

---

# Informe sobre la sección de fotogrametría de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de Bogotá y sobre el Departamento científico de la Scadta

Antes de dar una descripción de los aparatos conseguidos por la Facultad de Bogotá, conviene dar una idea general de esta importante ciencia que va adquiriendo cada día mayor desarrollo.

La rápida evolución de las ideas económicas en los últimos tiempos ha perseguido siempre en los grandes problemas de Ingeniería, la obtención de los trabajos con la mayor exactitud, en el menor tiempo y al costo mínimo. El delicado problema económico de la topografía ha venido a obtener la solución más satisfactoria por medio de la fotogrametría o fototopografía.

Ha sido esta ciencia utilísima para el levantamiento de planos y cartas en grandes extensiones con incomparable rapidez; para el levantamiento de regiones de difícil acceso, casi imposibles de medir con los métodos ordinarios. Con gran rapidez ha ido tomando importancia este método, sobre todo los más modernos procedimientos de estereofotogrametría terrestre y aérea, que permite, conocidos los puntos fundamentales del terreno, levantar los planos topográficos con una exactitud no igualada por ningún otro sistema.

En todos los países civilizados se ha abierto paso constituyéndose Sociedades Científicas y Oficinas técnicas que levantan sus trabajos por medio de la fotogrametría para fines agrícolas, para construcciones técnicas como ferrocarriles, embalses, etc., porque permite la apreciación en una escala pequeña pero muy exacta, de grandes extensiones, y por último para fines de colonización la fotogrametría, principalmente la aérea, ofrece las grandes ventajas del económico y rápido levantamiento de un plano, en el cual quedan perfectamente determinadas las curvas de nivel con exactitud de centímetros, corrientes de agua, vías de comunicación, etc. Para esta clase de trabajos no es un inconveniente muy grande la presencia de árboles porque

siempre quedarán puntos del terreno descubiertos y calculando la altura media de los árboles en la selva, se deduce esta cantidad de la altura hallada y de la altura del terreno con suficiente aproximación.

HISTORIA.—En el año de 1795 Lambert fijó geoméricamente métodos que permitían, conocidas algunas dimensiones de un objeto y su perspectiva, fijar el centro de proyección y calcular las otras dimensiones del objeto.

Vino más tarde el invento de la fotografía por Daguerre y en el informe que sobre este descubrimiento presentaron al Gobierno francés Gay Lussac y Arago en 1839, insinuaron la idea de reconstruir el objeto y hallar sus dimensiones deduciéndolas de la placa impresionada. Ya hacia el año de 1836 el francés Beautemps-Beaupré había reconstruido, de perspectivas hechas a mano, planos muy aproximados con curvas de nivel de la costa sur de Francia.

Todas estas teorías fueron puestas en práctica por el Ingeniero francés Coronel Aimé Laussedat, a quien se puede considerar como el fundador de la fotogrametría moderna, a la que introdujo grandes progresos en los años 1851-61. En Alemania no fué menor el interés por esta ciencia y si a Francia cabe la gloria de los primeros pasos en ella, a Alemania se debe, indudablemente, su perfeccionamiento y desarrollo; Finsterwalder, Profesor de Munich, y Seliger, practicaron los métodos de Laussedat en Alemania, Porro y Paganini en Italia y al mismo tiempo se iniciaba en Austria la práctica de los métodos fotogramétricos.

Los problemas fueron ofreciendo dificultades y fué preciso estudiar los errores que se producían y los métodos de corrección; Koppe y Jordan dedicaron grandes estudios a las causas de error y a la manera de evitarlas.

En España Antonio Terrero hizo interesantes estudios sobre la identificación de un punto en diversas fotografías, estudios que más tarde perfeccionó y publicó el alemán Guido Hauck, profesor de la Escuela Técnica de Berlín Charlotemburgo en 1884, sentando las bases del llamado teorema de Hauck.

