

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.

TOPOGRAFÍA MODERNA

La Estereofotogrametría en 1915.

Conferencia dada en el Instituto de Ingenieros Civiles por don José María Torroja, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

SEÑORES:

Entre los múltiples y variados principios que el siglo XIX aplicó por vez primera á la medición de distancias, descuellan, muy especialmente, dos, que nacieron en fechas muy distantes, se desarrollaron por diversos caminos y acaban de fundirse en una, aun no hace un lustro, constituyendo una de las ramas más fecundas del arte de la medida en general y en particular de la Topografía.

Me refiero, como habréis adivinado, á la Fotografía y á la Estereoscopia.

Los servicios inestimables que á la Topografía han prestado la Fotografía y la Estereoscopia, separadas primero y conjuntamente después; el haceros ver cómo la *Fotografía* llegó á permitir la construcción de planos topográficos en condiciones prácticamente ventajosas; cómo mucho después de lograrse este resultado comenzaba á aplicarse científicamente la *Estereoscopia*—que en el fondo no es otra cosa que la visión binocular natural en el hombre—á la medición de distancias, y de este problema particular iba á la resolución del más general de la *Topografía*, estando á punto de lograrla cuando perdió este método estereoscópico su independencia para auxiliar al fotográfico ó ser auxiliado por él; y cómo, finalmente, nacía y triunfaba la *Fotografía estereoscópica*, empleada en el campo de modo análogo á la ordinaria y suprimidos sus trabajos de gabinete por el maravilloso aparato de Orel, que dibuja automáticamente el plano con barrancos y caminos y hasta curvas de nivel, sin más que observar las fotografías por un binocular y manejar convenientemente dos manubrios; tal es el objeto de la conferencia que en este sitio voy á pronunciar, cumpliendo el mandato—que tal es para mí—expresado en forma de insistente invitación por algunos de vosotros, jefes y maestros míos, que creísteis que á tan ilustre y sabio auditorio podía interesar

lo que no es sino una lección de Topografía, estudiada teórica y prácticamente por quien para ello cuenta solamente con una regular asiduidad y con un entusiasmo bastante mayor.

I.—BREVE IDEA DE LA FOTOGRAMETRÍA ORDINARIA.

Apenas había salido la fotografía del Laboratorio de Daguerre, en 1839, cuando Arago declaró públicamente en la Academia de Ciencias de París y en la Cámara de los Diputados su creencia de que el nuevo invento había de poderse aplicar con fruto á los trabajos topográficos. Esta intuición dejó de ser tal para convertirse en un procedimiento de aplicación práctica, cuando diez años después comenzó el entonces Capitán francés Aimé Laussedat sus interesantes trabajos, estimulados poderosamente por la distinción que la Real Academia de Ciencias de Madrid le concedió en un Concurso de premios, á propuesta del ilustre Académico y General español Antonio Terrero, y cuyo resultado fué el método fotogramétrico que todos conocéis.

Completamente ocioso sería hacer aquí un estudio detallado de este método, del que nada podría añadir á lo que hace años figura en todos los buenos tratados de Topografía. Me permitiréis, sin embargo, que me detenga unos instantes á recordar algunas ideas de su fundamento, que más adelante han de ser útiles al comparar este procedimiento con el de las paralajes, que ha venido á sustituirle, y que constituye el objeto principal de esta conferencia.

Una cámara fotográfica nos da, con tanta mayor perfección cuanto mejores sean su objetivo y sus placas, una perspectiva de los objetos que reproduce. El conjunto de rayos luminosos que unen el centro óptico de aquél con los diversos puntos de éstas es lo que en Geometría se llama una radiación de primer orden. Dos radiaciones de este género, deducidas de otras tantas fotografías de un mismo cuerpo, nos determinan todos los puntos de éste, por intersección de sus pares de rayos homólogos. Este es el fundamento de la fotogrametría ordinaria y del nombre de «método de intersecciones» con que también suele designarse.

El modo de obtener prácticamente un plano topográfico por este sistema se deduce de lo expuesto.

Elegidos en el campo dos puntos que dominen gran extensión común de terreno, se obtienen desde ellos dos fotografías y se mide la distancia que los separa y los ángulos que la recta que los une forma con el plano horizontal y los de las dos placas, que habrán de ser precisamente verticales.

Ya en el gabinete, se dibuja en un papel á la escala que se desee la proyección horizontal de aquella recta OO' (fig. 1.^a); por sus extremos O y O' las proyecciones de los ejes de la cámara en sus dos posiciones Oo y $O'o'$; desde O y O' se lleva sobre estas rectas la distancia focal de la cámara en verdadera magnitud, y por los extremos o y o' se trazan las perpendiculares op y $o'p'$, que serán las trazas de los planos de las placas.

