

ROBERTO MÜLLER

Compendio de Topografía

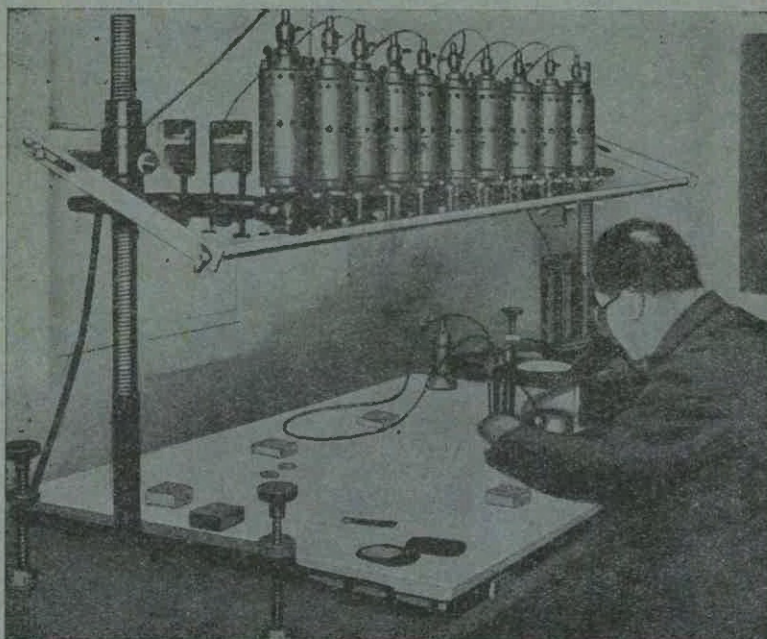
Teórico Práctica

Tomo IV

Introducción a la Fotogrametría

Terrestre y Aérea

con un detallado índice alfabético analítico



Librería "EL ATENEO", Florida 340 - 44
Buenos Aires

DONACIÓN: *Agim. J.C.*
San Filippo.
528.7

1196 FECHA *12/2/2019*



JUAN CARLOS SANTILLANO
Agrimensor Nacional

COMPENDIO GENERAL

DE

Topografía Teórico Práctica

POR

ROBERTO MÜLLER

AGRIMENSOR NACIONAL

EX-PROFESOR DEL CURSO LIBRE DE TOPOGRAFIA DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS

DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

EX-GEODESTA DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR ARGENTINO

*

Tomo IV

Introducción a la Fotogrametría

Primera Parte

Fotogrametría Terrestre

Obra premiada con Mención Especial en Ciencias Físicas, Químicas
y Matemáticas por la Comisión Nacional de Cultura
(22 de Agosto de 1945)

Librería "EL ATENEO" Florida 340 - 44
Buenos Aires
1950 (Octubre 15)

Del mismo autor:

Tolerancias en Agrimensura Legal, (1) Buenos Aires, 1921.

Teoría de los Errores y Cálculo de Compensación, (2) 2.ª edición, Buenos Aires, 1949.

Confeción de Catastros, Buenos Aires, 1925.

Regla de Cálculo al Alcance de Todos, Buenos Aires, 1925.

Regla de Cálculo, tipo técnico, 7.ª edición, Buenos Aires, 1945.

Compendio general de Topografía:

Tomo I, 4.ª ed.: *Agrimensura y Catastro* Buenos Aires, 1946.

" II, 3.ª " Volumen 1: *Optica relativa a instrumental Topográfico, Geodésico, Astronómico y Microscopía*, (3) Buenos Aires, 1944.

" II, 4.ª " Volumen 2: *Teodolitos y Poligonación*, Buenos Aires, 1947.

" III, 3.ª " Volumen I: *Triangulación y Nivelación*, Buenos Aires, 1945.

" III, 4.ª " Volumen 2: *Taquimetría y Confeción de Planos*, Buenos Aires, 1951.

" IV, 1.ª " *Introducción a la Fotogrametría*.
Segunda Parte: *Fotogrametría aérea*, aparecerá en 1951.

Morfología Argentina, Buenos Aires, 1945.

Planímetros Coradi, 2.ª edición, Buenos Aires, 1937.

Telémetros Zeiss, Buenos Aires, 1941.

Libreta Topográfica, Buenos Aires, 1936.

Libretas de Campo: Nivelación común, 7.ª ed., Buenos Aires, 1949.

Taquimetría, 9.ª ed., Buenos Aires, 1949.

Poligonales Taquimétricas, Buenos Aires, 1935.

Nivelación de Precisión, 3.ª ed., Buenos Aires, 1940

(1) Usase en el texto la abreviatura: "Tol. Agr.", cuando se cita esta obra.

(2) " " " " " " : "C. de C.", " " " " "

(3) " " " " " " : "Optica", " " " " "

Trascendencia latino-americana de una Obra topográfica argentina

**Importancia y trascendencia de alcance interamericano que representó
el Tratado sobre Topografía, de que es autor el agrimensor nacional**

Don Roberto Müller

Por el Profesor Ingeniero Roberto Dupeyron.

Con la presente publicación que versa sobre fotogrametría terrestre y aérea, el agrimensor nacional don Roberto Müller, cierra con un magnífico broche su enjundiosa obra intitulada "Compendio general de Topografía Teórico práctica".

Prologar esta última parte del mencionado tratado impone efectuar un somero juicio crítico de la obra, que lo es de texto y de consulta, en todos los aspectos substanciales en que se desarrollan las actividades topográficas y en sus nexos con las geodésicas-cartográficas.

Prácticamente, el autor no ha descuidado ni omitido tema alguno de interés para el estudio integral de la materia, haciéndolo con claro y ponderativo concepto de su importancia, tanto en lo que concierne a los métodos operativos como al del instrumental más adecuado para aplicarlos.

En este aspecto es donde radica una de las mayores bondades de la obra, por cuanto en todos los casos se analiza, con juicioso criterio, las precisiones alcanzables, tal como las que deben ser satisfechas en los distintos trabajos topográficos en general y aplicables a la confección de cartas regulares y expeditivas, operaciones de agrimensura y catastro y, en particular, a los trabajos técnicos específicos de las actividades del ingeniero.

La obra comprende varios tomos, correspondientes a otros tantos capítulos de la ciencia topográfica, agrupándose en cada uno de estos los temas en forma correlativa y en correcto ordenamiento.

Sin subestimar el valor de otras obras que versan sobre la especialidad, escritas en idioma castellano y aún en lengua extranjera, no tememos el afirmar que esta ocupa sin duda alguna el primer puesto, destacándose singularmente por la claridad en la exposición de los temas teóricos, en sus racionales aplicaciones prácticas y en la profusión de ejemplos, todo lo cual constituye una excelente guía para los estudiantes y también para los profesionales que se dedican a estas actividades.

Con verdadero sentido de la realidad, se da preferencia a la descripción del más moderno instrumental en uso en las variadas y múltiples tareas topográficas, sin dejar por ello de citar — cuando así conviene a la exposición — todos aquellos instrumentos o implementos de estos que pudieran ser considerados como precursores, con lo cual el autor cumple la máxima "de dar al César lo que es del César..."

Por todo ello es satisfactorio consignarlo, el compendio de Topografía teórico práctico del Agrimensor Roberto Müller ha traspasado fronteras y es harto apre-

ciado en los países americanos, que a su vez lo han adoptado como obra de texto en sus altas casas de estudio.

Con motivo de la última reunión de consulta sobre cartografía celebrada en nuestro país, a la que asistieron representantes de todos los países americanos, oímos juicios elogiosos sobre esta obra argentina y para su autor, quien mereció, oportunamente, por su obra, una mención especial de la comisión nacional de cultura.

En lo referente al tomo dedicado a la óptica nos remitimos a lo que el Dr. Teófilo Isnardi manifiesta en el juicio que a manera de prólogo deja sentado en forma elogiosa.

El tema que constituye el motivo de esta parte del curso de topografía, esto es la fotogrametría terrestre y aérea, es tratado en forma amplia y detallada, en especial en sus fundamentos básicos, diferenciando como corresponde lo relacionado con la fotogrametría y la estereofotogrametría terrestre, que ha llegado a una meta en su evolución con la fotogrametría y estereofotogrametría aérea en pleno avance y moderno desarrollo.

Ostenta, esta última parte de su tratado, las mismas ponderables bondades que las demás, formando así un todo integral que realza el valor intrínseco de la obra cuyo mejor elogio lo condensa el hecho de que ella sirve como de texto y de consulta, en todos los aspectos que se relacionan con esta ciencia, tan vasta como atrayente, de las mediciones en la superficie terrestre y de su representación en cartas y planos.

En esencia esta obra satisface ampliamente los propósitos que inspiraron a su autor, de poner con todo desinterés y patriotismo sus personales conocimientos adquiridos en larga práctica y en el constante estudio desde los cargos que le cupo desempeñar en el Instituto Geográfico Militar, al alcance de quienes puedan necesitarlos, en especial para el estudiantado que, ávido de nuevos conocimientos, encontrará en esta obra de excelente factura didáctica, los más modernos adelantos alcanzados en los métodos de trabajo y en la técnica constructiva del instrumental, expuestos con claridad y profundo conocimiento de la materia.

Prefacio del autor para el cuarto y último tomo del Compendio general de Topografía. (Fotogrametría)

Nuestro Compendio general de Topografía, del cual el presente es el cuarto y último tomo (con un total de 6 volúmenes), tuvo su origen en 1927, a raíz de nuestra actuación como profesor del Curso libre de Topografía dictado en la Facultad de Ciencias Físicomatemáticas de la Universidad Nacional de La Plata.

La 1ª edición de la obra, en 3 tomos simples, no abarcaba todavía la Fotogrametría por la siguiente causa:

Si bien la Fotogrametría terrestre había demostrado ya entonces toda su capacidad, tanto en lo que respecta a su precisión como en su rendimiento, y sólo se esforzaba en perfeccionar todavía más su equipo de campo, lo que realizó en 1926 (ver fig. 9, pág. 42); la Fotogrametría aérea, en cambio, se hallaba entonces en su período evolutivo de indecisión y de acérrima lucha, en el orden de sus aplicaciones civiles, entre los entusiastas defensores que la querían emplear en todas partes y los escépticos que la querían ver excluida de las operaciones catastrales.

No era por cierto ésa la época de poder orientar en cuanto a la aplicación de la Fotogrametría aérea a las operaciones civiles, las topográficas y catastrales; y todo o casi todo lo que hubiéramos escrito en aquel entonces hubiera pasado hoy a la historia por envejecido.

Veinte años más tarde, en el momento de haberse terminado la publicación de la 2ª edición de nuestra "Teoría de los Errores y Cálculo de Compensación", lo cual constituía para nosotros una obligación didáctica de carácter fundamental —había cambiado completamente la situación: el método estereofotogramétrico convertido en método de levantamiento clásico y tratado como tal, y la Fotogrametría aérea librada de toda indecisión y duda con "carta de ciudadanía" adquirida en leal y tenaz lucha por su existencia, que sólo esperaba una mejor comprensión y mayor difusión.

Frente a tan distinta situación nosotros no podíamos permanecer indiferentes e inactivos.

La Fotogrametría terrestre, que presentamos como 1ª parte de nuestro nuevo trabajo, se presta particularmente para introducir al lector en el nuevo ambiente; porque las relaciones ópticas y geométricas son más sencillas, y más sencillos también los instrumentos de campo y aparatos de gabinete, resultando por ello más fácil y más eficaz la explicación de los conceptos fundamentales y de las normas de trabajo, de campo y gabinete.

La segunda parte del presente tomo tiene por objeto transmitir al lector todos los conocimientos básicos para comprender los grandes problemas de Fotogrametría aérea y los métodos e instrumentos que conducen a su solución.

En esta forma tendremos familiarizado al lector con las más diversas operaciones (de campo y gabinete) correspondientes a todos los problemas topográficos; los subterráneos, los terrestres y (aunque sea sólo a grandes rasgos) los aéreos.

Al llegar a este punto terminal de nuestra obra nos queda por cumplir una deuda de gratitud hacia todos aquellos que nos han acompañado tan fielmente en el largo camino recorrido, deuda que juzgamos no poder saldar en for-

ma mejor que mediante el siguiente "legado espiritual del Autor", que es una síntesis de su larga vida profesional; la que aconsejamos al lector tener siempre presente en la ejecución de los trabajos de su profesión:

"Cada vez que el ingeniero emprenda una medición, aclarar primeramente las siguientes 3 preguntas:

¿Cuál es para un trabajo a ejecutar (mensura, por ejemplo) la precisión final que racionalmente puede ser exigida?

¿Cuál es, en consecuencia, la precisión de las operaciones de restar (angulares y lineales) necesarias para garantizar esa precisión? y, finalmente:

¿Cuál es entonces la precisión de los instrumentos que deben ser empleados?

A todo lo cual agregamos la siguiente norma general:

Que el agrimensor tenga siempre presente el error medio que afecta a cualquier operación que ejecute.

Sólo con aplicar esta norma de trabajo, las operaciones del agrimensor se jerarquizan todas, elevándose a la alta categoría que las mismas tienen por su transcendencia en el interés del Estado.

El agrimensor que no procede en la forma indicada degrada su profesión a una simple rutina, fácil de aprender y ejecutar, a cuyos resultados, empero, les faltará siempre la garantía de la exactitud y de la fe que deberían tener".

Si todos los lectores en el ejercicio de su futura profesión siguieran concienzudamente las precedentes normas de trabajo, se formarían en el curso de pocos años, numerosos núcleos de profesionales animados de los mismos ideales, profesando las mismas teorías y practicando las mismas normas; es decir, verdaderas "escuelas", la "escuela argentina", por ejemplo, y por extensión, la "escuela latinoamericana".

De las actividades de estas escuelas saldrían altamente beneficiadas la economía nacional y la cartografía oficial, y, por ende, más elevado el nivel de cultura de cada uno de los países afectados.

Agradecemos, en primer lugar, el eficaz apoyo que nos prestaron los señores profesores de Topografía de la Argentina así como de los demás países latinoamericanos, sin cuya colaboración no habría sido posible la realización de nuestra obra en su actual forma.

Agradecemos también la desinteresada colaboración del señor D. José Romano, profesor de dibujo cartográfico en la Escuela de Bellas Artes de la Universidad Nacional de La Plata; el que confeccionó las figuras del presente libro.

Finalmente, dejamos constancia de que la lectura final de los originales así como la corrección de las pruebas de imprenta estuvieron a cargo de nuestro hijo Federico, capitán de fragata de nuestra Marina de Guerra. La concienzuda prolijidad en el cumplimiento de estas importantes tareas han redundado en notable beneficio de nuestro trabajo.

Si nuestra breve Introducción contribuyera a aumentar el interés y la comprensión de la Fotogrametría, a fomentar y difundir su aplicación en cada vez mayor escala, se habrían cumplido nuestras más halagüenas esperanzas.

Buenos Aires, octubre de 1950.

R. MÜLLER.

Indice de Materias

Capítulo I

Preparación general del tema

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Origen del dibujo perspectivo J. H. Lambert	1	25. Abertura máxima de una cámara; intensidad de iluminación	11
2. Principio del dibujo perspectivo	2	26. Claridad o luminosidad absoluta	11
3. Perspectiva fotográfica. Analogía con el ojo	2		
		<i>Ley de Lambert</i>	
<i>Dibujo perspectivo</i>		27. Aplicación de la unidad de cantidad de luz	12
4. Conceptos fundamentales del dibujo perspectivo	3	28. Amplitud del concepto de fuente de luz	12
5. Aclaración de conceptos fundamentales	3	29. Semi-ángulos conjugados de proyección óptica	12
6. Ventaja de la posición vertical del cuadro	4	30. Ley de Lambert	12
7. División de la Perspectiva	4	31. Intensidades de iluminación; consecuencias de la ley de Lambert	13
8. Perspectiva aérea	4		
9. Filtros de luz, filtro amarillo	4	<i>Invención de la fotografía</i>	
10. Subdivisión de la Perspectiva lineal.	4	32. Necesidad de la fijación de la imagen perspectiva producida por una cámara oscura	14
		33. Invención de la fotografía	14
<i>Perspectiva libre</i>		34. Centro de proyección (1ª aproximación) de la cámara fotográfica	14
11. Propiedades fundamentales de la imagen perspectiva	5		
		<i>Proporcionalidades perspectivas</i>	
<i>Punto de fuga</i>		35. Proporcionalidad en el dibujo perspectivo	15
12. Punto de fuga. Concepto	6	36. Proporcionalidad en perspectiva fotográfica	15
13. Punto principal	7		
14. Horizonte del cuadro	7	<i>Haz de rayos fotogramétricos</i>	
15. Puntos de distancia	7	37. Haz de rayos fotogramétricos; sección perpendicular al eje de imagen o rayo central	16
16. Punto de fuga nadiral. Analogías	7	38. Teorema de la fotogrametría	17
17. Ejemplos de la vida diaria	8	39. Homografía de Gauss; puntos conjugados, rectas conjugadas, planos conjugados	17
18. Reglas prácticas del dibujo perspectivo	8	40. Plano focal y foco del espacio imagen y plano focal y foco del espacio objeto	18
		41. Eje de imagen, su definición	18
<i>Más propiedades relativas a la imagen perspectiva</i>		42. Orientación interna de la cámara	19
19. Distancia del ojo. Condición de perspectividad	9	43. Orientación externa u orientación absoluta de la cámara fotogramétrica	19
20. Imagen perspectiva invertida	9		
21. Cámara oscura de Bacon (sin lente)	9		
22. Cámara oscura con lente	10		
23. Consideraciones previas sobre claridad de la imagen	10		
24. Unidades de medida de luz	10		

Capítulo II

Teodolitos§ 1. *Explicación previa de conceptos fundamentales y elementos constructivos de la cámara fotogramétrica*

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Dos tipos de cámara: cámara rígida o de enfoque fijo y cámara móvil o de enfoque variable	23	8. Vidrio esmerilado	26
2. Distancia de imagen constante	23	9. Obturador del diafragma de campo	26
3. Características constructivas de la cámara fotogramétrica. Objetivo desplazable; su finalidad	24	10. Numeración automática de las placas expuestas	26
4. Sistema <i>yz</i> de coordenadas rectangulares de la imagen; recta vertical principal	24	11. Tamaño (formato) del marco porta placa; su colocación en la cámara	26
5. Marco de apoyo	25	12. Superficie utilizable de la placa	27
6. Coincidencia del plano de apoyo con el plano de imagen	25	13. Ejemplo práctico explicativo del aumento del ángulo de campo visual con desplazar el objetivo en sentido vertical	27
7. Condiciones que deben hallarse realizadas en la cámara para satisfacer las exigencias de la orientación interna	26	14. Criterio sobre el tiempo de exposición de la placa. Medida para el ennegrecimiento de la placa	28
		15. Negativo y positivo	28
		16. Recapitulación	29

§ 2. *Notas adicionales*

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Nota explicativa de carácter histórico	29	reofotogrametría terrestre marcada por un notable trabajo en la República Argentina.	30
2. Primera etapa evolutiva de la Este-			

§ 3. *Aparatos de toma de vistas fotogramétricas desde tierra*

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Finalidad de la construcción de fototeodolitos	31	4. Fototeodolito de Finsterwalder-Ott (1895) y de Finsterwalder-Zeiss (1926)	33
2. Características de dos caminos constructivos	31	5. Fototeodolito de C. Koppe	35
<i>Modelos de fototeodolitos</i>		6. Fototeodolito de Pulfrich-Zeiss	37
3. Fototeodolito del Estado Mayor Italiano (año 1889)	32	7. Nota histórica	42
		8. Fototeodolito de C. Zeiss de 1926	42
		9. Fototeodolito de Wild	45
		10. Fototeodolito Santoni	43

Capítulo III

Fotogrametría ordinaria o Método de Laussedat

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Primeros pasos evolutivos de Topografía	50	3. Analogías entre el método de la plancheta y el método Laussedat	51
2. Primer paso de Fotogrametría: Método de Laussedat	50	4. Destacando diferencias, ventajas e inconvenientes de ambos métodos	52

Nº	Pág.	Nº	Pág.
5. Clasificación de los trabajos	52	relativa (desnivel) de un nuevo punto P. "Constante altimétrica"	55
6. Tarea de la Fotogrametría	52	11. Situación planimétrica de los puntos identificados P del terreno (confección del plano a base de pares de vistas fotogramétricas)	57
7. Magnitudes angulares que pueden ser deducidas de vistas obtenidas con cámaras con elementos de orientación interna	53	12. Medición de placas o determinación de las coordenadas yz de un punto imagen	57
8. Orientación del eje $OH = f = x$ y del rayo OP.	54	13. Identificación de puntos	59
9. Condiciones operativas para la mejor determinación planimétrica de nuevos puntos según el método Laussedat	54	14. Destacando desde un nuevo punto vista las ventajas e inconvenientes del método de Laussedat	59
10. Doble determinación de la altura		15. Precisión	59

Capítulo IV

Estereofotogrametría

§ 1. Visión estereoscópica - Fundamento de la Estereofotogrametría

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Generalidad sobre la apreciación de distancias con visión binocular y con visión monocular	61	11. Precisión o agudeza visual de la visión estereoscópica (1ª y 2ª especie)	65
<i>Visión monocular</i>		12. Radio del campo visual estereoscópico	65
2. Precisión o agudeza visual fisiológica en la Visión monocular; 1ª y 2ª especie	62	13. Aplicación de la fórmula (4) a objetos situados a la distancia de óptima visión clara	66
3. Visión monocular natural	62	14. Punto nuclear, rayo nuclear, eje nuclear, plano nuclear	67
4. Visión monocular con instrumento	62	<i>Visión binocular con instrumento</i>	
5. Misión del instrumento óptico en la visión monocular	62	15. Condiciones principales para la sensación de relieve	68
6. Forma de imagen plana obtenida en la visión monocular de un cuerpo del espacio	62	16. Cámara fotográfica estereoscópica	69
<i>Visión binocular sin instrumento</i>		17. Estereoscopio de Brewster	69
7. Formación de las semi-imágenes. Paralajes binoculares, angulares y lineales	63	18. Ejemplo clásico para el aumento de la base estereoscópica	70
8. El nuevo "sentido del espacio"	64	19. Estereoscopio de reflexión o telestereoscopio de Helmholtz	70
9. Visión estereoscópica considerada como aplicación del método de intersecciones. Paralaje horizontal y paralaje vertical	64	20. Relación entre la impresión de relieve producida por el telestereoscopio de Helmholtz y la originada en la visión natural	70
10. Signos de los segmentos de paralaje p_1 y p_2 en la visión estereoscópica natural	65	21. Efecto del aumento del antejo doble. Efecto plástico total	71
		22. A. Rollet, precursor de Pulfrich. Escala de Rollet	71

§ 2 Teoría de la Estereofotogrametría

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Sistema de coordenadas rectangulares del espacio XYZ, en que se apoya la orientación externa o absoluta de la vista fotogramétrica	73	2. Coordenadas rectangulares xyz de la orientación interna de la cámara	73
		3. Designaciones anticuadas de las coordenadas rectangulares de las	

Nº	Pág.	Nº	Pág.
vistas (placas) fotogramétricas. Su conveniente abolición	73	cuidad	74
4. Caso normal de la estereofotogrametría terrestre y el caso de obli-		5. Caso de oblicuidad en la práctica de campo	76

§ 3. Estereocomparador de Pulfrich

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Nota histórica	79	5. Corrección y ajuste del estereocomparador. Ajuste del microscopio binocular	82
2. Síntesis de operaciones a ejecutar para realizar la finalidad de la práctica	79	6. Precisión	84
3. Estereocomparador de Pulfrich, primera construcción cumbre de la fotogrametría moderna	79	7. Confección del plano	84
4. Descripción del estereocomparador de Pulfrich	80	8. Inconveniente del método de cálculo	84
		9. Estereocomparador Pulfrich, modelo E	85

§ 4. Estereoautógrafo de von Orel Zeiss

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Nota previa. Desequilibrio de labores de campo y gabinete.	86	8. Estudio de las palancas de la derecha (de paralajes) y del medio (de direcciones)	91
2. Von Orel, inventor del estereoautógrafo	86	9. Puente de distancia y carro de base.	92
3. Primer modelo comercial del estereoautógrafo von Orel-Zeiss	86	10. Palanca izquierda de alturas	93
4. Las dos partes principales que integran el estereoautógrafo; su denominación	87	11. Escala de alturas	93
5. Breve síntesis de las operaciones a efectuar con cada parte integrante del aparato	87	12. Determinación cartográfica completa de un punto del terreno	93
6. Restitución, definición del término	89	13. Dibujo cartográfico de las líneas de esqueleto	94
<i>Explicación detallada de los diversos ór- ganos del estereoautógrafo</i>		14. Dibujo automático de las curvas de nivel	94
7. Las 3 palancas (reglas) del aparato dibujante consideradas en conjunto	90	15. Dibujo perspectivo de las curvas de nivel	94
		16. Ponderación del progreso realizado con el invento del estereoautógrafo.	94

Capítulo V

Práctica de campo y práctica de gabinete

Conceptos y nociones fundamentales

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Concepto general de estereofotogrametría	98	4. Escala de imagen	98
2. Condición imprescindible para la visión estereoscópica; consecuencia	98	5. Dos etapas de desarrollo de la técnica estereofotogramétrica (caso normal y caso de oblicuidad)	98
3. Dependencia de efecto estereoscópico de la relación entre la longitud de la base y el alejamiento del objeto	98	6. Criterio sobre la precisión de un trabajo de levantamiento	100
		7. Algo más sobre la precisión de la restitución, modelo del espacio	101

Nº	Pág.	Nº	Pág.
8. Modelo estereoscópico	101	20. Colocación de las parejas de placas en el estereoautógrafo	108
9. Tolerancia gráfica de un punto restituido	101	21. Colocación de la copia (positiva) . .	108
10. Inconveniente de la base larga del método de intersecciones (de Laus-sedat)	101	22. Orientación de la mesa de dibujo . .	108
11. Longitud de la base estereofotogramétrica b	101	23. Colocación de la base en el estereoautógrafo	108
<i>Trabajos preliminares</i>		24. Líneas de esqueleto, su definición y restitución	108
12. Influencia de la escala del plano . .	104	25. Dibujo automático de las curvas de nivel	109
13. Plan de trabajos	104	<i>Precisión de los levantamientos estereofotogramétricos</i>	
14. Elección de los puntos trigonométricos	104	26. Dos tipos de errores medios, errores medios "a priori" y "a posteriori"	109
15. Señalación de los puntos fijos trigonométricos contralores en los fotogramas	105	27. Errores medios determinados por H. Lüscher	109
16. Elección de los puntos de estación estereofotogramétrica de trabajo que la rigen	105	28. Trabajos de levantamiento de gran envergadura	110
<i>Toma de vistas estereofotogramétricas</i>		29. Magnitudes de errores que conviene tener presente	110
17. Los 13 pasos de que se compone la toma de la primera semi-vista de una estación estereofotogramétrica .	106	30. Comparación de trabajos de restitución efectuados en el estereocomparador con trabajos realizados en el estereoautógrafo	110
18. Segunda semi-vista de la estación .	106		
<i>Detallando en orden sucesivo los trabajos de restitución a ejecutar con el estereoautógrafo de von Orel-Zeiss</i>			
19. Examen previo de las parejas de placas	107		

Introducción
a la
Fotogrametría

SUMARIO

Primera Parte

Capítulo I:

1. Preparación general del tema	1
---	---

Capítulo II:

Fototeodolitos

§ 1. Explicación previa de conceptos fundamentales y elementos constructivos de cámaras fotogramétricas	23
§ 2. Notas adicionales	29
§ 3. Aparatos de toma de vistas desde tierra	31

Capítulo III:

Fotogrametría ordinaria o Método de Laussedat	49
---	----

Capítulo IV:

Estereofotogrametría

§ 1. Visión estereoscópica. Fundamentos de la Estereofotogrametría	61
§ 2. Teoría de la Estereofotogrametría	73
§ 3. Estereocomparador de Pulfrich	78
§ 4. Estereoautógrafo de von Orel	86

Capítulo V:

Práctica de campo y gabinete	97
Observaciones finales de carácter didáctico	111

Introducción a la Fotogrametría

Capítulo Primero

Preparación general del tema

1. Origen del dibujo perspectivo. J. H. Lambert.

Desde remotos tiempos el hombre sintió el deseo de representar gráficamente (con estilete o pincel) con la máxima fidelidad posible, lo que más le interesaba y encantaba en sus alrededores. Los grandes esfuerzos que se hicieron para realizar tales anhelos condujeron, en un lento proceso de evolución, al **dibujo perspectivo**.

No obstante haber sido **Hiparco** (160-124) quien ya un siglo antes de la Era Cristiana había establecido el **principio del dibujo perspectivo**, carecemos casi por completo de los documentos ilustrativos de las distintas etapas de evolución.

Recién en el siglo XVII aparecen las primeras pruebas de ese arte: Es una serie de dibujos perspectivos del año 1726, que representan el macizo del monte **Pilatos** (Suiza) confeccionados por el suizo **Capelle** con el objeto de obtener una carta de esa hermosa montaña.

Pocos años más tarde otro suizo, **J. H. Lambert** (*), el gran clásico de las matemáticas aplicadas, publicó en Zürich (en 1759) su famosa obra "**Freie Perspective**" (perspectiva libre).

En esa clásica obra **Lambert** estudia las formas de los haces perspectivos y, en base a ellas, las dimensiones de los objetos naturales, la posición del centro de proyección, así como las relaciones geométricas que existen entre las figuras perspectivas y los correspondientes objetos del espacio.

(*) Sentimos el deber de destacar este hecho porque creemos que los suizos no están seguramente tan sobrados de prominentes hombres de ciencia de la talla de **Lambert** como para olvidar que **J. H. Lambert** es suizo (hijo de padre suizo).

Los franceses lo reclaman por haber nacido en Mulhouse (Alsacia) y los alemanes, por haber actuado durante toda su vida en un ambiente alemán y por haber escrito todas sus obras en alemán.

Ver su retrato en pág. 222 del Tomo I.

2. Principio del dibujo perspectivo.

La figura 1 ilustra el principio del dibujo perspectivo. Se obtiene la imagen perspectiva de un objeto del espacio, con cortar, a la óptima distancia de visión clara (ver página 129 de **Optica**) mediante un plano transparente vertical, a los rayos de un haz de luz procedentes de los puntos de un objeto natural, dibujando sobre ese plano la figura perspectiva en base a los puntos de intersección con ese plano de esos rayos que penetran al ojo del observador.

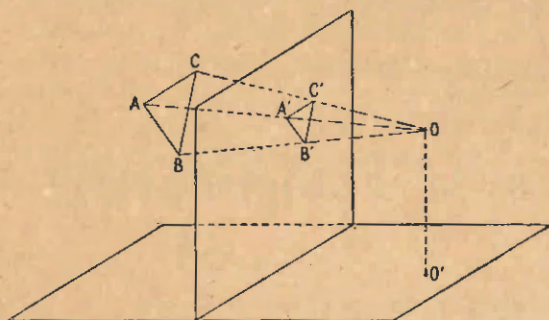


Fig. 1.— Principio del dibujo perspectivo.
 ABC, figura del espacio,
 A'B'C' " perspectiva.
 O, centro de proyección.

3. Perspectiva fotográfica. Analogía con el ojo.

Existe una gran analogía entre el dibujo perspectivo y la perspectiva fotográfica, en la que el centro de proyección O (fig. 1) del ojo del observador se halla substituído por el centro del "ojo" de la cámara fotográfica, es decir, por el centro O del objetivo de la misma (ver fig. 2).

