía aérea de que se tiene noticia, y que comprendía la parte de París entre el Arco de Triunfo de la Estrella y Neuilly. Tantas esperanzas hizo concebir a su autor, que éste llegó a anunciar que por el mismo procedimiento se haría en poco tiempo un mapa de Francia más completo y exacto que el del Estado Mayor y hasta que el del Catastro.

Al cabo de sesenta años la Fotogrametría aérea no ha podido llegar a realizar esta profecía, a pesar de sus innegables progresos, logrados en su mayor parte durante el último lustro. No podemos negar, sin embargo, que algún día sea capaz de hacerlo.

Su primera aplicación práctica, que tuvo lugar en Norteamérica, se remonta al año 1862, en que los unionistas en la guerra de Secesión obtuvieron desde globos cautivos vistas del campo enemigo y referencias continuas de sus movimientos, sirviéndose de estos datos para sus combinaciones estratégicas.

Con carácter más científico se organizó en el Ejército japonés el servicio fotográfico aéreo, y se empleó con éxito en su guerra contra Rusia en 1904. Esta nación, que también tenía material adecuado para tal servicio, quiso enviarlo al frente de combate al ver que lo empleaba su enemigo; pero cuando llegaron las brigadas encargadas de él la campaña había terminado.

Casi por la misma fecha abrió el Aéreo-Club de Francia el primer concurso de fotografía aérea en globos y cometas, y cinco años después (1909) aparecían las primeras fotografías obtenidas desde aeroplanos; y la Sección Laussedat, de la Sociedad Francesa de Fotografía, organizaba otro concurso de métodos y aparatos automáticos de fotografía aérea, recomendando la inscripción automática sobre las placas, de los datos necesarios para su orientación (altitud, ángulos de inclinación del eje óptico del objetivo y de la recta de horizonte de la placa, etc.).

La Exposición internacional de Fotografía celebrada en Dresde en 1909, fué el primer certamen en que la fotografía aérea hizo brillante acto de presencia, y a partir de esta fecha el ministerio de la Guerra alemán, el austrohúngaro y numerosas organizaciones de estos dos países, dedicaron al asunto la más viva atención.

Los Estados Mayores de los Ejércitos de casi todas las grandes potencias empezaban también a interesarse por la fotogrametría aérea, y enviaban Comisiones de oficiales para iniciarse en estas cuestiones en los Imperios Centrales, que es donde habían alcanzado mayor desarrollo.

En las maniobras del Ejército francés el año 1911, en la región de Verdun, el servicio de aviación francés obtuvo algunas vistas

fotográficas; pero este ensayo fué abandonado los años siguientes, y, como hace notar un escritor militar francés, el alto mando de su país no daba gran importancia a estos trabajos y más bien los miraba como un deporte que como un medio auxiliar de positivo valor.

El descubrimiento de un aparato fotográfico, provisto de todos los accesorios necesarios; en el zeppelin capturado el 22 de agosto de 1914 en Badonvilliers, decidió a los generales franceses a ocuparse seriamente en la creación del servicio aéreo fotográfico, y éste, y los que posteriormente fueron estableciendo las demás naciones de la *Entente*, han prestado durante la campaña servicios inestimables.

Los Imperios centrales, por su parte, tenían en tan alta estima este servicio, que su alto mando pudo decir en un documento oficial, fechado en enero de 1918: «Es casi imposible que las intenciones del enemigo permanezcan desconocidas, porque el estudio de las fotografías permite ver claramente la actividad que desarrolla».

\*  
\* \*

Al contrario de la terrestre, que había alcanzado en 1914 casi toda la importancia que tiene en la actualidad, la Fotogrametría aérea ha sufrido durante la guerra tan honda transformación, que puede aquella fecha separar dos periodos de su historia completamente diferentes.

Hasta 1914 utilizaba los globos esféricos, libres o cautivos, las cometas y combinaciones de ambos elementos.

Posteriormente, los progresos sorprendentes de los aeroplanos, y los no despreciables de los dirigibles, han hecho que sean de estos dos grupos, especialmente del primero, los aparatos de que se vale.

Razones económicas limitan el empleo de globos tripulados y de dirigibles. Si se trata de reconocimientos ligeros, podrán servir los pequeños globos y las cometas. Para un trabajo serio de topografía, el empleo del aeroplano es hoy día casi insustituible.