Preparada así la hoja de dibujo son necesarias las siguientes operaciones para construir el plano: obtención de buenas

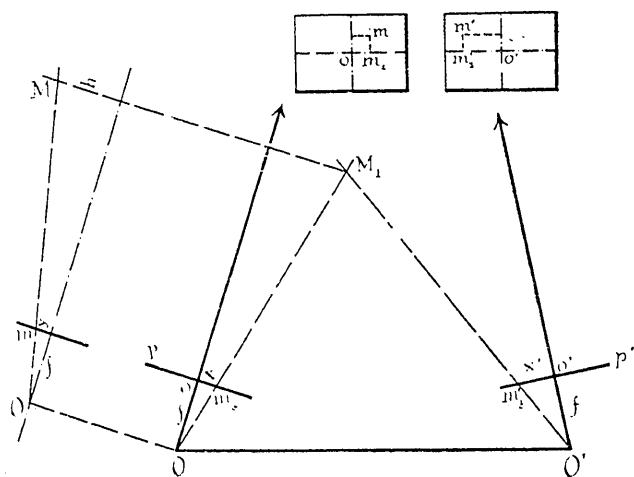


Fig. 1.^a

positivas en papel de los negativos impresionados en el campo; determinación en cada una de aquéllas de las trazas de los planos horizontal y vertical que pasan por el eje óptico de la cámara (1); reconocimiento de las imágenes de cada punto interesante en las dos fotografías, designándolos por un mismo número que junto á ellos se escribe; proyección de cada punto así marcado sobre las rectas de horizonte y principal que anteriormente fijamos en la vista que le contiene.

Realizadas las operaciones preliminares que acabamos de enumerar, la posición de un punto M en el plano se obtiene llevando sobre las trazas op y $o'p'$, á partir de o y o' y en el sentido conveniente, las abscisas om_1 y $o'm'_1$, y uniendo m_1 con o y m'_1 con o' y hallando el punto de intersección de estas dos rectas en M_1 . La cota del mismo se construye, como se ve en la citada figura, como cuarta proporcional entre la ordenada y de una de las placas, la distancia M_1O á la estación en que ésta se obtuvo, y la distancia focal conocida de la cámara.

El procedimiento que acabamos de explicar es sencillo y ha prestado relevantes servicios en infinidad de trabajos extensos, con exactitud comparable á la que alcanzan los métodos no fotográficos. Contados son los países en que, antes ó después, no se ha empleado el método de Laussedat para el levantamiento de planos de regiones montañosas y elevadas, y el área total de estos trabajos es enorme.

Citaremos, eligiéndolos al azar, los de la brigada Javary (1863-71) y el plano del Montblanch, comenzado en 1892 por José y Enrique Vallot, en Francia; los ingeniosos sistemas aplicados por Meydenbauer en el Archivo de Monumentos de Alemania; la delimitación de fronteras entre Chile y Argentina (1902) y de Alaska con Canadá, efectuada la última por el Capitán Deville que levantó, también fotográficamente, el plano de las montañas Rocosas; Flemer sigue en los Estados Unidos la tradición de los métodos fotográficos, empleados ya por los unionistas en la guerra del 60; Paganini levanta en Italia el plano de los Alpes; Simón el de la Jungfrau, que había de ser-

vir de base para el estudio del ferrocarril que conduce á su cumbre; y el Reino Unido, el Japón, Rusia, Australia, Alemania, Austria, las Indias inglesas y la Colonia del Cabo tampoco quedan atrás en este terreno.

Desgraciadamente, nuestra Patria no siguió el impulso que el General Terrero le diera en 1862, proponiendo en la Academia de Ciencias el premio antes citado, y publicando el primer estudio teórico que se conoce de estas cuestiones (1), y los reducidos trabajos del Ingeniero de Minas Pié, los Agrónomos Ariarte y Navarro, el Teniente coronel de Estado Mayor Más y Zaldúa y el Comandante del mismo Cuerpo, Galbis, son los únicos que podemos mencionar.

Las predicciones de Arago se confirmaron plenamente y el método de intersecciones se ha reconocido hasta hace poco como insustituible para trabajos topográficos de alta montaña. Como muestra de éstos pueden verse las fotografías (números 1 y 2) del Canadá (Selking Range) y el plano (núm. 1) que de ellas y otras análogas se dedujo.

La ventaja del método fotogramétrico sobre sus antecesores es evidente en casos como el que acabáis de examinar, en que hay verdadero interés en abreviar la duración de las operaciones de campo, por un lado, y, por otro, en que la intrincada constitución del relieve del terreno da un valor inestimable á los croquis perfectos que proporcionan las placas, y que son la única garantía de la verdad de la representación que tratamos de obtener. Fácil es formarse idea de las dificultades insuperables que en este terreno hubieran presentado los procedimientos no fotográficos. En estas regiones elevadas, cuya temperatura las hace accesibles sólo en contadas semanas durante el verano, cuya aridez y falta de poblados y vías de comunicación hace tan penosa la estancia en ellas, y en las que las densas nieblas y los vientos huracanados acortan aún aquel breve plazo, cada hora de trabajo lo es de suplicio para el operador; y éste podrá durante una hora ó dos obtener un par de fotografías que abarquen una extensa zona, pero no es posible exigirle que aproveche una larga jornada para hacer estaciones de taquímetro con las consiguientes operaciones de colocación de miras, que será lentísima é incompleta, lecturas en el aparato, que no podrán merecer gran confianza, y dibujo de croquis, que frecuentemente resultarán ininteligibles en el gabinete por la confusión y multiplicidad de sus detalles.