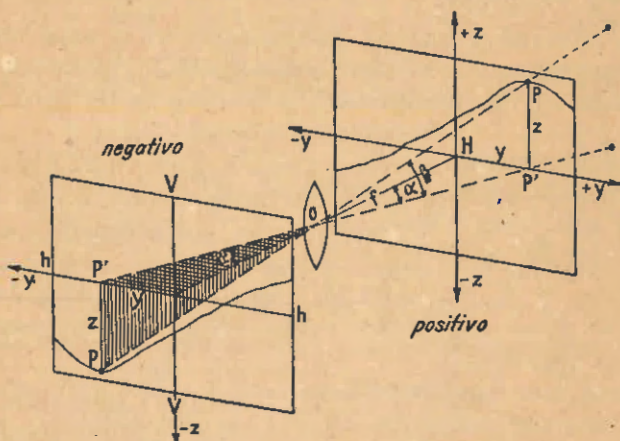


Fig. 2.— Perspectiva fotográfica (fotogramétrica).

hh, horizonte principal de la imagen,
 H, punto " " " "
 f, distancia focal de la cámara,

y z, sistema de coordenadas de la imagen,
 α, ángulo acimutal del punto imagen,
 β, " vertical " " "

A aquel plano sobre el cual el dibujante hace nacer lentamente una imagen perspectiva más o menos fiel al objeto natural según el talento del artista, corresponde en la fotografía la **placa negativa**, sobre la cual la lente objetiva O hace nacer en un instante y con una fidelidad y exactitud ab-

soluta la imagen perspectiva de un paisaje o de cualquier otro objeto del espacio.

Empero, recién en el año 1839 fué inventado el **procedimiento fotográfico**; por lo cual podemos decir que la "idea" del mismo se tuvo mucho tiempo antes del invento de la fotografía.

"La perspectiva de un paisaje o de otro objeto del espacio" dicen **Gay-Lussac** y **Arago**, el 30 de Julio de 1839, en su informe a la Cámara de Diputados de Francia, "se produce con una exactitud matemática, y no escapará ningún detalle al ojo y al pincel de este nuevo pintor".

Pero los triunfos que se esperaban del nuevo procedimiento no se lograron realizar con la prontitud y facilidad que se imaginaban los mencionados sabios, por no disponerse en esa época de lentes suficientemente corregidas de los errores de aberración, esférica y cromática.

Eran muy grandes los esfuerzos que tuvieron que hacerse para realizar el perfeccionamiento de las primeras lentes de paisaje del año 1840 hasta los famosos objetivos "**Tessar-Zeiss**" construídos durante la primera guerra mundial.

Por ser entonces la fotografía simplemente **perspectiva aplicada**, es lógico que el lector deberá previamente familiarizarse con el **dibujo perspectivo**, con las reglas prácticas que se emplean y los conceptos fundamentales que lo rigen.

Dibujo perspectivo.

4. Conceptos fundamentales del dibujo perspectivo.

Fúndase el dibujo perspectivo en la **ley de la propagación rectilínea de la luz** (ver pág. 3 de la **Optica**), según la cual la imagen P' de un punto objeto P se encuentra sobre el rayo luminoso que emana de P .

Sea ABC (fig. 1) el objeto del espacio del cual nos proponemos dibujar la imagen perspectiva $A'B'C'$.

Mirando al objeto ABC con un solo ojo (sin mover), el observador podrá dibujar sobre el **plano de imagen** (placa de vidrio transparente) directamente la imagen perspectiva $A'B'C'$.

5. Aclaración de conceptos fundamentales.

Llámase **visual**, de un punto A , por ejemplo, al rayo de luz que sale de A ; punto al que se ve en la dirección de ese rayo.

Podemos entonces imaginarnos que de los 3 puntos A , B y C de figura 1 salen rayos que se reúnen en el punto O del ojo del observador.

La imagen perspectiva de una figura o cuerpo cualquiera del espacio hállase entonces dentro de una **pirámide de rayos** o **pirámide de visuales** con vértice en el punto O del ojo del observador; pirámide o cono que se puede imaginar enjendrado con correrse un rayo de luz procedente del ojo a lo largo de la línea de contorno de la figura del espacio.

Cortando ahora a esa pirámide de rayos mediante un **plano transparente perpendicular** (el llamado **cuadro**), obtendremos, según ya dijimos, por la unión de los correspondientes puntos de intersección o **trazas de las visuales**, la imagen perspectiva $A'B'C'$ de la figura ABC del espacio.

Evidentemente, la imagen perspectiva $A'B'C'$ producirá, en el ojo del observador, a condición que permanezca inmóvil y en mismo sitio, exactamen-

te la misma impresión que el objeto natural **ABC**; porque los rayos visuales **A'O** y **B'O**, por ejemplo, que salen de los puntos imágenes **A'** y **B'**, forman entre sí en el ojo **O** del observador el mismo ángulo (**ángulo visual**) que los correspondientes rayos **AO** y **BO** de los puntos **A** y **B** del objeto del espacio.

6. Ventaja de la posición vertical del cuadro.

Supondremos colocado generalmente el cuadro (plano de imagen) en **posición vertical** para una máxima simplificación de la representación perspectiva y para conseguir que todas las rectas verticales de los objetos del espacio tengan por imagen otras tantas rectas verticales paralelas entre sí.

7. División de la Perspectiva.

Según que la Perspectiva trate sólo de los **contornos lineales** de las figuras o cuerpos del espacio o también de sus **colores** o de su **iluminación**, distínguense primeramente las dos siguientes ramas:

Perspectiva lineal.
y Perspectiva aérea.

8. Perspectiva aérea.

Hemos visto en página 217 de **Optica** la influencia de la perspectiva aérea sobre la apreciación de las distancias en el paisaje, influencia que lógicamente ha de sentirse también en fotogrametría.

Es el **efecto de la bruma atmosférica** más o menos densa, compuesta de polvo y humedad, la que hace que se presenten con colores distintos las escalonadas cadenas de montañas según su distancia; que las más alejadas aparezcan con un "velo" azulado, con contornos confusos y sin nitidez en los contrastes de luz y sombras.

9. Filtros de luz; filtro amarillo.

Se evita en gran parte el desagradable efecto de la bruma atmosférica en la fotografía, colocando delante del objetivo de la cámara (delante del obturador) una delgada placa de vidrio de **color amarillo**, con caras plano paralelas exactas, el llamado "**filtro amarillo**".

Se le llama así porque filtra la luz en su pasaje a la cámara, reteniendo o absorbiendo en gran parte los rayos del color complementario del amarillo, o sea **azul** (de onda corta).

El uso del filtro amarillo tiene por natural **consecuencia** un necesario **aumento del tiempo de exposición** de la placa fotográfica, el duplo o el cuádruplo, según la densidad del filtro.

10. Subdivisión de la Perspectiva lineal.

La Perspectiva lineal se subdivide en las siguientes ramas:

Perspectiva geométrica o Perspectiva ligada y Perspectiva libre.

La **Perspectiva geométrica** se basa en la planta y la elevación de los cuerpos que se representan (edificios, monumentos, etc.), llamándosela por eso a veces "**Perspectiva ligada**". La misma constituye uno de los temas principales de dibujo del arquitecto.

La **Perspectiva libre**, en cambio, obtiene la imagen perspectiva libremente, sin ligazón de ninguna especie, cortando al haz de rayos procedentes de los puntos de una figura o cuerpo del espacio mediante una placa transparente (cuadro).

Trátase entonces en ella de representar, por un lado, la **forma y magnitud** de las figuras y cuerpos del espacio, lo cual constituye el **problema directo** (el del pintor artista); mientras que, por el otro lado, el **problema indirecto** comprende la tarea de **deducir**, en base a las formas conocidas, las **dimensiones de las figuras representadas**, así como las **distancias de todos sus puntos característicos al centro de proyección y la posición de este en el espacio**.

Es éste el gran conjunto de tareas de perspectiva libre, cuyo estudio y aplicación es fundamental para la fotogrametría terrestre y aérea.

Perspectiva libre.

11. Propiedades fundamentales de la imagen perspectiva.

Llámase **plano geometral** (o plano fundamental) al plano horizontal, sobre el cual se suele situar el objeto a representar en perspectiva, y **línea de tierra** (o recta fundamental) a la intersección de ese plano con el **plano de imagen** o **cuadro** (ver fig. 3).

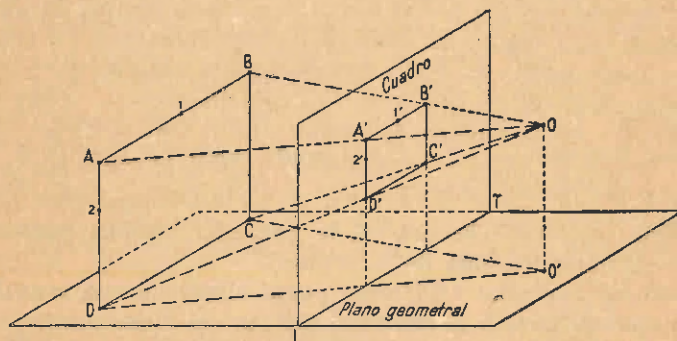


Fig. 3.— Rectas frontales del espacio y sus imágenes.

Llámanse **rectas frontales del espacio** (horizontales o verticales) a las paralelas (horizontales o verticales) al cuadro.

Rectas verticales del espacio tienen por imagen, como ya sabemos, otras rectas verticales y rectas horizontales del espacio otras rectas horizontales en el cuadro.

Los segmentos de división de rectas frontales, como, por ejemplo, **A—1** y **1—B** de la recta **AB**, conservan en la imagen perspectiva la misma razón de proporcionalidad, es decir:

$$(1) \quad (A-1) : (1-B) = (A'-1') : (1'-B')$$

Podemos establecer entonces el siguiente **teorema**:

La imagen perspectiva de una figura frontal es semejante a ésta, conservándose en la imagen la razón de proporcionalidad de los segmentos de división de alguno de los lados de la figura frontal.

Punto de fuga.

12. Punto de fuga; concepto.

Sea r (fig. 4) una recta en el espacio determinada por su dirección y su traza T sobre el cuadro. Con este punto T tendremos un **primer lugar** geométrico de la imagen r' de la recta r .

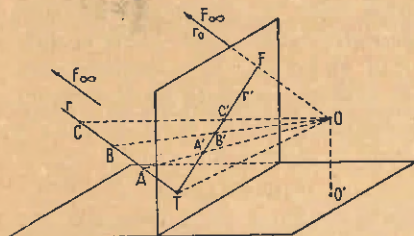


Fig. 4.— Construcción del punto de fuga.

métrico de la imagen r' de la recta r .

A fin de obtener un segundo punto de la recta imagen r' , nos valdremos de un nuevo concepto al que nos conduce la siguiente reflexión:

Nos imaginamos trasladados sobre la recta r una serie de segmentos sucesivos.

$$CA = AB = BC = \dots$$

Las visuales $OA, OB, OC, \dots$ determinan sobre el cuadro las trazas $A', B', C', \dots$.

La figura 4 nos hace ver que a medida que se aleja el punto objeto sobre la recta r , el correspondiente rayo visual se aproximará más y más al rayo paralelo a la recta r trazado por O , hasta llegar a un **límite**, en que la visual de O a un punto muy lejano de la recta r se confunde prácticamente con la paralela a la recta r por O . Esta recta paralela que designaremos por r_0 , corta al cuadro en un punto que lleva la denominación de “**punto de fuga**”, designado por F . Es la imagen del punto de la recta r llevado al infinito.

El punto de fuga F es entonces el **segundo lugar** geométrico de la imagen r' de la recta r , siendo: $FT = r'$ la imagen buscada.

Podemos decir entonces: **Se obtiene la imagen r' de una recta r con unir su traza con el punto de fuga de la misma.**

Plano visual de una recta. Llámase **plano visual** de una recta r al plano determinado por esa recta y el centro O del ojo del observador.

En base a esta definición podemos decir entonces: la imagen r' de r , es la traza del plano visual de la recta sobre el cuadro.

En caso de ser $r_1, r_2, r_3, \dots$ (ver fig. 5) un conjunto de rectas paralelas del espacio, la recta r_0 paralela a aquellas, cortará al cuadro en el punto de fuga F común a todas.

Uniendo ahora a este punto de fuga con las trazas $T_1, T_2, \dots$ de esas rectas $r_1, r_2, \dots$, se obtendrá como imagen perspectiva de las mismas el **haz de rectas imágenes con centro F** .

Podemos expresar este hecho también con otros términos:

El haz de rectas imágenes r' de figura 5, representa la figura de intersección con el cuadro, de un haz de planos visuales de rectas paralelas r , cuyo eje es el segmento OT .

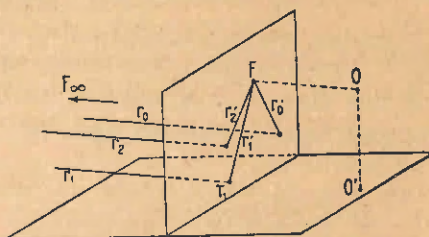


Fig. 5.— Se ilustra el teorema: “Rectas paralelas del espacio tienen un punto de fuga común”; siendo su imagen un haz de rayos.

13. Punto principal.

Si la recta r , además de ser horizontal, es también perpendicular al cuadro, en este caso el segmento:

$$OF = r_0$$

resulta también perpendicular al cuadro, siendo F el punto de fuga de todas las rectas horizontales y perpendiculares al cuadro.

Este punto de fuga particular lleva la denominación de **punto principal de la imagen perspectiva**. Se le designa por C en Perspectiva y por H en Fotogrametría.

14. Horizonte del cuadro.

El plano visual que pasa por O (fig. 6). El plano visual horizontal que pasa por O (ver fig. 6) corta al cuadro en una recta llamada **horizonte del cuadro** u **horizonte de la imagen**. Se le designa por hh . Sobre esta recta se halla el punto de fuga de las rectas horizontales del espacio.

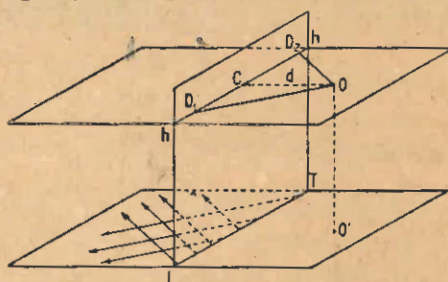


Fig. 6.— Horizonte de la imagen.

15. Puntos de distancia.

Llevando sobre el horizonte hh (fig. 6), a partir del punto principal C , el segmento

$$OC = d$$

hacia la izquierda y hacia la derecha, obtendremos dos característicos puntos, D_1 y D_2 (fig. 6), los llamados **puntos de distancia**. Son éstos los puntos de fuga de todas las rectas horizontales que forman ángulo de 45° con el cuadro y que por esa propiedad son muy útiles en la práctica del dibujo perspectivo.

16. Punto de fuga nadiral. Analogías.

El **punto de fuga nadiral**, que se designa por N (ver fig. 7), es el punto de fuga de todas las **rectas verticales** del espacio.

A fin de aclarar más aún el importante concepto del punto de fuga, consideraremos lo tratado desde nuevos puntos de vista, estableciendo, en base a la figura 7, las siguientes analogías:

Perspectiva:

$$OC = d \text{ (horizontal)}$$

Haz de rectas imágenes concurrentes todas al punto de fuga C de todas las rectas horizontales y perpendiculares al cuadro.

Fotogram. terr.

$$OH = f \text{ (horizontal)}$$

Haz de rectas imágenes concurrentes todas al punto de fuga H de todas las rectas horizontales y perpendiculares a la placa fotográfica vertical.

Fotogram. aérea:

$$OH = f \text{ (vertical)}$$

Haz de rectas imágenes concurrentes al punto de fuga N de todas las rectas verticales del espacio (ver fig. 7).

El punto de fuga nadiral **N** que acabamos de introducir, es entonces el punto de intersección de la vertical del centro de proyección **O** con el plano de imagen de la placa horizontal de la cámara.

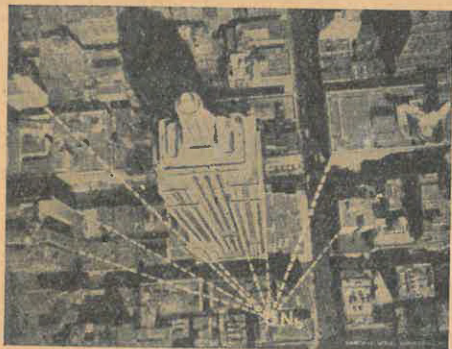


Fig. 7.— Punto de fuga nadiral, según K. Schwidefsky.

Este hecho de que las rectas imágenes correspondientes a las verticales del espacio (aristas de edificios, ver fig. 7), concurren todas al mismo punto **N**, llamado **punto nadiral** o **nadir** de la imagen, este hecho da a ese punto (caso particular del punto de fuga **F**) una importancia muy grande.

Podemos entonces establecer, resumiendo, el siguiente **teorema**: **Rectas paralelas, horizontales o verticales, tienen el mismo punto de fuga.**

17. Ejemplos de la vida diaria.

En la vida diaria tenemos a menudo ocasión de observar y verificar lo que acabamos de enunciar, es decir que pares de líneas paralelas, horizontales o inclinadas, como los dos rieles de una vía férrea recta, las dos hileras de árboles de una extensa avenida recta, etc., que se ven acercándose entre sí más y más, confundiéndose las dos líneas para una distancia muy grande.

18. Reglas prácticas del dibujo perspectivo.

1ª regla: Prolongando una recta o un plano del espacio hasta su intersección con el cuadro, se obtendrán, respectivamente, el *punto traza* o la *recta traza* de esos elementos del espacio.

2ª regla: Trazando por el punto **O** del ojo del observador una paralela a una recta del espacio, el punto de intersección de esa paralela con el cuadro, es el *punto de fuga* de esa recta.

Si la recta dada es horizontal, el punto de fuga se encuentra sobre el horizonte del cuadro.

Siendo la recta horizontal, formando un ángulo de 45° con el plano del cuadro, su punto de fuga coincidirá con uno de los dos puntos de distancia.

Siendo la recta horizontal y perpendicular al plano del cuadro, su punto de fuga coincidirá con el *punto principal* de la imagen.

3ª regla: La imagen perspectiva de una recta se obtiene con unir su traza con el punto de fuga de la misma.

4ª regla: La imagen perspectiva de un conjunto de rectas paralelas del espacio, es un haz de rectas con centro en el punto de fuga común.

5ª regla (definición): *Recta de puntos de fuga.*

El horizonte del cuadro es la traza del plano visual horizontal por el ojo del observador, la que contiene los puntos de fuga de todas las rectas horizontales del espacio, razón por la cual lleva la denominación de *recta de puntos de fuga*.

INVERSAMENTE:

6ª regla (definiciones): Un *punto de fuga* es la traza de una semi-recta por **O**.

Una *recta de puntos de fuga* es la traza de un plano visual por **O**.

Cualquier punto imagen concebido como punto de fuga, determina la *dirección* de una recta del espacio.

Cualquier recta imagen concebida como recta de fuga, determina la *dirección de un plano* del espacio.

7ª regla: Un haz de rectas imágenes que se cortan en un punto, determina un *haz de planos* en el espacio, cuyo eje pasa por *O*.

Más propiedades relativas a la imagen perspectiva.

19. Distancia del ojo. Condición de perspectividad.

Si proyectamos el punto *O* del ojo sobre el horizonte *hh* del cuadro, obtendremos, según ya dijimos, el punto principal *C*. El segmento de recta *OC* expresa entonces la distancia del ojo al cuadro. Es la distancia a la cual debe situarse el ojo del dibujante o del pintor.

Esta **distancia del ojo** está sujeta a **dos condiciones**: Por un lado ella debe ser igual a la distancia de óptima visión clara (ver pág. 129 de *Optica*) y, por el otro, debe hallarse a una distancia concordante con lo que enseña la experiencia, es decir, el ojo debe situarse a una distancia del cuadro que es 1 a 2 veces la máxima extensión (en anchura o altura) que se propone dar al dibujo.

Es a esta distancia que es preciso colocar el dibujo terminado para poder obtener, al mirarlo, la misma impresión que la producida por la observación directa del objeto natural.

Exactamente lo mismo ocurre en la **perspectiva fotográfica**, en la fotografía de un paisaje, por ejemplo. En este caso la distancia del ojo del observador debe ser substituida por la del centro del objetivo de la cámara al plano de la placa negativa, o sea, por la **distancia focal** del objetivo (ver fig. 2).

Podemos decir entonces: Sólo al mirar una vista fotográfica de un paisaje desde la distancia igual a la distancia focal de la cámara con que fué tomada, puede producirse en el ojo del observador la misma impresión que la originada por el paisaje natural.

Solamente así los diferentes puntos de la imagen forman entre sí en el ojo los mismos ángulos visuales y con ello el mismo efecto perspectivo que el objeto del espacio.

Es ésta la **imagen perspectiva derecha** formada por el **primer semi-haz de rayos** sobre el **primer plano de imagen**, mientras que el **segundo semi-haz de rayos** forma sobre el **segundo plano de imagen** la **imagen perspectiva**, según pasamos a explicar.

20. Imagen perspectiva invertida.

Si prolongamos los rayos del primer semi-haz hacia atrás hasta los puntos de intersección con un **segundo plano de imagen** (equidistante del centro de proyección *O*), se obtendrá, por la unión de los puntos de intersección, la **figura perspectiva invertida** del objeto natural (invertida izquierda y derecha, arriba y abajo (compare fig. 2)).

Esta figura 2 nos muestra una figura perspectiva invertida formada por la lente objetivo *O*.

21. Cámara oscura de Bacon (sin lente).

La cámara oscura de **Bacon** (1214-1294, ver pág. 114 de *Optica*) es una caja de cartón con una pequeña abertura circular (de 2 mm de diámetro aproximadamente) practicada en una de sus caras rectangulares y un **vidrio esmerilado** en la cara opuesta.

Con ayuda de este tipo de instrumento el astrónomo **Kepler** pudo medir el **diámetro aparente** del Sol.

Este aparato tan sencillo tiene sus límites constructivos: Si bien con la reducción del diámetro de la abertura se logra mayor nitidez de la imagen, pronto se llega en esa tendencia a un **límite** más allá del cual sería contraproducente el mayor achicamiento de la abertura, debido al **fenómeno de la difracción** (ver pág. 177 de la **Optica**), que los rayos luminosos sufren en los bordes de la abertura.

Por el otro lado: El **aumento del diámetro** de la abertura para una **mayor claridad de la imagen** sin sacrificar la nitidez, no era posible realizar sin el **auxilio de la lente**.

22. Cámara oscura con lente.

Sólo a partir de la segunda mitad del siglo XIII se logró perfeccionar la primitiva cámara oscura de Bacon con introducir en ella una **lente convergente**. Esta lente formó de un objeto del espacio (un paisaje, por ejemplo), sobre el vidrio esmerilado de la cámara, una imagen con una claridad y nitidez antes desconocidas.

La introducción de la lente permitió aumentar el diámetro de la abertura, realizándose con ello un gran aumento de la claridad de la imagen.

23. Consideraciones previas sobre claridad de la imagen.

Supongamos que el diámetro d_1 , de la abertura de una cámara de Bacon:

$$d_1 = 2 \text{ mm}$$

ha sido aumentado en d_2 :

$$d_2 = 4 \text{ mm}$$

con introducir una **lente**.

Tendremos entonces para las superficies de entrada de luz las siguientes expresiones:

$$\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \times \pi \text{ y } \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \times \pi$$

y con los valores del ejemplo:

$$(2) \quad \left(\frac{2 \text{ mm}}{2}\right)^2 \times \pi = \pi \text{ mm}^2 \quad \text{y} \quad \left(\frac{4 \text{ mm}}{2}\right)^2 \times \pi = 4\pi \text{ mm}^2$$

y para la razón de superficies:

$$(3) \quad d_1 : d_2 = 1 : 4$$

Podemos decir entonces: Con aumentar la medida del diámetro al duplo, aumentará al cuádruplo la cantidad de luz que entró a la cámara.

Aclararemos aún más este punto con introducir las correspondientes **unidades de medida de luz**.

24. Unidades de medida de luz.

La unidad de **potencia de luz** es una **bujía**; la unidad de **cantidad de luz** es un **lumen** y la unidad de **intensidad de iluminación** es un **lux** o **bujía métrica**.

Podemos decir entonces: Una fuente de luz de la potencia de 1 bujía ilumina a la distancia de 1 metro una superficie (perpendicular a la dirección

de la luz) de 1 metro cuadrado, con la cantidad de luz de 1 lumen; resultando entonces para esta superficie de 1 m² la intensidad de iluminación de 1 lux o 1 bujía métrica.

25. Abertura máxima de una cámara; intensidad de iluminación.

En cuanto a la iluminación de la imagen sabemos que la misma aumenta con el diámetro d de la lente.

Sabemos también que la iluminación disminuye con la distancia f del plano de imagen de la cámara; todo lo cual se expresa con el quebrado:

$$(4) \quad \frac{d^2}{f}$$

la que nos da, como medida para la intensidad de iluminación

$$(5) \quad \left(\frac{\text{diámetro de abertura de la lente}}{\text{distancia focal de la lente}} \right)^2 = \left(\frac{d}{f} \right)^2$$

Por ser en **fotogrametría topográfica** las distancias a los objetos que se levantan generalmente muy grandes, se suele considerar la distancia de la imagen igual a la distancia focal f de la cámara, tal cual lo hemos supuesto en (4) y (5).

La (4) que lleva la denominación de **abertura relativa máxima**, tiene mucha aplicación en fotografía y fotogrametría porque sirve para expresar cómodamente la **luminosidad de una lente objetivo**. Se le suele emplear en forma de quebrado común, con

numerador igual a 1 (primer modo) o
 " " " f (segundo ")

Primer modo:

$$(6) \quad \frac{d}{f} = \frac{d:d}{f:d} = \frac{1}{f:d} = 1:(f:d)$$

donde $f : d$ indica las veces que el diámetro d entra en la distancia focal f de la cámara.

Segundo modo:

$$(7) \quad f:n$$

donde n expresa la cantidad de veces que el diámetro d entra en la distancia focal f .

Siendo $d = 4$ cm y $f = 16$ cm, tendremos:

$$f:n = f:(16:4) = f:4$$

26. Claridad o luminosidad relativa y claridad o luminosidad absoluta.

La fórmula (5) o sea: $\left(\frac{d}{f}\right)^2$, donde d expresa el diámetro de la lente, sólo expresa la **claridad relativa**. Para obtener la **claridad o luminosidad absoluta** es necesario tener en cuenta la pérdida de luz que sufran los rayos por la **reflexión** en las superficies de las lentes y por la **refracción** en su pasaje por el vidrio.

Se ha calculado un valor de 7% de pérdida por cada lente.

Ley de Lambert.

Preparando la comprensión de la fórmula y de las consecuencias de la misma.

27. Aplicación de la unidad de cantidad de luz.

Colocando una fuente de luz de la potencia de B bujías en el centro de la esfera unitaria ($r=1$ metro), obtendremos según las definiciones dadas en el número 24 las siguientes cantidades de luz expresadas en Lm :

- (8) $4\pi B$ Lm sobre la superficie interna total de la esfera,
 $2\pi B$ " " " mitad de la superficie " " "
 $1\pi B$ " " " un cuarto de la superficie de la esfera

28. Amplitud del concepto de fuente de luz.

Una superficie S o un elemento superficial dS , que reflejan la luz recibida, deben ser considerados a su vez como fuentes de luz.

29. Semi-ángulos conjugados, μ y μ' , de proyección óptica.

De lo que antecede podemos deducir que la cantidad máxima de luz que desde un punto axial O (ver fig. 8) del espacio objeto incide sobre la lente,

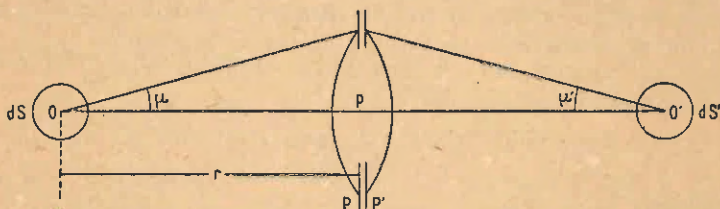


Fig. 8.— Se ilustra la formación de la imagen O' del punto objeto axial O .

puede ser considerada como un cono de luz con semi-ángulo de abertura μ , simétricamente dispuesto con respecto al eje óptico de la lente (o rayo central).

Podemos decir entonces: μ es el semi-ángulo de abertura, en el espacio objeto, con centro O , sobre la semi-pupila de entrada (ver pág. 132 de *Optica*).

Análogamente: μ' es el semi-ángulo de abertura del cono de luz en el espacio imagen, con centro O' , sobre la semi-pupila de salida de la lente.

30. Ley de Lambert.

Es a Lambert que se debe la importante ley que lleva su nombre, la que se expresa con tener en cuenta la (8), por la siguiente fórmula.

(9)

$$dL = \pi B \times dS \times \text{sen}^2 \mu$$

a la que corresponde la intensidad de iluminación i :

(10)

$$i = \pi B \times \text{sen}^2 \mu$$

La (9) expresa la cantidad de luz dL que incide con semi-ángulo de abertura μ sobre el elemento superficial dS ; mientras que la (10) expresa la intensidad de iluminación designada por i .

31. Intensidades de iluminación i e i' . Consecuencias de la ley de Lambert.

Después de refractarse la luz en la lente tendremos para la intensidad de iluminación i' del elemento superficial dS' .

$$(11) \quad i' = \pi B \times \frac{dS}{dS'} \times \sin^2 \mu$$

y, con tener en cuenta la (25), pág. 48 de **Optica**, a saber:

$$(12) \quad \frac{\Delta y'}{\Delta y} = \beta \text{ (aumento lateral)}$$

la (11) nos da:

$$(13) \quad i' = \pi B \times \frac{1}{\beta^2} \times \sin^2 \mu$$

En el supuesto de ser el semi-ángulo de abertura μ relativamente pequeño, podemos poner:

$$(14) \quad \sin^2 \mu = \operatorname{tg}^2 \mu = \left(\frac{p}{r} \right)^2 \text{ (ver fig. 8)}$$

con la cual la (13) nos dará:

$$(15) \quad i' = \pi B \times \frac{1}{\beta^2} \times \left(\frac{p}{r} \right)^2$$

Dividiendo la (13) por la (10), tendremos:

$$(16) \quad \frac{i'}{i} = \frac{1}{\beta^2} \text{ o sea: } i' = i \times \frac{1}{\beta^2}$$

Pero como la ley de **Lambert** no sólo rige para el espacio objeto, sino también para el espacio imagen, con sólo **invertir la dirección de la luz** e imaginar que la cara posterior de la lente es iluminada por un cono de luz de potencia B' , con vértice en O' , sobre el elemento superficial dS' , con ángulo de abertura μ' ; es decir, por ser:

$$(17) \quad dL = i dS = i' dS'$$

resulta finalmente:

$$(18) \quad dL = i \times \frac{1}{\beta^2} \times dS'$$

y para las intensidades de iluminación i e i' :

$$(19) \quad i = \pi B \times \sin^2 \mu$$

$$(20) \quad i' = i \times \frac{1}{\beta^2} = \pi B' \sin^2 \mu'$$

Invención de la fotografía.

32. Necesidad de fijar la imagen perspectiva producida por medio de una cámara oscura.

Nos hemos dado cuenta de que la introducción de la lente convergente en la cámara oscura de Bacon significó un progreso enorme; empero, también comprendemos que se hizo sentir cada vez más el deseo de **fijar** de una manera duradera esa imagen perspectiva fugaz de la cámara oscura, la que sólo existía para el observador que la contemplaba sobre el vidrio esmerilado.

La invención de la fotografía trajo la tan anhelada solución de este problema.

33. Invención de la fotografía.

En el año 1839, dos investigadores, el francés J. L. N. **Daguerre** y el inglés J. H. **Talbot**, dieron solución al problema de la fotografía casi simultánea e independientemente uno de otro. Ambos utilizaron para la fijación de la imagen los cambios producidos por la acción de la luz sobre ciertas sales de plata, haciéndolos luego visibles y permanentes.

Cabe destacar aquí, a fin de aclarar debidamente la cuestión, que no es el **método de Daguerre** (el que condujo a las famosas "daguerrotipia") sino el **procedimiento de Talbot** — revelación, fijación y copias de placas negativas — el que constituye el origen de la práctica fotográfica; la que luego se generalizó y se mantuvo sin variar hasta el día de hoy.