Ya en 1901 la fotogrametría dió un paso decisivo con el invento del profesor alemán Carlos Pulfrich, colaborador de la Casa Zeiss de Jena, quien sustituyó el *método de intercepciones* por el *método de paralaje*. El primero usado hasta entonces, empleaba dos fotografías de un mismo terreno tomadas desde dos puntos diferentes, se determinaban las coordenadas de un mismo punto en ambas por medio de un coordinógrafo y se encontraba la posición de este punto por la intercepción de dos direcciones correspondientes.

El método del profesor Pulfrich aprovecha la facultad del hombre de ver en relieve los objetos que contempla con visión binocular. Colocando las dos imágenes del terreno poco diferentes entre sí en un estereoscopio, se superponen y dan la idea clara del relieve; la Casa Zeiss construyó el estereocomparador llamado por este motivo Pulfrich-Zeiss el cual consta esencialmente de un estereoscopio métrico; un carretón que se desliza horizontalmente por medio de una manivela y cuyo movimiento se mide en una escala de abscisas; un segundo carretón que se desliza sobre el anterior por medio de otra manivela, perpendicularmente a la dirección del otro y cuyo desplazamiento se mide en una escala de Y con gran exactitud, y otro accionado por un tornillo que produce un desplazamiento vertical y la dimensión de cuyo desplazamiento se hace en una escala de Z que tiene el tornillo. Los objetivos pueden enfocarse independientemente uno de otro y su distancia puede graduarse según la separación de los ojos del observador; tiene dos tornillos que permiten girar las placas suavemente, en su plano, para orientarlas según sus dos líneas principales, horizontal y vertical, paralelas a los ejes de deslizamiento de los carros; tiene tornillos de ajuste, espejos para la iluminación de las placas y un tornillo para la medición de paralajes. En el campo visual del estereomicroscopio se ve un estilete que señala el punto cuyas coordenadas se leen en las escalas X, Y, Z.

Vino más tarde, en 1909, el invento del estereoautógrafo por el teniente austriaco Eduardo de Orel, que fué grandemente perfeccionado en 1914 por el mismo autor. En este aparato se conduce sobre el relieve del terreno una T o retícula virtual que aparece en el campo óptico, por medio de dos manivelas y un pedal; un brazo automático traza las curvas continuas de nivel y las líneas de importancia en el terreno.

Por fin la guerra mundial dió un impulso grandísimo a la fotografía introduciendo la estereofotogrametría aérea con la utilización del enorme progreso de la aviación. Fue esta ciencia de enorme utilidad para fines estratégicos y levantamiento de planos de las posiciones enemigas, como también para el tiro de artillería y lanzamiento de obuses.

Al principio se orientaba la cámara de modo que su eje óptico fuera completamente vertical, pero luego se hizo necesario tomar vistas inclinadas y pronto se solucionaron los problemas que esta inclinación ofrecía.

**FOTOGRAMETRÍA ORDINARIA.**—Utiliza fotografías tomadas con aparatos especiales llamados fotógrafos que son en esencia una cámara rígida que tiene un marco especial donde se coloca la placa cuyos ejes se de-

terminan por dos hilos perpendiculares fijos en el marco o por dos pares de señales colocadas en los lados del marco. La cámara tiene niveles muy precisos y tornillos que permiten colocarla con la placa vertical. La cámara tiene niveles muy precisos, como antes se dijo, para adicionarle un teodolito; el objetivo es ortoscópico y en él se han hecho todas las correcciones; el obturador da diferentes tiempos de exposición. Una fotografía tomada con esta cámara dará una proyección cónica exacta.

Cuando el aparato va montado en los cojinetes de un teodolito, se llama fototeodolito. El fototeodolito de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería tiene 3 partes: la parte inferior que se fija sobre el trípode, un cuadro de acero que soporta la cámara y un teodolito Wild. Sobre el cuadro de acero puede montarse una de las dos cámaras del equipo, ambas provistas de objetivos Wild de 165 mm. y 240 mm. de distancias focales, respectivamente.