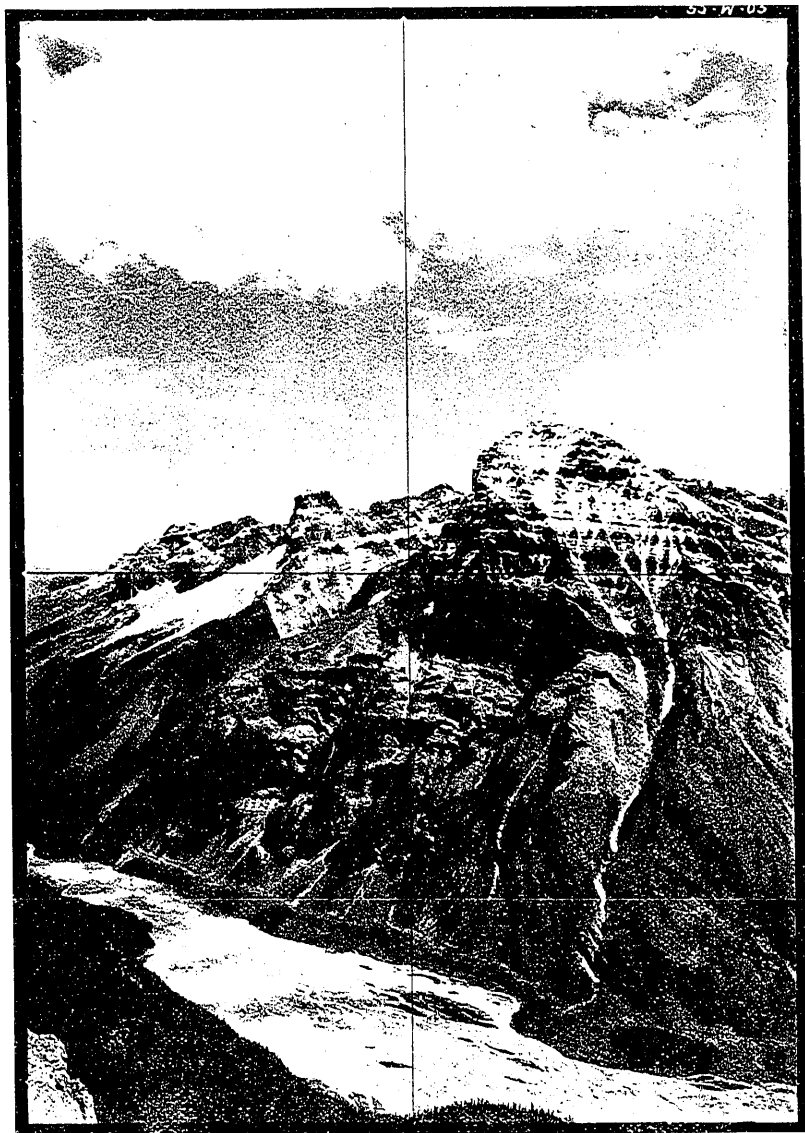
Antes de dar por terminada esta ligera excursión que por los campos de la Fotogrametría ó Fototopografía ordinarias hemos realizado, diremos que la teoría completa de los problemas que en ella se presentan ofrece interés muy especial para el geómetra y vasto campo para sus estudios é investigaciones. Tomada en conjunto, es uno de los capítulos más interesantes de la Geometría descriptiva, que pudiera titularse, como ya lo hice en otro trabajo (2) «Sistema general diédrico de representación» por contener como caso particular el de Monge. Aplicando á este caso concreto el teorema de Mac Laurin-Braikenridge ideé un sencillo aparato que construiría automáticamente un plano topográfico, deduciéndolo de dos fotografías y de ciertos datos complementarios.

No son menos interesantes los problemas auxiliares que en Fototopografía se presentan, y muy especialmente el de la «orientación de las vistas», ó sea la determinación del punto desde el cual se obtuvo una fotografía dada, cuando no se con-

(1) Estas rectas pueden determinarse automáticamente en el campo.

(1) «Sur une question de priorité à propos du Théorème de Hauck», par le Dr. José María Torroja. (En *Internationales Archiv für Photogrammetrie*). Viena, 1910.