Como denominación especial de la lente convergente de la cámara fotográfica se eligió, no muy acertadamente, el nombre de "objetivo" por analogía con la lente de idéntica función en el **teodolito**. Decimos "no muy acertadamente" porque "objetivo" significa "la (lente) vuelta hacia el objeto", a la que se opone, en el teodolito, "la vuelta hacia el ojo", la imagen, o sea el ocular. Pero como en la cámara fotográfica el ocular no existe, le falta al término de objetivo algo de su significado intrínseco original. Se le podía haber llamado más correctamente: **lente de toma de vista**.

34. Centro de proyección (en 1ª aproximación) de la cámara fotográfica.

En realidad, la perspectiva fotográfica no es tan sencilla como se podría deducir de figura 2:

Los rayos luminosos de los puntos del espacio objeto, no se reúnen en el punto **O** sino en el **punto nodal (principal) anterior H** (ver fig. 9, pág. 76 de "Optica") de la lente y salen, después de un pequeño desplazamiento paralelo desde el **punto nodal (punto principal) posterior H** y al espacio imagen, afectando la placa sensible. ..

Pero podemos, sin embargo, admitir, en **primera aproximación**, que un haz de rayos procedente del punto nodal posterior **H'** de la lente, es idéntico, prácticamente, al haz de rayos procedentes de un punto del espacio objeto que se reúnen en el punto nodal anterior **H**. Es decir, se puede adoptar como **centro de proyección** al **centro de la lente objetiva** de la cámara, (Ver figura 17, página 88 de "Optica").

Proporcionalidades perspectivas.

35. Proporcionalidad en el dibujo perspectivo.

Sabemos de lo que antecede que en el dibujo de perspectiva libre rige la siguiente relación:

$$\frac{\text{Magnitud de la imagen}}{\text{Magnitud del objeto del espacio}} = \frac{\text{Distancia de la imagen al centro } O}{\text{Distancia del objeto al centro } O}$$

Esta fórmula nos permite hallar la correspondiente relación de fotogrametría.

36. Proporcionalidad en perspectiva fotográfica.

La imagen en el vidrio esmerilado de la cámara fotográfica será tantas veces más pequeña que el objeto (o sea el **aumento A** de la imagen tanto más reducido) cuantas veces la distancia **D** del objeto sea más grande que la distancia focal **f** de la cámara, es decir:

$$(22) \quad A = \frac{f}{D}$$

donde **A** expresa el **aumento** de la imagen.

Para agrandar el valor de **A** y obtener con ello de objetos lejanos imágenes más grandes, es necesario emplear un objetivo con distancia focal más grande; un "teleobjetivo".

Cuando se trata de vistas fotográficas de fotogrametría (terrestre o aérea), el aumento (o reducción) de la imagen **i** se suele llamar **escala de imagen**; a la que por ello designaremos por **E_i**.

Tendremos entonces

$$(23) \quad E_i = \frac{f}{D} = 1 : e_i$$

donde **e_i** expresa el número en el denominador de la escala **E_i**. **D** expresa la **distancia horizontal** del objeto de la vista (paisaje) tomada con **placa vertical** (eje horizontal de la cámara).

En caso de tratarse de vistas tomadas del aire (avión) con **eje vertical** y **placa horizontal** (ver fig. 2), corresponderá a la distancia **D** de la (23) la **altura de vuelo** del avión, con lo que la (23) nos dará:

$$(24) \quad E_i = \frac{f}{h}$$

En caso de desconocerse en las ecuaciones (23) y (24), las cantidades **f** y **D**, **f** y **h**, respectivamente, se podrá determinar la escala **E_i** con medir la magnitud **l** mm (en milímetros) en la imagen **i** y con tomar la medida (en

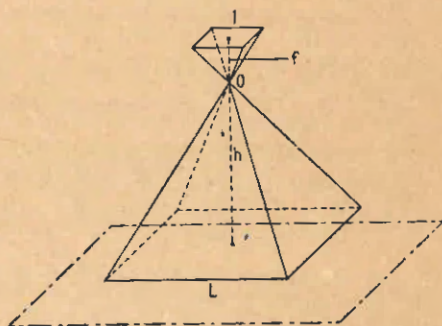


Fig. 9.— Se ilustra la proporcionalidad de la perspectiva fotográfica aérea, con eje vertical.

metros) de la correspondiente cantidad L_m del objeto, de una carta o medida directamente en el terreno.

Resulta entonces:

$$(25) \quad E_i = \frac{l_{mm}}{L_m} \times \frac{1}{1000}$$

la que, conjuntamente con la (23) nos dará para la distancia horizontal D .

$$(26) \quad D = \frac{f}{E_i} \times 1000$$

y con la (22) para la **altura de vuelo h** del avión:

$$(27) \quad h = \frac{f}{E_i} \times 1000$$

resultando ser esta última de gran importancia cada vez que falle la medición de **altura barométrica** o como base para la **documentación fehaciente** en los records de vuelos de altura.

La **superficie de terreno natural S_{nat}** levantado, correspondiente a la superficie s_i de la imagen i de la placa, se obtendrá mediante la fórmula:

$$(28) \quad S_{nat} = s_i \times \left(\frac{h}{f} \right)^2 = \frac{s_i}{E_i^2}$$

Se pregunta:

¿Cuál sería la superficie natural S_{nat} cubierta por la placa 9×12 cm. ($8 \times 10,5$ cm. utilizables) de un avión, de $f = 12$ cm, con eje de toma de vista vertical según figura 9?

1.º Con altura de vuelo $h = 300$ m.

2.º " " " " $h = 3000$ "

$$\begin{aligned} 1.º \quad S_{nat} &= (8 \times 10,5) \text{ cm}^2 \times \left(\frac{300}{0,12} \right)^2 \\ &= 84 \text{ cm}^2 \times 6\,250\,000 = \\ &= 0,0525 \text{ km}^2 = 5,25 \text{ ha (para } h = 300 \text{ m).} \end{aligned}$$

2º Para $h = 3\,000$: $S_{nat} = 5,25 \text{ km}^2$. (aumenta con el cuadrado de h)

Haz de rayos fotogramétricos.

37. Haz de rayos fotogramétricos; sección perpendicular a su eje o rayo central. Fotograma.

Llámase **haz de rayos fotogramétricos** al haz de rayos cuyo centro es el centro O del objetivo y cuyos rayos unen los puntos del objeto del espacio con los correspondientes puntos de la imagen.

Imaginemos ahora cortado este haz, perpendicularmente a su rayo central, llamado generalmente **rayo principal** (ver fig. 9, pág. 76 de "Optica") me-

diente una placa sensible. Esta placa quedará afectada por la acción de la luz en el momento de su exposición, dando origen a la **vista fotográfica** del objeto, vista que lleva la denominación de **fotograma**.

Este **fotograma** constituye la base del procedimiento fotogramétrico, cuya tarea pasamos a puntualizar.

38. Tarea de la fotogrametría.

El procedimiento fotogramétrico utiliza las **relaciones geométricas** que existen entre el objeto fotografiado del espacio y la imagen producida (fotograma) sobre la placa.

Puede ser concebido el haz de rayos fotogramétricos, conjuntamente con la placa, para el instante de la toma de vista, como un **modelo rígido del espacio** (ver fig. 10), el que, después de la toma, puede suponerse separado del objeto natural (fig. 11).

Fig. 10.— Haz de rayos fotogramétricos con el objeto natural.

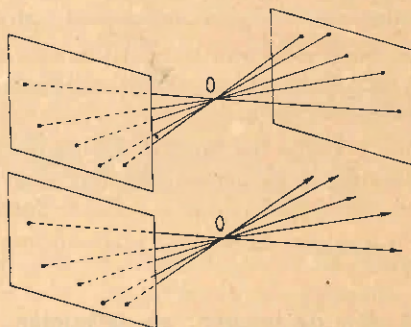


Fig. 11.— Haz de rayos fotogramétricos sin el objeto natural.

Con esa separación del objeto natural, las distancias de los puntos del mismo al centro de proyección **O** quedan **indeterminadas**, mientras que las **direcciones** a ellos dentro del haz han permanecido sin variar, debido a la posición fija que conservaron los puntos imágenes sobre la placa y el centro de proyección **O**.

Incumbe entonces a la fotogrametría la **tarea general** de determinar las distancias a los puntos objetos fotografiados, con lo cual se logra dar al haz de rayos fotogramétricos nuevamente la posición que tuvo en el momento de la toma con respecto a esos objetos del espacio.

39. Homografía de Gauss; puntos conjugados, rectas conjugadas, planos conjugados.

Según hemos visto en páginas 34 y 54 de **Optica**, sabemos que a todo punto **P**, toda recta **r** y todo plano π del espacio objeto, corresponde, en el espacio imagen, un **punto conjugado P'**, una **recta conjugada r'**, un **plano conjugado π'** , respectivamente.

Esta **correspondencia** entre los elementos geométricos del espacio objeto y los del espacio imagen, se llama **homografía de Gauss**, por haber sido Gauss quien la introdujo en el estudio de los instrumentos ópticos.

40. Plano focal y foco del espacio imagen y plano focal y foco del espacio objeto; definiciones.

Según la referencia de **Optica** que acabamos de citar, sabemos entonces que un plano π infinitamente lejano tiene por imagen otro plano π' , conjugado; sabemos también que los rayos paralelos de haces del espacio objeto se cortan todos sobre ese plano π infinitamente lejano. Las imágenes de esos puntos de intersección caen todas sobre un mismo plano, lo que queda expresado más claramente con el siguiente **teorema**: Los rayos imágenes correspondientes a los rayos de haces de rayos paralelos del espacio (que se cortan sobre el plano infinitamente lejano), se cortan todos en puntos de un mismo plano, el llamado **plano focal del espacio imagen** (compare fig. 5, pág. 6).

Por la invertibilidad del camino de los rayos y de los espacios obtendremos en análoga forma la definición del **plano focal del espacio objeto**.

Cada punto del plano focal del espacio imagen, es la imagen de un punto infinitamente lejano del espacio objeto.

Es hacia este punto infinitamente lejano que se halla dirigido el haz de rayos paralelos, cuyos rayos imágenes concurren a ese punto del plano focal imagen.

Entre todos los puntos del plano imagen habrá uno y uno sólo al que corresponde la dirección del haz de rayos paralelos perpendiculares al plano focal del espacio objeto. Es el **foco del espacio imagen**.

Un análogo raciocinio nos conduce a la definición del **foco del espacio objeto**.

41. Eje de imagen; su definición.

A la recta (rayo) perpendicular en el foco imagen al plano focal, deberá corresponder una determinada recta (rayo) de las del haz de rayos paralelos y perpendiculares al plano focal del espacio objeto.

Análogamente: A la recta (rayo) perpendicular en el foco objeto al plano focal, deberá corresponder una determinada recta (rayo) de las del haz de rayos paralelos y perpendiculares al plano focal del espacio imagen.

Resulta entonces que las rectas (semi-rectas) trazadas cada una del respectivo foco perpendicularmente al plano focal, se corresponden recíprocamente.

Esta singular pareja de semi-rectas, que se encuentran en el centro **O** de la lente objetivo, constituyen el llamado **eje de imagen de la cámara**.

Lo designaremos por **x** con origen en **O**.

En la cámara bien ajustada y correctamente construída, el **punto medio M** (ver fig. 12, pág. 19) de la placa coincidirá con el punto principal **H**, y éste, prácticamente, con el foco imagen, siendo entonces:

(29)

$$OH = f = x$$

importante elemento que figura entre los **parámetros de orientación de la cámara, interna y externa**.

42. Orientación interna de la cámara (ver fig. 12).

Siendo **O** el centro de proyección o centro del objetivo de la cámara (ver figs. 2 y 12), se puede decir que la **orientación interna de la cámara** está determinada cuando se conozca la posición de **O** con respecto a la placa fotográfica.

El pie de la perpendicular que se imagina bajada desde **O** (fig. 12) sobre la placa, nos da el punto **H** (punto principal) como **primer elemento de orientación interna**.

La longitud del segmento de recta **OH**, llamado **distancia principal**, es en nuestro caso de ser la **distancia principal fija**, igual a la **distancia focal f** del aparato. Es éste el **segundo elemento de orientación interna de la cámara**.

La posición del punto **H** sobre la placa está definida por un **sistema de coordenadas rectangulares yz** , cuyos ejes quedan señalados mediante **2 pares de marcas**, **1—3** y **2—4**, las que son fotografiadas sobre la placa en el momento de su exposición.

En una cámara correctamente ajustada el punto medio **M** coincide prácticamente con el punto principal (**$M = H$** , fig. 12).

El segmento **OH** establece la **unión** entre los elementos de orientación interna y los elementos de orientación externa. Lo hemos llamado “eje de imagen” en el número anterior, en el que hemos destacado la gran importancia que tiene en la fotogrametría. Se le llama también **eje de toma de vistas fotogramétricas**. Es el eje de las **x** en el sistema de coordenadas rectangulares (del espacio) **xyz** de la cámara.

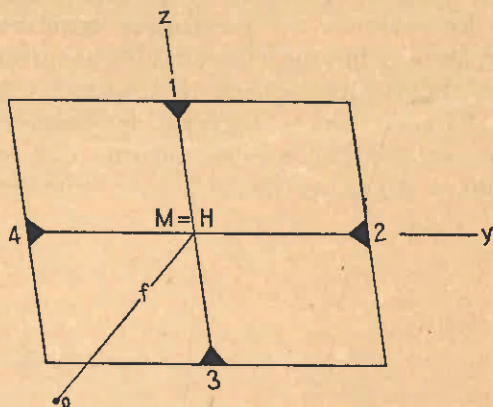


Fig. 12.— Se ilustra el sistema de coordenadas rectangulares yz de la imagen de la placa; indicando la línea de unión de las marcas 2 y 4 el eje de la y , la línea de unión de las marcas 1 y 3 el eje de las z . El punto medio **M**, obtenido por construcción es el origen de las coordenadas yz .

43. Orientación externa u orientación absoluta de la cámara fotogramétrica.

Una vez determinada la **forma del haz de rayos fotogramétricos** (ver pág. 17), mediante los elementos de orientación interna, falta todavía su **ubicación y orientación** en el espacio.

Son **6 los elementos parámetros** que para ello se necesitan, tres valores de coordenadas del espacio y tres valores angulares. La terna de coordenadas **XYZ** sirve para la determinación de la posición del centro **O** en el espacio, mientras que los 3 restantes expresan magnitudes angulares, a saber:

- el ángulo de orientación (rumbo) del eje **OH**,
- ” ” ” inclinación longitudinal del eje **OH**,
- ” ” ” lateral de la placa.

Las **coordenadas rectangulares planas** de orientación externa **XYZ** (a las que designaremos con mayúsculas en contraposición de las designadas con minúsculas de orientación interna), son obtenidas en base a los puntos fijos acotados conocidos, en los que se apoya el levantamiento fotogramétrico.

En cuanto a los **parámetros angulares** sólo podemos decir aquí que las cámaras deben estar dotadas de los niveles necesarios para el debido control de las inclinaciones, longitudinal y lateral.

Para la cómoda y exacta determinación del rumbo, se suele combinar la cámara con un teodolito, aparato que recibió la denominación de **fototeodolito**, a cuya descripción y uso dedicaremos el próximo capítulo.

—*—

Primera Parte

Fotogrametría terrestre

Capítulo II

Fototeodolitos

§ 1.

Explicación previa de conceptos fundamentales y elementos constructivos de la cámara fotogramétrica.

1. Dos tipos de cámaras: cámara rígida o de enfoque fijo y cámara móvil o de enfoque variable.

Los modelos de cámaras que se suelen emplear en **fotogrametría topográfica** son del tipo de **cámaras rígidas** o **de enfoque fijo**, porque los objetos que se fotografían en topografía se hallan generalmente a distancias tales que la posición del **plano de imagen** es prácticamente **constante** y coincide con el **plano focal**. No depende por ello sensiblemente la distancia del plano de imagen del alejamiento del objeto como lo demostraremos más adelante.

En cambio, para los objetos de arquitectura (grandes edificios), de **escultura** (monumentos) y para la **microfotogrametría**, la cámara necesita ser del tipo de las de **enfoque variable** debido a la relativa proximidad de los objetos que se fotografían.

En lo que sigue nos ocuparemos exclusivamente de la cámara rígida o de enfoque fijo.

2. Distancia de imagen constante.

A fin de aclarar más la importante cuestión de la distancia de imagen, haremos a continuación una sencilla consideración teórico práctica.

Siendo v la distancia del objeto y v' la de la correspondiente imagen formada por la lente de la cámara, f la distancia focal de la misma en el espacio objeto y f' la del espacio imagen, sabemos por la (19) de página 38 de nuestra **Optica**, que:

$$\frac{f}{v} + \frac{f'}{v'} = 1$$

y por ser en nuestro caso $f' = f$, tenemos:

$$\frac{f}{v} + \frac{f}{v'} = 1$$

De donde:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{v'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{v'} = \frac{v - f}{vf}$$

Luego:

$$(1) \quad v' = \frac{vf}{v - f}$$

Efectuando en la (1) la división, resulta con suficiente aproximación:

$$(2) \quad v' = f + \frac{f^2}{v}$$

Siendo, por ejemplo, $v = 400$ metros, $f = 200$ mm, la (2) nos da:

$$v' = 200 + \frac{(200)^2}{400 \times 1\,000} = 200 + 0,1 = 200,1 \text{ mm}$$

Es decir, para un objeto a 400 metros la diferencia entre la distancia de imagen v' y la distancia focal f , es sólo de 0,1 mm, cantidad completamente despreciable cuando se tienen en cuenta el conjunto de las demás fuentes de error de mucho más efecto que este error.

3. Características constructivas de la cámara fotogramétrica. Objetivo desplazable, su finalidad.

La cámara fotogramétrica es una caja de metal, cuya cara posterior, de forma cuadrática o rectangular (en concordancia con el formato o tamaño de la placa) se halla abierta. En la cara opuesta se encuentra colocada la **lente objetivo** o más simplemente, el **objetivo**.

En muchos modelos este objetivo puede ser **desplazado**, en sentido vertical, paralelamente a su eje óptico.

Disposiciones especiales permiten medir con buena precisión la magnitud de tales desplazamientos verticales.

La **finalidad** del objetivo desplazable consiste en el **aumento del ángulo de campo** de la cámara en el sentido vertical; aumento para el cual daremos un ejemplo numérico en el número 14.

4. Sistema yz de coordenadas rectangulares de la imagen; recta vertical principal y recta horizontal principal.

Entre todos los planos verticales que pasan por el centro **O** del objetivo y que cortan la placa, existe uno que contiene el **punto principal H** de la imagen. Se le llama **plano vertical principal** de la cámara; su sección con la placa ha recibido la denominación de **vertical principal de la imagen, eje de las z** o de las alturas.

El plano horizontal por **O** que contiene el punto principal **H** de la imagen, corta al plano de la placa en una recta llamada **horizontal principal de la imagen**.

Se la designa por **hh**. Es el eje de las **y**, o de las medidas laterales de la placa resultando ser el eje de las **x** el de las medidas de profundidad de la imagen.

5. Marco de apoyo.

La abertura de la caja destinada a recibir la placa sensible, está bordeada por un **marco apoyo** o **marco soporte** (ver fig. 1), el que constituye uno de los elementos u órganos más importantes de la cámara. El mismo lleva generalmente dos pares de marcas, las que determinan por las líneas ideales que las unen la posición de los ejes de coordenadas de la imagen definidos en el número anterior.

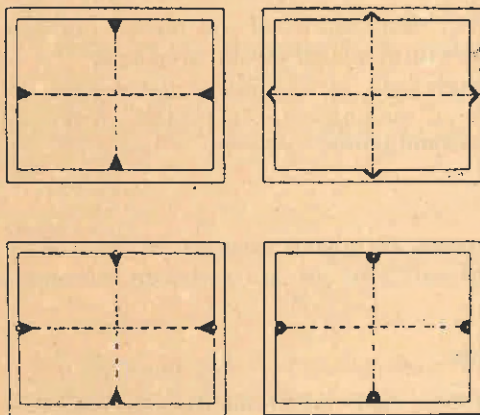


Fig. 1.—Ejes de coordenadas de la placa, definidas por pares de marcas (muescas u orificios). Compare fig. 12, pág. 19.

Estas marcas aparecen fotografiadas conjuntamente con la vista que se tome.

El inconveniente de estas marcas mecánicas reside en el hecho de que muchas veces aparecen casi invisibles a causa de la insuficiente iluminación de la respectiva parte de la placa.

Las **marcas ópticas** introducidas por **Zeiss** en sus cámaras a película, las que aparecen siempre como puntos blancos sobre fondo negro, salvaron este inconveniente con la ventaja adicional de que esas marcas no tocan la gelatina de la película.

6. Coincidencia del plano del marco soporte con el plano de imagen.

Con el nombre de "**placa**" entenderemos de ahora en adelante la capa sensible extendida sobre ella.

Se la coloca, dentro del chasis, apoyada en el marco soporte. Al sacarse la tapa del chasis, deberá quedar el plano de la placa en perfecta coincidencia con el plano determinado por las marcas del marco soporte o sea con el plano focal de la cámara de enfoque fijo.

Esta **coincidencia de planos** es una de las condiciones más fundamentales de la fotogrametría.

Para lograr que esta condición se verifique, con toda la exactitud exigida, la cámara está dotada de los indispensables juegos de **resortes**.

7. Condiciones que deben hallarse realizadas en la cámara para satisfacer las exigencias de orientación interna.

- a) El eje óptico del objetivo debe ser perpendicular al plano del marco soporte.
- b) El plano del marco soporte debe coincidir con gran precisión con el plano focal de la cámara.
- c) Las marcas del marco apoyo deben definir de un modo inequívoco la cruz de ejes del sistema de coordenadas de la imagen.
- d) La capa de la placa debe coincidir con el plano del marco soporte.

Condiciones especiales.

- e) En la posición "cero" del objetivo desplazable, el eje óptico del mismo debe pasar por un punto de la horizontal principal de la placa;
- f) En cada posición del objetivo desplazado, el eje óptico del mismo deberá cortar al plano focal (del marco) en un punto de la vertical principal determinada por la unión de las correspondientes marcas.

8. Vidrio esmerilado.

El vidrio esmerilado, no obstante carecer de misión especial en la orientación geométrica del haz de rayos fotogramétricos, es, sin embargo, necesario para la práctica de campo.

9. Obturador del diafragma de campo.

El dispositivo mediante el cual se obtiene convenientemente una variación de la abertura del diafragma de campo, es el llamado "obturador central".

10. Numeración automática de las placas expuestas.

Conviene que cada cambio de placa venga automáticamente registrado por la cámara.

11. Tamaño (formato) del marco porta-placa, su colocación en la cámara.

La limitación del haz de rayos fotogramétricos o sea el tamaño (formato) de la imagen, queda determinada por la forma del marco, en el que se halla ubicada la placa, dentro del plano del mismo y perpendicularmente al eje óptico de la cámara.

Las máximas dimensiones que se puede dar a la placa depende de la bondad o calidad de la imagen que la lente objetiva de la cámara es capaz de producir, es decir, de la disminución de su exactitud a medida que aumenta la distancia de los puntos fotografiados al eje óptico (ver pág. 194 de **Optica**).

Llena ese marco la misma misión que el diafragma de campo visual en el anteojo astronómico (ver pág. 203 de **Optica**).

La **magnitud angular** del cono de luz que cae sobre el plano de imagen varía desde la abertura de pocos grados (en la cámara dotada de **teleobjetivo**) hasta la abertura de 150° (en la cámara con **objetivo granangular**).

En realidad, el campo visual efectivo de un objetivo de cámara fotogramétrica, no es un cono sino una **pirámide** de rayos, cuya base es de 9×12 centímetros cuadrados de superficie, por ejemplo.

Para aumentar la magnitud del ángulo visual en el sentido vertical se dispone en la construcción de fototeodolitos de dos recursos: la cámara (montada sobre el eje horizontal de un teodolito) con **eje óptico inclinable**; y cámara con **objetivo desplazable**. Ver figuras 4 y 15 de § 3 para el primer recurso y figura 6, § 3 para el segundo.

Exceptuado el caso de levantamiento fotogramétrico de alta montaña, existe generalmente interés mayor en aumentar la magnitud del ángulo visual en sentido horizontal para poder así abarcar mayor superficie del paisaje fotografiado.

Gírase para eso el marco porta placa de tal modo que el lado mayor del mismo quede en posición horizontal.

12. Superficie utilizable de la placa.

En consecuencia de la necesaria fijación de la placa dentro del marco-soporte, quedarán algo disminuídas las dimensiones de sus lados y, por ende, también las de la imagen.

Obtendremos, por ejemplo, con placas 9×12 cm, las dimensiones de la imagen de:

$$(3) \quad \begin{array}{llll} & 8 \text{ cm en la dirección vertical} & & \\ & 10,5 \text{ cm } " " " & & \text{horizontal} \end{array}$$

13. Ejemplo práctico explicativo del aumento del ángulo de campo visual con desplazar el objetivo en sentido vertical.

Suponemos una cámara fotogramétrica con placas 9×12 cm, distancia focal $f = 12$ cm y un objetivo que puede ser desplazado verticalmente hasta 25 mm hacia arriba o hacia abajo, a partir de su posición **cero**.

Se pregunta: ¿Cuáles son las magnitudes de los ángulos visuales α y β (verticales α y horizontales β), en las 3 siguientes posiciones:

$$\begin{array}{llll} \text{Posición I, con objetivo en } \mathbf{cero}, & & & \\ " \quad \mathbf{II}, & " & " & " + 25 \text{ mm}, \\ " \quad \mathbf{III}, & " & " & " - 25 " \end{array}$$

Teniendo en cuenta los valores de $f = 12$ cm y la (3), obtendremos:

Posición I:

$$\begin{array}{lll} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{4}{12} = 0,3333 & \frac{\alpha}{2} = 18^{\circ} 26' & \alpha = 36^{\circ} 52' \\ \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{10,5:2}{12} = \frac{5,25}{12} = 0,4375 & \frac{\beta}{2} = 23^{\circ} 38' & \beta = 47^{\circ} 16' \end{array}$$

Es decir: Requiérense con esta cámara un total de

$$360^{\circ} : 48^{\circ} \sim 8 \text{ vistas}$$

para abarcar el horizonte completo del panorama de un paisaje.

Posición II (+ 25 mm en la escala):

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{4 + 2,5}{12} = \frac{6,5}{12} = 0,5417$$

$$\alpha_1 = + 28^\circ 25' \text{ hacia arriba}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{4 - 2,5}{12} = \frac{1,5}{12} = 0,1250$$

$$\alpha_2 = - 7^\circ 07' \quad \text{" abajo}$$

$$35^\circ 32' \text{ en total}$$

Posición III (— 25 mm en la escala):

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{6,5}{12} = 0,5417$$

$$\alpha_1 = - 28^\circ 25' \text{ hacia abajo}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{1,5}{12} = 0,1250$$

$$\alpha_2 = + 7^\circ 07' \quad \text{" arriba}$$

Es decir: Con este recurso se alcanzará un ángulo máximo del campo visual de $\pm 28^\circ 25'$ en lugar de sólo $\pm 18^\circ 26'$ con objetivo en posición central (cero de la escala).

14. Criterio sobre el tiempo de exposición de la placa. Medida para el ennegrecimiento de la placa.

La práctica enseña que cuando la abertura relativa $\frac{d}{f}$ de una cámara es reducida de $\frac{4}{16}$ a la mitad o sea a $\frac{2}{16}$, será necesario aumentar al **cuádruplo** el tiempo de exposición para obtener el mismo ennegrecimiento.

Siendo, por ejemplo, en el primer caso el tiempo de exposición igual a un segundo, debería ser 4 segundos en el segundo; lo cual se puede expresar mediante el siguiente **producto**:

$$(4) \quad \left(\frac{d}{f} \right)^2 \times \text{tiempo de exposición}$$

el que debe dar un valor constante para un mismo ennegrecimiento de la placa.

La variación de la abertura relativa $\frac{d}{f}$ de la cámara, se realiza por medio del **obturador**.

15. Negativo (imagen invertida) y positivo (imagen derecha).

La imagen situada a la izquierda o detrás del objetivo **O** (fig. 2, pág. 2), es el llamado "**negativo**" de la vista, producido directamente por los rayos de luz durante el tiempo de exposición, sobre la capa sensible de la placa; mientras que el "**positivo**" situado a la derecha o delante de **O**, es un producto de la imaginación. El mismo se halla situado dentro del semi-haz perspectivo, al que se observa con mirar al objeto natural. Se lo construye con trasladar los segmentos de rayos conjugados entre **O** y el negativo, sobre los correspondientes semi-rayos de la derecha. Los puntos extremos de esos segmentos determinan el contorno de la **segunda figura perspectiva** del objeto natural en posición simétrica a la del negativo.

Es esta segunda figura perspectiva (el "positivo") la que generalmente se emplea para ilustrar gráficamente las consideraciones; porque en base a ellas resultan más sencillas las construcciones y más fáciles las deducciones.

Es de observar, empero, que las prolongaciones de los rayos de ese semi-haz perspectivo, sólo pasarán por los respectivos puntos del espacio objeto, si se da al mismo exactamente la misma orientación que tuvo el semi-haz opuesto en el instante de producir la imagen invertida sobre la placa, o sea la misma orientación que tuvo el eje óptico de la cámara en el momento de toma de vista.

El ángulo de orientación (rumbo) de ese eje óptico se refiere convenientemente a la dirección a un punto fijo visible desde la estación fotogramétrica.

16. Recapitulación.

Podemos decir ahora, resumiendo, que para la correcta obtención de vistas fotogramétricas deben conocerse los siguientes elementos:

a) los elementos de orientación interna de la cámara o sea las constantes perspectivas f y H ;

b) el ángulo de orientación ω del eje de levantamiento con respecto a la dirección a un punto fijo visible desde la estación dado por sus coordenadas planas;

c) los 6 elementos de orientación externa, a saber, la terna de coordenadas rectangulares XYZ del punto estación (de las que la Z expresa la cota del punto, teniendo XY el mismo significado que las coordenadas Gauss-Krüger en Topografía), así como los 3 ángulos anteriormente mencionados, el ángulo de orientación del eje de levantamiento, el eje de inclinación longitudinal y el ángulo de inclinación lateral de la cámara.

El cumplimiento de la condición a) viene generalmente garantizado por la casa constructora de la cámara; mientras que la realización de las condiciones b) y c) hizo necesaria la combinación de la cámara con un teodolito, la que lleva la denominación de **fototeodolito**, del cual nos ocuparemos en los próximos párrafos.

§ 2

Notas adicionales

1. Nota explicativa de carácter histórico.

De entre los más característicos tipos de fototeodolitos que pasamos a describir en el próximo párrafo, hemos dedicado una particular atención al *fototeodolito Pulfrich* Zeiss del año 1903, por ser un instrumento que hizo época. Con su aparición se inició una nueva técnica de fotogrametría, la llamada *estereofotogrametría*.

Las exigencias instrumentales y operativas impuestas por este nuevo método fueron realizadas y facilitadas en este primer modelo del equipo por su creador *Pulfrich*, en una ideal colaboración con los talleres de óptica y mecánica de precisión de la casa *C. Zeiss* (Jena), con tanta perfección que durante casi dos décadas ese equipo dominaba la técnica estereofotogramétrica a tal punto que los perfeccionamientos introducidos en los modelos posteriores al del año 1903, no hicieron más que afirmar la acertada ejecución del primer modelo y aumentar el prestigio y la reputación de su promotor *Pulfrich*. Se le llama por eso con justicia *el padre de la estereofotogrametría*.

La construcción del fototeodolito *Pulfrich-Zeiss* se funda en la aplicación práctica del principio estereoscópico en el terreno, después de haber resuelto el mismo *Pulfrich*, con anterioridad (año 1901), con su *estereocomparador* el análogo problema de gabinete, o sea, la medición de las coordenadas exactas de puntos de semi-vistas estereoscópicas.