Entre los diversos tipos de cometas, hay que elegir para este fin los más estables, y, mejor aún, trenes compuestos de varias unidas a un mismo cable; la estabilidad es aceptable, si el viento guarda cierta constancia. Del mismo cable va colgada la cámara mediante diversas disposiciones, entre las que citaremos la de Saconney, con estabilizador automático.

Si se quiere emplear un globo, convendrá sea de los globos cometas, que, a igualdad de volumen, son mucho más estables que los esféricos; al lado del inconveniente de exigir un aparato generador de hidrógeno, presenta sobre las cometas la ventaja de poderse emplear en días de calma, en que su fijeza es muy grande.

Estos globos han sido empleados principalmente en Alemania, en tanto que los franceses, desde Batut (1888), han solido preferir las cometas, habiéndose hecho curiosas experiencias por Wenz (1897), para elevarlas arrastrando su cable desde un automóvil.

Las fotografías que desde estos aparatos se obtenían eran casi siempre horizontales o verticales. Pero la inestabilidad del medio de sustentación de la cámara hacía que no fuera posible en este caso asegurar la posición exacta de la cámara con respecto al terreno, ni los ángulos de inclinación de las placas. La primera se determinaba, en algunos casos, mediante visuales que tres operadores convenientemente situados en tierra dirigían a la cámara en el momento de abrirse el obturador de su objetivo; pero diversas causas contribuían a producir errores grandes en este sistema.

Varios ingeniosos procedimientos se han usado para determinar la inclinación de la cámara en el momento de la exposición.

Tratándose de fotografías obtenidas desde globos, el profesor Finsterwalder adoptó el sistema, propuesto por Schiffner en 1892, de colgar del ecuador de aquél varias cuerdas de unos 50 metros de longitud, convenientemente lastradas, cuyas imágenes en la fotografía daban el punto de fuga de las verticales de ésta.

También se ha empleado en Alemania para los globos tripulados el fusil ideado por el profesor C. Koppe, de Braunschweig, ingeniero de Caminos, y construido por el barón von Bassus, de Munich, cuyo cañón, que se apoya en el borde de la barquilla, lleva en su extremo la cámara, montada sobre un eje de giro perpendicular a él. El obturador del objetivo se maneja desde el gatillo en el momento en que en dos espejos se ven simultáneamente, calado un nivel en el plano del cañón y eje de giro, y apuntado el eje del objetivo sobre el punto del terreno que haya de aparecer en el centro de la fotografía.

De los ensayos realizados con este aparato por el profesor Finsterwalder se deduce que, bien manejado, no da errores superiores a unos diez minutos.

En Francia, para placas verticales se ha usado mucho el nivel del comandante Jardinet, constituido por cuatro tubos planos de vidrio reunidos por otros de caucho, formando un marco rectangular que encuadra la placa sensible y proyecta sobre ésta una silueta de los meniscos del mercurio, que hasta cierta altura lo llena; la recta tangente a estos dos meniscos es paralela a la de horizonte de la fotografía. En buenas condiciones se puede llegar a determinar la inclinación del horizonte de la placa con este aparato, con error menor de medio grado, según Clerc.

Para tener, no sólo la dirección de esta recta, sino su verdadera posición, y al mismo tiempo el ángulo de inclinación del eje óptico del objetivo con la horizontal, el comandante Sacconey adaptó a un aparato que destinaba a levantamientos hidrográficos (1905) un nivel compuesto por dos Jardinet, situados en las caras opuestas de la cámara, uno dispuesto como acabamos de indicar, y otro idéntico y en comunicación con él por sus lados superiores y por los inferiores. Si se regula la cantidad de mercurio de modo que, estando nivelada la cámara, el plano de nivel de aquél contenga el eje óptico del objetivo, fácil es ver que el punto de intersección de las diagonales del rectángulo formado por los centros de los cuatro meniscos permanecerá fijo, cualquiera que sea la inclinación del aparato. Y de esta propiedad se deduce fácilmente la solución del problema enunciado.