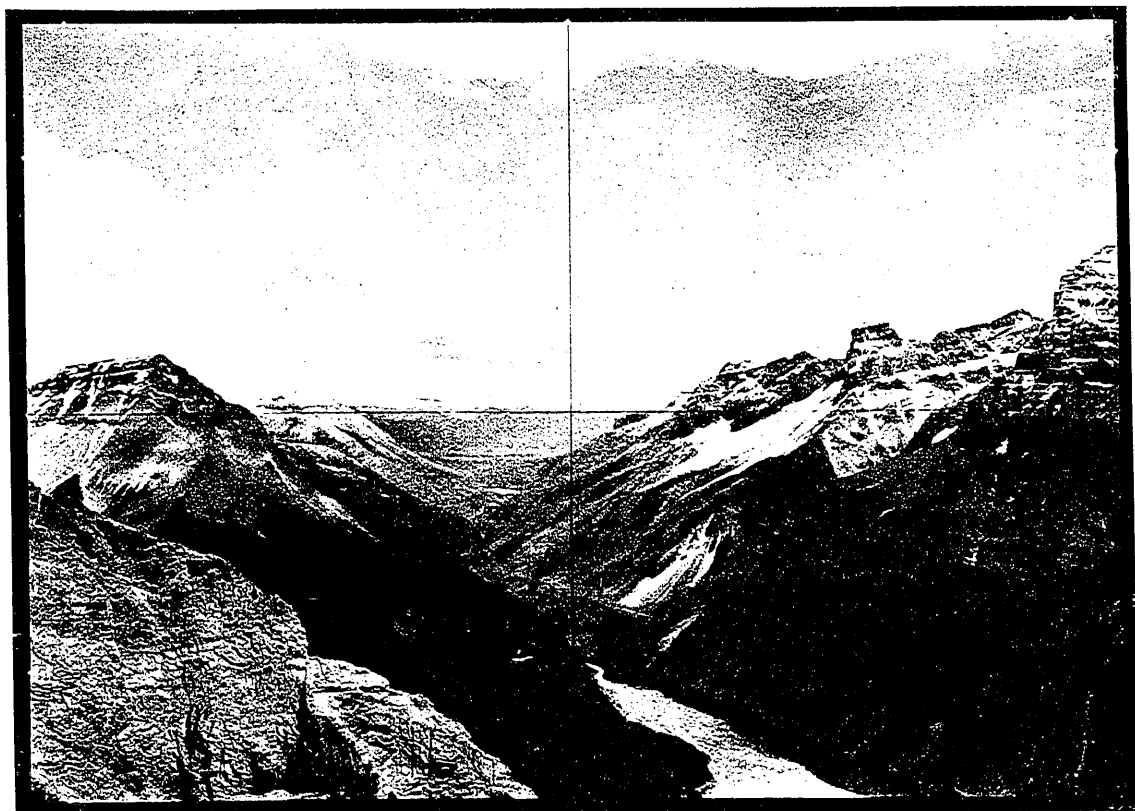
(2) *Fototopografía teórica y práctica*, Zaragoza, 1911.



Prohibida la reproducción.

NUM. 1

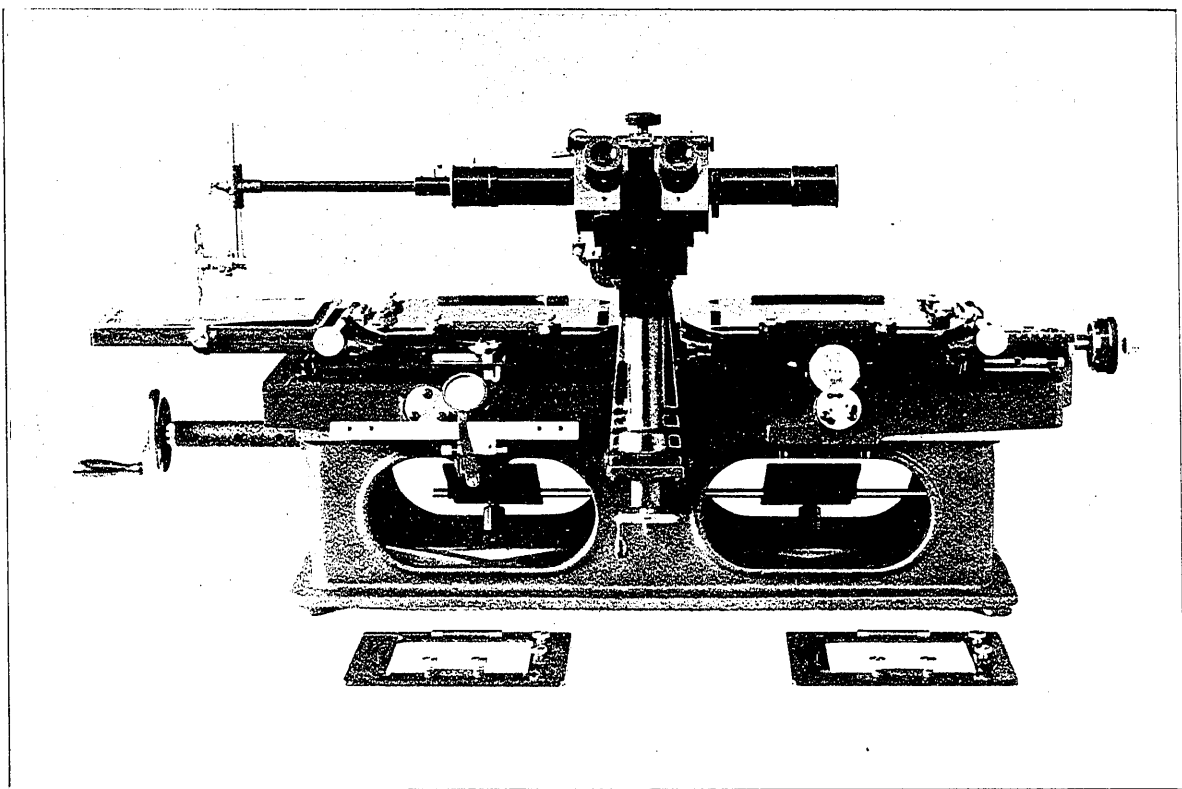
SELKINGS RANGE. (CANADÁ.) VISTA NÚM. 1



Prohibida la reproducción.

