

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)

Volviendo al problema del cambio de planos, tal como hace unos instantes quedó enunciado, veremos que si las dos proyecciones conocidas son dos fotografías, y la que se busca una proyección ortogonal sobre un plano horizontal, ésta no será otra cosa que el plano topográfico deducido de aquéllas.

Esta es la Fotogrametría ordinaria o Método de intersecciones aplicado por Laussedat y estudiado teóricamente por Terrero y Hauck.

Observemos la diferencia notable que de lo dicho se deduce entre la determinación del punto y de la recta.

Las tres proyecciones de un punto en el espacio desde tres centros y sobre tres planos de proyección cualesquiera tienen entre sí una relación trivalente o de triple enlace, como puede verse observando que, dada arbitrariamente una proyección, la segunda viene ya sujeta a una condición (la de estar sobre una recta determinada), y la tercera queda ya completamente definida, lo cual exige otras dos condiciones. Las proyecciones de una recta, en cambio, están sujetas a dos condiciones solamente, y éstas determinan la tercera, dadas arbitrariamente las otras dos; la relación es aquí bivalente o de doble enlace.

Esto procede de que en el plano, tanto el punto como la recta dependen en su posición de dos parámetros, y en el espacio, el punto depende de tres y la recta de cuatro. Por eso hay un grado más de libertad en la determinación de la recta por sus proyecciones que en la del punto.

Las construcciones arriba esbozadas permiten resolver el cambio de planos, problema fundamental de la Fotogrametría ordinaria, por medio de construcciones efectuadas en los tres planos de proyección. Puede hacerse lo mismo, con mayor sencillez, operando sobre un solo plano. Basta para ello abatir los planos de las dos fotografías sobre el del topográfico que se va obtener, y aplicar a este caso particular el teorema de Mc. Laurin-Braikenridge.

Y simplificando aún más, puede construirse un sencillo aparato, publicado en un trabajo nuestro que vió la luz el año 1907 en la revista de esta Real Academia, mediante el cual, sin más que recorrer con dos estiletes las imágenes de una línea del terreno en dos fotografías, un lápiz dibuja automáticamente la planta o proyección horizontal de la misma en el plano topográfico.

Aunque de especial interés y ninguna dificultad, se saldría de los estrechos límites de este discurso el estudio detenido de la «relación trivalente trilineal» que existe entre las tres proyecciones de una figura de tercera categoría, y el modo general cómo, dados los puntos conjugados de dos planos, podemos determinar el del tercer plano que forma terna con ellos; la imposibilidad de obtener este resultado para los puntos de los ejes singulares de las tres figuras planas y los procedimientos especiales que nos permiten llenar esta laguna.

Y otro tanto puede decirse de los interesantes y curiosos problemas de «determinación de los puntos principales de cada proyección o fotografía», o sea de la imagen sobre ella del centro de proyección de la otra, en función de las imágenes de un cierto

número de puntos en las vistas, resuelto en su caso más general, analíticamente, por Hesse, y, geométricamente, por Sturm.

Hemos estudiado anteriormente las relaciones que ligan las tres proyecciones de una figura en el espacio, obtenidas desde tres centros sobre tres planos, suponiendo que tanto estos planos como aquellos centros se hallaban en la oposición en que se obtuvieron aquellas proyecciones. Pero puede presentarse el caso de tener sólo dos o más de estas proyecciones o fotografías de un objeto con cierto número de datos complementarios, y proponernos el problema de deducir de ellas la forma y dimensiones de éste.

El profesor Finsterwalder ha condensado los resultados de sus investigaciones sobre estos problemas de la orientación de las fotografías en el teorema siguiente, en cuya demostración no podemos entrar.

Dos fotografías y cinco medidas (es decir, cinco dimensiones del objeto), o *tres fotografías y tres medidas*, o *cuatro fotografías y una medida*, determinan el objeto de una manera unívoca.

Cuestiones son todas éstas de interés puramente especulativo, pero de las que para nada necesita la práctica de los métodos fotogramétricos, atendida sólo a sencillos casos particulares.