Mediante este nuevo aparato *Pulfrich* no sólo dió solución definitiva a un árduo problema de fotogrametría, sino que supo restablecer la confianza en el éxito del procedimiento fotogramétrico, la que a fines del siglo pasado había quedado casi destruída, a raíz de la difícil identificación de puntos en parejas de placas, la que cual infranqueable muralla parecía obstruir todo progreso ulterior en la *fotogrametría ordinaria* o método de intersección en uso en aquella época.

Podemos entonces imaginarnos el ansia con que en 1902 y 1903 "los amigos de la fotogrametría" esperaban la aparición del aparato de toma de semi-vistas estereoscópicas o sea del *fototeodolito Pulfrich-Zeiss*.

Sendos ejemplares del mismo se difundieron rápidamente en todos los países del mundo.

Hállanse aún en uso práctico varios ejemplares del fototeodolito de *Pulfrich-Zeiss* ($f = 12,6$ cm), en las Facultades de Ingeniería de las Universidades Nacionales argentinas, en el *Instituto Geográfico Militar* y otras grandes reparticiones nacionales, todos ellos elocuentes testigos de la justificada fe de los ingenieros argentinos de esa época en el éxito de una nueva técnica de fotogrametría, la que no tardó en dar todos los frutos que era dable esperar de ella.

En este orden de ideas cabe mencionar un gran trabajo internacional, la delimitación de la frontera entre la Argentina y Chile, ejecutado en el año 1902 por ingenieros argentinos y chilenos, con el concurso de la Fotogrametría (método de intersecciones).

Podemos decir entonces que la primera fase evolutiva de la fotogrametría o sea la *Fotogrametría ordinaria* (método de *Laussedat*) quedó terminada en nuestro país por un trabajo geodésico topográfico de gran envergadura y trascendencia política.

En cuanto se refiere a la segunda fase o sea el período de la *Estereofotogrametría* podemos destacar que desde su iniciación marchamos siempre a la altura de los demás países civilizados del Mundo que cultivaron esa nueva técnica, ensayando, experimentando, comprobando y luego aplicando los perfeccionamientos instrumentales realizados; lo cual dejamos en cierta forma documentado con los datos consignados en el próximo número.

2. — Primera etapa evolutiva de la Estereofotogrametría terrestre marcada por un notable trabajo en la República Argentina.

El *Instituto Geográfico Militar* argentino figura entre los primeros compradores del primer modelo del *estereocomparador Pulfrich-Zeiss* (del año 1901) y entre los primeros compradores del primer modelo del *fototeodolito Pulfrich-Zeiss* ($f = 12,7$ cm, del año 1903).

A partir del año 1906 se hicieron intensos experimentos tanto en el *estereocomparador* con las labores de gabinete, como con el *fototeodolito* en las operaciones de campo.

A mediados del año 1912, el Instituto (bajo la dirección del Coronel B. García Aparicio) recibió la orden de efectuar el levantamiento del *Campo General Belgrano* y sus alrededores, en la Provincia de Salta.

Decidióse la ejecución por el método *estereofotogramétrico* a iniciativa del Dr. G. Schulz (entonces jefe de la Sección Geodesia), a quien se encargó la dirección del trabajo.

Como este no es el lugar para entrar en mayores detalles de la ejecución técnica del trabajo, nos limitaremos a consignar a continuación algunos datos, como elementos de juicio, con el objeto de poner en evidencia todo su valor y la gran trascendencia del mismo.

Abarca el plano una superficie de 662 km² en 7 hojas de plancheta (de 100 km²), a 1:25 000, total de 11 000 puntos medidos; lo que hace 1 500 puntos por hoja o sea un punto por cada centímetro cuadrado del plano.

Por no existir aún en esa época puntos de triangulación en la zona, tuvieron que ejecutarse, además del levantamiento estereofotogramétrico, los siguientes trabajos adicionales de carácter fundamental:

- 1) Medición doble de una base geodésica.
 - 2) Triangulación con 20 vértices y lados hasta de 20 km.
 - 3) Nivelación trigonométrica de los puntos trigonométricos con arranque en cota de ferrocarril.
 - 4) Determinación de *acimut, latitud y longitud* (cada determinación con dos noches de observación, la longitud con cambio de señales con Córdoba).
- El levantamiento estereofotogramétrico dió lugar a 37 estaciones con 217 bases y 460 vistas fotogramétricas, y la determinación plani-altimétrica de las mismas.

En total, el plano abarca la parte norte del valle de Lerma de un ancho de más de 3 km. en el Sur, estrechándose hacia el Norte hasta terminar en *Calderas*, siempre flanqueado en sus dos lados por altos cerros, presentando en su medio a la ciudad de Salta y al Campo General Belgrano. Ver pág. 151, Vol. 2, Tomo III.

Tuvo que aplicarse así el método estereofotogramétrico a muy distintas clases de terreno: a las anchas llanuras del Sur y a las suaves ondulaciones del Campo General Belgrano hasta las abruptas quebradas del Río Vaqueros, desde las montañas áridas y desprovistas de detalles hasta la ciudad de Salta con sus alrededores densamente cultivados.

El plano del Campo General Belgrano es el resultado de la primera aplicación del método estereofotogramétrico a tan grande extensión de terreno. La casa C. Zeiss pidió en esa época al Instituto 300 ejemplares de ese plano para hacer conocer en el Mundo y poner en evidencia los resultados alcanzados con la nueva técnica, siempre que el equipo sea empleado correcta, acertadamente y con buen criterio.

Para más información sobre este trabajo: ver *Anuario del Instituto Geográfico Militar*, Tomo II, págs. 13 - 16.

§3

Aparatos de toma de vistas fotogramétricas desde tierra

1. Finalidad de la construcción de fototeodolitos.

Los primeros trabajos de levantamiento fotogramétrico de pequeños sectores de terreno y notables edificios arquitectónicos, se efectuaron con cámaras fotográficas comunes, tomando los elementos de orientación separadamente con teodolito.

La construcción de la combinación de cámara y teodolito tuvo por finalidad:

1° Facilitar la obtención de los elementos de orientación interna mediante el sistema de coordenadas de la imagen *yz*, determinado por los 2 pares de marcas practicadas en los bordes del marco porta-placa (ver fig. 1, pág. 2);

2° Facilitar la obtención de los elementos de orientación externa por medio de los órganos del teodolito.

2. Características de dos caminos constructivos.

Para la realización de la finalidad del fototeodolito que acabamos de puntualizar, y para aumentar al mismo tiempo la magnitud del ángulo visual de la cámara en el sentido vertical, existen dos caminos constructivos:

Los unos prefieren montar la cámara (rígida) dentro de aberturas cónicas practicadas en los extremos del eje horizontal de un **teodolito excéntrico** (ver fig. 4), resultando así una cámara inelidable; mientras que otros prefieren realizar el aumento del ángulo visual vertical con montar la cámara fijamente sobre soporte, siendo **desplazable en sentido vertical** el objetivo de la misma (ver fig. 2).

Modelos de fototeodolitos.

3. Fototeodolito del Estado Mayor Italiano (año 1889).

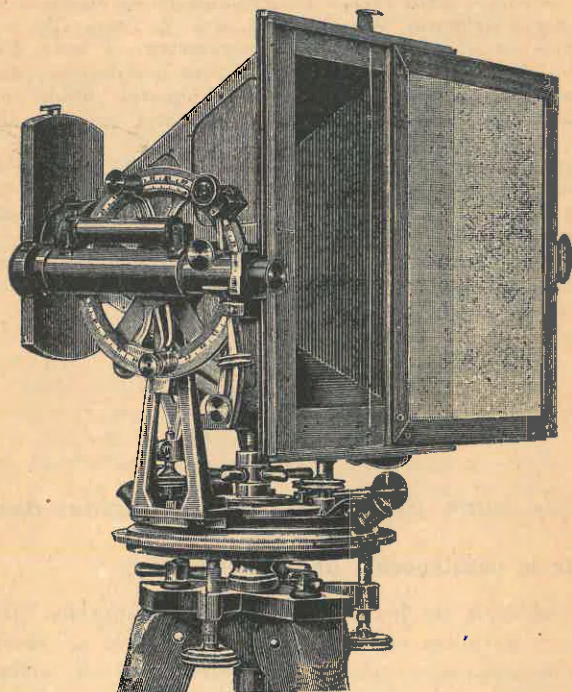


Fig. 1.— Fototeodolito del Estado Mayor Italiano (1889).

La cámara (con anteojo excéntrico a su lado) está fija sobre la alidada, alrededor de cuyo eje vertical la misma puede girar, para obtener vistas panorámicas.

Formato de las placas: 18×24 cm. Distancia focal: 24,5 cm. Campo visual horizontal: 42° , vertical: 26° hacia arriba y hacia abajo.

El punto principal *H* se halla señalado sobre la placa mediante la imagen del cruce de dos finos hilos metálicos.

Con instrumentos fotogramétricos parecidos al tipo representado en figura 1 fueron ejecutados en la segunda mitad del siglo pasado y en la mayor parte de los países civilizados del Mundo, según el **método de intersecciones**, máxime en el período del gran desarrollo del mismo - numerosos trabajos de los cuales mencionaremos:

El plano del **Mont Blanc** por los hermanos **Vallot** en Francia, la **delimitación de fronteras en Argentina y Chile**, **delimitación de fronteras entre Alaska y Canadá** por **Deville**, el que luego levantó el plano de las Montañas Rocosas; **L. P. Paganini**, levantó desde Italia el plano de la Jungfrau (Suiza), plano que más tarde sirvió de base a los estudios del cablecaril que conduce a la cumbre de esa montaña.

Tuvo en este estudio una importante participación el Ing. **C. Koppe**. Las grandes dificultades que tuvieron que ser vencidas en este trabajo hicieron nacer en **Koppe** la idea de una nueva construcción de fototeodolito (con **cámara inclinable**), la que lleva su nombre (ver fig. 4).

Los fototeodolitos que pasamos a estudiar (como todo moderno equipo topográfico, de campo y de gabinete), debe ser juzgado desde el **doble punto de vista de su precisión y rendimiento**. Muchas veces un equipo de campo más ligero y menos preciso ha tenido que ocupar el lugar de otro más preciso y más pesado.

En la alta montaña, donde la fotogrametría no tiene rival, el **peso** del equipo es de importancia primordial.

4. Fototeodolito de Finsterwalder-Ott (1895) y de Finsterwalder-Zeiss (1926).

Se trataba para **Finsterwalder** de crear un instrumento de máxima movilidad para el **transporte** en la alta montaña y de suficiente **precisión** de los resultados, para todo lo cual se admitía un **peso máximo** del equipo de campo de **10 kg**.

El **primer modelo del fototeodolito de S. Finsterwalder** fué construído por **Max Ott** en el año 1895, con las siguientes características (fig. 2): **Objetivo Goerz** $f: 8$; distancia focal $f = 15$ cm; formato de la placa 12×16 cm; el objetivo es desplazable: algo más de 5 cm hacia arriba y algo más de 5 cm hacia abajo, pudiendo así ser utilizado en la mejor forma posible el formato de la placa, en las estaciones situadas en posición baja y las situadas en alturas. El valor del desplazamiento es medido en una escala.

El ángulo visual horizontal es de 54° , pudiendo entonces abarcar con 7 vistas panorámicas todo el horizonte de una estación fotogramétrica.

La exigencia de que el peso del equipo no pase los 10 kg, no permitió la colocación de un anteojo de observación normal con círculo vertical.

En lugar del anteojo se vinculó el objetivo de la cámara con un ocular ubicado en el medio de la cara opuesta, girable y detrás del plano de imagen del marco porta-placa. Esa vinculación entre objetivo y ocular se halla establecida por medio de un brazo doble en tal forma que el ocular está siempre dirigido hacia el centro del objetivo desplazable de la cámara.

Estando abierta la cámara del lado opuesto al objetivo, el ocular forma conjuntamente con el objetivo desplazable, un verdadero anteojo de observación, al cual el operador puede dirigir hacia cualquier punto del espacio, con sólo girar la cámara alrededor de su eje vertical y con subir o bajar el objetivo (con respecto a su posición **cero**) según corresponda.

Las lecturas en la escala del desplazamiento vertical del objetivo, expresan la **tangente del ángulo vertical** referido a la posición horizontal, con la precisión de un minuto hasta los valores de $\pm 16^\circ$. Esta disposición sustituye el círculo vertical.

El instrumento combina así teodolito con cámara fotográfica, sirviendo el objetivo del teodolito al mismo tiempo como objetivo de la cámara.

El sistema de cambio de placa es muy original: La placa a exponer se encuentra dentro de una angosta bolsa de terciopelo situada sobre la cámara, de donde cae verticalmente dentro del chasis de la misma.

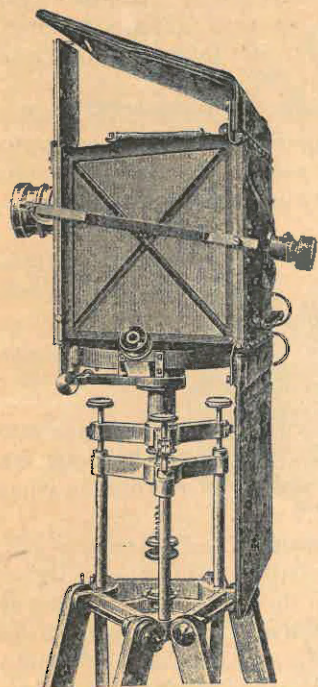


Fig. 2.— Fototeodolito S. Finsterwalder construido por Max Ott (año 1895).

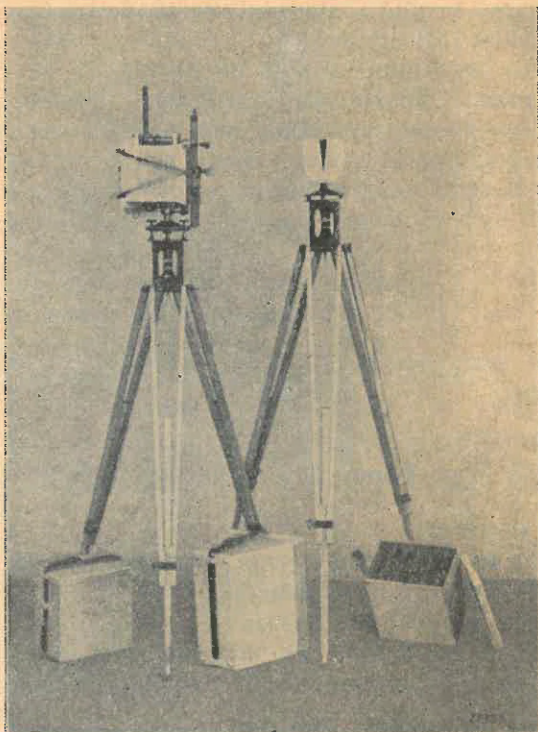


Fig. 3.— Fototeodolito C/4 (de S. Finsterwalder reconstruido por la casa Zeiss (año 1926).

Para su exposición un juego de resortes la aprieta contra el marco de soporte.

Terminada la exposición, los resortes se aflojan, cayendo la placa dentro de una segunda bolsa. Para que esta segunda bolsa de recepción de placa pueda colgar libremente, se dió a la cabeza de trípode la forma prismática sobrealzada que se ve en la figura 2.

Pesos.	Peso del instrumento con trípode		6,8 kg.
	" de 12 placas con una bolsa de reserva, con caja	..	3,2 "
	Total..		10,0 "

Dijo el Profesor S. **Finsterwalder** en un discurso pronunciado en 1912, en Berlín, ante la Asamblea Internacional de Fotogrametría, que durante 30 años y todos los veranos el equipo que lleva su nombre había sido empleado por él mismo y sus alumnos de la Facultad de Ingeniería de Munich, con

todo éxito, en trabajos de levantamiento científicos (estudios de ventisqueros) en la alta montaña.

Muchos planos de ventisqueros fueron levantados, a escala 1:10 000, con curvas de nivel de 5 en 5 metros; empleándose el método de intersecciones hasta el año 1908.

Fué esa la época de las grandes creaciones no sólo en el campo de la Fotogrametría sino también en las demás ramas de la técnica constructiva y del arte de medir: En 1900 **Pulfrich** introdujo el principio de la **estereofotogrametría** y diez años más tarde von **Orel** inventó la **autofotogrametría**.

Estos notables progresos, científicos e instrumentales tenían naturalmente su influencia sobre el empleo del fototeodolito de S. Finsterwalder.

En el año 1912, el Dr. Otto von **Gruber** logró demostrar prácticamente que las vistas estereofotogramétricas obtenidas con el equipo de Finsterwalder podían ser medidas y elaboradas también mediante el **estereoautógrafo de von Orel**, a condición de que las mismas vengan apoyadas en un suficiente número de puntos fijos trigonométricos.

La 1ª Guerra Mundial de 1914-18 paralizó completamente los levantamientos científicos en la alta montaña.

Los nuevos trabajos ejecutados después de esa guerra, revelaron ciertas deficiencias del equipo primitivo de Finsterwalder, las que merecieron ser tenidas en cuenta en una nueva construcción del mismo. La casa C. **Zeiss** se encargó de esta reconstrucción, de la que a continuación daremos algunas de sus principales características.

Fototeodolito de Finsterwalder, reconstrucción de Zeiss de 1926.

En lugar de un anteojo simple el nuevo modelo posee un **anteojo doble**, dos oculares y dos objetivos (fig. 3) de los cuales el objetivo superior es utilizado principalmente para ángulos de elevación y el inferior para ángulos de depresión. Logróse así aumentar la magnitud del ángulo visual vertical de $\pm 16^\circ$ (del primitivo modelo) hasta $\pm 34^\circ$ (del modelo reconstruido).

El formato de la placa de 12×16 cm, se agrandó en el tamaño normal de 13×18 cm; la distancia focal de 15 cm a la de 16 cm, lo que tuvo por efecto un aumento del campo visual horizontal de 54° a 57° .

Este instrumento fué empleado con resultados excelentes por **R. Finsterwalder** en la Expedición **ruso-alemana a Pamir** (Afganistán, Asia Central).

5. Fototeodolito de C. Koppe.

Es un fototeodolito con anteojo excéntrico (teodolito excéntrico) con cámara céntrica montada dentro de aberturas cónicas del eje horizontal del teodolito de tal modo que la cámara puede ser cómodamente colocada y sacada del teodolito.

La cámara puede girar alrededor de su eje horizontal (movimiento de báscula que la caracteriza), y ser llevado el eje de las *z* (del sistema *yz* de la placa) a su posición normal, dentro de un plano vertical mediante un pequeño movimiento lateral controlado por un nivel.

Del lado del objetivo la cámara tiene la forma de un cono truncado con base exactamente cilíndrica para facilitar su montaje, siendo el centro del cilindro el centro de la cámara.

La segunda parte de la cámara, de forma prismática, termina con el marco porta-placa.

Ambas partes de esta cámara forman un sólido conjunto metálico.

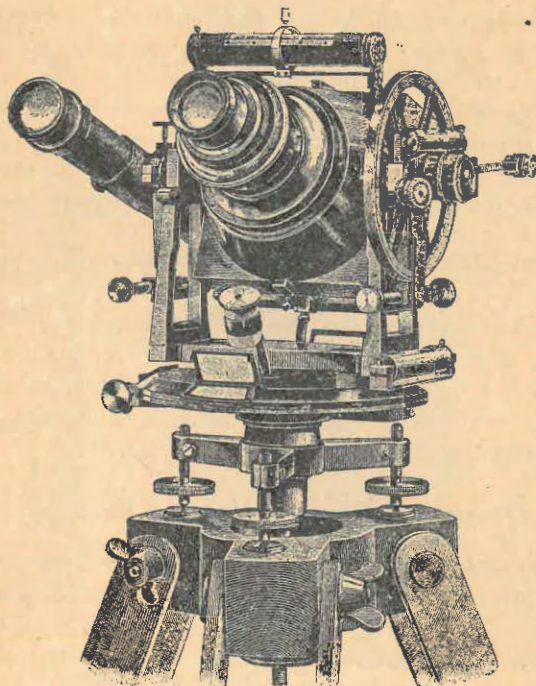


Fig. 4.— Fototeodolito de C. Koppe.

El centro de la cámara es entonces el punto de intersección del eje vertical, del eje horizontal del teodolito y del eje óptico de la cámara; pudiendo por ello la misma efectuar los 3 movimientos vertical, horizontal y lateral. Por esta razón se le denomina a veces a este modelo “**fototeodolito universal**”.

El objetivo de esta cámara es un **colinear, Voigtlaender** 1:5,4, con distancia focal $f = 16$ cm.

Está provista de tapa, pudiendo tomar con esta cámara solamente **vistas a tiempo**.

El formato de placa es 10×10 cm (utilizable 9×9 cm).

El marco porta-placa está provisto de una serie de finas muescas que se fotografían conjuntamente con la vista. Las mismas fijan el sistema **yz** de las coordenadas de imagen (orientación interna).

6. Fototeodolito de Pulfrich-Zeiss.

Ha sido el deseo de hacer aplicable a la Topografía el **estereocomparador de Pulfrich** (originariamente destinado para fines astronómicos) el que motivó la construcción del primer modelo del fototeodolito del año 1903 por la casa C. Zeiss (Jena). Ver fig. 5).

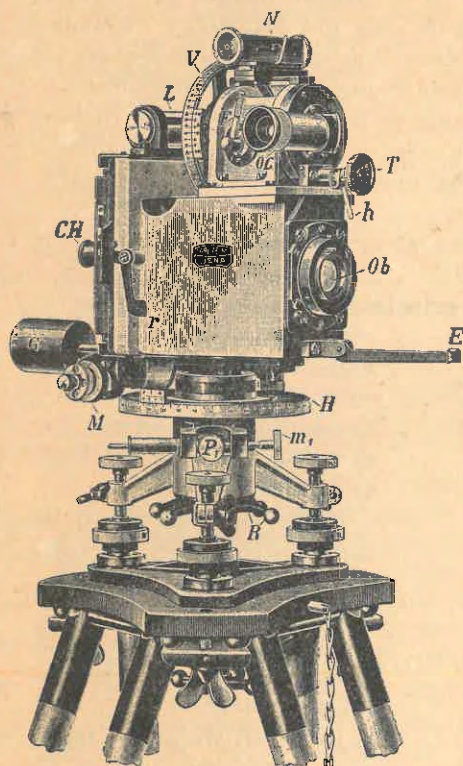


Fig. 5.— Fototeodolito Pulfrich-Zeiss de 1903.

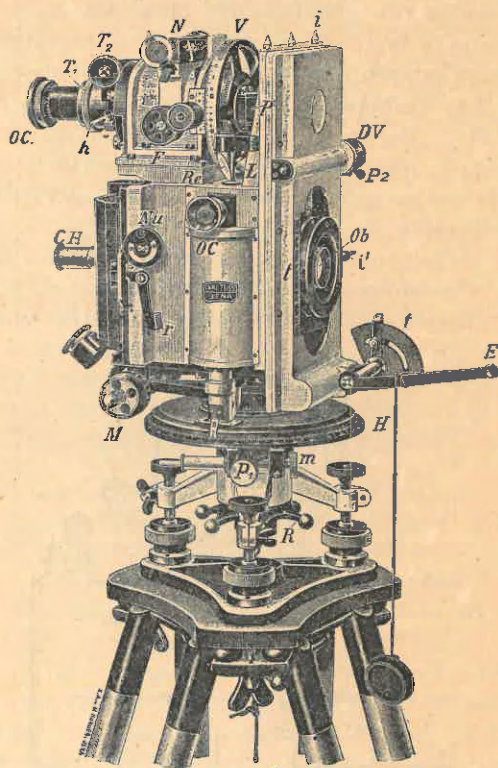


Fig. 6.— Fototeodolito Pulfrich-Zeiss de 1906.

Es éste un instrumento que llegó a su hora, el que por eso y por su esmerada ejecución en todos sus detalles y la gran precisión de los resultados que se obtuvieron, se difundió rápidamente, conservándose en uso práctico y en la enseñanza hasta el día de hoy.

Sin embargo, la casa Zeiss, en su afán de superarse siempre a sí misma, no se limitó a repetir en las sucesivas series constructivas el primer modelo de fototeodolito, sino supo aprovechar en ellas los nuevos inventos de la técnica instrumental (por ej. el del **enfoque interior del antejo**) así como la valiosa experiencia que le brindó la gran práctica de campo con el equipo.

La sabia aplicación de todos estos valiosos elementos de progreso condujo a la construcción del modelo de 1906 (ver fig. 6), el que, en realidad sigue dominando en la práctica estereofotogramétrica; porque las ventajas de la nueva construcción de fototeodolito de la casa Zeiss del año 1926, no resulta-

ron ser tan grandes como para poder desalojar de su uso el modelo anterior, ni de la práctica de campo ni de la enseñanza universitaria.

A fin de satisfacer ese deseo de poder aplicar el estereocomparador de Pulfrich a la Topografía, se necesitaba, en primer lugar, para cada sector de terreno a levantar una **pareja de semi-vistas** tomadas desde dos puntos vecinos, y en tal forma que los ejes del aparato de toma, en ambas estaciones fueran exactamente paralelos entre sí y al mismo tiempo perpendiculares a la línea de unión entre las estacas de esas dos estaciones, llamadas **base estereofotogramétrica**. Con otros términos: Las semi-vistas obtenidas en ambas estaciones deben hallarse en un mismo plano con gran precisión (de 10"). Decimos 10", porque las investigaciones de varios autores han demostrado prácticamente que una desviación de sólo un minuto entre los planos de ambas placas resultaría muy perjudicial para la precisión de la determinación de puntos.

(Ver, para las importantes nociones sobre **efecto estereoscópico**, pág. 218 y siguientes de nuestra **Optica**).

Esta exigencia o condición relativa a la **orientación exterior** de la cámara,

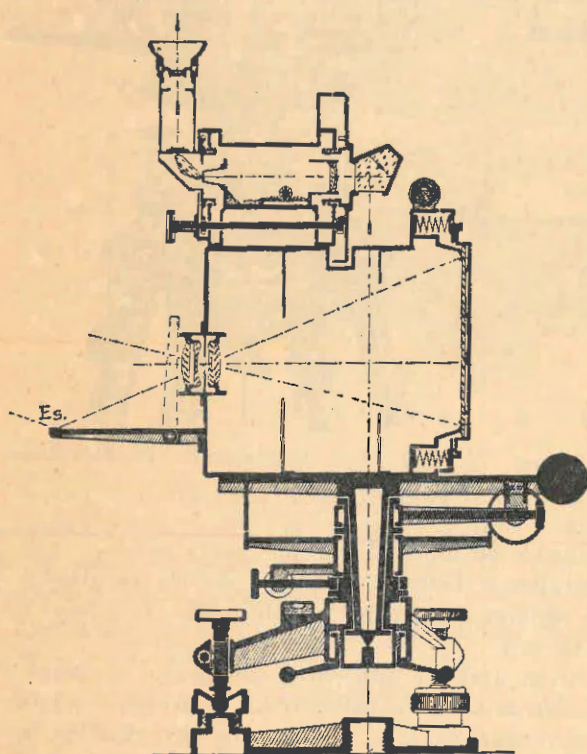


Fig. 7.— Corte vertical por el fototeodolito Pulfrich-Zeiss del año 1903.

es imprescindible para la exitosa aplicación del método estereofotogramétrico; siendo por ello esencial para la construcción del fototeodolito.

Otra exigencia que debe ser satisfecha para garantizar la obtención de buenos resultados, consiste en la exacta determinación de la longitud de la base estereofotogramétrica.

Para satisfacer a todas estas exigencias la casa C. Zeiss construyó, según las indicaciones de C. Pulfrich, un equipo fotogramétrico de campo, compuesto de un **fototeodolito** con trípode, otro trípode igual para señal y una regla de metal.

La figura 5 muestra el modelo de 1903, la figura 6 el modelo de 1906 y la figura 7 un corte vertical por el modelo de 1903.

Destacaremos en nuestra descripción cada vez los perfeccionamientos introducidos en el modelo de 1906, después de haber explicado los respectivos órganos del modelo primitivo del año 1903.

La cámara fotogramétrica fué construída para dos formatos de placa:

9 × 12 cm para trabajos técnicos y 13 × 18 cm para trabajos de levantamiento topográficos, con las correspondientes distancias focales:

$$f = 127 \text{ mm y } f = 180 \text{ mm}$$

El anteojo del teodolito, cuya misión principal consiste en establecer en ambas estaciones vecinas, el ángulo de 90° entre el eje de la cámara y la base, tiene una construcción muy particular exigida por esa misión.

El eje de colimación o eje visual (interior) del anteojo definido por el centro del objetivo y el centro del retículo, es paralelo al eje óptico de la cámara.

Un nivel tubular L (ver fig. 5) permite establecer la horizontalidad del eje de colimación del anteojo y la verticalidad del eje principal del fototeodolito con la precisión de 10".

El anteojo puede girar alrededor de su propio eje, hacia la izquierda y hacia la derecha.

En el primer modelo del ocular Oc (ver fig. 5) es acodado; en el de 1906 es normal.

Delante del objetivo del anteojo se halla montado un pentaprisma (ver fig. 7), el que desvía la visual exactamente en 90°. Esta parte exterior del eje visual puede girar entonces, alrededor del punto de intersección del eje visual interior con el eje vertical, moviéndose sobre un plano perpendicular al eje (interior) del anteojo (paralelo al eje de la cámara). Hállase así satisfecha con buena precisión la condición del eje óptico de la cámara sobre la dirección de la base.

El ángulo de inclinación de la visual necesario para la bisección de la señal en la estación vecina puede ser leído con lupa y nonio en la graduación frontal de un círculo vertical V sólidamente fijado al anteojo.

Utilizanse para los movimientos de rotación y fijación, en el modelo de 1903, el tornillo T y palanca h, y en el modelo de 1906: T₁ (movimiento grueso), h y T₂ (movimiento fino).

Objetivo. El objetivo Ob (fig. 5) es un Tessar-Zeiss fijo en el modelo de 1903 y desplazable en el de 1906. Sus excelentes cualidades, la precisión del dibujo uniforme en toda la extensión de la placa y la ortoscopía (ver pág. 194 de nuestra *Optica*) lo hacen especialmente apropiado para fotogrametría.

El desplazamiento vertical del objetivo se realiza con accionar sobre el dispositivo DV (ver fig. 6).

En la escala t se podrá leer el valor del desplazamiento vertical con respecto a la horizontal.

Marco de apoyo. El marco de apoyo perfectamente perpendicular al eje óptico de la cámara, está provisto de marcas que aparecen fotografiadas sobre la placa conjuntamente con la vista del paisaje.

Espejo de iluminación. Como en los levantamientos topográficos las partes superiores de las placas representan a menudo superficies oscuras (los terrenos más bajos del paisaje en el primer plano de la vista), no resulta visible la correspondiente marca que, conjuntamente con la otra, fija claramente la posición de la vertical principal de la placa. Para remediar a este inconveniente se halla dispuesto sobre un brazo un pequeño espejo E el que ilumina la placa en la parte superior, en el sitio de la marca (figs. 5, 6, 7). Ver fig. 8.

La colocación del **brazo sostén del espejo E** se ajustará a la posición en altura del objetivo (ver figs. 6 y 7).

Angulo de campo visual. Las 3 puntas **i** (fig. 6) ubicadas sobre la parte superior del instrumento sirven, en unión con otra punta opuesta, para la determinación práctica del **ángulo del campo visual horizontal**, el que es en este teodolito algo más de 45° .

Para la determinación del **ángulo de campo visual vertical** existen otras puntas análogas **i'** sobre un costado de la cámara.