NUM. 2

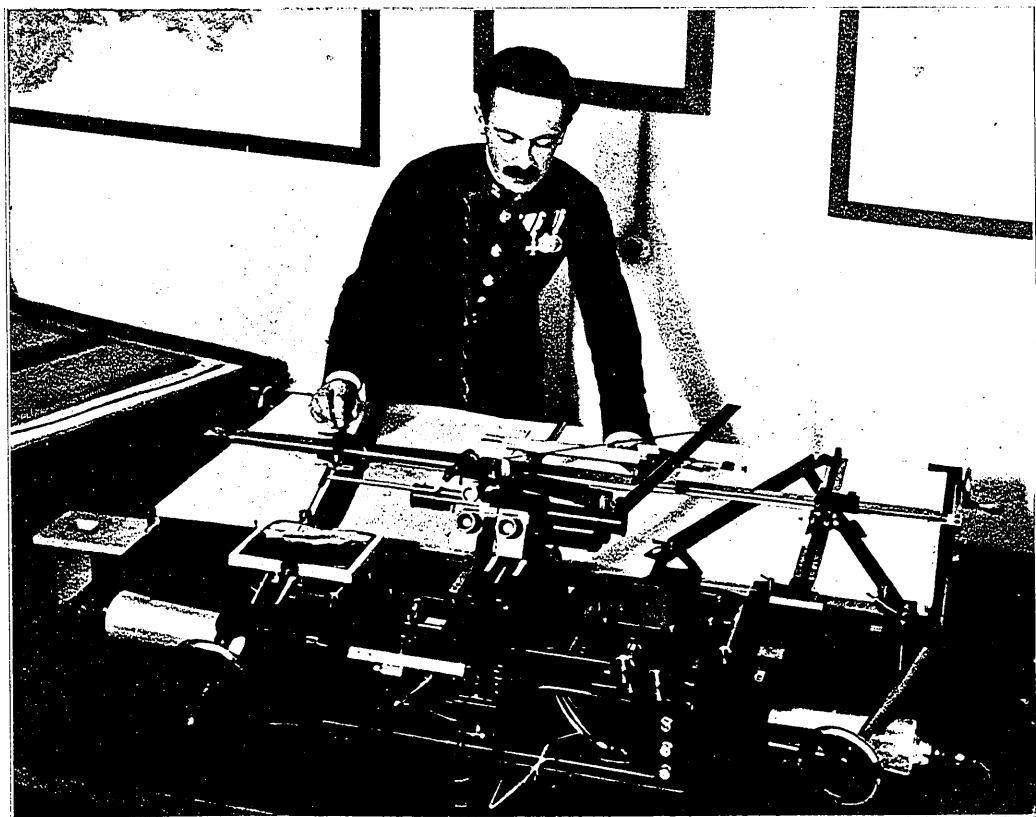
SELKINGS RANGE. (CANADÁ.) VISTA NÚM. 2



Prohibida la reproducción.

NUM. 3

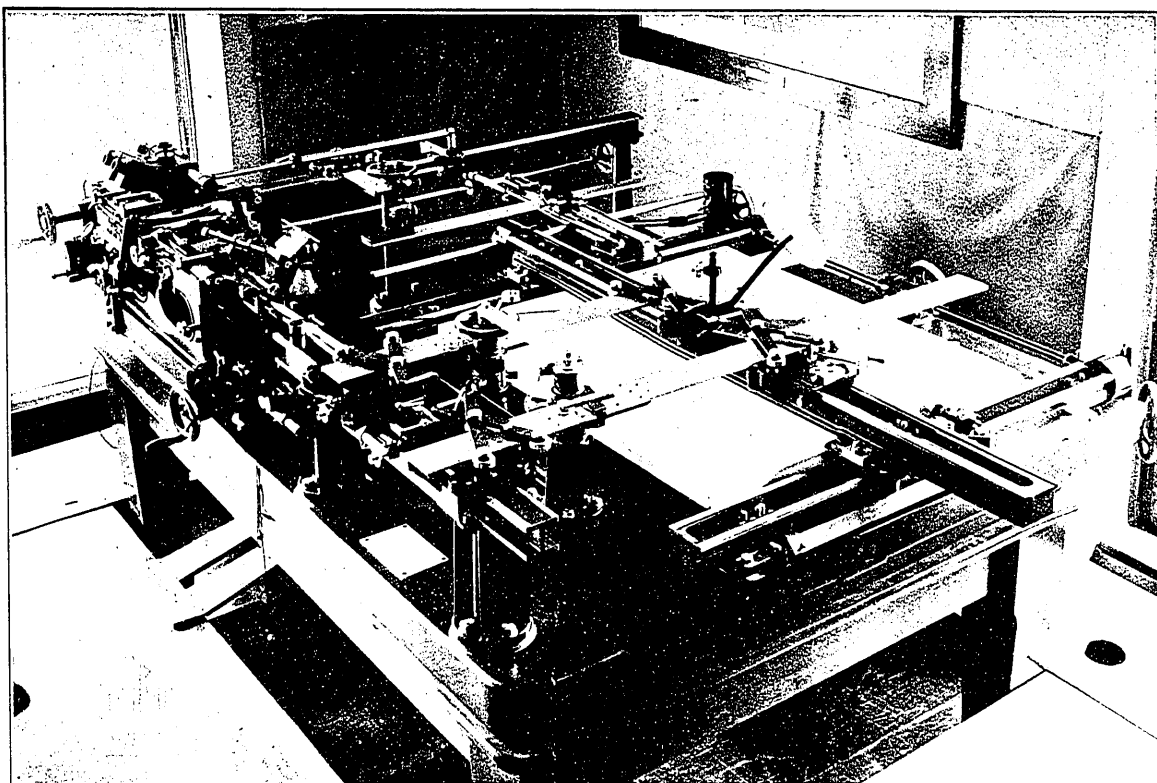
ESTEREOCOMPARADOR PULFRICH-ZEISS



Prohibida la reproducción.