Es, entre ellos, el fundamental de la Fotogrametría aérea el de hallar en el espacio la posición del punto de vista y del plano de la imagen fotográfica obtenida desde él.

En el terreno de la Geometría, podría enunciarse en la forma siguiente: «Determinar el vértice de una radiación que tenga como sección plana una figura dada y cada uno de cuyos rayos pase por un punto de posición fija, sabiendo, además, que aquella sección se ha obtenido proyectando estos mismos puntos desde un centro desconocido». Esta última condición es necesaria, pues sin ella el problema sería, en general, imposible.

Pasaremos por alto el estudio de los problemas de Steiner y de Dolezal y otros análogos —aunque más generales— que nosotros hemos resuelto, así como la discusión del problema general; notaremos sólo que el conocimiento del centro y plano de proyección buscados exige seis condiciones para determinar las tres coordenadas de aquél y los tres coeficientes de la ecuación de éste. O lo que es igual, las nueve coordenadas de tres puntos de la fotografía, que se reducen a seis incógnitas por conocerse en ésta las tres distancias que separan cada dos de aquéllos.

Numerosos son los casos de aplicación práctica a que antes hicimos referencia, según se conozcan o no datos especiales, como la distancia focal de la cámara fotográfica, ángulo de inclinación de la placa respecto de la vertical, centro de la misma, haces de rectas paralelas que en ellas se observan, dirección de una recta de horizonte, etc., etc.

Con la enunciación escueta de algunos de estos problemas, única que cabe en los estrechos límites del presente trabajo, terminaremos este rápido estudio del problema de la orientación de las vistas, de gran importancia en la Fotogrametría aérea, más complicada que la terrestre por la imposibilidad en que aquélla se encuentra de hacer en su móvil elemento las observaciones precisas que son fáciles en tierra firme.

* * *

El interés y aprecio con que en España y Francia fueron seguidos los primeros pasos de los trabajos de Laussedat no duraron mucho. En nuestra patria, muerto Terrero, en 1878, transcurrió un cuarto de siglo sin que apenas se viera trabajo ni publicación alguna referente a estos asuntos. En Francia, el mismo Laussedat tuvo que luchar penosamente para que el Estado le facilitara algunos recursos con que perfeccionar y aplicar su sistema y sus aparatos; al estallar la guerra franco-prusiana de 1870

(1) Véase el número anterior.

acababan de suprimirle toda subvención, «por razón de economía». ¡Y bien caro hubo de pagar este ahorro la imprevisión de tal medida! Sólo en las últimas semanas del sitio de París, Laus-sedat, que se hallaba en su interior, consiguió el restablecimiento de su servicio para efectuar reconocimientos y levantamientos de las posiciones del sitiador; pero la firma del armisticio le sorprendió sin haber podido dar comienzo a este trabajo, ocupado como estaba en otros asuntos. Formó luego parte de la Comisión mixta para delimitación de las fronteras de los territorios de Alsacia y Lorena, y ¡cuál no sería su asombro cuando al ser presentado al general von Straetz, presidente de la Comisión prusiana! éste le felicitó calurosamente por sus trabajos y métodos, que habían prestado brillantes servicios al Ejército alemán en toda la campaña y especialmente en los sitios de Estrasburgo y del mismo París!

A partir de este momento, siguió Alemania perfeccionando su servicio fotogramétrico militar y aplicándolo con éxito creciente, no sólo a los trabajos militares, sino a los geográficos de montaña en el territorio nacional y de sus colonias, siendo dignos de especial mención los estudios que sobre la parte teórica de la Fotogrametría han realizado numerosos investigadores, entre ellos el profesor de la Escuela Politécnica de Munich, Sebastián Finsterwalder, quien, en colaboración con varios alumnos que dedicaron a ello su Memoria doctoral, ha hecho detenidos estudios sobre varios problemas interesantes que en aquélla se presentan.

No quedó Austria rezagada en este camino, y buena prueba de ello son los interesantísimos levantamientos hechos, a partir de 1890, por el Instituto Geográfico Militar de Viena, bajo la dirección del general von Hübl, y las publicaciones del más alto interés científico de los profesores Schiffner, Schell, Steiner y Dolezal.