El capitán Ulyanine, del Ejército ruso, se valió de un nivel esférico de aire, en cuyo vidrio hay grabada una cuadrícula que, reproducida en la placa fotográfica, junto con la burbuja, da la posición de ésta y, por tanto, la inclinación del aparato.

Los alemanes emplean diversos aparatos, construidos por las Casas Zeiss y Goerz, cuyo fundamento consiste en el empleo de péndulos que miden las inclinaciones en diferentes sentidos, según la posición de sus ejes de giro. Estas inclinaciones aparecen registradas automáticamente en la placa, mediante limbos graduados planos o cilíndricos, que se mueven junto a un índice fijo.

Fundándose todos estos aparatos y otros análogos que renunciamos a enumerar en la acción de la gravedad sobre ciertas masas, la inercia de éstas producirá errores tanto más grandes cuanto más bruscos sean los movimientos de sus elementos de sustentación. En un globo de cualquier género merecerá su empleo cierta confianza si la atmósfera está tranquila; una cometa necesitará un viento muy uniforme; un aeroplano sólo podrá em-

plearlos con alguna seguridad si, teniendo esta última condición, marcha en línea recta con velocidad constante.

Para el caso en que, por imposibilidad de obtener la necesaria fijeza en el aparato, o por especiales condiciones del trabajo, se obtengan fotografías oblicuas, es muy conveniente poder transformar éstas en otras verticales u horizontales, que sean secciones de la misma radiación que produjo aquéllas. De este modo se simplifican extraordinariamente las construcciones necesarias para la obtención del plano.

Se trata de sustituir una vista oblicua por otra vertical u horizontal, idéntica a la que se hubiere obtenido con la misma cámara en la misma posición si la placa hubiera ocupado en el aire una u otra de estas posiciones.

El primer aparato destinado a resolver este problema fué el del capitán alemán Th. Scheimflug, de cuyos resultados figuraban muestras en la Exposición internacional de Fotografía, de Dresde, del año 1909.

Posteriormente se han ideado otros muchos; pero la base de casi todos ellos consiste en colocar la fotografía original y la placa sobre que ha de formarse la transformada en dos *chassis* que pueden girar alrededor de dos rectas paralelas entre sí, y perpendiculares al eje óptico de un objetivo fotográfico. Fácil es ver los ángulos que han de formar las dos placas con este eje. Para que la imagen de la fotografía original sea clara, es preciso que los ejes de giro de los dos *chassis* ocupen posiciones conjugadas respecto del objetivo, cosa que en algunos aparatos, como el de Clerc, se obtiene automáticamente mediante un sistema articulado.

\*  
\*.\*

Los datos que de las fotografías aéreas pueden obtenerse son de tres clases:

- 1.º Croquis con indicaciones especiales, principalmente para caso de guerra.
- 2.º Complemento de planos existentes.
- 3.º Formación de planos de terreno desconocido, sea sólo en planimetría, sea también con nivelación.

En el primer caso pueden deducirse de las fotografías, ya sean de eje vertical (que son las más ricas en detalles), horizontal (las de mayor alcance y efecto artístico) o inclinado (prácticamente los más fáciles de obtener), datos de gran interés.

Durante la última guerra los croquis aéreos fotográficos han prestado grandes servicios suministrando datos preciosos sobre la situación, movimientos y propósitos del enemigo.

Con auxilio de lentes apropiadas y sobre *clichés* de luz uniforme, que son los que dan mayor detalle a la vez en las zonas en luz y en las de sombra, los observadores, prácticos ya con una experiencia de cuatro años, podían estudiar las vías de comunicación del adversario, su categoría, puntos vulnerables y tráfico, la altura de las edificaciones, líneas de transmisión de energía eléctrica, telegráficas y telefónicas, emplazamientos de la artillería y ametralladoras, estado de destrucción de las defensas enemigas durante el combate y multitud de datos análogos, que sin este nuevo recurso hubiera sido imposible obtener.

No es menor la utilidad de la fotografía aérea para completar planos existentes, comparando con éstos las obtenidas sobre plano horizontal o las transformadas de las oblicuas.

Una fotografía, aun siendo de plano horizontal, no puede nunca confundirse con un verdadero plano topográfico, porque aquélla es una proyección cónica (suponiendo el objetivo libre de todo error de distorsión), y éste es una proyección cilíndrica.