NUM. 4

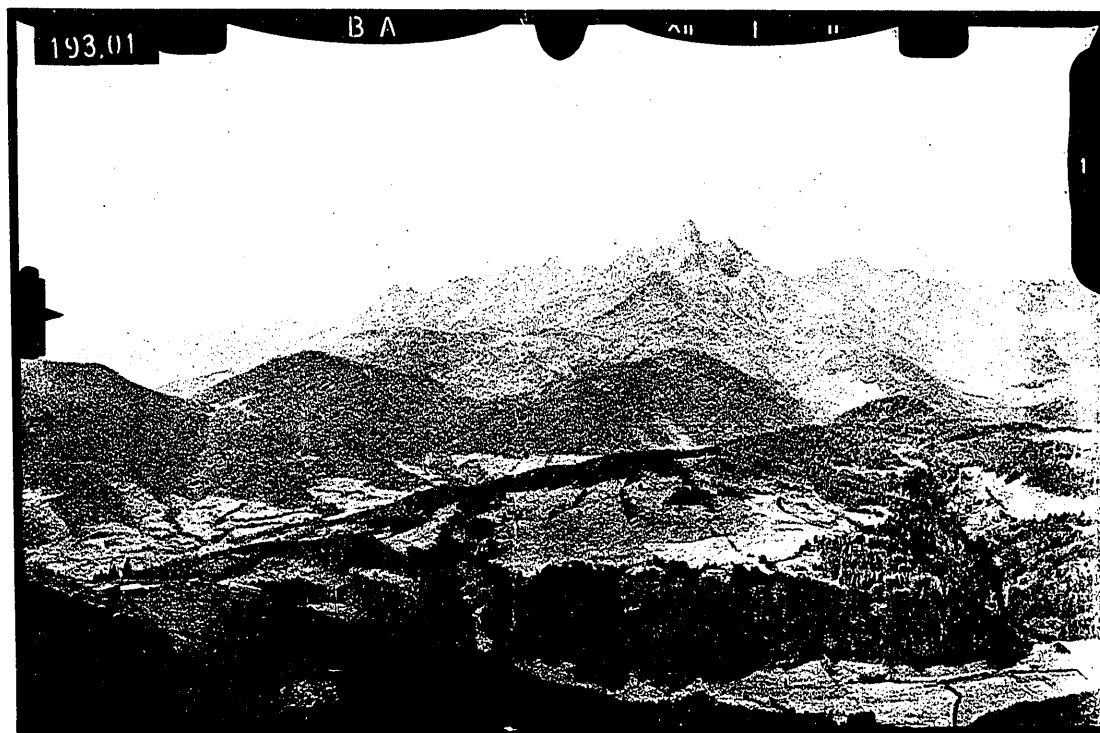
EDUARDO VON OREL MANEJANDO EL ESTEREOAUTÓGRAFO 1909.



Prohibida la reproducción.

NÚM. 5

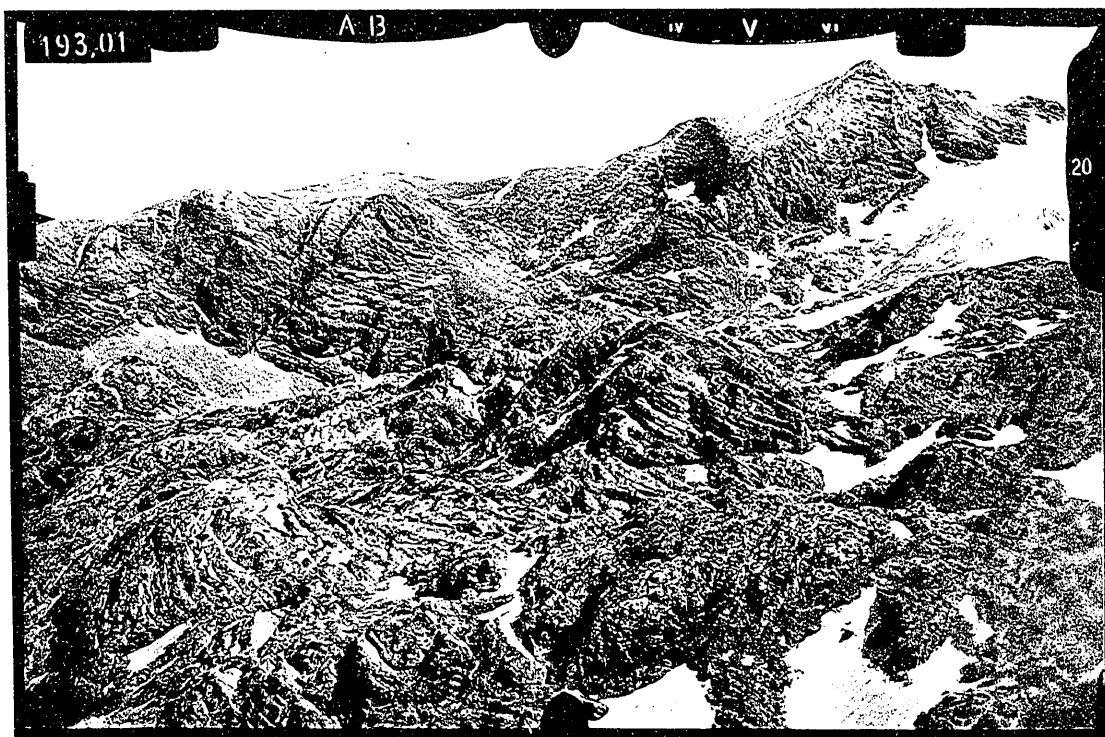
ESTEREOAUTÓGRAFO OREL. MODELO 1911.