Dignade especial mención es la Sociedad internacional de Fotogrametría, fundada en Viena el año 1908, bajo la dirección del rector de la Escuela Politécnica de esta ciudad, profesor Eduardo Dolezal, uno de los más ilustres propagadores de este género de estudios.

Constituida por hombres de ciencia, ingenieros, aviadores y cuantas personas se interesan por las aplicaciones de la fotografía a la medida, pudo reunir en su revista *Archivos Internacionales de Fotogrametría* cuanto de interesante en su especialidad se hacía en los diferentes países hasta el año 1914, en que con motivo de la guerra europea suspendió aquélla su publicación.

En Italia Porro publicó en 1855 un interesante trabajo sobre la *Aplicación de la fotografía a la geodesia*, y veintitrés años después comenzó a ocuparse seriamente en el asunto el Instituto Geográfico Militar de este país, primero bajo la dirección del general Aníbal Ferrero, y después del ingeniero Pío Paganini, habiéndose levantado en campañas sucesivas el plano de una gran extensión de la zona de los Alpes.

En el Observatorio meteorológico de Upsala (Suecia) se empleaba ya en 1877 el método fotogramétrico para determinar la altura de las nubes y corrientes de aire, y en 1882 el profesor G. de Geer obtuvo por este mismo método el plano de varios glaciares de Spitzberg.

En Suiza se aplicó la fotografía al mapa nacional desde el año 1889, y con ella hizo Simón el notabilísimo plano de la Jungfrau, sobre el que estudió el ferrocarril que hoy conduce a su cumbre.

Los métodos de Laussedat se han aplicado en gran escala en América del Norte, sobre todo en 1899, para determinar los límites del Canadá con el territorio de Alaska, que Rusia acababa de ceder a la república norteamericana.

Estos trabajos fueron dirigidos por el capitán C. Deville, hoy director del Instituto Geográfico del Canadá, quien antes y después, en diferentes campañas, levantó fotográficamente el mapa de las montañas Rocosas, venciendo de este modo inconvenientes de clima y aislamiento que imposibilitaban en absoluto el empleo de los métodos corrientes.

Y también se han efectuado trabajos interesantes con el método de intersecciones en diversas fechas en Rusia bajo la dirección del ingeniero de Caminos Thielé; en Nueva Zelanda, por Heimbrod; en la India, con el fototeodolito inglés de Bridges-Lee, sin olvidar el plano del Mont-Blanc hecho por los hermanos Vallot, única aplicación de la fotogrametría que puede señalarse como de alguna importancia en su país de origen.

Bastan los datos consignados en las anteriores páginas para dar idea del desarrollo que alcanzó la aplicación de la fotografía al levantamiento de planos o método de intersecciones.

Las ventajas de éste sobre los anteriormente empleados son evidentes en caso de alta montaña, como muchos de los que hemos ido enumerando, en que hay verdadero interés en abreviar la duración de las operaciones de campo por un lado, y por otro la intrincada constitución que suele tener el relieve de estos terrenos da un valor inestimable a los croquis perfectos que proporcionan las placas, que son la única garantía de la exactitud de la representación que queremos obtener.

* *

En las anteriores páginas hicimos notar la extraordinaria rapidez con que la topografía utilizó como auxiliar a la *fotografía*, apenas comenzó ésta a constituir una realidad.

Y he aquí que contrastando con tal presteza, dejó transcurrir siglos enteros sin pensar en la posibilidad de hacer otro tanto con la *estereoscopia*, que no es en el fondo sino la visión binocular, natural en el hombre.

Sabe éste, desde que comienza a darse cuenta de sí mismo, que puede, con ayuda de la vista, distinguir los diferentes términos en que están repartidos los objetos que le rodean, e instintivamente efectúa la medición de las distancias relativas de las desigualdades del terreno sobre que camina y sabe el impulso que ha de dar a una piedra, por ejemplo, para hacerla llegar a un punto determinado.