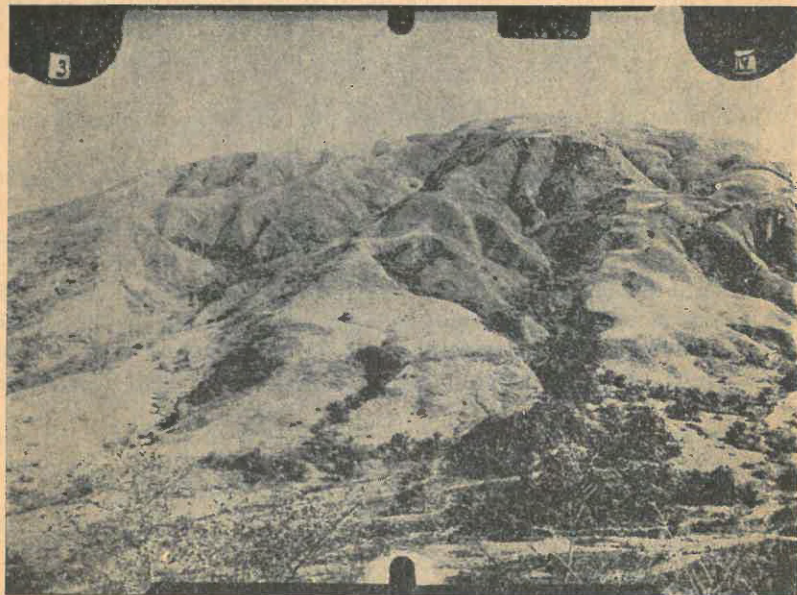


Fig. 8.— Vista de "Cerros de Patrón Costa" (del levantamiento estereofotogramétrico en la Provincia de Salta) se ilustra la eficacia del espejito **E** para marcar la vertical principal de la placa.

Tornillo tangencial de precisión M. Toda la parte superior del teodolito (la alidada del fototeodolito) tiene para sus movimientos horizontales finos un tornillo especial **M**, un **tornillo tangencial de precisión** (ver pág. 146, Vol. 1, Tomo III), en el cual la razón de la altura del paso a la distancia del eje de alidada tiene el valor de $1/200$. Este tornillo sirve para la medición indirecta de la longitud de la base.

El tornillo **R** establece la sólida fijación del pivote del fototeodolito dentro del buje de la base del mismo (ver fig. 5). Un **nivel esférico** permite la colocación horizontal de esta base (o soporte).

Con ese pivote se halla unido el **círculo horizontal H** con su tornillo de presión **P_h** y de aproximación **m**. (ver fig. 5).

En el modelo de 1906, el círculo horizontal tiene **dos graduaciones**, una exterior de grados, para la lectura de índice, y una interior para la lectura fina con microscopio. Los oculares **Oc** de estos microscopios son acodados para su cómoda lectura. Los reflectores **Re**, regulables, iluminan la graduación interior.

Estímase en 0,1' el error medio de estas lecturas.

Correcta posición de la placa. Con accionar a ambos lados de la cámara, sobre las palancas r, la placa quedará suavemente apretada contra el marco de apoyo.

Orientación. La brújula tubular N permite orientar la vista en cada estación.

Numeración. En el disco Nu puede leerse cómodamente el número correspondiente a la placa expuesta.

Equipo de campo. El equipo de campo consta (en su composición mínima) de dos trípodes completamente iguales entre sí, un fototeodolito a colocar sobre uno de esos trípodes, una señal y una regla horizontal a colocar sobre el segundo trípode.

A fin de poner de relieve la eficacia y utilidad práctica de la detallada descripción y explicación de los diversos órganos del fototeodolito, daremos a continuación una breve **síntesis** de las principales operaciones a efectuarse en la toma de los pares de semi-vistas de cada estación estereofotogramétrica.

Se comenzará el trabajo con situar en la estación izquierda (extremo izquierdo de la base) un trípode con su soporte y luego en la estación derecha el segundo trípode (con soporte) exactamente igual al primero. Ambos trípodes serán centrados sobre las estacas que marcan los extremos de base y nivelados con el nivel esférico de su soporte.

En el trípode de la estación izquierda se colocará el **fototeodolito** y en el de la estación derecha la **señal**.

Se verticalizará el eje de alidada del fototeodolito por medio del nivel tubular.

Se bisectará con el anteojo del teodolito la señal de la otra estación, con lo cual el eje de la cámara ocupará la posición exigida, perpendicular a la base.

Sobre el vidrio esmerilado de la cámara se observará el sector de paisaje a fotografiar, fijándose en ello si conviene subir o bajar el objetivo.

Luego se pondrá, en reemplazo del vidrio esmerilado, el chasis con placa.

Se colocará el disco numerador con el primer número de placa.

Se pondrá el diafragma y el tiempo de exposición.

Después de esta **preparación** se sacará la tapa del chasis, apretando a la palanca suavemente contra el marco.

Antes de producir la exposición de la placa, deberá examinarse la buena centración de la burbuja del nivel tubular.

Después de la exposición de la placa se hará cesar la presión sobre la misma contra el marco, con lo cual ésta retrocede y vuelve a ocupar su posición inicial, pudiendo así cerrar el chasis y sacarlo de la cámara.

Terminadas las operaciones de la estación izquierda, se colocará el fototeodolito en el soporte del trípode de la derecha y la señal en el de la izquierda.

En la segunda estación, la derecha, se ejecutarán las operaciones en forma análoga a las de la primera.

Con esta breve síntesis, anticipándose con ella, en cierta forma, al tema del § 5 del Capítulo IV, nos propusimos familiarizar al lector desde ya con la ordenada serie de operaciones a efectuar; las que han de producir todo el material básico o sea las parejas de placas fotográficas que se miden o restituyen en el estereocomparador de **Pulfrich** o en el estereoautógrafo de von Orel

En el citado § 5 del Capítulo IV volveremos a tratar desde un punto de vista más amplio esta ordenada sucesión de operaciones de fotogrametría.

7. Nota histórica.

La primera guerra mundial (1914-18) paralizó casi por completo toda la evolución instrumental en el campo de la fotogrametría.

El método sólo experimentó una mayor difusión sin que se le hubiera perfeccionado esencialmente.

Esta circunstancia nos explica la tardanza y timidez con que se reanudaron los hilos de la evolución rotos por esa guerra.

Recién en el año 1926, la casa C. Zeiss efectuó la reconstrucción del fototeodolito de Finsterwalder; y recién en ese mismo año apareció el nuevo equipo estereofotogramétrico Zeiss, en el cual se introdujeron algunas importantes modificaciones que facilitaban la aplicación más general del método estereofotogramétrico.

Es de este nuevo modelo de fototeodolito Zeiss que nos ocuparemos brevemente en el próximo número. Explicaremos muy especialmente la llamada *autocolimación de la alidada*, la que facilita notablemente la aplicación más general del método estereofotogramétrico.

8. Fototeodolito de C. Zeiss de 1926.

En este modelo de equipo, la cámara y el teodolito son dos instrumentos separados (ver fig. 13), pudiendo ser colocado cada uno sobre su trípode y ser usado independientemente.

Explicaremos a continuación sólo algunos de los órganos más característicos de este moderno fototeodolito de 3 ejes ópticos (ver fig. 9).

Para ello la cámara está dotada de 3 objetivos, con aberturas máximas 1:25, distancia focal $f=19$ cm, fijamente colocados en la caja, uno en el medio de la cara, otro 35 mm más arriba y el tercero 35 mm más abajo; empleándose siempre aquel que más convenga al terreno a fotografiar.

El ángulo de campo visual horizontal es de 46° ; el ángulo visual vertical correspondiente al objetivo del medio es de 35° .

El marco-apoyo lleva marcas: un par para la designación de la vertical principal y un par para la horizontal correspondiente a cada objetivo.

En la placa queda automáticamente fotografiada una señal que indica cual de los 3 objetivos ha sido empleado en la exposición.

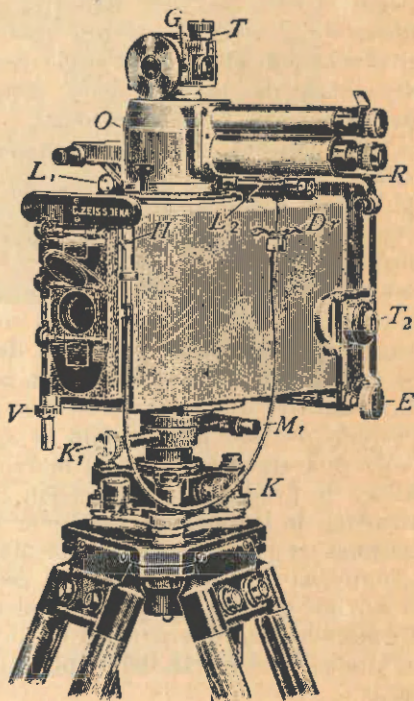


Fig. 9.— Cámara de toma del equipo fotogramétrico Zeiss C 3, con 3 ejes ópticos horizontales.

Ver folletos Bms 33 y 484 de Zeiss.

Para una detallada descripción del equipo, ver: F. Schneider: "Ueber die Feldausrüstung Zeiss, Modell C3b", en la revista "Bildmessung und Luftbildwesen", 2, págs. 95-106.

La marca de trazos y su imagen reflejada coinciden cuando el eje del anteojo F_1 es perpendicular sobre el plano de prisma reflectante.

Esto se realiza con girar el anteojo F_1 alrededor del prisma P , para cualquiera de las 8 caras del mismo, pudiendo girar así el anteojo F_1 en:

$$35^\circ, 100^\circ \text{ ó } 200^\circ$$

sin valerse de ningún limbo graduado.



Fig. 12.— Se ilustra la aplicación práctica del caso normal combinado con el caso de oblicuidad.

Anteojo de observación F_2 .

Debajo del anteojo de autocolimación F_1 se encuentra el anteojo F_2 , rígidamente vinculado con el primero. Es un anteojo de observación con la misión especial de bisectar la punta de la señal colocada en el otro extremo de la base fotogramétrica.

Suponiendo que el prisma P está correctamente orientado con respecto al eje óptico de la cámara, bastará llevar el anteojo F_1 a la posición de oblicuidad deseada, 100° , por ejemplo, girando luego la cámara, alrededor de su propio eje, hasta que en el anteojo de observación F_2 quede exactamente bisectada la punta de la señal en el otro extremo de la base.

Ni la esmerada construcción mecánica del equipo en conjunto, ni la precisión de sus resultados han podido ser superados por ninguno de los equipos estereofotogramétricos más modernos actualmente en uso.

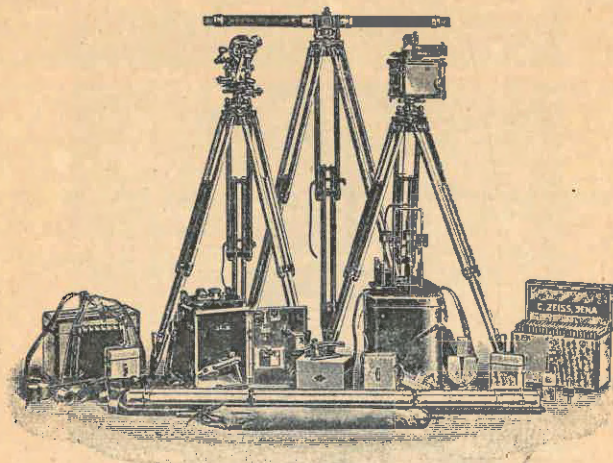


Fig. 13.— Equipo de campo Zeiss C 3 B (cámara, teodolito y la mira horizontal).

Para finalizar este capítulo daremos a continuación las principales características de dos fototeodolitos actualmente en uso en la República Argentina.

9. Fototeodolito de Wild.

Características técnicas del fototeodolito Wild

Diámetro del objetivo del anteojo	40 mm
Aumento del anteojo de enfoque interior	23 "
Longitud " "	175 "
Diámetro del limbo horizontal	95 "
" " " vertical	50 "
Peso del fototeodolito	23,7 kg.
" " trípode del fototeodolito	6,7 "

El fototeodolito de Wild representa una combinación de un teodolito con una cámara fotográfica.

Sobre una sólida caja de acero, dentro de la cual se halla ubicada la cámara fotográfica, está montado el teodolito "Wild T2" (ver fig. 9, pág. 80, Volumen 2 del Tomo II).

A la derecha del ocular 4 (fig. 15) se halla dispuesto el microscopio de lectura que sirve tanto para las lecturas de limbo horizontal como las del limbo vertical, dando, nítidamente separadas, las imágenes de los lugares de limbo diametralmente opuestos. Después de enfocar un punto objeto, se llevará, mirando por el ocular del microscopio, mediante el **micrómetro óptico**, esas dos imágenes a la coincidencia. Procediendo así se obtendrá con una sola lectura la **media aritmética** de los lugares de limbo diametralmente opuestos.

La iluminación del limbo horizontal se realiza mediante un prisma girable, y la del limbo vertical por medio de dos prismas, en concordancia con las dos posiciones del mismo.

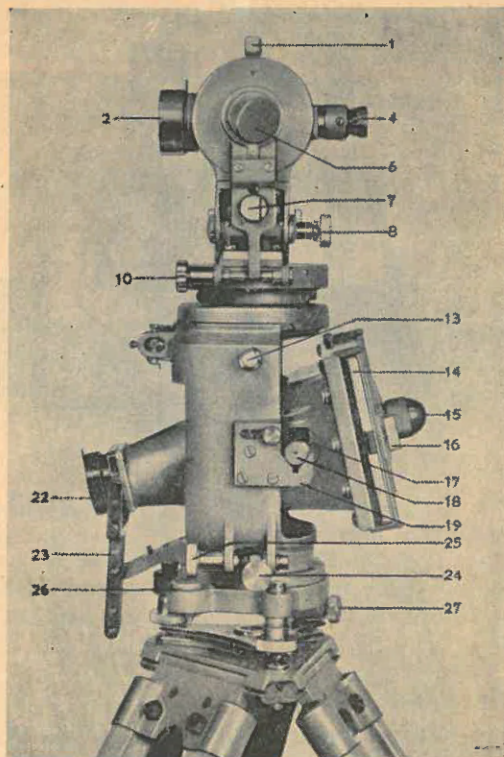


Fig. 15.— Fototeodolito Wild (Heerbrugg, Suiza).

Importantes elementos constructivos.

- | | |
|--|---|
| 1 — Tornillo de presión para el limbo vertical. | 14 — Chasis, |
| 2 — Objetivo del anteojo, | 15 — Botón de ajuste, |
| 4 — Ocular " " | 18 — Eje horizontal de la cámara. |
| 6 — Espejo de iluminación, | 22 — Tapa del objetivo de la cámara, |
| 7 — Prisma para la observación del nivel. | 23 — Guía para el movimiento de báscula de la cámara, |
| 8 — Tornillo de aproximación para el limbo vertical, | 24 — Tornillo de presión inferior para el movimiento horizontal, |
| 10 — Tornillo para los movimientos finos del nivel, | 25 — Tornillo de aproximación inferior para el movimiento horizontal, |
| 13 — Prisma de iluminación para el limbo horizontal, | 26 — Nivel esférico, |
| | 27 — Tornillo de presión para el trípode del fototeodolito. |

El limbo vertical está dotado de un **nivel de coincidencia**, con prisma giratorio, el que permite la observación de la posición de coincidencia de las imágenes de los extremos de burbuja, desde el ocular del anteojo.

Para la **nivelación** del instrumento se hallan dispuestos dos niveles en la caja.

Esta combinación del teodolito con la cámara fotográfica en un solo instrumento, permite dar al eje óptico de la cámara cualquier dirección con respecto al eje de colimación del anteojo.

El limbo horizontal está fijado sobre la caja de la cámara en una forma especial, a saber:

Cuando la lectura de este limbo es igual a **cero**, el eje de colimación del anteojo y el eje óptico de la cámara se hallarán en un mismo plano vertical.

La lectura de limbo acimutal es entonces siempre igual al ángulo horizontal que existe entre el eje de colimación del anteojo y el eje óptico de la cámara.

Se puede por eso dar al eje de la cámara cualquier orientación con respecto a una dirección origen cualquiera, por ejemplo, la dirección de la base.

El eje horizontal de la cámara (para los movimientos de báscula de la misma) descansa sobre dos cojinetes de forma Y, fijados en la caja.

Según más convenga, puede ser colocada dentro de la caja una cámara de distancia focal $f = 165$ mm u otra con distancia focal $f = 237$ mm.

Para ambas cámaras el **formato de placa** es:

10×15 cm

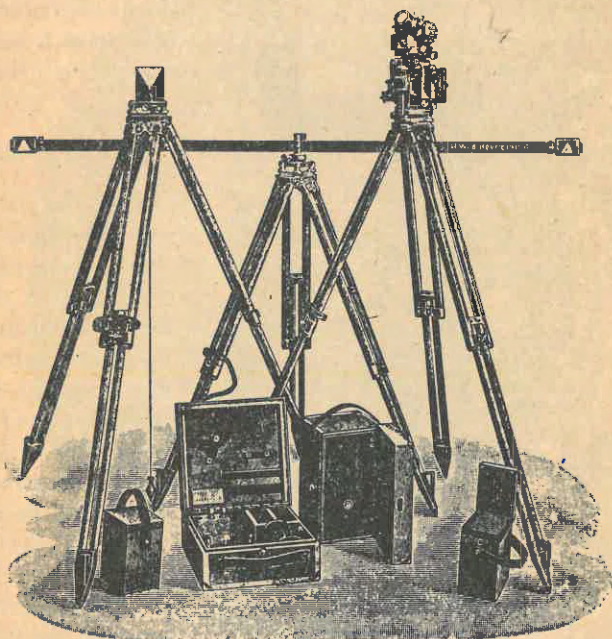


Fig. 16.— Equipo de campo del fototeodolito Wild.

En la parte delantera de la cámara se encuentra, sobre una guía vertical, señalada con el número 23 en fig. 15, una cremallera, la que hace posible emplear la cámara con **eje óptico horizontal** o con **eje inclinado**.

Los valores de ángulos que se pueden colocar, son:

Para la inclinación **hacia abajo**:

-6° , -12° , -18° y -24°

y para la inclinación **hacia arriba**:

$+6^\circ$ y $+12^\circ$

El objetivo de la cámara es de construcción Wild. El **diafragma de campo** tiene la abertura fija de $\frac{1}{12}$ de la distancia focal de cada cámara.

Para la **medición de la base** sirve una regla de $r = 2,00$ metros de longitud exacta, la que debe ser colocada en posición horizontal sobre un trípode (ver fig. 16), con nivel, y en posición perpendicular sobre la dirección de la base, con dioptra. En los extremos de la regla se ven dos señales blancas, las que marcan esa distancia de 2 metros con gran exactitud.

Estacionado el trípode con la regla (en la posición que acabamos de indicar) sobre el extremo derecho de la base, y el fototeodolito sobre el extremo izquierdo, se medirá con éste el ángulo α entre esas dos señales blancas de la regla, con toda la precisión requerida.

A fin de facilitar esta operación, se calcula previamente para distintos valores del ángulo α , una tablilla según la fórmula:

$$b = \frac{r}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

la que nos dará la **longitud de la base b** con toda la precisión requerida.

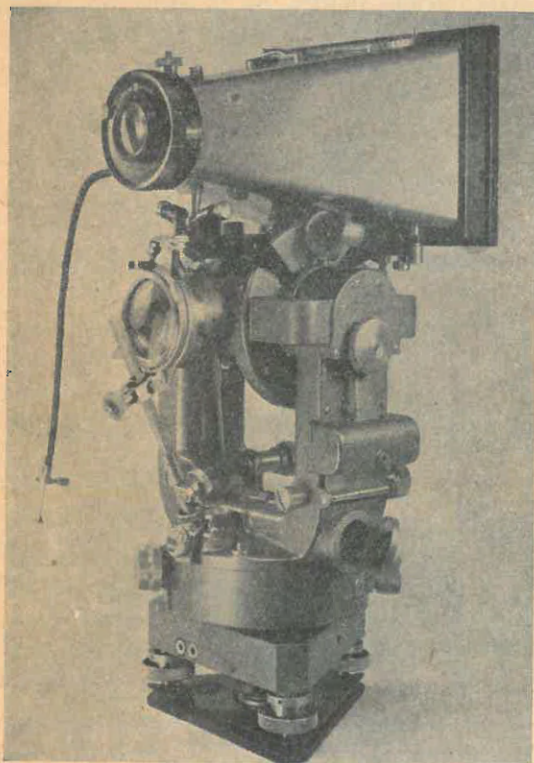


Fig. 17.— *Fototeodolito Santoni*
(Oficinas "Galileo", Firenze, Italia).

10. Fototeodolito Santoni.

Este instrumento consiste en una cámara ligera de distancia focal de 16,5 cm. y formato de placa de 10×15 cm, unida a un teodolito construido por la misma casa. Esta vinculación de ambos aparatos es, según se ve en la figura, más íntima que en el fototeodolito de Wild.

El eje óptico de la cámara y el eje visual del teodolito pueden girar alrededor de un eje vertical común; pudiendo ser leídas las magnitudes de estos giros sobre un limbo

horizontal; asimismo pueden efectuar movimientos de inclinación alrededor de un eje horizontal común. Ambos movimientos son controlados por los respectivos tornillos de presión y aproximación.

Capítulo III

Fotogrametría ordinaria o *Método de Laussedat*

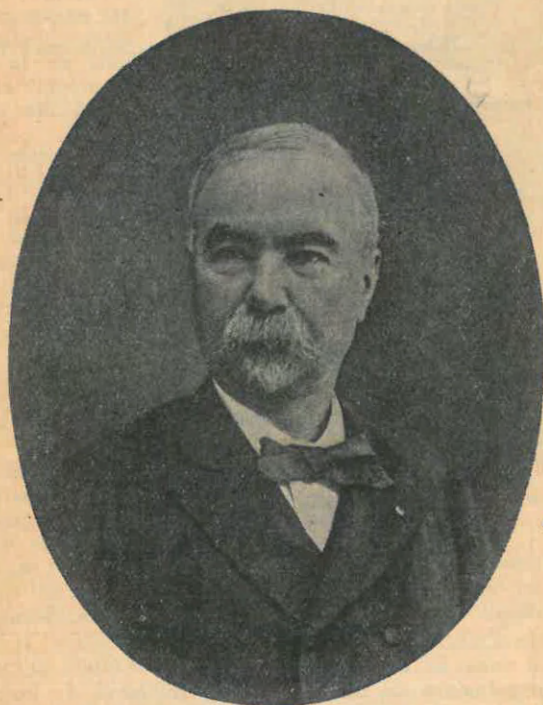


Fig. 1.— Amado Laussedat.
1819 - 1907

Amado Laussedat, ingeniero militar francés, nació el 19 de febrero de 1819 en Moulins (Francia) y murió en París; el 18 de marzo de 1907.

Hizo sus estudios en la Escuela Politécnica de París; fué director de estudios y profesor de geodesia en esta Escuela. Fué el promotor de la ley de 19 de marzo de 1891 relativa a la Unificación de la Hora Legal de Francia. Fué miembro de la Academia de Ciencias de París y de la Academia de Ciencias de Madrid, la que en 1863 le otorgó un premio por su "*Memoria sobre la Aplicación de la Fotografía al levantamiento de Planos*". En el desarrollo del presente capítulo daremos otros interesantes datos biográficos.

1. Primeros pasos evolutivos de Topografía.

En Topografía, el primer paso fué dado por la medición de *distancias*; el segundo con la medición de *ángulos*. Les siguió en la determinación de nuevos puntos, el *método de intersecciones* (ver fig. 2), según el cual se combinaron las mediciones lineales con las angulares.

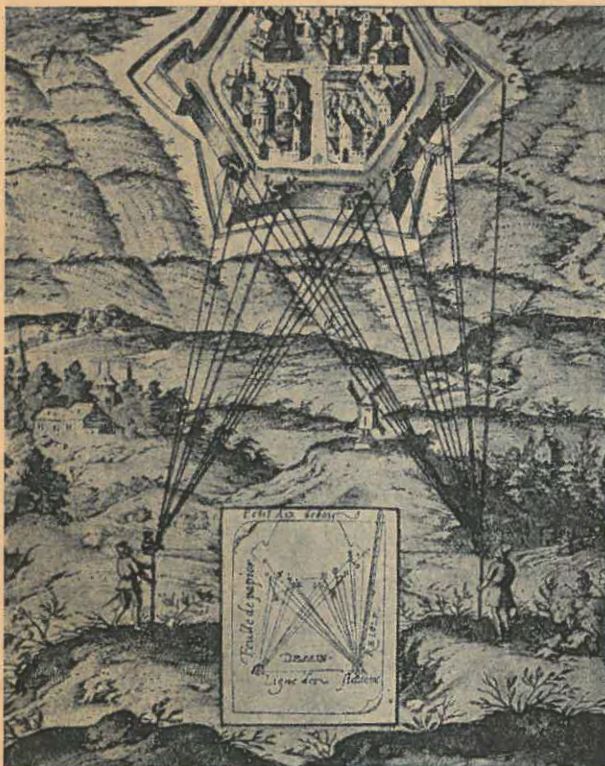


Fig. 2.— Método de intersecciones (siglo XVI).

Sólo tras duras luchas contra las resistencias de toda clase, la inercia y la envidia, *Laussedat* pudo formar al fin una *brigada* bajo el mando de un capitán.

Los numerosos trabajos efectuados por esta brigada dieron resultados muy satisfactorios.

Estos resultados así como la trascendencia del nuevo método despertaron el interés de otros países principalmente de las autoridades militares de los mismos; las que adoptaron el método y lo aplicaron después de construir los correspondientes equipos.

Podemos decir entonces que en esta oportunidad, como en otras, han sido las necesidades militares las que contribuyeron a la construcción de los más adecuados instrumentos para el levantamiento topográfico.

Laussedat no tuvo suerte en este sentido:

Por las vagas y cómodas razones de economía la brigada fué suprimida.

Durante el duro sitio que tuvo que sufrir la ciudad de París durante la guerra franco-alemana de 1870 - 71, *Laussedat*, encerrado en la Capital no pudo convencer al Alto Comando Militar de la utilidad que su sistema podía prestar.

Terminada la guerra, y formando *Laussedat* parte de la Comisión Militar Francesa que, conjuntamente con la alemana, tuvo la tarea de la delimitación de las nuevas fronteras de Alsacia y Lorena, tan pronto que los delegados alemanes oyeron el nom-

Casi en la misma época (siglo XVI, ver pág. 116, Vol. 2 del Tomo III), se iniciaron las *intersecciones gráficas* según el *método de la plancheta*, trazando directamente y a la vista del terreno las direcciones a los nuevos puntos a determinar, sobre el tablero de plancheta orientada, colocada sobre punto de posición conocida.

Por la sencillez del manejo del equipo y la seguridad de los resultados que da, el método de la plancheta se ha mantenido en uso oficial hasta el día de hoy.

2. Primer paso de Fotogrametría: Método de *Laussedat*.

En 1851, es decir 12 años después del invento de la fotografía (ver pág. 14; el Capitán A. *Laussedat*, (ver fig. 1) del Cuerpo de Ingenieros Militares de Francia, hizo construir la primera cámara fotogramétrica e ideó el método para aplicarla en los trabajos de levantamiento topográfico.

Desgraciadamente *Laussedat* no se encontró entonces en un ambiente muy propicio para recibir las nuevas ideas.

bre de Laussedat, lo rodearon felicitándolo efusivamente expresándole su mayor admiración por su sistema, que les había prestado tantos servicios en el sitio de Estraburgo y París.

Ante tanta celebración de su persona, Laussedat se sintió herido en su patriotismo a tal punto que renegó, según el mismo confesó, haber ideado un instrumento que sólo sirvió para cooperar a la ruina de su patria.

A fin de despejar una incógnita y orientar a los técnicos de la época en lo relativo a la precisión de un modo más concreto, la *Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, abrió en 1863, un concurso para dilucidar el siguiente tema: *Determinar los errores probables que resultan de los planos topográficos deducidos de las perspectivas fotográficas, teniendo en cuenta todas las causas de error que pueden influir en su producción.*

El importante problema planteado por este tema dió motivo a Laussedat de profundos estudios, cuyos resultados expresó en una memoria acompañada de un plano obtenido por fotogrametría de un pequeño pueblo "Le Buc", cerca de París, con el que Laussedat ilustra los resultados de su informe. Este trabajo de Laussedat presentado con mucha claridad mereció el primer y único premio otorgado por la nombrada autoridad española.

Con toda justicia se le llama al Coronel A. Laussedat "el padre de la Fotogrametría", llevando su sistema fotogramétrico la denominación de "método de Laussedat".

3. Analogías entre el método de la plancheta y el método Laussedat.

Las analogías entre el método de la plancheta y el método Laussedat son notables; las mismas nos servirán para destacar mejor las características de cada uno, así como sus diferencias.

En efecto: En lugar de establecer, a la altura instrumental i , sobre la estaca del punto estación **A**, planimétrica y altimétricamente conocido, la plancheta, orientándola, para la bisección (con el anteojo de la alidada) del nuevo punto **P**, trazando para ello, sobre el tablero, simplemente el rayo ap , como primer lugar de la proyección p del nuevo punto **P** (ver fig. 15, pág. 124, Vol. 2 del Tomo III); para el levantamiento fotogramétrico se colocará, a la altura i , sobre la estaca de **A**, la cámara fotográfica, verticalizada y orientada. Sobre la placa vertical sensible de la misma, se obtendrá, luego de exponerla unos instantes a la acción de la luz, la imagen P' del nuevo punto **P**.

Uniendo (en la imaginación) el centro **O** del objetivo de la cámara con la imagen P' tendremos que la prolongación de este rayo pasará por el punto objeto **P** del terreno.

Es éste el eje o rayo principal del haz fotogramétrico correspondiente a ese punto **P**.

Es decir, en un instante quedan registrados, sobre la placa de la cámara, los datos necesarios para luego determinar, en el gabinete, un primer lugar de la posición del punto **P** en el espacio y de su proyección p en el plano.

Y del mismo modo que el planchetista necesita una segunda visual, el rayo bp , trazado en análoga forma desde el punto fijo **B** (en el otro extremo de la base), para determinar por su intersección con ap la posición del punto p sobre el tablero (ver fig. 17, pág. 127 de la citada referencia); así también el fotogrametrista tomará en **B** una segunda vista del punto objeto **P**, con la que obtendrá el segundo lugar para la determinación del punto **P**.

La recta $AB = b$ lleva la denominación de base tanto en Topografía como en Fotogrametría.

4. Destacando diferencias, ventajas e inconvenientes de ambos métodos.

Según el método **taquimétrico** (taquimetría gráfica con plancheta y **taquimetría numérica** con teodolito) se levanta el terreno por **puntos**, mientras que por el **método fotogramétrico** se lo levanta por **sectores**; en el primero los puntos a levantar deben ser señalados y numerados, debiendo por ello ser **accesibles**; mientras en el segundo generalmente no se requiere que se cumplan esas condiciones, reduciéndose por ello el trabajo de campo a un **mínimo**.

Pero no hay que olvidar que el método de plancheta nos **proporciona directamente el plano**, con un trabajo lento y paciente en el terreno, de resultados seguros y buena precisión, mientras el método de Laussedat nos da **sólo perspectiva fotográfica**. Sobre un cierto número de placas el fotogrametrista registra gráficamente por así decirlo, en un tiempo mínimo, todo el terreno a levantar, llevándolas al gabinete para su elaboración.

Pero este mayor trabajo de gabinete queda ventajosamente compensado por la reducidísima labor de campo, mucho más costosa que el primero. Este factor de la reducción de la labor de campo es de una importancia fundamental principalmente cuando se trata de trabajos de levantamiento de alta montaña y de fortalezas enemigas, en la guerra.

5. Clasificación de los trabajos.

En zonas aún sin explorar, el levantamiento fotogramétrico abarca los siguientes trabajos:

- a) **Trabajos astronómicos**: latitud y longitud del punto de arranque y acimut de la primera base;
- b) **Trabajos geodésicos**: triangulación, nivelación y poligonación para dotar de puntos básicos a toda la zona a levantar;
- c) Toma de vistas fotogramétricas orientadas;
- d) Revelación y fijación de los negativos;
- e) Copia de las placas (negativas);
- f) Medición de las placas (negativas) para la confección del correspondiente plano.