Las cámaras pueden operar con el eje óptico horizontal o inclinar éste por medio de un tornillo que acciona una cremallera que hace al eje adquirir inclinaciones de

$$+12^{\circ}, +6^{\circ}, +3^{\circ}, -6^{\circ}, -12^{\circ}, -18^{\circ}$$

Para la nitidez de la fotografía se dispone de un filtro amarillo; la abertura se fija y la placa se mantiene en el plano focal por medio de un dispositivo especial que asegura la constancia de la distancia de la imagen. Los ejes de coordenadas de la fotografía están dados por señales en el cuadro. Este cuadro de la cámara está con relación a la graduación del limbo horizontal del teodolito de tal suerte que el 0 en ellos corresponde al punto donde los ejes ópticos del antejo y de la cámara están en el mismo plano. Las placas son de 100 x 150 mm. y tienen 24 chasises.

El teodolito que va sobre el cuadro de acero que soporta la cámara es un exactísimo aparato: el espejo es de enfoque interno y su longitud constante de 175 mm. La lente da la máxima claridad obtenida hasta ahora, tiene un aumento de 25 y abertura del objetivo de 40 mm.; el ocular tiene graduación en dioptrías; el limbo horizontal es de 95 mm. y el vertical de 50 mm. de diámetro; pueden leerse en ellos graduaciones centecimales y sexagecimales; las lecturas se hacen en los extremos de un diámetro con aproximación de un segundo centesimal para lo que se emplea un microscopio Wild que tiene un aumento de 34; el nivel de colimación tiene una sensibilidad de 30 segundos. Los otros accesorios son: 3 trípodes con tornillos de plegable, cajas para el fototeodolito y para las cámaras; nivelación, 3 conos-miras, 3 miras, 3 plomadas, una estadia

el peso del equipo completo es de 62.5 kilos de los que corresponden 9 al fototeodolito y 2.2 a una cámara sola.

**MEDIDA ANGULAR.**—Si tomamos una fotografía con uno de los aparatos descritos desde una distancia considerable, se puede considerar la placa como plano de proyección y como centro de ésta el punto nodal posterior del objetivo; entonces la distancia focal "f" será igual a la perpendicular del punto nodal al plano de proyección; el pie de esta perpendicular es el llamado *punto principal de la fotografía*.

El caso más sencillo es aquel en que la placa ha sido colocada verticalmente. Supongamos una placa AB (fig. 1°) en la que se ha fijado el punto principal de la vista por la intersección de los ejes HH y BB; estos ejes los tomamos como ejes de coordenadas X y Y. Un punto P del terreno tendrá los mismos ángulos de azimut y de altura en el terreno que en la vista, visto desde el punto O. Estos valores de  $\alpha$  y  $\beta$  están dados, puesto que conocemos a "f" para un aparato dado. Entonces

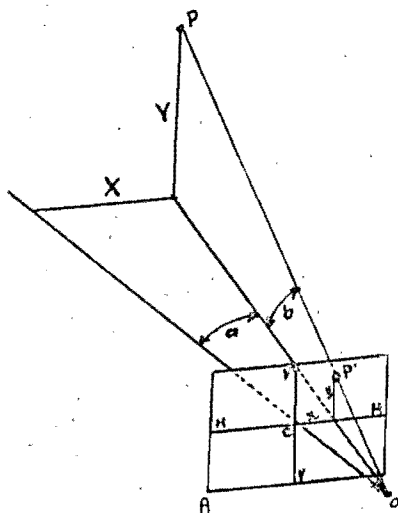


Fig. N° 1

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{f} ; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{y \cos \alpha}{f}$$

La distancia principal que es igual a la focal (f) y el punto principal de la vista forman la llamada orientación interior de la fotografía.