Para evitar tal confusión, una circular del Estado Mayor francés, fechada el 18 de mayo de 1916, prohibía terminante-

mente formar planos topográficos por yuxtaposición de fotografías.

No obstante, estos agrupamientos de fotografías dan panoramas que pueden ser—salvando su origen—de utilidad en muchos casos, como el formado por el capitán de ingenieros italiano C. Tardivo en 1909 de parte de la región arqueológica de Roma.

La necesaria transformación en horizontales de vistas que no lo son se facilita notablemente si se conoce la posición exacta de cierto número de puntos de terreno de los que aparezcan por lo menos tres en cada vista, ya que de este modo se tiene un triángulo con cuyos vértices han de coincidir las correspondientes imágenes transformadas.

En cada vista horizontal puede obtenerse un calco de los detalles que no figuren en el plano antiguo, y llevando a coincidencia sobre éste el triángulo director de aquélla, transportarlos y en tal forma completar aquél rápidamente.

Claro es que la exactitud de estos nuevos datos deducidos de las vistas será tanto menor cuanto menos llano sea el terreno, y no merecerá confianza alguna si se trata de regiones quebradas.

\*  
\* \*

La obtención de planos exactos por medio de vistas aéreas, o sea la Fotogrametría aérea, presenta ya dificultades no despreciables.

Exige, ante todo, tener por lo menos dos fotografías del terreno que se quiere reproducir y conocer cierto número de datos, en cuyo estudio, hecho por el profesor Sebastián Finsterwalder, nos ocupamos ya en otro lugar.

Pero aunque, según se deduce de estos trabajos, dos vistas de un terreno con su orientación interior (puntos centrales y distancias focales), bastan para reconstituir aquél, salvo la escala, la complicación de las construcciones necesarias para aplicarle, basadas en el teorema de Terrero-Hauck, hace que se determine casi siempre en la práctica la orientación exterior (proyección de la estación en el plano y dirección del eje óptico respecto del terreno), lo cual exige el conocimiento de tres puntos de éste, *A*, *B* y *C*, cuyas imágenes *a*, *b* y *c*, aparezcan en las vistas.

Dadas estas imágenes *a*, *b* y *c*, se llama *tiedro* fotográfico el determinado por las rectas que unen cada una de ellas con el centro del objetivo; para hallar la orientación exterior basta buscar el plano que corte este *tiedro* según un triángulo idéntico al *abc*.

La primera solución de este problema fué dada por Finsterwalder, y Sacconey publicó posteriormente otra más sencilla con varios casos particulares en que los tres puntos *A*, *B* y *C*, o sólo dos de ellos, se hallen a la misma altura.

Una vez conocida la orientación exterior de las dos fotografías, se pueden obtener los puntos del plano topográfico mediante sencillas construcciones, que variarán según se trate de fotografías oblicuas, verticales u horizontales, pero basándose siempre en los métodos de la perspectiva geométrica.

Las cámaras fotográficas que se emplean desde los aviones no presentan otra particularidad que el modo de suspensión, si no son de mano, y los registros de pendientes que anteriormente describimos. Tan sólo en algunos casos se han empleado cámaras múltiples, como la usada por el ingeniero de Caminos ruso Thielé, para sus trabajos en Rusia y Persia, que consta de siete unidades invariablemente, una de placa horizontal y las otras inclinadas alrededor de aquélla; al disparar simultáneamente, mediante un contacto eléctrico, los siete objetivos, las zonas reproducidas

por todos ellos se completan, abarcando gran extensión de terreno.

Recientemente se han propuesto en Alemania varios métodos muy ingeniosos para suprimir las construcciones geométricas que en los anteriores párrafos hemos indicado como necesarias para obtener cada uno de los puntos del plano topográfico deducido de fotografías aéreas.

El doctor Griesel construyó en los talleres de Zeiss una cámara fotográfica, con suspensión Cardan, que tenía un eje de giro horizontal, alrededor del cual podía tomar diversas posiciones desde 0 a 30°, midiéndose éstas en un limbo graduado. Un nivel y una brújula, situados en su interior, giraban alrededor de otros dos ejes paralelos al anterior y podían, mediante los respectivos círculos, colocarse con inclinaciones idénticas a la de la cámara, registrándose automáticamente sus indicaciones mediante dos pequeños objetivos, unidos eléctricamente al principal. Análogos a éste, aunque dispuestos para ser llevados a mano, son los aparatos de los doctores Gall, y Hegershoff y Cranz.