Prohibida la reproducción.

NÚM. 6

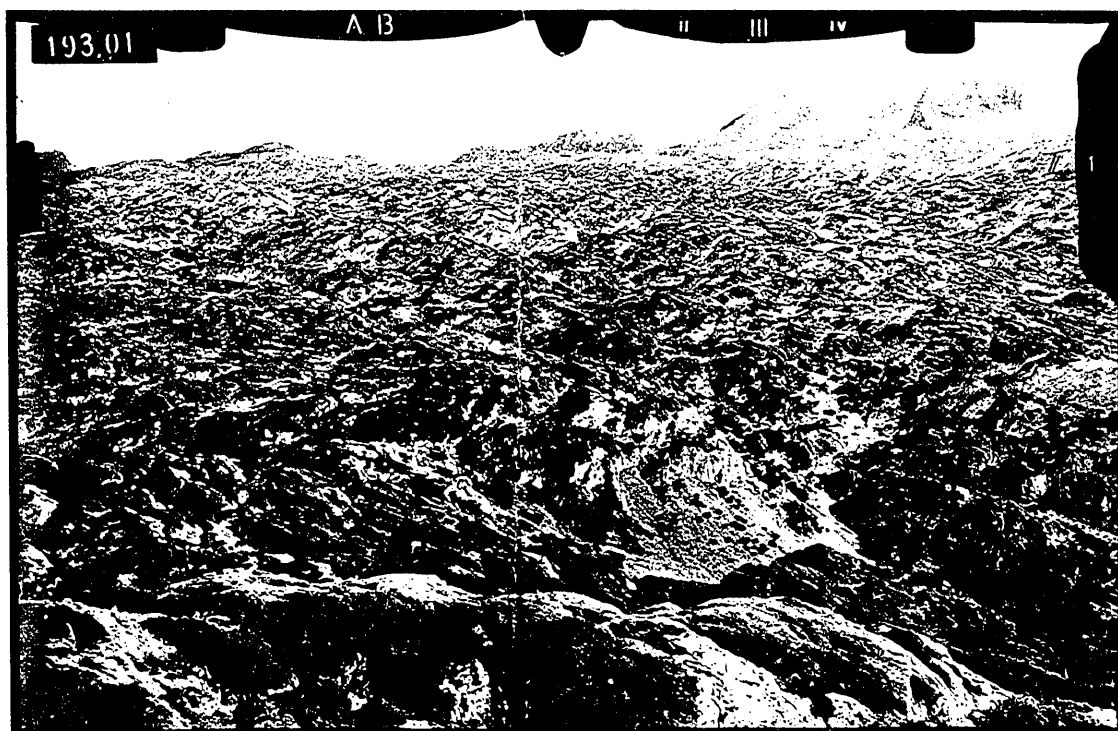
DACHSTEIN. (SALZBURGO, AUSTRIA.) VISTA NÚM. 1.



Prohibida la reproducción.

NÚM. 7

DACHSTEIN. (SALZBURGO, AUSTRIA.) VISTA NÚM. 2.



Prohibida la reproducción.

NÚM. 8

DACHSTEIN. (SALZBURGO, AUSTRIA.) VISTA NÚM. 3.

servan datos exteriores á ésta (1). Pero todas estas cuestiones y otras análogas, de carácter especulativo en la mayoría de los casos, nos apartarían del carácter práctico de esta Conferencia, por lo que no nos detendremos más en ellos, remitiendo al que desee analizarlos á los trabajos citados y á los de Terrero, Hauck, Schiffner, Dolezal, etc.

II.—LA ESTEREOSCOPIA.

Acabamos de ver que la Topografía utilizó como auxiliar á la Fotografía desde los primeros momentos de ésta, en la que Laussedat vió un perfeccionamiento extraordinario de su primitivo método de intersecciones, en el que empleaba la cámara clara, con la que dibujaba la perspectiva del terreno.

Y he aquí que con la Estereoscopia sucedió todo lo contrario, y lo que antes fué presteza inexplicable tórnase ahora lentitud, menos explicable todavía.

Porque desde que el hombre existe, sabe que la visión binocular, natural en él, le permite apreciar y distinguir los diferentes términos en que se hallan situados los objetos que le rodean; instintivamente verifica la medición de las distancias á que de él se encuentran las desigualdades del terreno por que camina; calcula el impulso que ha de dar á una piedra ó á su cuerpo mismo, si salta, para alcanzar un cierto punto.