Para la orientación exterior se necesita conocer: pri-

mero, las tres coordenadas del punto principal (estación geodésica); segundo, dirección e inclinación del eje principal; tercero, desviación de la cámara.

Para la orientación exterior se emplea el fototeodolito en trabajos terrestres y en aerofototopografía hay que tomar tres puntos conocidos que aparezcan sobre el clisé.

La exactitud de las medidas deducidas de una fotografía dependen, tanto del cuidado con que se hagan los cálculos de las coordenadas, como de la distancia focal del objetivo. El error en coordenadas puede ser inferior a 0.02 mm., usando los aparatos que se van a describir: el coordinatógrafo mide las coordenadas de los puntos tomándolas de una positiva y leyendo las abscisas y ordenadas en dos escalas normales la una a la otra; pero las dilataciones que el papel sufre en el baño dan grandes inexactitudes que pueden evitarse usando las placas negativas en un coordinatómetro que permite leer fracciones de 0.01 mm.

El método de las intersecciones o de Laussedat es el mismo de la plancheta aplicado a una vista fotográfica; se determina la posición de un punto P (fig. 1) desde otros dos conocidos A y B, tomando los ángulos a y b y la longitud AB. Por la ley de los senos nos da:

$$AP = \frac{AB \operatorname{sen.} b}{\operatorname{sen.} (\alpha + b)} ; \text{ y } BP = \frac{AB \operatorname{sen.} a}{\operatorname{sen.} (\alpha + b)}$$

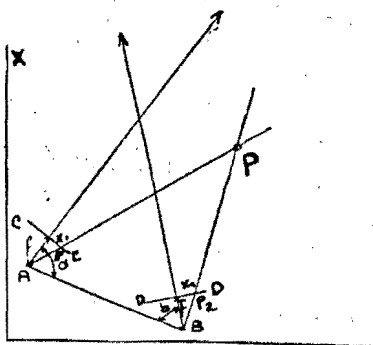


Fig. N° 2

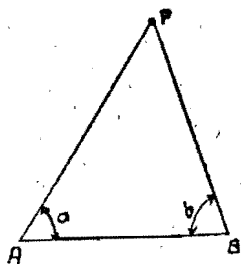


Fig. N° 3

Gráficamente se halla un punto P. fig. 2, cuando la placa ha estado expuesta verticalmente y se han medido los ángulos de la siguiente manera: se fijan las estaciones A y B separadas en la escala que se quiere dar al plano; se trazan las direcciones de los ejes fotográficos, puesto que se conocen a y b; se toma sobre cada una de estas direcciones las distancias "f" a partir de la estación, y allí se

levantan las perpendiculares CC y DD que serán las trazas de los planos de las placas; sobre estas trazas se toman las abscisas  $x_1$  y  $x_2$  que nos darán los puntos  $P_1$  y  $P_2$ ; unimos estos puntos con la estación respectiva y la intersección de las rectas  $AP_1$  y  $BP_2$  nos determinará el punto P.

El inconveniente de este método consiste en la difícil identificación de puntos en las dos fotografías, lo que en parte se remediaba con el teorema de Hauck. Este inconveniente quedó vencido con la introducción de la

**ESTEREOFOTOGRAFIA.**— Como ya se dijo al principio, este método de Pulfrich, quien lo inició con su estereocomparador, fué sustituido más tarde por el estereoautógrafo; este aparato restituye los pares estereoscópicos y dadas las dos perspectivas tomadas en el terreno, se deduce directamente una carta con curvas de nivel.

El estereoautógrafo que posee la Facultad de Matemáticas e Ingeniería es de tipo Wild. Sirve para restituir las vistas tanto terrestres como aéreas y puede graduarse para las escalas más comunes desde 1:100 hasta 1:100.000. Trajo estos aparatos y los montó en la Facultad el técnico suizo A. von Spyr quien ha dado las clases a estudiantes y profesores que se interesan en la materia.