Para obtener de las fotografías procedentes de estas tres cámaras los datos necesarios para la construcción del plano, hay otra serie de aparatos de gabinete que consisten en unas cámaras análogas a las anteriores, montadas en forma tal que, mediante giro alrededor de un eje horizontal, pueden llevarse a la misma inclinación que tenían en el aire al obtenerse la fotografía. La observación de ésta se hace por medio de un microscopio (Hegershoff y Cranz), o un antejo (Pulfrich), montados sobre dos ejes de giro, uno vertical y otro horizontal, cuyos ejes ópticos pasan constantemente por el punto nodal de incidencia del objetivo de las cámaras.

Claro es que las medidas angulares realizadas en esta forma serán idénticas a las que se harían si en lugar de la placa estuviese el terreno que representa. O lo que es igual, si el aeróstato estuviera inmóvil y desde él se efectuaran las observaciones.

Una diferencia esencial existe al llegar a este punto. Hegershoff y Cranz observan la placa directamente, en tanto que Pulfrich lo hace a través de un objetivo fotográfico idéntico al empleado para obtenerla, con lo que se compensan los errores que éste hubiera podido producir en la marcha de los rayos. Es el método empleado hace tiempo en Astronomía y usado por el profesor Koppe desde 1890 en su fotoplancheta.

El ingeniero diplomado T. Fischer ideó un método para determinar la inclinación del eje óptico del objetivo y la del horizonte de la placa, que son los dos datos cuyo conocimiento coloca a las fotografías aéreas en las mismas condiciones para su aprovechamiento que las obtenidas con los aparatos terrestres. Este método, que es de aproximaciones sucesivas, exige, como los de Finsterwalder y Sacconey, el conocimiento de tres puntos del terreno que aparezcan en las fotografías, y ha sido últimamente simplificado por el doctor Pulfrich.

También en el aire se ha pensado utilizar, como en tierra, las ventajas de la fotografía estereoscópica. Para ello, Thielé ideó, en 1908, acoplar dos de sus cámaras múltiples, una a cada uno de los extremos de una viga rígida que colgaba de un globo o cometa; la base era de 2 metros.

Para aumentarla, Dolezal propuso montar cada una de las cámaras en una de las barquillas de un zeppelin.

El único medio de hacer bases aún mayores consiste en obtener las dos semivistas con un mismo aparato desde dos posiciones distintas de un aeroplano que marcha en línea recta. De la velocidad de éste puede deducirse con suficiente aproximación el espacio recorrido, o sea la longitud de la base estereoscópica.

Claro es que el paralelismo entre las dos semivistas no era

fácil de obtener con la necesaria exactitud, y esto hizo que no pudieran aplicarse con fruto en esta forma los métodos estereofotográficos.

Para obviar este inconveniente, el inventor del estereoautógrafo, Orel, el ingeniero Wild, colaborador científico de la Casa Zeiss, y el ingeniero húngaro Vago, están en estos momentos haciendo ensayos para estabilizar la cámara fotográfica montada en un aeroplano, normalmente a la dirección de su marcha, por medio de cuatro giróscopos, y esperan —según hace pocos días me han comunicado— obtenerla pronto, con un error menor de diez segundos de ángulo durante veinte de tiempo en un viraje en ángulo recto del avión.

Si estas esperanzas se confirman, pronto será una realidad la Fotogrametría aérea estereoscópica, que podrá hacer uso del modelo 1920 del estereoautógrafo, y cuyo porvenir no puede ser más brillante, ya que a las ventajas de la terrestre, principalmente la supresión de la identificación de puntos, unirá la de no exigir las laboriosas construcciones y cálculos que hemos indicado como necesarios en la no estereoscópica, y podrá dar directa y automáticamente las curvas de nivel.

\*  
\*\*

Si en las anteriores páginas me he limitado a la aplicación que al levantamiento de planos tiene la fotografía, no es porque ésta sea la única, sino porque, como más general, comprende a todas las demás, que no son pocas ni poco importantes.