6. Tarea de la Fotogrametría.

A fin de establecer el enlace entre los conceptos tratados de un modo general en el Capítulo I con la más concreta exposición del tema a la que vamos a entrar, cabe puntualizar nuevamente la **tarea** que la Fotogrametría se encarga de cumplir, a saber:

Deducir de las imágenes de las vistas fotográficas, obtenidas mediante cámaras fotogramétricas con elementos de orientación interna conocidos, la dirección del rayo principal de cada haz fotogramétrico, así como los ángulos:

$$\alpha (\text{ángulo horizontal}) \text{ y} \\ \beta (\text{ " } \text{ vertical})$$

de cada uno de los puntos imágenes P' .

Conociendo así la forma de cada haz fotogramétrico, sólo falta determinar su posición en el espacio mediante los elementos de orientación externa

a saber: las 3 coordenadas rectangulares **XY** y **Z** (cota) del centro de proyección (objetivo **O** de la cámara fotográfica) y los 3 ángulos:

ángulo de orientación del eje de la cámara,
 " " inclinación " " " " "
 " " " lateral de la cámara.

7. Magnitudes angulares que pueden ser deducidas de vistas obtenidas con cámaras con elementos de orientación interna.

Vemos en fig. 3 la imagen **P'** del punto objeto **P**. en el sistema de coorde-

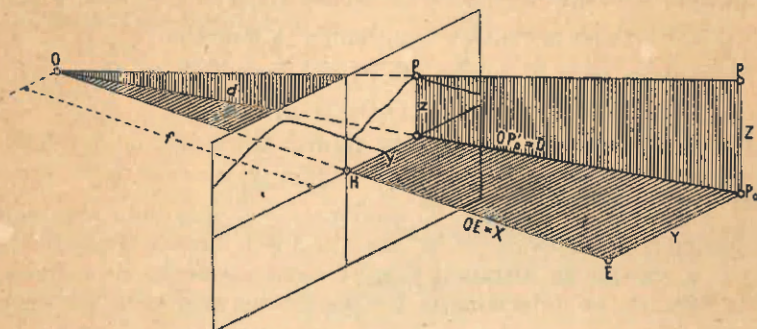


Fig. 3.— Se ilustra la formación de los ángulos de imagen, α y β (ángulo acimutal α con rayado horizontal y ángulo vertical β con rayado vertical) y su determinación en base de las constantes perspectivas, f y H , de una cámara fotográfica.

nadas rectangulares **yz** de la imagen (vista), obtenida con cámara de distancia focal f .

Para el ángulo horizontal α de **P'** (en el centro **O**), representado gráficamente con rayado horizontal, deducimos de la figura:

(1)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{f}$$

ver también fig. 2 pág. 2

y para el ángulo vertical β de **P'**.

(2)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{z}{\sqrt{f^2 + y^2}} = \frac{z}{f \cos \alpha} = \frac{z}{f} \times \cos \alpha$$

Cabe destacar que los ángulos acimutales α son referidos al eje **OH** = $=f=x$ de la cámara.

Para que resulten orientadas las direcciones a los puntos imágenes **P'** con norte **N** hacia arriba, es necesario medir previamente el ángulo de orientación ω del eje de la cámara con respecto a la base **b** (ver fig. 4).

Emplearemos a continuación, al igual que en nuestro Compendio de Topografía, la designación (**OH**) para expresar el rumbo o el acimut del segmento **OH**.

8. Orientación del eje $OH = f = x$ y del rayo OP .

Si el eje de la cámara estuviera orientado hacia el norte, con $(OH) = 0^\circ$, resultaría para el rumbo (OH) del rayo OP :

$$(3) \quad (OP) = 0^\circ + \alpha \text{ (suma algebraica)}$$

y todos los ángulos α que se dedujeran para los distintos puntos P' expresarían **rumbos verdaderos** de los respectivos rayos.

Es decir, el rumbo (OP) de un rayo cualquiera OP se obtiene con sumar (algebraicamente) al rumbo (OH) del eje el ángulo horizontal α correspondiente a ese rayo OP . Esta regla práctica es general.

En el ejemplo colocado en fig. 4 el rumbo (O_1H) del eje O_1H es:

$$(4) \quad (O_1H) = (O_1O_2) + \omega_1 \text{ (suma algebraica)}$$

resultando entonces para el rumbo (O_1P) del rayo O_1P en O_1 :

$$(5) \quad (O_1P) = (O_1O_2) + \omega_1 + \alpha_1$$

y con los signos correspondientes a la figura 4:

$$(6) \quad (O_1P) = (O_1O_2) - \omega_1 - \alpha_1$$

Las ecuaciones (1) y (2), pág. 53 nos hacen ver que toda la precisión angular fotogramétrica depende de la exactitud con que se obtienen las coordenadas y y z , ya que la distancia focal f como elemento de orientación interna de la cámara, es determinada por la fábrica con toda la precisión requerida.

Sin embargo, antes de indicar los diversos medios de que disponemos para medir las coordenadas de los puntos P' , debemos destacar las importantes **condiciones operativas** inherentes al método de intersecciones fotogramétricas, sin cuyo cumplimiento el método no proporciona resultados con la precisión necesaria.

9. Condiciones operativas para la mejor determinación planimétrica de nuevos puntos según el método Laussedat.

La **condición operativa principal** es la que se refiere a la base b , en cuyos extremos luego han de poderse efectuar, en forma adecuada, las intersecciones fotogramétricas de todos los puntos a levantar.

La **longitud de la base** puede ser obtenida de las coordenadas de los puntos extremos o de la medición directa con cinta.

Para realizar esa forma adecuada de intersección fotogramétrica y con ello el buen resultado del trabajo, se exige, por ejemplo, que la longitud de b sea por lo menos $\frac{1}{3}$ de la distancia máxima a que se encuentran desde la misma los puntos fotografiados; o que los ejes de levantamiento (ejes ópticos), en ambos extremos de la base, se corten con ángulo alrededor de 90° (entre $60^\circ - 90^\circ - 120^\circ$).

Otra reglamentación oficial dispone que la **longitud de la base b** debe variar entre 300 y 500 metros para levantamientos a escala 1:1 000 y el triple de esos valores (1 000 metros o 2 000 metros) para planos a escala 1:20 000.

El par de rayos homólogos para cada punto objeto P , el que pasa por el punto imagen P' de la primera fotografía y el que pasa por la imagen P'' de la segunda, determina entonces por intersección en forma adecuada, la

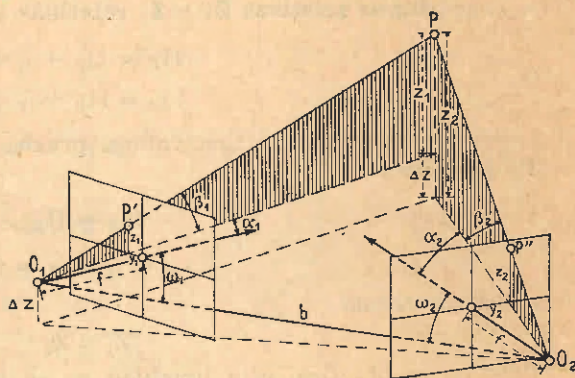
posición del punto P en el espacio; y, por su proyección, su situación en el plano.

Un tercer rayo fotogramétrico al punto P del espacio, determinado por su imagen P'' sobre una tercera vista, deberá pasar, en su proyección, por el mismo punto del plano; lo cual constituye una valiosa comprobación planimétrica.

Para la altimetría fotogramétrica, en cambio, es preferible el contralor numérico, por ser más rápido y más práctico, como lo demostraremos a continuación.

10. Doble determinación de la altura relativa (desnivel) de un nuevo punto P . "Constante altimétrica".

Fig. 4.— Perspectiva ilustrativa de la doble determinación de la altura relativa (desnivel) del punto objeto P y de la "constante altimétrica".



Explicaciones.

O_1 , centro del objetivo de la cámara en la primera estación a la altura i sobre la marca del punto fijo A (no indicado en la figura), con cota H_A ;

O_2 , centro del objetivo de la cámara en la segunda estación, a la misma altura i sobre la marca del punto básico B , con la cota H_B ;

b , recta paralela a la línea AB , que vincula entre sí los centros O_1 y O_2 ;

f , eje de la cámara;

y_1, z_1 , coordenadas de la imagen P' ;

y_2, z_2 , coordenadas de la imagen P'' ;

α_1, α_2 , ángulos acimutales de las imágenes P' y P'' ;

β_1, β_2 , ángulos verticales de las imágenes P' y P'' ;

ω_1, ω_2 , ángulos de orientación en O_1 y O_2 ;

Z_1, Z_2 , alturas relativas del punto objeto P con respecto a los horizontes de O_1 y O_2 ;

ΔZ , diferencia de alturas relativas para el punto P ;

$\Delta Z' = \Delta Z$, diferencia de las cotas de los puntos básicos A y B ("constante altimétrica").

De la figura 3 sacamos la sencilla relación:

$$(7) \quad \frac{z}{Z} = \frac{d}{D}$$

la que nos da para las magnitudes Z_1 y Z_2 de fig. 4:

$$(8) \quad \begin{aligned} Z_1 &= z_1 \cdot \frac{D_1}{d_1} \\ Z_2 &= z_2 \cdot \frac{D_2}{d_2} \end{aligned}$$

en las que las cantidades z_1 y z_2 son conocidas por habérselas medido sobre

las placas negativas, sacándose, en cambio, los pares de valores d_1 y d_2 , D_1 y D_2 , directamente del plano (ver fig. 3).

Sean **A** y **B** los dos puntos fijos (trigonométricos o poligonales), extremos de la base b en las que se ha hecho estación fotogramétrica. Sean H_A y H_B sus alturas sobre el nivel del mar; i_1 la altura del objetivo O_1 de la cámara en **A** e i_2 del objetivo O_2 de la cámara en **B**.

Tendremos entonces para los horizontes de toma de vistas en ambas estaciones:

$$(9) \quad \begin{aligned} H_A + i_1 \\ H_B + i_2 \end{aligned}$$

Tendremos entonces para la cota H_P del punto **P**, en base a los horizontes (9) y las alturas relativas Z_1 y Z_2 referidas a aquéllos, las 2 ecuaciones:

$$(10) \quad \begin{aligned} H_P &= H_A + i_1 + Z_1 \\ H_P &= H_B + i_2 + Z_2 \end{aligned}$$

las que nos proporcionan una valiosa prueba de campo.

En caso de ser:

$$\begin{aligned} H_A &= H_B \\ i_1 &= i_2 = i \end{aligned}$$

las (10) exigirían:

$$Z_1 = Z_2$$

Pero en la práctica, esta igualdad no se verifica debido a la diferencia de los horizontes. Resultarán para cada punto **P** identificado una diferencia de desniveles ΔZ :

$$(11) \quad \Delta Z = Z_1 - Z_2$$

la que debería ser igual para todos los puntos **P** identificados; es lo que constituye esa prueba de campo según (10).

Teniendo en cuenta la (8), obtendremos entonces para la cota H_P del punto **P**.

$$(12) \quad H_P = H_A + i_1 + z_1 \frac{D_1}{d_1} = H_B + i_2 + z_2 \frac{D_2}{d_2}$$

A la diferencia de cotas ($H_A - H_B$) o a la diferencia de horizontes según (9), en el supuesto de ser:

$$i_1 = i_2 = i$$

la designaremos por $\Delta Z'$:

$$(13) \quad \Delta Z' = H_A - H_B$$

y la llamaremos "constante altimétrica", entre comillas por el significado particular que hemos dado a la palabra "constante": Cada diferencia de desniveles $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ de cualquier punto **P** identificado en ambas placas, deberá ser igual a la "constante altimétrica" $\Delta Z' = H_A - H_B$.

El cumplimiento de esta prueba equivale a una verificación triple: se controla la altimetría, la planimetría así como la correcta identificación de puntos del terreno.

11. Situación planimétrica de los puntos identificados P del terreno (confección del plano a base de pares de vistas fotogramétricas).

No obstante ser posible obtener también la situación planimétrica de los puntos P del terreno por el cálculo, no es éste precisamente el medio más adecuado para el **método de Laussedat**, que es un procedimiento de intersecciones, a cuya característica se adapta mucho mejor el **método gráfico**, siendo éste, además, de una extraordinaria sencillez, como se desprende de la siguiente figura 5.

Se comenzará con colocar a la escala del dibujo elegida, 1:20 000, por ejemplo, la longitud de la **base b** (la que con ser $b = 2000$ metros daría en el dibujo el segmento de línea de 1 dm).

En los extremos O_1 y O_2 de esta base, se colocarán, mediante los ángulos de orientación ω_1 y ω_2 , los ejes de cámara de longitud f , a escala natural (por ejemplo $f = 15$ cm).

Por los puntos extremos de estos segmentos se dibujarán perpendicularmente a aquéllos, las **horizontales principales** de las placas, que resultan ser las **trazas** T_1 T_1 y T_2 T_2 de los planos de imágenes de las dos placas.

Sobre estas horizontales (trazas) se llevarán, con el signo que corresponde, los valores y_1 y y_2 (ver fig. 5). La unión de O_1 con y_1 y de O_2 con y_2 dará en la intersección de sus prolongaciones la **posición planimétrica** del punto objeto P.

En forma análoga se procederá con otros puntos P identificados sobre las dos fotografías.

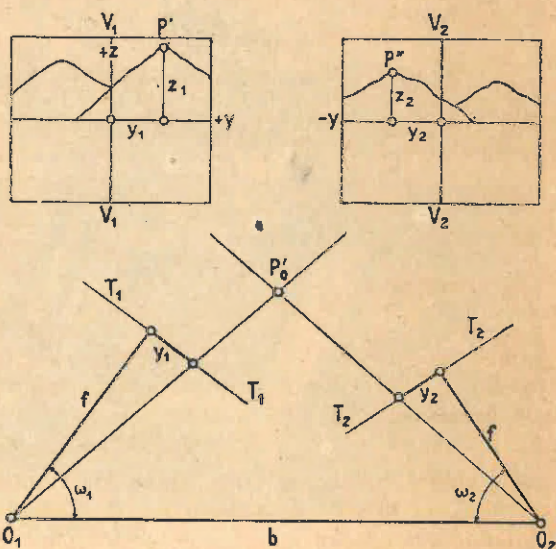


Fig. 5.— Dibujo de la proyección horizontal del punto P.

12. Medición de las placas o determinación de las coordenadas yz de un punto imagen.

Medir una imagen fotográfica (placa) significa determinar las coordenadas rectangulares de cualquiera de sus puntos (referidas a su centro M, (ver fig. 12 pág. 19).

Para el modo de proceder en esta medición y la precisión de los resultados de la misma es de primordial importancia el material de esa imagen fotográfica.

En los comienzos de la fotogrametría se utilizaban casi exclusivamente las **copias (positivas) de papel** de las placas negativas originales. Las mediciones se hacían simplemente mediante escalas milimetradas, usando lupa.

Las copias de papel tienen el grave defecto de sufrir grandes e irregulares **dilataciones** en los baños, que hacían que poco a poco se hayan ido eliminando casi por completo de la práctica fotogramétrica y que hoy sólo se las emplea para algunos objetivos especiales.

En la fotogrametría moderna se exige que se emplee para la medición los **negativos originales**, utilizándose para ello aparatos especiales llamados **coordinatómetros**.

La figura 6 muestra el modelo construido por la casa G. Heyde de Dresde. Las dos partes principales de este aparato son **dos carros el carro de las y**

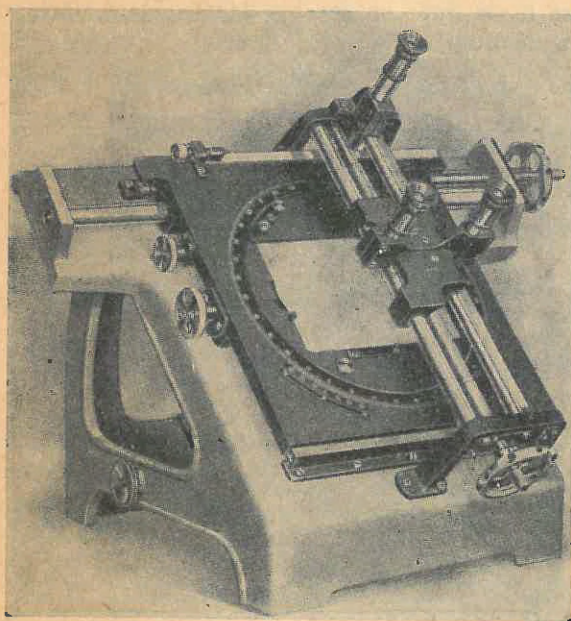


Fig. 6.— *Coordinatómetro de Heyde (Dresde).*

(llamado también **carro de la imagen**) y el **carro de las z** o **carro del microscopio**, cuyos movimientos perpendiculares entre sí son producidos por las correspondientes manivelas.

Las magnitudes de los movimientos de esos carros son leídas en las respectivas **escalas** con ayuda de un microscopio de lectura, que da la lectura con la **precisión de 0,01 mm.**

Otro importante elemento del aparato es el **tornillo de ajuste** visible en el medio del costado izquierdo de la figura. Este tornillo permite girar a la placa a medir alrededor de su centro con la **precisión de 1'.**

Con este movimiento giratorio de corrección se puede conseguir que la recta de unión de las marcas marginales horizontales **y—y** (ver fig. 12 pág. 19) sea exactamente paralela a la dirección del movimiento del carro de las **y**. A esta posición de la imagen y del carro de las **y** corresponde sobre la escala del carro de las **z** la lectura **z₀**.

Colocando ahora el microscopio de enfoque en una de las marcas marginales **z**, se obtendrá con la lectura de la escala del carro de las **y**, el correspondiente valor **y₀**. El par de valores **y₀**, **z₀** serán entonces las coordenadas del centro **M** de la placa a medir, referidas a los respectivos **ceros de las escalas de los carros**.

Siendo entonces **y'** y **z'** las lecturas de escala para cualquier punto de la imagen (placa), se obtendrán las correspondientes coordenadas referidas al centro de la placa por la relación:

$$(14) \quad y = y' - y_0 \qquad z = z' - z_0$$

que son las cantidades que se necesitan.

13. Identificación de puntos.

Llámase “**identificación de puntos**” a la búsqueda de dos (o más) puntos imágenes de un mismo punto del terreno. Esta identificación de puntos es la cuestión más delicada del procedimiento de **Laussedat**; por causa del aspecto muy distinto del paisaje fotografiado desde puntos de estación muy alejados entre sí.

Se suele rodear con un circulito a lápiz los puntos imágenes **P'** y **P''** (ver fig. 4) de un punto **P** identificado.

Esta identificación de puntos, en los pares de placas, es tanto más difícil cuanto más uniforme se presentan las formas del terreno. Es relativamente fácil en la alta montaña y muy difícil en la llanura.

Comprendemos entonces que el recurso controlado que ofrece la “**constante altimétrica**”, será muy útil en la alta montaña; pero que el mismo ha de fracasar en terreno accidentado.

En caso de tratarse del levantamiento catastral de una zona rural muy subdividida, no quedará para la identificación de los puntos límites de paralelas otro recurso que el de señalar y numerar los puntos, fijando tablillas de numeración en los mismos.

Esta práctica de campo para la identificación de puntos adquirió una cierta celebridad, por habérsele empleado en un hermoso trabajo presentado a la Exposición Internacional de París en 1900.

14. Destacando desde un nuevo punto de vista las ventajas e inconvenientes del método de Laussedat.

Por lo que hemos dicho anteriormente y por lo extensamente expuesto en el Volumen 2 del Tomo III, sabemos que, mediante el **método taquimétrico**, se levantan **puntos señalados**, punto por punto, y que, según el método fotogramétrico se levanta el terreno por sectores sin que sea necesario marcar los puntos, pudiendo por ello abarcarse con este método zonas completamente inaccesibles al método taquimétrico.

Pero también sabemos que en el llano su aplicación es muy restringida debido a la difícil identificación de puntos.

En esta difícil identificación de puntos por la que se cerró esta **primera fase del desarrollo de la fotogrametría**, a la que quisiéramos llamar **Fotogrametría fundamental o Fotogrametría primordial** (en lugar de la denominación “**Fotogrametría ordinaria**” que lleva); porque la misma es efectivamente **fundamental** para todo el desarrollo posterior del método fotogramétrico. Sólo un detenido estudio capacita al lector de apreciar debidamente la gran importancia que tuvo el segundo paso, la introducción de la **Estereofotogrametría**, con la que se eliminaron los obstáculos infranqueables del primer desarrollo, abriendo un nuevo horizonte de inapreciables perspectivas.

15. Precisión.

En cuanto a la **precisión**, planimétrica y altimétrica, de los trabajos de levantamiento fotogramétrico según el método de intersecciones, nos podemos limitar a las siguientes breves indicaciones como resultados de la gran práctica de campo.

Según S. Finsterwalder tenemos, en el supuesto de emplearse cuidadosamente un dobledecímetro milimetrado en la medición de las coordenadas **yz** sobre placas negativas (obtenidas con cámara con $f = 15$ cm), para el **error medio angular**: 1,5 minuto.

(15) **error angular** = 1,5 minuto

y para la **situación planimétrica**

(16) 0,3 mm en planos a escala 1:10 000

y para la **altimetría**:

(17) 1 a 2 metros para la distancia
(más favorable) de 1 500 metros
del objetivo fotografiado.

Para la **distancia**:

(18) 1 ‰ para distancia entre 1 000 y 2 000 metros.

—*—

Capítulo IV

Estereofotogrametría

§ 1

Visión estereoscópica

Fundamento de la Estereofotogrametría

La estereofotogrametría está exclusivamente basada en la visión binocular (estereoscópica).

Para destacar debidamente sus propiedades especiales, es necesario compararla con la visión monocular.

1. Generalidades sobre la apreciación de distancias con visión binocular y con visión monocular.

Desde que el hombre existe sabe que la visión con los dos ojos (**visión binocular**) le permite apreciar las diferentes distancias a que se hallan situados los diversos objetos que lo rodean. Instintivamente nos valemos de esa visión al caminar encima de las irregularidades del suelo. Lo hacemos con cierta seguridad; la que no nos puede dar en igual grado la visión con un ojo sólo (**visión monocular**).

Sin embargo, también la visión monocular nos puede informar, aunque sea de un modo algo precario (ver págs. 216 y 217 de **Optica**) sobre los alejamientos de los objetos del espacio. Esta información se basa principalmente en la **comparación**, la experiencia, la deducción y la perspectiva (fila de árboles, pág. 8 y perspectiva aérea, ver pág. 4), el movimiento de la cabeza frente al objeto en movimiento, etc. Comparamos, por ejemplo, la magnitud aparente (magnitud angular) de un objeto desconocido del espacio con la de un objeto conocido (tamaño de un hombre, p. ej.).

Si bien esta comparación nos puede proporcionar una cierta orientación en cuanto a lo más acá y lo más allá, no deja de ser un recurso deficiente. No es, en el fondo, sino una **aptitud**, adquirida y perfeccionada por el hombre durante el curso de su vida.

Visión monocular.

2. Precisión o agudeza visual fisiológica en la visión monocular; 1ª y 2ª especie.

Por lo visto en pág. 117 de **Optica**, sabemos que en la zona más sensible de la retina del ojo, en llamada "fóvea centralis", los conos tienen un diámetro de sólo 2μ ($= 0,002\text{ mm}$), mientras que en las partes más alejadas del centro llegan a tener diámetros hasta de $5,5\mu$.

Experimentos fisiológicos han demostrado: Para que dos puntos objetos sean visibles separados, es necesario que las respectivas imágenes de los mismos se formen en conos de la retina separados por un cono a lo menos.

Esta precisión de la visión natural lleva la denominación de **agudeza visual fisiológica de 1ª especie**, la que varía entre $2'$ y $45''$, según el grado de nitidez con que están definidos los puntos.

En caso de que los objetos tengan forma de **líneas paralelas** y si las imágenes de las mismas afectan series de conos paralelos al plano de simetría del cuerpo del observador, en este caso el ojo podrá percibir separados dos objetos aunque sus imágenes afectan dos conos contiguos de la retina. Es la llamada **agudez visual de segunda especie**, cuyo valor angular es del orden de $15''$.

3. Visión monocular natural.

Por lo visto en nuestra **Optica** sabemos que los rayos principales correspondientes a un haz emanado de un objeto, se cortan una vez sobre el eje del ojo y que los objetos derechos del espacio producen sobre la retina del ojo imágenes invertidas, las que por acción del cerebro son percibidas derechas.

4. Visión monocular con instrumento.

En el caso de **visión monocular con instrumento** las imágenes de los objetos observados serán percibidas derechas o invertidas según el número de cruces de ejes de los rayos principales sea un número **impar** o **par**.

5. Misión del instrumento óptico en la visión monocular.

La **misión del instrumento óptico** en la visión monocular consiste en el aumento del ángulo de abertura de los haces fotogramétricos, o sea, el aumento del ángulo de imagen de la visión natural.

6. Forma de imagen plana obtenida en la visión monocular de un cuerpo del espacio.

Por causa de la forma de la retina del ojo comprendemos que la imagen de un cuerpo del espacio no puede ser otra cosa que una **figura plana**: El ojo verá al cuerpo como **proyección sobre un plano** (plano de enfoque), el que contendrá el **punto fijado** especialmente.

Si a esa visión monocular directa la sustituímos por un **dibujo perspectivo** (ver fig. 1, pág. 2) o una **fotografía**, sabemos que deberá corresponder a

la n -ésima reducción del plano de enfoque la n -ésima reducción de los correspondientes elementos del dibujo o de la fotografía. Al no cumplirse esta exigencia, el dibujo no será semejante al original, no pudiendo entonces producir el dibujo en el ojo la misma impresión que la visión directa del objeto del espacio.

Visión binocular sin instrumento.

7. Formación de las semi-imágenes. Paralajes binoculares, angulares y lineales.

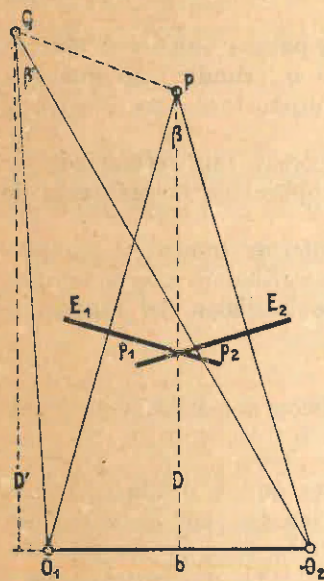


Fig. 1.— Paralaje binocular:

$P_2 - P_1$

En la **visión binocular** percibimos con cada ojo el objeto del espacio como figura plana tal cual queda indicado en el número anterior.

Sea O_1 el ojo izquierdo y O_2 el ojo derecho y $O_1O_2 = b$ la **distancia interpupilar**; sea P el punto objeto del espacio y D la distancia perpendicular del mismo a esa base (ver fig. 1).

Designaremos además, por E_1 y E_2 a los planos $\perp$ a los ejes O_1P y O_2P de los ojos. Estos ejes cortan en el punto P , formado en el mismo el **ángulo de convergencia** $\beta (= O_1PO)$ opuesto a la base b , al que se llama **paralaje binocular** (paralaje angular).

Para una distancia corta (de óptima visión clara, de 25 cm, por ejemplo), los planos E_1 y E_2 forman entre sí el mismo ángulo β ; mientras que para puntos objetos P relativamente lejanos, los planos de enfoque se confunden en uno solo, resultando entonces los ejes de los ojos prácticamente paralelos.

Si en la proximidad del punto P se encuentra situado otro punto objeto Q , a la distancia perpendicular D' , mayor o menor que D , pero siempre con la condición de que

$$\Delta D. = D' - D$$

sea una magnitud muy pequeña al lado de la distancia D , entonces este punto Q tendrá sobre cada uno de los respectivos planos de enfoque, E_1 y E_2 , su imagen.

Los segmentos p_1 y p_2 sobre los planos E_1 y E_2 , designan las distancias que median entre esos puntos imágenes de Q y los puntos de intersección de los ejes O_1P y O_2P sobre esos planos de enfoque. La diferencia $(p_2 - p_1)$, llamada **paralaje horizontal**, nos da una medida para la apreciación de la diferencia de distancia de los puntos P y Q a la cabeza del observador.

Siendo, según ya dijimos, β la paralaje angular del punto **P** y β' la de **Q**

$$\Delta\beta = \beta - \beta'$$

la paralaje entre los puntos **P** y **Q**, obtendremos:

$$(1) \quad \Delta\beta = b \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D'} \right) = b \left(\frac{D - D'}{DD'} \right)$$

8. El nuevo "sentido del espacio".

Esta apreciación de la diferencia de distancia de puntos objetos el hombre la puede realizar en virtud de su facultad de unir o "**fundir**" en una sola **imagen visual** las dos semi-imágenes de un mismo objeto formadas al mirarlo simultáneamente con ambos ojos.

Es esta milagrosa fusión de semi-imágenes que se opera (**sin reflexión**), por un proceso fisiológico en el cerebro, la que nos proporciona la **sensación de relieve** de los objetos del espacio.

Es tan intensa, tan segura y precisa esta impresión de relieve, y tan particular su característica, que se puede hablar de un verdadero nuevo sentido, el **sentido de la visión estereoscópica** o **sentido de la visión del espacio** o, más simplemente: "**sentido del espacio**".

9. Visión estereoscópica considerada como aplicación del método de intersecciones. Paralaje horizontal y paralaje vertical.

Lo que es condición esencial e imprescindible para que se produzca la impresión de relieve de un objeto del espacio, es que las dos semi-imágenes obtenidas del mismo desde los dos centros de proyección (centros de rotación de los dos ojos), sean **algo diferentes**, debido a la distancia que separa a esos dos centros.

La visión estereoscópica es, en el fondo, una **aplicación fisiológica del método de intersecciones** (ver Capítulo III), con la pequeña base de 65 mm de distancia interpupilar y las dos semi-imágenes producidas por los dos cristallinos sobre las retinas de los ojos del observador.

Los elementos homólogos de ambas semi-vistas, al ser éstas **superpuestas**, (ver fig. 2) no coincidirán entonces; discreparán en pequeños **valores lineales horizontales** con respecto a los puntos de intersección de los ejes. compare fig. 1 y fig. 55, pág. 208 de **Optica**.

Es en estas desviaciones que sufren los elementos homólogos con respecto a determinados **puntos o líneas de referencia**, que se funda la visión de relieve de los objetos del espacio; desviaciones que no solo se producen en sentido horizontal, en la llamada **paralaje horizontal** (P_h , fig. 2), sino también en **sentido vertical**, en la llamada **paralaje vertical** (P_v , fig. 2).

Es de la **paralaje horizontal**, P_h , que depende principalmente la impresión de relieve de un objeto del espacio. Cuando esa magnitud P_h sobrepasa cierto **valor límite**, no se logra la superposición de las dos semi-imágenes.

La **paralaje vertical** P_v , en cambio, dificulta la impresión de relieve del objeto del espacio; pudiendo llegar a imposibilitarla cuando excede de cierto valor.

10. Signos de los segmentos de paralaje p_1 y p_2 en la visión estereoscópica natural.

Es importante tener siempre presente que los segmentos de paralaje p_1 y p_2 deben tener invariablemente el mismo signo, es decir, hallarse ambos del mismo lado, ambos a la izquierda o ambos a la derecha del respectivo eje del ojo. Al no ocurrir esto, no se podrá producir el deseado efecto plástico del objeto del espacio.

11. Precisión o agudeza visual de la visión estereoscópica (1ª y 2ª especie).

A las diferencias $(p_1 - p_2)$ de los segmentos p_1 y p_2 en los planos de enfoque E_1 y E_2 (ver fig. 1), corresponden en las retinas de los ojos las diferencias de las imágenes Q' y Q'' de Q , de las imágenes P' y P'' del fijado punto P ; diferencias que se forman en las respectivas "fóveas centralis" de ambos ojos.