Como la percepción del relieve, base de la medición estereoscópica de las distancias, tiene para la vista normal del hombre un límite que la práctica enseña oscila alrededor de los 450 metros, más allá del cual todos los objetos aparecen como situados en un mismo plano de frente, para salvarlo ideó los gemelos de campo y pudo con ellos ver el relieve a muchos kilómetros de distancia.

Y, sin embargo, parecía haber una imposibilidad para la medición del relieve observado; se sabía qué estaba delante y qué detrás; pero no se pensaba poder medir cuánto, es decir, la distancia relativa entre dos puntos. Faltaba la escala que poder manejar en el campo para por medio de ella poder saber la distancia a que de nosotros se encontraban los puntos que por la visión estereoscópica víamos coincidir con sus distintas divisiones.

Un ingeniero alemán, Héctor Groussillers, fué quien ideó el modo práctico de construir esta escala; lo comunicó en 1893 a la Casa Carlos Zeiss, de Jena, para aplicarle al tele-estereoscopio de Helmholtz, y para lograr tal resultado se valió de la misma estereoscopia a que ha de aplicarse.

Imaginemos una regla de un kilómetro de longitud, dividida y numerada. Hagámosla girar alrededor de su origen, que situaremos fijo en un punto de estación. Para saber la distancia a que de éste se halla uno cualquiera del terreno bastaría mover aquélla convenientemente para que se apoye sobre él, y leer el núme-

ro escrito en la división con que este punto del terreno coincide. Esta regla material es irrealizable, pero puede sustituirse por su imagen en relieve, obtenida marcando en el plano focal de cada uno de los dos sistemas ópticos de los gemelos su correspondiente imagen fotográfica; estas dos imágenes darán, al ser observadas simultáneamente, la misma apariencia que la regla real, y los movimientos de la escala virtual que de tal modo hemos construido se darán sin más que mover los gemelos.

Esta es la base de los telémetros estereoscópicos de Zeiss, proyectados por su colaborador técnico, el doctor Carlos Pulfrich.

Y aquí notaremos una circunstancia curiosa que nos recuerda al gran compositor alemán escribiendo partituras sublimes que no pudo oír jamás. El doctor Pulfrich, uno de los hombres que más han estudiado y hecho progresar la estereoscopia, carece de visión estereoscópica, porque, a consecuencia de un accidente, perdió uno de sus ojos.

Los gemelos estereoscópicos podrían emplearse en lugar de la disposición estadimétrica de los aparatos topográficos, con la ventaja de suprimir el empleo de las miras y de dar la distancia por una simple lectura. Dificultades de orden práctico han impedido que esta solución se generalizase, merced, no obstante, especial mención entre los aparatos ideados para realizarla el *corógrafo* proyectado por el coronel Monet.

La estereoscopia ha vencido la parte más difícil del problema de la topografía, y, sin embargo, no se atreve a resolverlo por completo por sí sola.

(Continuad.)

El agua en la industria y en la agricultura.

No es lícito en los tiempos actuales dejar sin explotar las fuentes de riqueza naturales, y por el contrario, el problema se plantea en todas partes en el sentido de la utilización al máximo de dichas fuerzas naturales. La competencia mundial en todos los órdenes de la economía exige hoy más que nunca que cada nación procure bastarse a sí misma, principalmente en la producción de subsistencias, dejando de ser feudataria del extranjero, y esto conduce al postulado de utilizar de la manera más ventajosa posible, y hasta el límite que consienta la competencia, los recursos naturales que el emplazamiento geográfico, la constitución geológica, la altitud, el clima, etc., etc., son peculiares de cada país.

Tal es la tendencia que se observa en todas partes como crecimiento de las necesidades humanas subsiguientes al progreso científico, llegándose en este terreno hasta el intento de transformación de los principios jurídicos que han regido secularmente el derecho de propiedad de la tierra, considerándola como fuente de riqueza nacional; intento que apunta por todas partes; que prescindiendo de radicalismos de escuela a nadie repugna ya en principio, y que se reduce a sustituir el *jus utendi et abutendi*, por el principio de la explotación más ventajosa en beneficio del poseedor y de la sociedad.