Y llegado a este punto de mi disertación, que, repitiendo un dicho conocido, ha sido sobrado larga porque no supe condensarla más, limitaré lo poco con que aun he de molestar de vuestra atención, a las aplicaciones que a las diferentes ciencias y artes puede hacerse de la Fotogrametría estereoscópica, menos conocidas por ser más modernas que las de la ordinaria.

Casos particulares de ella de notable importancia son los estudios de glaciares, que determinan, no sólo su forma exacta en un momento dado, sino las variaciones de ésta con el tiempo; las observaciones métricas de las erupciones volcánicas y sus efectos; la traslación de dunas, desarrollo de erosiones y aterramientos de los terrenos; variación de torrentes; avance o retroceso de playas, y tantos otros problemas de interés para el geólogo.

El hidrógrafo hallará en la Estereofotogrametría el único medio práctico de obtener planos de costas inabordables, colocando su buque paralelamente a ellas, y a proa y popa dos fototeodolitos especiales que, manejados simultáneamente por un contacto eléctrico, darán una vista estereoscópica de la que deducirá aquéllos. Este procedimiento se emplea hace más de quince años en las Marinas alemana, rusa, austriaca, italiana y otras, y ha sido usada además para estudio del alcance de los proyectiles marinos y maniobras de torpederos y pequeñas unidades, sacando, con cortos intervalos, fotografías estereoscópicas desde dos puntos elevados de la costa (Pola, Spezia, etc.). Y si desde un aeroplano se obtienen las fotografías, éstas acusarán claramente la situación y magnitud de los escollos sumergidos que pueden constituir peligro grave para la navegación.

No han sido menores los auxilios que de la Fotogrametría estereoscópica ha obtenido la Astronomía. El astrónomo francés Warren de la Rue obtuvo, hace ya sesenta años, una vista estereoscópica de la Luna, valiéndose de los diferentes aspectos que presenta a causa de la libración; combinando dos fotografías del mismo astro, obtenidas, una por Loewy y otra por Puiseux, en París, compuso el doctor Pulfrich una estereoscópica, cuya base era de 95.000 kilómetros, aproximadamente, la cuarta parte de la distancia que nos separa de aquél.

De dos fotografías obtenidas las noches del 9 y 10 de junio

de 1899 por el profesor Wolf, del Observatorio de Heidelberg, de Saturno, en la constelación de la Serpiente, con base de 1,73 millones de kilómetros (diferencia entre los caminos recorridos en veinticuatro horas por la Tierra y Saturno, que se hallaban casi en oposición), se obtiene un precioso relieve en que el planeta y sus satélites aparecen claramente aislados delante del resto de los astros que ocupan el plano del fondo, y Saturno se halla de nosotros, como sabéis, a unos 1.260 millones de kilómetros. El estudio de esta fotografía valió a su autor, además, el descubrimiento de un nuevo planeta de duodécima magnitud.

No ha sido éste el único astro variable que se ha descubierto por destacarse de los fijos sobre los que aparece; y si de los lejanos venimos a los próximos, podremos estudiar los tamaños y variaciones de los flóculos, manchas y protuberancias solares y medir las montañas y los cráteres de la Luna, y hasta hacer de la parte visible de ésta un plano con curvas de nivel.

La Meteorología podrá conocer, entre otros datos, la altura y movimientos de las nubes, auroras boreales y estrellas fugaces, posición y longitud de los relámpagos, etc.

En terreno enteramente diferente, la Arquitectura y la Arqueología podrán, por medio de vistas estereoscópicas, disponer de los datos necesarios para las plantas y alzados de los edificios o ruinas que les interesen. La regularidad y orden de las formas de éstos podrá permitir una fácil solución del problema, aunque no se disponga del estereoautógrafo, ya que será éste el único caso que podrá resolverse con el sólo auxilio de la perspectiva.

Merecen especial mención en este lugar los interesantes trabajos del doctor Meydenbauer, director del Archivo de Monumentos de Prusia, fundado en 1885, para obtener plantas y alzados de edificios, sin necesidad de tomar medidas sobre ellos mismos, sino sólo mediante fotografías, que primero fueron convergentes para aplicar el método de intersecciones, y hoy pueden con mayor ventaja ser estereoscópicas, si se dispone de los aparatos de gabinete necesarios.