La experiencia ha demostrado que el efecto estereoscópico comienza a producirse cuando la diferencia de las imágenes sobre las retinas sólo es igual a la mitad del diámetro de un cono de la zona de la "fóvea centralis", lo que equivale a la magnitud de un ángulo de 30 segundos.

Llábase a este límite: **agudeza visual estereoscópica de primera especie.**

Cuando se trate de **elementos lineales**, resulta ser mayor aún la agudeza de la visión binocular, llegando al valor angular de 10 segundos.

Es la llamada **agudeza visual fisiológica de segunda especie.**

12. Radio del campo visual estereoscópico.

Puntos objetos del espacio, cuyos rayos visuales, en la visión binocular, se corten bajo ángulos de magnitud menor que los valores límites (30" y 10") que acabamos de indicar no producen efecto plástico en el cerebro del observador.

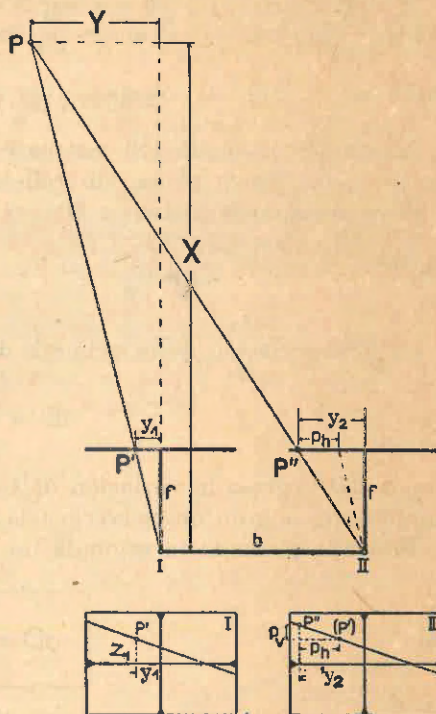


Fig. 2.— Paralaje horizontal P_h y paralaje vertical P_v

La superposición de I sobre II hace que P' caiga sobre (P') .

Estos límites de visión estereoscópica están determinados por conjuntos de circunferencias con ángulos inscriptos de:

$$d\beta = 30'' \text{ y } d\beta = 10''$$

respectivamente.

Los diámetros de estas circunferencias expresan los valores de los llamados **radios del campo visual estereoscópico**, a los que designaremos por R_{est} :

Para $\Delta\beta = d\beta = 30''$, tendremos

$$R_{\text{est}} = \frac{b}{d\beta} = \frac{65 \text{ mm}}{30''} \times 206\,265''$$

$$= 65 \times 7\,000 \text{ mm} = 450 \text{ metros}$$

A esta distancia de 450 metros el objeto del espacio aparecerá al observador como figura plana, sin relieve.

Introduciendo la distancia D (ver fig. 1), la (1) nos da:

$$(2) \quad D = \frac{b}{\beta} \quad \beta = \frac{b}{D}$$

La diferenciación de la primera de las (2) nos da:

$$(3) \quad dD = -\frac{b}{\beta^2} d\beta$$

donde dD expresa la variación de la distancia D en función de la variación mínima del ángulo de convergencia β .

Teniendo presente la segunda de las (2), la (3) nos da:

$$(4) \quad \boxed{dD = -\frac{D^2}{b} d\beta}$$

Esta fórmula nos expresa el **límite de la percepción de profundidad**; la que nos dice: El error dD de la distancia D aumenta con el cuadrado de esta distancia D .

Pasando a los errores medios m_D y m_β de las cantidades D y β , obtendremos:

$$(5) \quad \boxed{m_D = \frac{D^2}{b} m_\beta}$$

13. Aplicación de la fórmula (4) a objetos situados a la distancia de óptima visión clara.

Siendo en este caso:

$$D = 25 \text{ cm, } b = 65 \text{ mm y } d\beta = 10'',$$

la (4) nos da:

$$dD = \frac{250^2}{65} \times \frac{10}{206\,265} = 0,05 \text{ mm}$$

y para $d\beta = 30''$:

$$dD = \frac{250^2}{65} \times \frac{30}{206\,265} = 0,15 \text{ mm}$$

Esta **gran precisión de la visión estereoscópica** es utilizada en el examen de billetes de banco. Sirven como semi-imágenes un billete auténtico y un billete presumido falso, a los que se colocarán en un instrumento especial, llamado **estereoscopio**.

Para que la observación simultánea de los dos semi-imágenes de un mismo objeto del espacio (paisaje) produzca el deseado efecto estereoscópico, es necesario que las mismas estén **correctamente orientadas** la una con respecto a la otra dentro del estereoscopio.

A fin de poder destacar con más claridad todo lo relacionado con esta orientación de semi-imágenes, es necesario introducir algunos nuevos conceptos de muy corriente uso en fotogrametría, a los que pasamos a definir.

14. Punto nuclear, rayo nuclear, eje nuclear, plano nuclear.

El caso c), pág. 43, de **vistas convergentes**, se presta especialmente para la explicación e ilustración de estos nuevos conceptos.

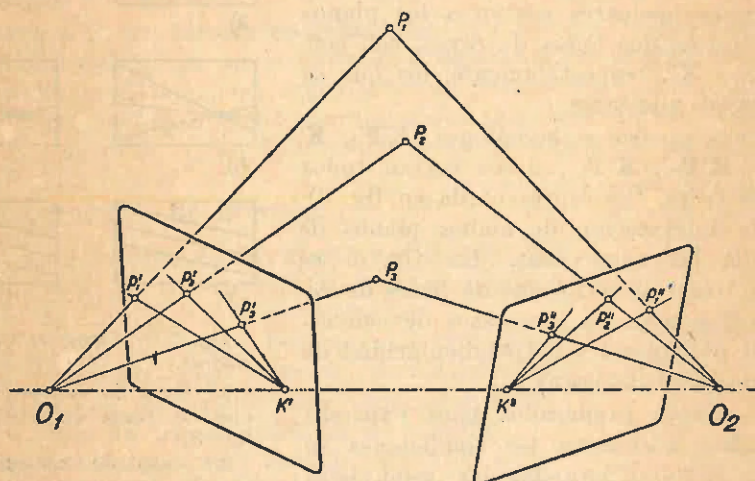


Fig. 3.— *Método de convergencia.*
K', K'', puntos nucleares.

Cada sector de terreno es levantado mediante dos semi-vistas tomadas desde los centros O_1 y O_2 (ver fig. 3).

Cualquier punto P del terreno forma con los dos centros O_1 y O_2 un plano llamado **plano nuclear**. Todos los planos nucleares correspondientes a los puntos del terreno a levantar, pasan entonces por la recta unión de los centros O_1 y O_2 , la que lleva la denominación de **eje nuclear**.

Al plano nuclear particular que contiene el eje de una de las dos semi-vistas, se llama **plano nuclear principal**.

Las dos semi-vistas obtenidas desde los centros O_1 y O_2 forman un **estereograma** (ver fig. 4).

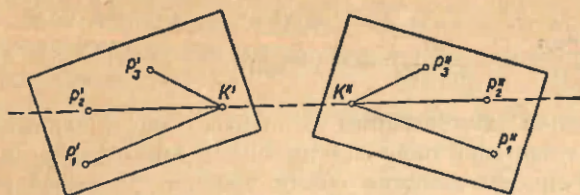


Fig. 4.— Condiciones de rayos nucleares para lograr con estereograma el máximo efecto estereoscópico de un punto objeto observado; a saber:

- a) que los rayos nucleares homólogos sean paralelos a la base de observación estereoscópica y
- b) que los intervalos entre dos rayas nucleares consecutivos y entre sus rayos nucleares homólogos, sean iguales.

1882 bajo el nombre de "**Kernpunkte**". Se les sigue por eso designando por K' al punto nuclear de la imagen izquierda y por K'' al punto nuclear de la imagen derecha (ver fig. 3).

Los planos nucleares cortan a los planos de imágenes en dos haces de rayos, con centro en K' y K'' , respectivamente, los que se llaman **rayos nucleares**.

Los rayos nucleares homólogos, $K'P'_1$, $K'P'_2$,... y $K''P''_1$, $K''P''_2$,... se cortan todos sobre una recta, (no representada en fig. 3), que es la intersección de ambos planos de imagen de las semi-vistas. En fig. 5 se muestran tres típicas formas de haces de rayos nucleares para los tres casos de convergencia, de oblicuidad y perpendicularidad de los ejes de toma de vistas.

Estamos ahora preparados para expresar con términos adecuados las condiciones en que deben hallarse situadas las semi-vistas para obtener en el estereoscopio el deseado efecto de relieve.

Esos dos planos nucleares principales coincidirán cuando se trate del llamado **caso normal de estereofotogrametría**, con ejes ópticos paralelos entre sí.

Los dos puntos de intersección del eje nuclear O_1 , O_2 con los planos de imagen de las semi-vistas, se llaman **puntos nucleares**, en concordancia con la denominación de G. Hauck, el que los introdujo en la teoría fotogramétrica en

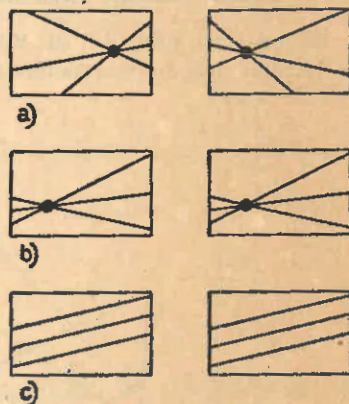


Fig. 5.— Tipos de rayos nucleares.

a) Caso de convergencia de ejes de toma de vistas; (ver fig. 3);

b) caso de oblicuidad de ejes de toma;

c) caso normal con ejes paralelos (y base inclinada).

Visión binocular con instrumento.

15. Condiciones principales para la sensación de relieve.

A raíz de las explicaciones anteriormente expuestas podemos decir que, para que se produzca la sensación de relieve, es necesario que se presente

a cada ojo su perspectiva propia, o sea, el correspondiente dibujo perspectivo en el plano de enfoque de cada ojo.

Es ésta la **primera condición** o **condición primordial** para la sensación de relieve en base a un par de semi-imágenes, un estereograma.

También sabemos que la realización de esa sensación de relieve o impresión estereoscópica se funda en el hecho de que los **rayos conjugados**, salientes de los respectivos centros de proyección (centros de rotación de los ojos), pasando por los **puntos homólogos** de las semi-imágenes, se cortan dos a dos en los respectivos puntos del objeto del espacio; lo cual constituye la **segunda condición para la sensación de relieve**.

El conjunto de esos puntos de intersección forman el contorno lineal y superficial de los objetos del espacio.

Podemos decir también que la visión binocular (estereoscópica) se realiza en **planos nucleares**, cuyo eje común es la distancia interpupilar de ambos ojos; de los cuales cada uno está determinado por un par de rayos conjugados que se cortan en el respectivo punto objeto del espacio.

Sabemos que estos planos nucleares cortan a las imágenes parciales de los estereogramas en los llamados **rayos nucleares**. (ver fig. 3).

Las 2 condiciones relativas a la observación estereoscópica, que acabamos de establecer, subsisten también en caso de que los estereogramas sean obtenidos por intermedio de **instrumentos ópticos especiales**.

16. Cámara fotográfica estereoscópica.

La fotografía con **cámara estereoscópica** (2 objetivos de distancias focales iguales, ejes ópticos paralelos entre sí y separados en la distancia interpupilar media de 65 mm), nos representa un recurso ideal para obtener cómoda y muy exactamente estereogramas, que se prestan de un modo muy especial para la observación estereoscópica de los objetos fotografiados.

17. Estereoscopio de Brewster.

En el **estereoscopio de Brewster** (ver fig. 6). las dos semi-vistas del paisaje son colocadas en el plano focal $F_1' F_2'$ de dos lentes convergentes.

De este modo, los rayos salientes del estereoscopio son todos paralelos entre sí, permitiendo un enfoque de las semi-vistas con toda comodidad, como si fuera un objeto infinitamente lejano.

El **inconveniente** de este aparato reside en el hecho de que el campo de aplicación queda reducido a las vistas, en las que las distancias laterales de los puntos lejanos no sea superior a la distancia interpupilar de los ojos del observador.

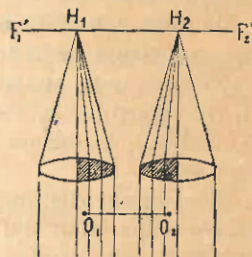


Fig. 6.— Estereoscopio de Brewster.

Aumento de la distancia interpupilar.

Hasta ahora hemos admitido, para la obtención de las semi-vistas una **distancia interpupilar** o **base de observación estereoscópica natural** de 65 mm.

A fin de realizar mayor efecto plástico de la imagen estereoscópica del objeto del espacio, esta base puede ser amplificada, ya sea por medio del método de toma de vistas **estereofotogramétricas**, ya sea por medio de la cons-

trucción adecuada del instrumento, con lo cual se observa directamente el objeto del espacio.

Daremos a continuación un ejemplo de aplicación del primer recurso tomado de la práctica fotogramétrica.

18. Ejemplo clásico para el aumento de la base estereoscópica.

En los puntos extremos O_1 y O_2 de la base estereoscópica.

$$O_1O_2 = B$$

cuya longitud se supone sea n veces la distancia interpupilar b , es decir:

$$B = n \times b \quad n = \frac{B}{b}$$

se han tomado, de un mismo objeto del espacio, con la cámara de un fototeodolito, las dos semi-vistas; con ejes de toma perpendiculares a esa base; resultando así ejes de toma paralelos entre sí (y separados en B metros), del mismo modo que los ejes de la cámara estereoscópica anteriormente mencionada (con base b).

El efecto plástico realizable mediante este recurso, comparado con el obtenido con la cámara estereoscópica común, habrá aumentado en la razón.

$$\frac{B}{b} = n$$

la que lleva la denominación de **aumento específico**.

Para aplicar el **segundo recurso**, Helmholtz ideó un estereoscopio especial que lleva su nombre.

19. Estereoscopio de reflexión o telestereoscopio de Helmholtz.

En este conocido aparato (ver fig. 58, pág. 224 de **Optica**) se realiza la imagen estereoscópica mediante dos pares de espejos entre sí paralelos dos a dos. Con este aparato los dos ojos, I' y D' , separados entre sí en la distancia interpupilar b , ven los objetos del espacio que tienen por delante, exactamente en la misma forma como los verían otros dos ojos, I'' y D'' , n veces más separados.

Esta mayor distancia "interpupilar" de los ojos trae por consecuencia una mayor capacidad del observador para distinguir las **diferencias de profundidad** de los objetos del espacio y, por ende, un mayor efecto plástico de la imagen estereoscópica percibida.

El radio del campo estereoscópico queda agrandada con ello en la razón B/b . Es el llamado **efecto plástico específico**.

20. Relación entre la impresión de relieve producida por el telestereoscopio de Helmholtz y la originada en la visión natural.

La impresión de relieve que reciben los ojos I y D (de la citada figura) en los extremos de la base $B (=nb)$, es igual a la que reciben los ojos naturales al mirar un **modelo del objeto del espacio**, a la escala $\frac{1}{n}$, colocado a la n -ésima distancia del objeto natural.

En este modelo, debido a su escala, las dimensiones de profundidad aparecerán n veces reducidas (con respecto a las dimensiones naturales). Pero, como por otra parte la capacidad de distinguir las diferencias de profundidades crece con n^2 , resulta, finalmente, que las diferencias de profundidades pueden ser observadas (y medidas) con una **precisión n veces mayor**.

21. Efecto del aumento del anteojo doble. Efecto plástico total.

Supongamos que se observa el paisaje con un **anteojo doble común** (ver fig. 50, pág. 211 de **Optica**), en el que los ejes de los oculares y objetivos coinciden.

Sabemos que el efecto del anteojo de **A** aumentos consiste en el hecho de que en el mismo queda **A** veces **aumentado el haz de rayos** a un objeto del espacio, comparado con la abertura del haz en la mirada natural; apareciendo entonces el objeto, de igual forma, pero **A** veces más próximo y reducido en sus dimensiones de profundidad.

Empero, en contraposición al caso anterior, (visión natural), en el anteojo el modelo reducido no es **ortomorfo** (no están uniformemente reducidas sus medidas en la misma escala); es **heteromorfo**, puesto que las medidas frontales no participan de esa reducción.

Comparando la impresión estereoscópica producida por el anteojo doble con la obtenida a simple vista natural, podemos decir que en la primera los objetos del espacio nos aparecen dispuestos en planos escalonados a modo de los **bastidores** del escenario del teatro.

A fin de aumentar más aun la capacidad de distinguir diferencias de profundidad, se puede combinar el efecto del telestereoscopio con el del anteojo doble, lo que hizo por primera vez el físico **Abbe** en sus famosos **gemelos prismáticos** de campo (ver fig. 53, pág. 215 de **Optica**).

Siendo entonces, según ya dijimos, n el efecto específico, o sea el factor que expresa la **precisión de las medidas de diferencias de profundidad**, tendremos para el **efecto plástico total**.

$$\text{el producto } n \times A$$

el que expresa numéricamente la **capacidad estereoscópica** de un instrumento.

22. A. Rollet, precursor de Pulfrich. Escala de Rollet.

Según hemos visto anteriormente, el hombre posee la facultad de reunir o fundir en una sola impresión las dos semi-imágenes retinianas de un mismo objeto; las que son esencialmente diferentes, por tener cada una su perspectiva propia.

Sabemos también que son precisamente las **diferencias** de esas semi-imágenes las que constituyen los índices para las diferencias de profundidad de los objetos del espacio observados.

También sabemos que el hombre es capaz de reconocer con gran precisión a las diferencias de profundidad de puntos próximos a la dirección de la mirada a determinados puntos objetos del espacio (fig. 1).

Si las dos semi-imágenes (diferentes entre sí) representan **perspectivas de una escala métrica** (previamente graduada) que penetre oblicuamente en el espacio (compare **construcciones de escalas estereoscópicas**, pág. 111, Volumen 2 del Tomo III), entonces la imagen estereoscópica de las mismas permitirá leer directamente la distancia a que se hallan los diversos objetos del espacio observados.

Es lo que realizó **A. Rollet**; iniciándose, con la introducción de la **escala métrica** que lleva su nombre, un nuevo período, una nueva etapa en el desarrollo de la estereofotogrametría, dominada espiritualmente por C. Pulfrich y constructivamente por la Casa C. Zeiss.

—*—

§ 2.

Teoría de la Estereofotogrametría

1. Sistema de coordenadas rectangulares del espacio **XYZ**, en que se apoya la orientación externa o absoluta de la vista fotogramétrica.

Recordamos aquí, lo que ya destacamos en pág. 19 que los 3 primeros elementos de la orientación externa (absoluta) de las vistas fotogramétricas los constituyen las coordenadas rectangulares **XYZ** del punto de proyección (o de la estación fotogramétrica) **O**; de las cuales las dos primeras magnitudes **X** e **Y** expresan las **coordenadas rectangulares planimétricas** del sistema general de coordenadas del país (coordenadas **Gauss-Krüger**), mientras que la 3ª coordenada **Z** indica la **altitud** de ese punto de proyección **O**.

Las designamos con **mayúsculas** para diferenciarlas de las correspondientes magnitudes de la imagen (placa), que se expresan con **minúsculas**.

2. Coordenadas rectangulares **xyz** de la orientación interna de la cámara.

También sabemos que el segmento **OH** establece el **enlace** entre la orientación interna de la cámara y la orientación externa de la misma, siendo:

$$(1) \quad OH = OM = f = x$$

y que **yz** son las llamadas **coordenadas rectangulares de la imagen** (placa) de las que las **y** expresan las **medidas laterales** referidas al centro **M** y las **z** los **desniveles** de los puntos imágenes con respecto a la altura de ese centro **M**.

3. Designaciones anticuadas de las coordenadas rectangulares de las vistas (placas) fotogramétricas. Su conveniente abolición.

En la figura 2 de pág. 80, que ilustra el **estereocomparador de Pulfrich** se suponen expresadas las medidas de los movimientos horizontales del carro **H** en valores **x** (abscisas) de la escala **X** y los movimientos perpendiculares a éstos accionadas por la manivela **y** (ordenadas), con valores **y** de la escala **Y**; todo ello en desacuerdo con el sistema de coordenadas rectangulares **yz** preconizado por nosotros.

Aconsejamos al lector cuando practique en el estereocomparador de Pulfrich, de substituir esas letras de escala por las que corresponden en el sistema moderno, o sea, por **y** y **z** acostumbrándose a nuestro sistema por ser el único lógico, que establece la necesaria unificación y armonía entre la orientación interna de la cámara, la orientación externa y el sistema de coordenadas general y alturas preestablecidas.

4. Caso normal de la estereofotogrametría terrestre y el caso de oblicuidad.

Si de cada sector de terreno tomamos un par de vistas fotogramétricas, una de cada extremo de una base horizontal, con ejes ópticos paralelos entre sí y perpendiculares a esa base, que son las condiciones del conocido **caso normal de estereofotogrametría**, se obtendrán pares de placas pertenecientes cada par a un mismo plano vertical. Estos pares de vistas llamados **estereogramas** tienen todas las propiedades de imágenes estereoscópicas y

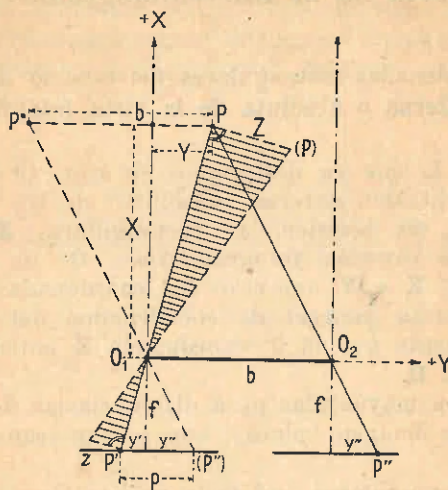


Fig. 1.— "Caso normal"



Fig. 1 A.— Esquema del caso normal.

pueden ser medidas cómoda y rápidamente con el auxilio de aparatos estereoscópicos especiales que describiremos más adelante.

Empero, aun sin auxilio ninguno de estereoscopias esos pares de vistas estereoscópicas nos permiten determinar **analíticamente** todos los elementos necesarios para la representación planimétrica y las alturas de los puntos del terreno en ellas fotografiados, todo lo cual quedará explicado e ilustrado en lo que sigue:

En fig. 1 que ilustra el **caso normal** de estereofotogrametría, O_1 y O_2 significan los objetivos (o centros de proyección) de las cámaras fotográficas (idénticas entre sí) y b la base que los separa.

Para el sistema de coordenadas rectangulares del espacio XYZ , en el que se fija la posición de los puntos objetos P , se suele emplear el centro O_1 como **origen** (cero), expresando XY el plano aproximadamente horizontal y Z ($=H$) la cota del punto referida al horizonte de O_1 .

Para facilitar la deducción de las fórmulas de la misma figura, se ha trazado por el centro O_1 la recta $P^*O_1(P'')$ paralela a la recta PO_2P'' .

De los tres pares de triángulos semejantes que la figura nos ilustra, podemos deducir las siguientes relaciones:

$$(2) \quad \frac{X}{f} = \frac{b}{y' - y''} \quad Y = y' \times \frac{X}{f} \quad Z = z' \times \frac{X}{f}$$

en las que las cantidades y' , z' e y'' , son especialmente medidas, siendo f una constante de la cámara y b previamente medida.

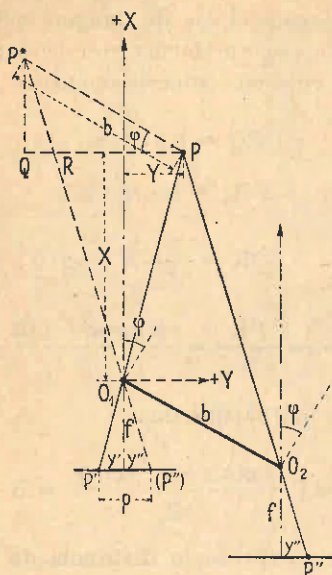


Fig. 2. Caso de oblicuidad.

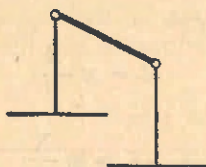


Fig. 2A. Esquema del caso de oblicuidad.

Designando a la diferencia $(y' - y'')$ por p (paralaje estereoscópica del punto P) las (2) nos darán:

$$(3) \quad \boxed{X = b \times \frac{f}{p}}$$

$$(4) \quad Y = y' \times \frac{b}{p}$$

$$(5) \quad Z = H = z' \times \frac{b}{p}$$

La (3) lleva la denominación de **ecuación fundamental de la estereofotogrametría**, en la que **X** expresa la distancia perpendicular del punto objeto **P** a la base **b**.

Para facilitar la deducción de la fórmula del **caso de oblicuidad** (ver fig. 2) trazamos nuevamente por **O₁** la recta (**P''**) **O₁P***, paralela a la recta **P''O₂P**, tendremos entonces:

$$PP^* = b$$

Siendo φ el ángulo que forma el eje de imagen con la normal a la base **b**, será $90^\circ - \varphi$ el ángulo que ese eje forma con la base.

De la fig. 2 se obtendrá entonces sucesivamente:

$$(6) \quad PQ = b \cdot \cos \varphi$$

$$(7) \quad P^*Q = b \cdot \sin \varphi$$

$$(8) \quad QR = \frac{y''}{f} \times b \sin \varphi$$

$$(9) \quad \frac{X}{f} = \frac{PR}{p} = \frac{b \cos \varphi - QR}{p}$$

la que con tener en cuenta la (8) nos da:

$$(10) \quad X = b \frac{f \cos \varphi - y'' \sin \varphi}{p} = b \frac{f'}{p}$$

donde $f' = f \cos \varphi - y'' \sin \varphi$ expresa la **distancia de imagen variable** con la cantidad **y''**.

Para las otras coordenadas **Y** y **Z** tendremos en concordancia con las (4) y (5):

$$(12) \quad Y = y \frac{X}{f}$$

$$(13) \quad Z = z_1 \frac{X}{f}$$

El tercer caso, con **ejes de levantamiento** (ejes de imagen) **convergentes**, al lado de los casos tratados, tiene poca importancia práctica, razón por la cual no lo tratamos.

5. Caso de oblicuidad en la práctica de campo.

En este segundo caso principal de la estereofotogrametría que generalmente se combina con el caso normal (ver fig. 3), los ejes de imágenes **conjugadas**, si bien son **paralelos** entre sí, no son perpendiculares a la base **b** (como en el caso normal), sino que forman con la normal a esa base los mismos ángulos φ .

Las placas de esas imágenes conjugadas son paralelas entre sí y verticales, pero no situadas cada par en un mismo plano vertical (como en el caso normal), sino en planos verticales distintos.



Fig. 3. El caso de oblicuidad en la práctica de campo.

El ángulo φ será de signo positivo o negativo según que la desviación angular del eje óptico se encuentre a la izquierda o a la derecha de la normal a la base b.

§ 3

Estereocomparador de Pulfrich

Fig. 1. Dr. Carlos Pulfrich 1858-1927.

Carlos Pulfrich nació el 24 de septiembre de 1858 en un pueblito cerca de *Düsseldorf*, cursó estudios de física, mecánica y mineralogía, en la Universidad de Bonn. De 1885 a 1890 fué profesor adjunto en el Instituto de Física de la Universidad de Bonn.

Su tesis doctoral trató un tema de óptica, disciplina a la cual dedicaba las mejores energías de su vida.

En el año 1890, *Ernesto Abbe* lo llamó a la Casa Carl Zeiss (Jena), en la que Pulfrich actuó como colaborador científico hasta el fin de su vida.

La extraordinaria obra científica sobre estereoscopia publicada por Pulfrich en un gran número de folletos y revistas que no es el lugar de detallar, es tanto más admirable cuando se tiene presente que a partir del año 1906, a raíz de la pérdida de un ojo, no le era más posible a Pulfrich la visión estereoscópica; y que no obstante esa capacidad fisiológica disminuida, Pulfrich seguía sin desmayo su obra creadora.

Un accidente mortal puso fin a la vida de Pulfrich el 12 de agosto de 1927; su nombre ha pasado a la posteridad como *padre de la estereofotogrametría*.

1. Nota histórica.

La primera idea del nuevo método de medición estereoscópica la tuvo el ingeniero H. de Groussiers (de la Escuela Superior Técnica de Berlín), quien en 1892 propuso a la Casa C. Zeiss la construcción de un *telémetro estereoscópico*, basado en el principio del *telestereoscopio de Helmholtz* y en el principio de la *escala métrica de Rollet*.

En la ejecución definitiva de este instrumento en los talleres de la casa Zeiss, en la que la escala de Rollet fué substituída por otra ideada por E. Abbe, tomó parte muy activa C. Pulfrich, el que en 1899 publicó la primera detallada descripción del *telémetro estereoscópico*.

El paso decisivo en el progreso de la idea de la medición estereoscópica, lo dió el geógrafo F. Stolze: En 1892 propuso el principio de la *marca estereoscópica móvil*, en el que Pulfrich fundó la construcción del *estereocomparador* que lleva su nombre.

2. Síntesis de operaciones a ejecutar para realizar la finalidad de la práctica.

Colóquense las dos semi-vistas de un mismo objeto tomadas desde los extremos de una base corta dentro de un *estereoscopio coordinatómetro*, en la misma posición que esas imágenes tuvieron en el momento de su toma, la una con respecto a la otra; colocando, además, una marca en cada uno de los oculares del estereoscopio, el observador verá, con visión binocular, el objeto del espacio (paisaje) con hermosa plasticidad como un *modelo*, del mismo, y las dos marcas reunidas en *una sola marca estereoscópica* colocada sobre cualquier punto de ese objeto plástico.

Con desplazar las dos vistas en conjunto y la vista derecha con respecto a la izquierda, el observador podrá conseguir que la marca estereoscópica se halle sobre un deseado punto de la imagen estereoscópica del paisaje, un codo de camino, por ejemplo, y lograr que esa marca vaya ocupando sucesivos otros puntos del camino o de cualquier otro detalle topográfico del paisaje.

Esos desplazamientos podrán ser determinados con medidas tomadas en direcciones principales perpendiculares entre sí (coordenadas rectangulares), obteniéndose así números, con los cuales se podrá *calcular o dibujar* fácilmente la posición de todos los puntos levantados (o señalados con la marca estereoscópica) y, con ello, las medidas lineales de los respectivos detalles topográficos.

El primer aparato estereoscópico que respondió con gran acierto y gran precisión a esta finalidad de la práctica, es el *estereocomparador de Pulfrich*.

3. Estereocomparador de Pulfrich, primera construcción cumbre de la fotogrametría moderna.

Con la introducción del *principio estereoscópico* quedó efectivamente eliminada la mayor dificultad que había impedido el desarrollo de la fotogrametría, que consistía en la identificación de puntos homólogos en pares de fotografías de un mismo objeto del espacio.

El éxito del nuevo método de identificación, de puntos homólogos era de tal modo de carácter salvador para el desarrollo de la fotogrametría y en la situación desesperante en que se hallaba a fines del siglo pasado, que nos

parece lógico que se haya dado a Pulfrich, como premio máximo de sus esfuerzos, el título de:

Padre de la estereofotogrametría.

Hay más: El estereocomparador de Pulfrich del año 1901 tiene una perfección tal no sólo en cuanto a la precisión de los resultados que da, sino también por la comodidad de su manejo, que pertenece a la categoría de las construcciones llamadas "**construcciones cumbres**"; porque su precisión alcanza a la capacidad máxima de los sentidos humanos y todo perfeccionamiento ulterior no puede tener otro anhelo que el de una **mayor comodidad en el manejo** y, por ende, en un **mayor rendimiento práctico**.

Esta clase de aparatos no envejecen en su esencia. Se les sigue empleando con todo éxito tanto en la enseñanza como en la práctica de gabinete.