Esta facultad natural tiene, es cierto, un límite; la práctica demuestra que los objetos situados á más de unos 450 metros, aparecen ya como situados todos en un mismo plano. Pero este alcance se aumenta con diversos aparatos, como los tele-estereoscopios de Helmholtz y Cazes y los gemelos de campo, que intencionalmente exageran el relieve por medio de combinaciones apropiadas de lentes y espejos. Y llevado este alcance á límites muy amplios, y comprobándose que la percepción de distancias era ya posible á muchos kilómetros, nadie pensó aún en utilizar para los fines del levantamiento de planos topográficos una facultad que el hombre poseía y había ya perfeccionado.

Veíase un abismo infranqueable entre la percepción de los diferentes alejamientos de los objetos y la medida de estas diferencias. Faltaba la escala que poder construir y manejar en el campo para efectuar tales medidas. Veamos cómo esta escala se ideó recientemente y se emplea ya con éxito.

Si un operador dispusiera de una regla dividida y numerada de un kilómetro, por ejemplo, y pudiera moverla de modo que su cero se hallara constantemente en el punto de observación, le bastaría apoyarla sobre cada punto del terreno y leer el número que junto á éste apareciera para conocer su distancia. Esta regla material es irrealizable; hay, pues, que hacerla inmaterial, y para esto puede hacerse uso de la misma estereoscopia á que ha de aplicarse. Bastará para ello colocar en el retículo de cada uno de los oculares de unos gemelos de campo una imagen fotográfica de aquella regla; dispuestas convenientemente estas dos imágenes se superpondrán al observarlas simultáneamente y darán el efecto en relieve de la escala real. Ésta se moverá al moverse los gemelos y podrá hacerse pasar, como la escala real, por un punto cualquiera del paisaje que con aquéllos se observe y nos dará inmediatamente, en consecuencia, la distancia á que este punto se halla de nosotros.

La idea de esta escala virtual fué comunicada por el Ingeniero francés Héctor de Groussilliers á la Casa Zeiss, de Jena, en 1893; y seis años más tarde, el colaborador científico de esta

Casa, Dr. Pulfrich, la realizó por vez primera con sus «telémetros estereoscópicos» (1).

La taquimetría, que determina la posición de los puntos del terreno por coordenadas polares (es decir, por distancias, azimutes y ángulos de altura) podía temer de estos telémetros una seria competencia. Porque no sería imposible sustituir la estadía por unos gemelos y constituir así un aparato que diera las distancias reales por simple lectura y con exactitud probablemente superior, ya que se eliminaba por completo el error de verticalidad de la mira al suprimirse el empleo de ésta. Pero nada se ha hecho en este terreno—que nosotros sepamos—sino un curiosísimo proyecto que preparaba nuestro excelento y respetable amigo D. Fernando Monet, Coronel retirado de Estado Mayor y geodesta notable, cuando, hace pocos meses, le sorprendió la muerte.

Decididamente, la Estereoscopia no se siente con fuerzas para abordar, por sí sola, el problema general de la Topografía. Y á fe que no parecía faltarle mucho, habiendo ya resuelto su parte más difícil.

(Continuará.)

ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Ponencia del anteproyecto de ley de obras de abastecimiento y protección de aguas potables presentado al Consejo superior de Fomento en pleno, por su Comisión permanente.

EXPOSICIÓN

El problema de abastecimiento de aguas potables á los pueblos es ya, desde hace algunos años, una de las mayores preocupaciones de los Gobiernos de todos los países, en razón á la importancia que tiene en sus aspectos económicos, social é higiénico.

En la mayoría de los países de Europa y América hay moderna y abundante legislación respecto del asunto, procurando y obligando á los Municipios á que se provean de buenas aguas potables, en cantidad suficiente, debidamente conducidas y protegidas contra toda contaminación hasta su consumo.

Claro está que la obligatoriedad va aparejada en dicha legislación á facilidades y franquicias concedidas por el Estado para el mejor aprovisionamiento.

Igualmente, en los citados países, ha precedido generalmente á lo legislado una información técnica detallada y realizada por los Ministerios de Agricultura y Obras públicas, respecto á los abastecimientos de aguas potables de todas ó casi todas las localidades.

Diversos son los sistemas adoptados por las naciones que se han ocupado de resolver modernamente este problema, pudiendo resumirse en los siguientes:

- 1.º Municipalización del servicio, con auxilio del Estado.
- 2.º Ejecución de las obras de abastecimiento por el Estado.
- 3.º Franquicias y facilidades del Estado para los Municipios, Sindicatos ó Mancomunidades municipales.
- 4.º Franquicias y facilidades del Estado á Empresas ó Sociedades particulares; y
- 5.º Sistema mixto de los anteriores enunciados.

Sea el que quiera el sistema adoptado, en todos los países

(1) «El problema de la orientación de las vistas en Fototopografía» (Memoria presentada al Congreso Científico de Zaragoza, celebrado en 1908), Madrid, 1909.

(1) Puede verse un estudio detallado de estos aparatos en nuestra obra *Aplicaciones Métricas de la Estereoscopia*, Madrid, 1909.