Y no es menor el interés que en multitud de ocasiones presenta el tener un medio de poder seguir, paso a paso, y archivar después, las excavaciones de una ciudad o monumento enterrados que vuelven a la luz del día.

Análogamente, el ingeniero, después de haber obtenido estereofotográficamente un plano exacto para estudiar y replantear sus proyectos, podrá valerse del mismo medio para conservar la historia de la ejecución de sus obras y para cubicar los desmontes o terraplenes y los volúmenes de fábrica que vaya realizando. Y este testigo indiscutible he decidido en más de un caso litigios que de otro modo no hubieran tenido justa resolución.

Si en lugar de emplear los objetivos fotográficos naturales usamos los teleobjetivos, el alcance de la Fotogrametría aumentará enormemente, y podrán obtenerse, como antes de la guerra última y durante ella han hecho varios ejércitos beligerantes, planos detallados de zonas y obras situadas a varias docenas de kilómetros de distancia de la frontera o línea del frente que los fototeodolitos no podían franquear.

*Estereoscopio monocular de eclipse* llamó el doctor Pulfrich a un nuevo aparato, modificación del estereocomparador, ideado por él para comparación de objetos. Si tratamos de comparar dos reglas de precisión, colocaremos cada una de ellas en uno de los soportes del aparato, y mirando con el ocular único de éste las veremos yuxtapuestas, y el gran aumento con que aparecen nos permitirá apreciar la menor diferencia entre ambas y todo error que exista en la que con el patrón se compara. Lo mismo podremos hacer, por ejemplo, con dos espectros.

Podemos también, mediante una disposición mecánica que ha dado nombre al aparato, hacer que los dos objetos aparezcan al-

ternativamente a nuestra vista, cambiándose uno por otro cada medio o cada dos segundos. Si los dos son absolutamente idénticos, ningún cambio notaremos; pero si hay alguna parte en ellos que sea distinta, ésta aparecerá borrosa o móvil, y el resto claro y fijo; esto nos da el medio de descubrir y localizar el error en un billete de Banco o grabado análogo que sea falso, al compararlo con uno legítimo. El mismo efecto producirán las modificaciones hechas en los trabajos de zapa de un ejército comparando fotografías de días sucesivos.

La Astronomía hallará aquí un medio seguro de distinguir las imágenes de los astros de los defectos de las placas que con ellas pudieran confundirse. Y también las estrellas fijas, que en dos fotografías de fechas distintas aparecerán como tales, de las movibles, que darán imágenes borrosas o destellantes.

Los trabajos realizados hace tres lustros por W. Laas desde el buque de guerra alemán *Preussen*, y algo después por el profesor E. Kohlschütter, de Berlín, sobre fotografías de la superficie del mar para estudiar su forma y movimientos, han tenido recientemente (1919) interesante continuación en los del doctor Karl Zaar de Brünn (Austria).

Propúsose éste estudiar la forma exacta de la superficie del agua en movimiento en diferentes condiciones. Construyó un modelo del río Elba en un tramo en que está encauzado por medio de espigones transversales y con una cámara Selke Zeiss, cuya base estereoscópica puede variar entre 28 y 50 centímetros, obtuvo una serie de fotografías instantáneas al magnesio, del agua que por él corría, con una velocidad igual a la medida en el río. De ellas dedujo un precioso plano de la superficie del agua con curvas de nivel cada 5 milímetros.

Para hacer ésta más visible echaba en su superficie papelitos que daban en la placa una imagen más o menos alargada, según la velocidad del líquido en cada punto, y, además, marcaban la dirección de su trayectoria.

También otra serie de experimentos le dió la forma de la onda producida en el agua por el paso de un buque a diferentes velocidades. Combinando este dato, referente a varios perfiles del casco, con la medida de la resistencia que a su marcha se oponía, seguramente podrá deducir consecuencias interesantísimas para la arquitectura naval.

Finalmente, para terminar vuestro suplicio al escucharme, que lo es también mío, al verme obligado por mandato reglamentario, a proporcionároslo, os diré que, de la combinación de varios de los aparatos enumerados, se ha formado el *estereoautoplástico*, el cual, de varias fotografías estereoscópicas simultáneas de una persona o escultura, obtenidas con una misma cámara por medio de combinaciones apropiadas de espejos, deduce una escultura idéntica, que una herramienta especial labra en un bloque, sin más que seguir con un estilete en el relieve estereoscópico de la fotografía las formas del modelo.