El aparato se centra por medio de tornillos niveladores de manera que el riel de las X quede horizontal. Este aparato es de grandes dimensiones; sus partes principales son: un carro llamado de las X, porque se mueve según el eje de las abscisas; sobre éste va el carro de las Y, que se mueve sobre rieles normales a los de las X; y sobre el carro de las Y, sube y baja un carro que da las alturas en una escala de Z. Una manivela que se acciona por medio de la mano izquierda desplaza el carro según las X; otra manivela accionada por la mano derecha mueve el carro de las Y; y un pedal que se hace girar con el pie derecho, provoca el movimiento según el eje de las Z. Cada uno de estos movimientos se registra en escalas.

El anteojo puede enfocarse y aumentar la distancia de los oculares entre sí.

Los movimientos que se producen en el sentido de las X y de las Y se transmiten a un lápiz inscriptor, que trabaja sobre una mesa de dibujo acoplada al aparato, por medio de brazos articulados a los carros y que no son afectados por el movimiento del pedal de las Z.

El equipo completo de aparatos de campo y estereoautografía, todo de la casa Wild, tuvo un costo aproximado de \$ 18.000.00 en Bogotá; los solos empaques del delicado aparato de restitución costaron más de \$ 300.00. Los instrumentos vinieron como equipaje y al cuidado del técnico. Con este equipo se llevan trabajos bastante ade-

lantados del levantamiento del valle del Neusa, cuya hoya hidrográfica se pensó utilizar para el abastecimiento de aguas de Bogotá.

Justifica el alto costo del equipo, fuera de los estudios para alumnos y profesores, la idea de formar una estación central de restitución, a la que otras entidades científicas, tanto particulares como oficiales, que se proveyeran de fototeodolitos, enviaran las placas para el levantamiento de los planos con el estereoaquígrafo Wild.

Fuera de este equipo de fotogrametría existe en Bogotá otro de propiedad particular.

Los trabajos de fotogrametría aérea los pudimos apreciar en el

#### DEPARTAMENTO CIENTIFICO DE LA SCADTA.

La fotogrametría aérea, como ya se mencionó atrás, nació de las necesidades de la guerra mundial y como consecuencia del maravilloso adelanto de la conquista del aire.

Los elementos necesarios para la fotogrametría quedaban permanentes en cuanto a la orientación interior, pero se carecía de los elementos para la orientación exterior. Su problema se reducía, pues, a la determinación exterior de las vistas, en función de la orientación interior y de la posición conocida de algunos puntos del terreno.

La Scadta ha hecho maravillosos trabajos de aereofotogrametría para la determinación de los límites de Colombia y Venezuela, levantamiento de la hoya del río Magdalena, elaboración de planos de las regiones petrolíferas de Santander. Actualmente se ocupa de la determinación de los límites con Panamá y está terminando el plano de Bquilla, todo por medio de la fotogrametría aérea.

El fotogrametro (toposeriógrafo) es una gran cámara que se monta en un avión especial con suspensión cardán y que toma automáticamente las fotografías a intervalos de tiempo iguales que se regulan sobre la altura y la velocidad del aparato. La distancia focal es conocida y la cinta impresionada se mantiene en el plano de proyección por medio de un dispositivo de resorte que la ajusta a un marco rígido en el momento de la exposición. El foco de la cámara es fijo porque siempre las distancias al terreno son considerables y se puede considerar como colocado en el infinito.