El agua es una de las riquezas naturales que por su índole especial se ha sustraído, acaso más que ninguna, a la apropiación particular, conservando en general el carácter de riqueza pública, y hasta tal punto es esto verdad, que los que la utilizan no se denominan propietarios, sino usuarios o concesionarios, a quienes el Estado, mediante condiciones determinadas para fines definidos y en cantidades limitadas, cede el uso temporal o indefinido de la misma, siempre con miras al desarrollo de la riqueza pública.

En España el Estado, abriendo liberalmente la mano con criterio acertado, a nuestro juicio, ha venido legislando desde mediados del siglo pasado para dar facilidades al interés particular en los aprovechamientos de aguas, considerando que tarde o temprano, y merced a estos estímulos, habrían de desarrollarse empresas creadoras de riqueza, tanto por el empleo del agua en riegos, como en la industria. Así ha sucedido, en efecto, notándose el gran predominio de numerosas concesiones fraccionarias o pequeñas sobre los grandes aprovechamientos para riegos y fuerza; y como simultáneamente no se ha preocupado el Estado del aumento de dotación o caudal de los ríos por medio de pantanos en la medida de las concesiones hechas, se ha llegado a un punto, o por lo menos estamos en un camino peligroso, que de seguir por él y no cortar a tiempo, podría dar lugar a un semillero de cuestiones que no bastaría a evitar la condición impuesta a todas las concesiones de que la Administración no responde de la falta o disminución del caudal de la corriente. Y no es el mayor peligro el de seguir haciéndose concesiones indistintamente sin tener asegurada la correspondiente dotación, inhibiéndose el Estado mediante la fórmula citada, sino el de no utilizar hasta el máximo la riqueza que representa el agua por destinarla a fines menos reproductivos de los que tal vez pudiera tener en otras aplicaciones, puesto que las concesiones se hacen sin más criterio que la prioridad en la petición.

Ha llegado, según nuestra creencia, el momento de que con toda urgencia, y con unidad de plan para cada cuenca, se estudie el mejor aprovechamiento integral de sus recursos hidráulicos, que debe comprender la construcción por el Estado de todos los pantanos económicamente posibles, la ordenación de los aprovechamientos, no otorgándose concesiones a particulares más que con cargo a dichos pantanos y sólo del agua sobrante de los aprovechamientos generales que el Estado se reserve construir, limitando la duración de dichas concesiones según su importancia y destino y, sobre todo, determinando para cada cuenca la clase de aprovechamiento preferente para obtener el máximo beneficio.

En realidad, se dirá, ya está determinado (y muy bien, a nuestro juicio) este orden de preferencia en la sabia ley de Aguas de 1879; pero, lo repetimos, como el único criterio para hacer concesiones no es otro que la prioridad, ocurrirá, seguramente, como ha sucedido hasta aquí, que se hagan peticiones para fines que ocupen un lugar posterior en la lista de preferencia de la citada ley de Aguas con anterioridad a otras que pudieran ser más útiles; y esto, no siendo ilimitados los recursos de agua, pudieran dar lugar a pérdidas de riqueza lamentables tratándose de grandes dotaciones.

Y creemos que no se puede dejar de la mano esta cuestión y que es este el momento oportuno para acometerla, porque llegamos a dudar que si hoy hubiera que volver a hacer la ley de Aguas, tal vez no se pusiera el aprovechamiento para riegos antes que para usos industriales, ya que hay mucha opinión aún entre los técnicos, equivocada, a nuestro juicio, que señala a nuestra Patria como dotada especialmente para la producción de fuerza hidráulica por la gran altitud de sus cuencas y de las cordilleras origen de nuestros ríos. Modernamente ha aumentado este peligro ante la seductora idea de la electrificación de nuestros ferrocarriles mediante la hulla blanca; bonita palabra con la que se pretende sustituir a la negra, cara y sucia hulla clásica.

Contribuye a aumentar los adeptos a esta idea la creencia, también modernísima, de que España en sus mesetas centrales, por la desigualdad de su clima, la falta de lluvias y el esquilmo de su suelo, agotado por largos años de cultivo sin abono, no puede ser país agrícola; y nosotros, reconociendo estas malas cualidades y acaso con mayor motivo por reconocerlas, creemos que