\*  
\* \*

Hemos llegado, señores, al término de mi pobre disertación, que sólo por imperio de vuestros Estatutos puede llamarse discurso científico, y únicamente ha sido, como habéis visto, una enumeración incompleta y desabrida de algunos de los horizontes que la Fotogrametría ha abierto a las ciencias puras y aplicadas.

Pero ved que de esta pobreza científica, si yo soy el autor, sois vosotros mis cómplices; me llamasteis a vuestro lado sin mérito alguno para ello. Sólo me quedaba el recurso de acudir a vuestro llamamiento con mi escaso bagaje de conocimientos, sin olvidar que no a éste, sino a vuestra extremada benevolencia, debo el honor que en estos momentos me dispensáis.

## CONTESTACIÓN

DRL

EXCMO. SR. D. AMÓS SALVADOR

Señores:

No puedo pedir a mi pluma que escriba una sola palabra para esta solemnidad, motivada por la pérdida del Sr. Arrillaga, porque se negaría a ello, alligida y apesadumbrada, si no dedicara las primeras a su memoria.

Nada tengo que añadir a lo dicho tan elocuentemente por el nuevo académico, que tan a maravilla ha dibujado la respetable figura del hombre de ciencia, activo, trabajador, perseverante, estudioso y cultísimo, así como del caballero intachable, honrado y austero; pero no puedo excusar yo el recuerdo, en homenaje del amigo queridísimo, con quien he vivido muchos años en armonía perfectísima, y del secretario que compendia en sí toda la Academia, que era la Academia misma, y, además, ordenada, seria, ejemplar y estimable. Reciba, pues, en el Cielo, morada perdurable de los buenos, el abrazo cariñoso que mi amistad le dedica.

Viene a reemplazarle un hijo de Torroja; de aquel Torroja compañero y amigo nuestro tan admirado y querido; de aquel Torroja tan virtuoso y tan sabio; de aquel Torroja, al que, con sólo que procure parecersele, tendrá bastante su hijo para ser memorable.

¡Y ya se le parece!

¡Y ya es también memorable!

¡Porque, por parecersele, es ya esclarecido geómetra!

Nació el 11 de marzo de 1884.

Se hizo licenciado en Ciencias Exactas en 1904, con nota de sobresaliente y premio extraordinario, ingresando el mismo año en la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Doctor en Ciencias en 1907, versó su tesis doctoral sobre «Fototopografía Teórica y Práctica» y fué calificado de sobresaliente.

Mediante oposición obtuvo el premio extraordinario del Doctorado.

El mismo año, estando en la Escuela de Ingenieros, fué invitado por el profesor Ed. Dolczal, rector de la Escuela Politécnica de Viena, para figurar como colaborador fijo en el *Internationales Archiv für Photogrametrie*, revista científica dedicada exclusivamente a los progresos de la fotogrametría.

Ingeniero de Caminos en 1909, con el núm. 1 y nota de «muy bueno», fué pensionado al terminar la carrera por la Escuela del ramo para ir a varios países en viaje de estudios. Visitó en Viena el Instituto Geográfico Militar y asistió a los primeros pasos del estereoautógrafo de Orel.

A su regreso sirvió al Estado cinco meses en la División hidráulica del Ebro, y quedó supernumerario para colaborar en el magno proyecto de los riegos del Alto Aragón, donde estuvo dos años.

Terminado este estudio, volvió al extranjero, pensionado por la Junta de Ampliación de Estudios, para estudiar esta vez los métodos fotogramétricos en Alemania, Austria, Francia y Rusia, presentando a su regreso una Memoria titulada *Levantamiento de planos por medio de la fotografía estereoscópica*, publicada en 1913 en el tomo XI de las *Memorias de los pensionados*.

En 1912 fué nombrado, por concurso, ingeniero geógrafo, y dos años más tarde le encargó la Dirección del Instituto Geográfico y Estadístico del ensayo del método estereofotogramétrico en la Sierra del Guadarrama. En virtud de los excelentes resultados