Para la restitución de estas placas se han ideado diferentes sistemas; el más moderno es el que elimina errores y restituye por medio de una transformación óptico-mecánica, según una proyección de la placa sobre una mesa que permite, conocidas las inclinaciones longitudinal y



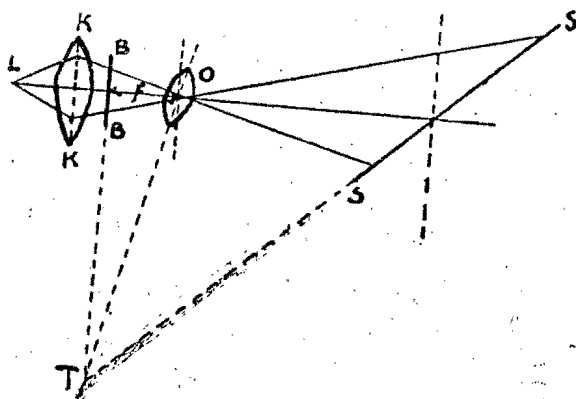


Fig. N° 4

transversal de la fotografía, dibujar directamente el plano en una escala dada. El aparato puede representarse esquemáticamente según la fig. 4 donde L es un foco luminoso; KK una lente condensadora; BB el negativo fotográfico; O el objetivo y SS una pantalla donde se forma la imagen invertida; esta pantalla puede girar al rededor de un eje D para formar el ángulo que se quiera con BB y éste a su vez se puede hacer girar el ángulo con que fué impresionada la placa. Para que toda la fotografía resulte enfocada, el objetivo O es giratorio y se colocará de modo que su plano de simetría pase por la recta T, donde se interceptan el plano del negativo y el de la pantalla. La distancia del objetivo al negativo debe ser igual a "f", la distancia focal de la cámara con que se impresionó la placa. Para hallar la escala hay que conocer la distancia entre dos puntos y entonces, alejando o acercando la pantalla, se pondrá esta distancia en una escala dada, que será la del plano.

Para que la construcción sea exacta hay que determinar la recta del horizonte, la inclinación transversal y la proyección horizontal del eje de la vista; hay varios métodos pero son demasiado complicados para tratar de darlos a conocer; los principales son: el método de los puntos límites, el método del par de rayos ortogonales y el de la determinación analítica.

La fijación de puntos conocidos se hace por el método llamado de las pirámides.

La Scadta posee un enorme y complicado aparato, el más moderno de la Casa Zeiss, que utiliza el sistema de las proyecciones para la corrección y restitución según la idea

del Ingeniero austriaco Teodoro Scheimflug y altamente perfeccionado por la Casa Zeiss con el nombre de estereoplanógrafo. Su funcionamiento es de pasmosa claridad y exactitud. El principio en que se funda es el de las proyecciones. La exactitud que se obtiene en los planos así elaborados es de 4 a 5 cm. y aún menores, en latitud para escalas de 1:500 a 1:1000. A una altura de 1500 m., en una extensión de 2.5 klmts., en 138 puntos se halló un error de coordenadas de 33 cm.

Para el desarrollo y elaboración de las placas tiene la Scadta completos gabinetes fotográficos, secadores eléctricos para las películas y magníficos salones de dibujo, donde se copian los planos deducidos de las fotografías.

El plano de Barranquilla ha sido levantado con pasmosa celeridad y exactitud.

Este departamento de la Scadta, además de los aparatos de aereofotografía, posee un moderno aparato eléctrico para sacar copias en papeles sensibles que presta servicios a una tarifa dada, en Bogotá.

En la misma casa tienen un pequeño observatorio meteorológico mediante cuyas observaciones se dan instrucciones a los pilotos de la casa, quienes a su vez rinden un informe de las condiciones meteorológicas encontradas en su viaje.

*(Para el estudio de la fotogrametría se han tomado datos de los que nos proporcionaron los técnicos A. von Splyr, de la Facultad de Matemáticas, y el Dr. Troll, distinguido profesor alemán, geógrafo y meteorologista de la Universidad de Munich, traído por la Scadta. Datos de la Revista de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería—Estereofotogrametría terrestre y aérea de la Sociedad de Agrimensura de La Haya—Higher Surveying, de Breed and Hosmer—Fotogrametría (Espasa)—Elementos de fotogrametría (Hermann Lükchen)—Nuevos aparatos automáticos de fotogrametría aérea de J. M. Torroja).*