Por estas razones dedicaremos al estereocomparador nuestra preferente atención en los siguientes números.

4. Descripción del estereocomparador de Pulfrich.

En las líneas que anteceden hemos visto las ventajas que nos trajo la **visión estereoscópica** en la identificación y el enfoque de puntos homólogos; y hemos mostrado como la diferencia de coordenadas puede servir para el cálculo de las coordenadas rectangulares de los puntos objetos del espacio.

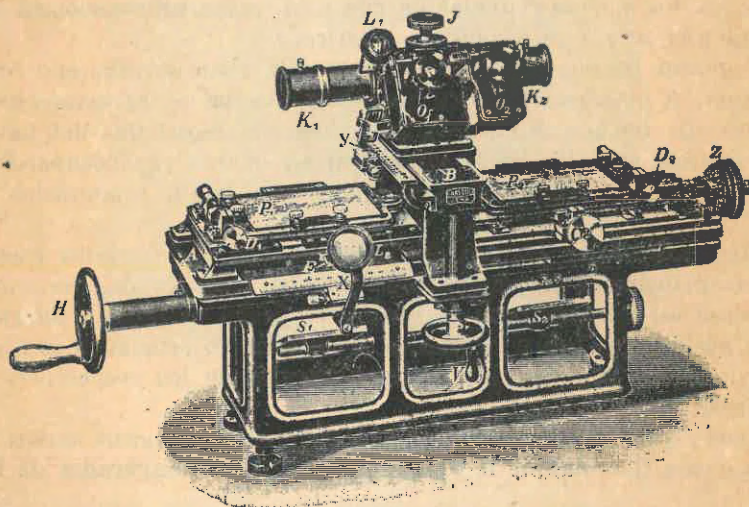


Fig. 2. Estereocomparador Pulfrich-Zeiss de 1901.

En la visión estereoscópica, esta diferencia puede ser medida directamente. El **primer modelo del estereocomparador** servía para fines astronómicos. El **segundo modelo** (ver fig. 2) destinado a **levantamientos topográficos**, fué construído en 1901.

Es éste el modelo universalmente conocido que hizo época, al cual se refiere nuestra descripción y explicación.

En la parte inferior del aparato están colocados **dos espejos, S₁ y S₂**, que sirven para la iluminación de las placas desde abajo.

Sobre la sólida mesa del estereocomparador se halla montado un sistema de carro en cruz, cuyos movimientos son accionados por las manivelas **H** y **V** (ver fig. 2). La manivela **H** sirve para el movimiento lateral del carro principal que lleva la pareja de placas, P_1 y P_2 , a medir; mientras que la mani-

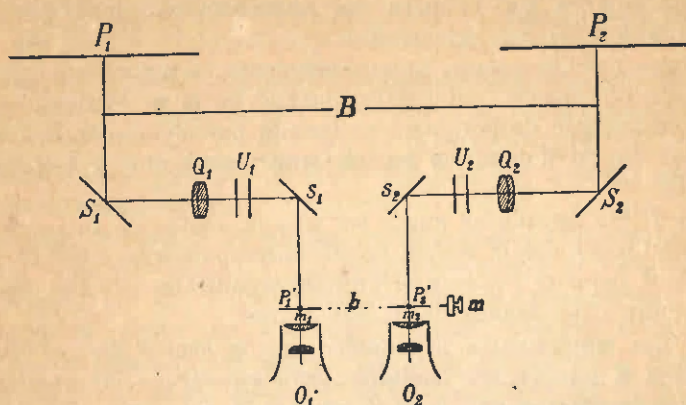


Fig. 3. Óptica del estereocomparador.

vela **V** mueve el carro transversal, que lleva el doble microscopio con los oculares O_1 y O_2 (ver fig. 2 y 3).

Mediante el carro secundario y con accionar sobre el tambor **Z** la placa derecha P_2 puede ser desplazada con respecto a la izquierda P_1 .

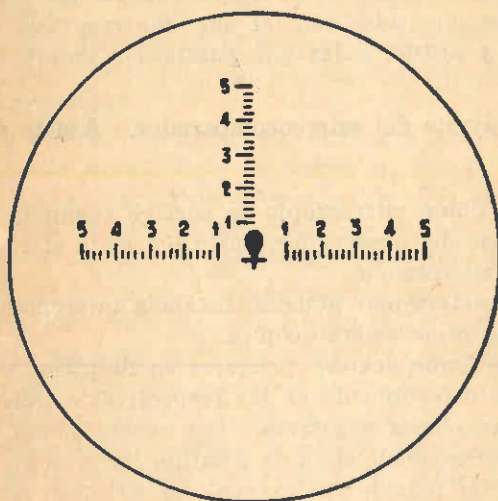


Fig. 4. Retículo del estereocomparador.

Los objetivos del doble microscopio son designados por K_1 y K_2 (ver fig. 2); quedando ilustrado en la sección por la óptica de fig. 3 el campo del rayo óptico en el mismo.

En el campo visual de cada microscopio se ve una marca de medición, cuya forma más favorable para la visión estereoscópica (fig. 4) fué estudiada por Pulfrich.

Además de la marca, el retículo lleva dos escalas, una horizontal y otra vertical, cuyas divisiones corresponden a las de las escalas del estereocomparador.

Se pueden así medir directamente diferencias de coordenadas entre puntos próximos sin nuevos movimientos del estereocomparador estando uno de ellos enfocado con la cruz del retículo.

Para que sea posible enfocar simultáneamente en ambos microscopios puntos homólogos, no basta el movimiento lateral de la placa derecha que realiza el carro secundario de paralajes accionado por el tambor **Z**, debe todavía podersele dar un movimiento en sentido transversal, que se ejecuta mediante el tornillo **C**.

Cada una de las dos placas puede ser girada dentro de su propio plano en pequeñas cantidades por la acción de los correspondientes tornillos **D**₁ y **D**₂.

El tornillo **J** permite realizar el enfoque simultáneo de los dos microscopios sobre puntos homólogos de ambas placas.

Escala. Los movimientos producidos por la acción de las manivelas **H**, **V** y el tambor **Z** pueden ser medidos. Para eso sirven las escalas y nonios en los lugares designados en figura 2 por **X** e **Y**, así como el tambor **Z** y una escala registradora de las revoluciones enteras de ese tambor.

Si las placas **P**₁ y **P**₂ se hallan colocadas en tal forma dentro del estereocomparador que los ejes de las **y** y de las **z** de la orientación interna de aquellas coinciden con la dirección de los movimientos de los carros accionados por las manivelas **H** y **V**, respectivamente, es evidente que los valores: **y**, **z**, e **y' - y''** de nuestras fórmulas de pág. 75 pueden ser directamente medidos en el estereocomparador con tal que éste responda a ciertas condiciones de corrección y ajuste, a las que pasamos a tratar.

5. Corrección y ajuste del estereocomparador. Ajuste del microscopio binocular.

Cada ocular del doble microscopio se corrige según el procedimiento conocido para cada ojo del observador, hasta lograr la clara y nítida visión de la marca en cada microscopio.

Luego se deberá determinar aquella distancia interocular a la que corresponde la mejor impresión estereoscópica.

Los 3 datos de enfoque, los dos primeros en dioptrías y el tercero en milímetros, son leídos directamente en las respectivas escalas y anotados.

Colocación de las placas negativas. Las placas negativas son colocadas dentro de sus soportes con la capa de gelatina hacia abajo, de tal modo que el observador verá el paisaje en los oculares del microscopio en la misma posición que tuvo en el momento del levantamiento.

Ajuste de las placas: Para que un par de placas conjugadas pueda ser utilizado correctamente en la medición de las coordenadas de los puntos objetos que interesen, sus ejes (el vertical y el horizontal) deben ser paralelos a las direcciones de los movimientos de los respectivos carros del estereocomparador. Los tornillos de precisión (micrométricos) **D**₁ y **D**₂ sirven para establecer este paralelismo.

Cada placa se corrige separadamente. Con accionar las manivelas **H** y **V** se producirá la coincidencia de la marca de medición del microscopio con la marca del borde superior del soporte (porta placa). Al bajar ahora la marca del microscopio con sólo accionar la manivela, **V**, hasta el borde inferior, deberá producirse la coincidencia de la marca del microscopio con la marca del borde inferior. Una desviación que en ello se produjera, será corregida, por mitad mediante el correspondiente tornillo de corrección (**D₁** para la placa **P₁** y **D₂** para **P₂**). Lógrase así con varios ensayos para la coincidencia de marca microscópica con la marca del borde superior y la correspondiente coincidencia en el borde inferior del soporte un ajuste con la aproximación de 0,01 mm.

Ajuste de los índices de paralaje. Se colocará primeramente el índice de la escala milimetrada en una división entera, fácil de recordar, y en cero el índice del tambor **Z**. Luego se correrá el conjunto del par de placas (con la manivela **H**) hasta que la marca del ocular derecho coincida exactamente con la marca superior del soporte de la placa derecha. Soltando la unión que fija el porta placa izquierdo, se lo desplazará con la mano libre hasta lograr (por lo menos aproximadamente) la coincidencia de la marca del ocular izquierdo con la correspondiente marca del borde superior de esa placa. Realizado esto se vuelve a apretar la unión de la placa izquierda.

Compensación de alturas. Las marcas de los microscopios deben hallarse a la misma altura con respecto a la de las correspondientes marcas marginales. La compensación de estas alturas se obtiene con mover la placa derecha mediante **C**.

Es imprescindible que la misma sea realizada con cuidado, porque de su buena ejecución depende la impresión estereoscópica necesaria para la debida corrección del aparato.

Ajuste estereoscópico. Al llevar, con mover **H** y **V**, la marca de microscopio muy cerca de la marca marginal superior, ambas marcas deberían aparecer estereoscópicamente. Pero generalmente una de ellas nos aparecerá más distante que la otra. Con un cuidadoso y repetido movimiento del tornillo de paralaje **Z** se logrará compensar esa diferencia de profundidad.

Condúzcase ahora la marca del microscopio con mover **V** hasta la marca marginal inferior. Una diferencia de profundidad entre marca microscópica y marca marginal que aquí se revelará, será compensada mitad con el tornillo de paralaje y la otra mitad con girar la placa derecha mediante **D₂**.

Paralaje. Terminado el ajuste estereoscópico, se volverá a colocar en cero el índice del tambor **Z**. La lectura de número entero en la escala milimetrada (anteriormente mencionada) será deducida de todas las ulteriores lecturas de paralaje. Las resultantes diferencias nos expresan los valores de la paralaje **p** de nuestras fórmulas (ver pág. 75).

Indices de las escalas "X" e "Y".

En análoga forma se puede proceder en la colocación de los índices de las escalas "X" (de las *y*) e "Y" (de las *z*). Se desplazará el par de placas hasta que la marca del microscopio coincida con la marca marginal superior

o inferior de la placa izquierda. En esta posición del carro se moverá el índice hasta el más próximo número entero de la división.

En forma análoga se procederá con el índice de la escala "Y" (de las z), en lo cual se utilizará la marca de las alturas visible sobre el borde vertical del soporte de la placa.

En caso de que no se desplazasen esos índices, se deberán efectuar las alturas exactas correspondientes a esas marcas marginales, tanto la del borde superior para los valores y como la del borde lateral para las z, valores iniciales que deben ser tenidos en cuenta en todas las mediciones. Siendo por ejemplo, y_1 y z_1 , las coordenadas rectangulares del punto P_1 , tendremos:

$$y_1 = "X_1" - "X_0" \qquad z_1 = "Y_1" - "Y_0"$$

donde " X_1 " e " Y_1 ", expresan los valores sacados de las respectivas escalas correspondientes a la bisección del punto, " X_0 " e " Y_0 " las respectivas lecturas constantes iniciales de esas escalas.

6. Precisión.

En el número que antecede hemos analizado detalladamente las condiciones de corrección que deben ser satisfechas en el estereocomparador para que éste pueda cumplir su misión, que es la **determinación de las coordenadas y paralajes de puntos aislados** del paisaje fotografiado; operaciones en las que se emplea generalmente la **vista izquierda para la medición de coordenadas y la derecha para las paralajes**.

La **precisión** que se logra realzar en el estereocomparador depende de la calidad de los estereogramas y de la exactitud de la identificación de los puntos que se miden.

Admítase para las coordenadas yz, un error máximo de 0,03 mm y para las paralajes de 0,03 mm.

7. Confección del plano.

Substituyendo los valores de las coordenadas yz y paralajes p en las fórmulas correspondientes de págs. 75 y 76, obtendremos las direcciones, distancias y alturas de los puntos observados y con ello, al igual que en el levantamiento taquimétrico, el **fundamento del plano** del terreno observado.

8. Inconveniente del método de cálculo.

Cuando son muy numerosos los puntos a determinar, como, por ejemplo, para el trazado de las curvas de nivel, el método basado en el empleo de las fórmulas citadas es muy laborioso. Recúrrese en este caso al **método gráfico**.

9. Estereocomparador Pulfrich, modelo E.

El estereocomparador moderno, modelo E (ver fig. 5) lleva unido a la izquierda un pequeño tablero, en el cual va colocada una copia (positiva) de la placa izquierda.

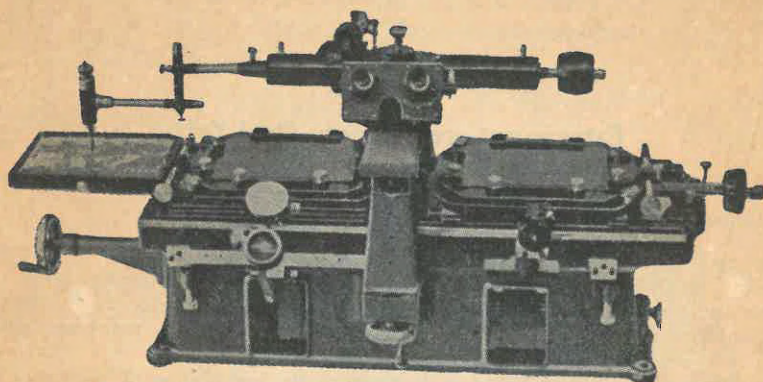


Fig. 5. Estereocomparador Pulfrich-Zeiss, modelo E.

El microscopio lleva un brazo con trazador (lápiz), con el cual se puede ir marcando sobre esa copia los puntos, cuyas coordenadas rectangulares se miden en el estereocomparador.

—*—

§ 4

*Estereoautógrafo von Orel-Zeiss*1. *Nota previa. Desequilibrio de labores de campo y gabinete.*

Se puede decir que el desarrollo del nuevo método (procedimiento estereofotogramétrico) quedó virtualmente terminado en el primer decenio del presente siglo.

El equipo de campo de 1906, en unión con el estereocomparador de *Pulfrich*, representa un conjunto constructivo cumbre, el que aseguraba a las operaciones de campo y gabinete una precisión antes desconocida.

Pero, no obstante esa precisión y la hermosura de los planos obtenidos, el método padecía, en esa su primera etapa de desarrollo, de un defecto, que consistió en un insoportable *desequilibrio* entre la rápida labor de campo y la correspondiente pesada tarea de gabinete, originada por la medición de placas en el estereocomparador, punto por punto, para la construcción del plano del sector de terreno fotografiado.

Desplegaronse por eso, en varios países grandes esfuerzos tendientes a reducir por lo menos ese desagradable *desequilibrio* entre labores.

2. *Von Orel, inventor del estereoautógrafo.*

La idea de transmitir los movimientos de los carros del estereocomparador (necesarios para la medición de las coordenadas de las placas) mediante un

sistema de palancas (reglas) a un trazador (lápiz) fué debida al Teniente austríaco **Eduardo von Orel**, el que hizo construir en 1908, en los talleres mecánicos de **Rost** (Viena), el primer modelo.

Este modelo fué empleado prácticamente con buenos resultados.



Fig. 1. *Eduardo von Orel.*

3. *Primer modelo comercial del estereoautógrafo von Orel-Zeiss.*

En colaboración con el Dr. C. *Pulfrich* y con el concurso de los elementos de la casa C. Zeiss, pudo construir en 1909, el primer modelo comercial del estereoautógrafo, el que hizo época.

Inicióse con él un nuevo período de la fotogrametría de gran esplendor.

Es a este modelo que se refiere principalmente la descripción y explicación que sigue.

4. Las dos partes principales que integran el estereoautógrafo; su denominación.

El llamado **estereo-autógrafo** se compone de dos partes principales: de un **estereo-comparador** ("estereo", porque está basado en el principio estereoscópico y "comparador", por la gran precisión de las mediciones que permite realizar) y de un **sistema de dibujo mecánico**, que trabaja automáticamente, un verdadero **autocartógrafo mecánico**.

Para mayor sencillez llamaremos, en este párrafo, a este "estereo-comparador", simplemente "comparador".

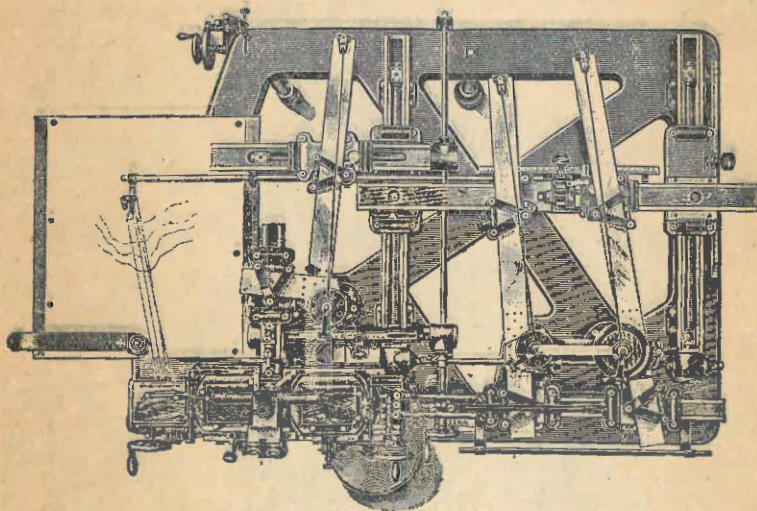


Fig. 2. Estereoautógrafo von Orel-Zeiss, modelo C, visto desde arriba.

5. Breve síntesis de las operaciones a efectuar con cada parte integrante del aparato.

Explicación

La práctica con el estereoautógrafo ha enseñado la conveniencia de vincular el trazador (lápiz) con el *carro de base* mediante una varilla de prolongación, llevando así hacia la izquierda el tablero de dibujo del aparato, en el cual se halla señalado el punto de estación (marca de la estación izquierda); que es el punto de giro de la palanca (regla) del medio (de direcciones).

Puede así obtenerse cómodamente (a la vista del operador), de cualquier punto P del terreno, observado estereoscópicamente, la correspondiente proyección P' del plano, expresada en coordenadas rectangulares XY , referidas a esa marca de estación como origen y a la escala de plano elegida.

A fin de dar cumplimiento a la tarea que incumbe a cada una de las dos partes integrantes del aparato que acabamos de mencionar, deben ser ejecutadas las siguientes operaciones:

Después de haber colocado en el comparador (estereocomparador) la *base* b a la deseada *escala del plano* a confeccionar, el observador conducirá, con

visión estereoscópica, la marca móvil a lo largo de las líneas de forma de los objetos del terreno; para lo cual será generalmente necesario mover las manivelas **H**, **V** y **Z**, correspondientes a las coordenadas de imagen y , z e $y' - y''$.

Los movimientos de los respectivos carros son transmitidos, por intermedio de un sistema de palancas o reglas, a un lápiz o estilete cartógrafo, el que

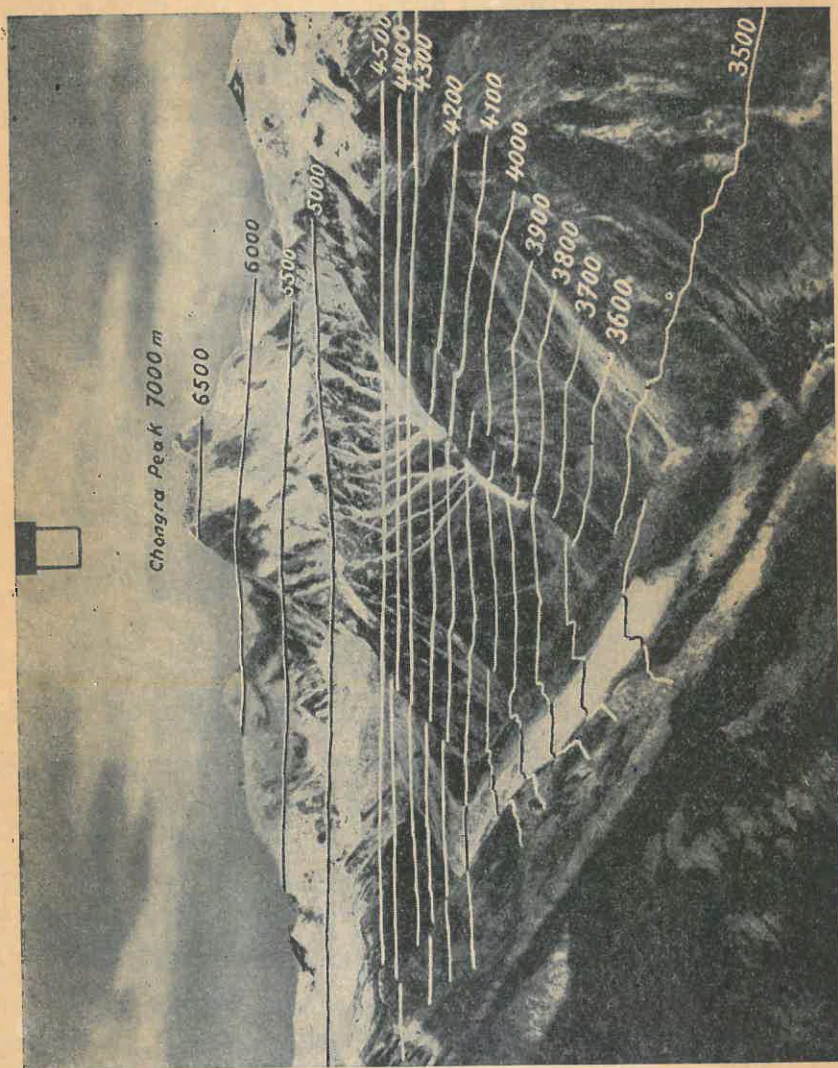


Fig. 3.— Una de las 400 vistas del levantamiento estereofotogramétrico del Himalaya (tomada a la altura de 4500 metros).

traza mecánica y automáticamente la proyección horizontal de esas líneas de forma sobre un tablero (ver fig. 2), pudiendo leer, sobre una **escala graduada**, para cualquier punto de ellas, su **diferencia de nivel** con respecto al **horizontal de la estación izquierda**.

Suponiendo conocida la altura de esa estación izquierda, se obtendrá así la cota de cualquier punto de líneas de forma del terreno.

Va sin decir que la marca móvil no puede ser colocada sólo en puntos de líneas de forma, sino en cualquier punto de objeto visto en relieve.

El lápiz cartógrafo marcará entonces su posición planimétrica, pudiendo leerse en la escala de alturas su desnivel con respecto al horizonte de la estación izquierda.

Finalmente — last not least — puede ser mantenida **constante**, con bloquear la manivela **V**, en una determinada lectura de la escala de alturas; conduciendo en esta condición a la marca móvil invariablemente en contacto con la superficie del objeto del paisaje visto en relieve, los puntos de superficie que esa marca va ir tocando, pertenecen, obligadamente, todos a una **curva de igual altura**, a una **curva de nivel**.

Un lápiz las dibuja en **perspectiva** sobre la **copia** (positiva) de la placa izquierda (ver fig. 3 y 4); mientras que otro lápiz, el lápiz cartógrafo, las dibuja directamente en **proyección horizontal** a la escala del plano (ver fig. 5).

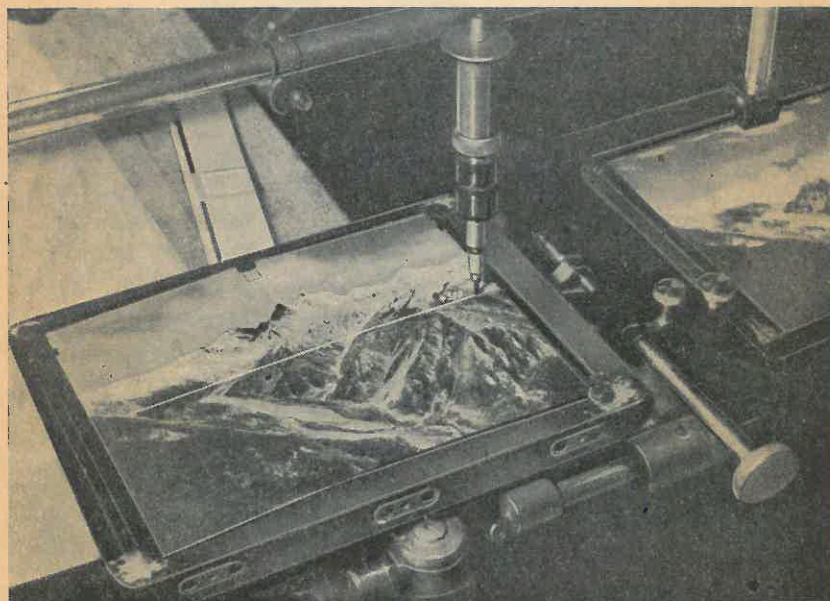


Fig. 4.— Detalle perteneciente a la figura 3: El lápiz que dibuja automáticamente, en perspectiva, las curvas de nivel, acaba de trazar la primera para cota de 4500 m, la que resultó ser una recta por haberse tomado la correspondiente vista a esa altura.

Las otras curvas son líneas más o menos onduladas o quebradas según los movimientos más o menos fuertes del terreno.

6. Restitución, definición del término.

El conjunto de las operaciones de gabinete a que son sometidas las parejas de placas conjugadas (estereogramas) para obtener la carta, ha recibido la denominación de **restitución de fotogramas**.

Mientras que en el estereocomparador se miden las coordenadas **yz** y **para-**lajes **p** de los puntos imágenes, por medio de las cuales, en unión de la base

b, se calculan las coordenadas rectangulares de los correspondientes puntos del terreno, referidas a la estación en el extremo izquierdo de la base, en el estereoautógrafo, en cambio, se restituyen puntos y líneas directamente en el plano.

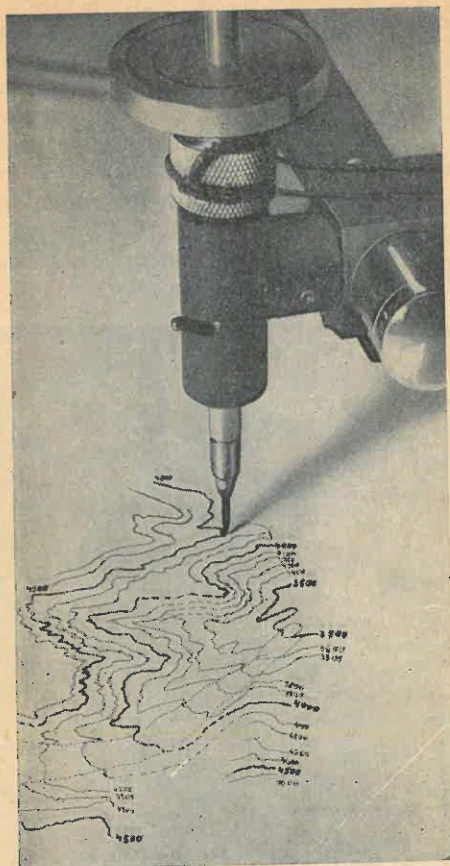


Fig. 5.— El segundo lápiz, el lápiz cartógrafo, dibuja directamente la proyección de las curvas de nivel en la carta, a la escala del plano elegido.

Las mismas curvas dibujadas en perspectiva por el primer lápiz sobre la copia (positiva) de la placa izquierda, son trazadas simultáneamente por este segundo lápiz en proyección horizontal en la carta.

Las **líneas punteadas** indican partes del terreno que no podían ser vistas por el "ojo" (objetivo) de la cámara; las que por eso deben ser levantadas por vistas tomadas desde otros puntos.

Explicación detallada de los diversos órganos del estereoautógrafo.

7. Las 3 palancas (reglas) del aparato dibujante consideradas en conjunto.

Recordamos primeramente que el eje de levantamiento (eje de toma de vista) lo suponemos invariablemente en **posición horizontal**.

La figura 2 nos permite ver con toda claridad las 3 palancas (reglas) girables, cada una alrededor de un punto fijo.

En el orden de derecha a izquierda, estas reglas llevan las siguientes denominaciones:

regla (palanca) de paralajes,
" " " direcciones y
" " " alturas.

Por medio del respectivo punto de giro, cada palanca se divide en dos partes, el **brazo de palanca corto** y el **brazo de palanca largo**.

El brazo corto de la regla derecha (de paralajes) forma con el brazo largo de la misma un ángulo de 90° (regla acodada).

El brazo corto de la regla izquierda (de alturas) puede formar en su punto de giro ciertos ángulos de codo con el brazo largo del mismo.

Cada uno de estos brazos cortos de palanca está enlazado con la guía del respectivo carro del comparador.

Este enlace debe estar hecho en tal forma que el eje (ideal) de cada regla sea perpendicular sobre la dirección de las y del comparador cuando el respectivo carro se halle en **posición fundamental** (lectura cero de su escala).

Cada movimiento de carro del comparador fuera de esa posición fundamental, ocasiona un giro del respectivo eje de palanca en una magnitud angular cuya **tangente es proporcional al desplazamiento de carro**, o sea, **proporcional a la variación de coordenadas de la placa**.

3. Estudio de las palancas de la derecha (de paralajes) y del medio (de direcciones).

La recta de unión de los puntos de giro de las palancas de paralajes y de direcciones es exactamente paralela a la dirección del movimiento del carro de las y del comparador.

La componente del brazo corto de ambas palancas que cae en la dirección de las z , es igual a la distancia focal f de la cámara de toma.

Tendremos entonces para el ángulo que la regla (del medio) de direcciones forma con su posición fundamental (y_0'):

$$(1) \quad \frac{y' - y_0'}{f}$$

y para el ángulo que la regla (derecha) de paralajes forma con su posición fundamental (y_0''):

$$(2) \quad \frac{y'' - y_0''}{f}$$

En caso de que las coordenadas y_0' e y_0'' de la posición fundamental coincidieran con las de la marca central del marco ($y_0' = 0$ e $y_0'' = 0$), esos ángulos (1) y (2) serían los ángulos que la visual al punto enfocado forma con el eje de la imagen izquierda y derecha, respectivamente.

Son los ángulos de imagen α' y α'' anteriormente definidos (ver fig. 2, pág. 87 y fig. 4, pág. 89).

Para sus respectivos acimutes o rumbos, α' y α'' , tendremos:

$$(3) \quad \alpha' = \alpha' + \varphi' \qquad \alpha'' = \alpha'' + \varphi''$$

donde φ' y φ'' expresan los rumbos de los respectivos ejes de cámara.

Si hacemos coincidir el eje de la cámara izquierda con el eje de las X de nuestro sistema de coordenadas (para lo cual $\varphi' = 0^\circ$), obtendremos:

$$(4) \quad \alpha' = \alpha' \qquad \alpha'' = \alpha'' + \varphi''$$

La primera de las (4) expresa el siguiente hecho:

El eje de la palanca de direcciones se halla siempre en coincidencia con el rumbo del respectivo punto imagen izquierdo enfocado con el microscopio izquierdo.

La segunda de las (4) nos dice:

Para que también el eje de la palanca de paralajes se encuentre en coincidencia con el rumbo α'' del punto homólogo de la imagen derecha, enfocado con el otro microscopio, sólo falta girar el brazo largo de la palanca de paralajes en la magnitud angular φ'' respecto al brazo corto de la misma.

Enfocando ahora con el comparador, estereoscópicamente, mediante la marca móvil, un punto cualquiera del paisaje, los ejes de palanca (de direcciones y de paralajes) serán paralelos a las respectivas visuales a ese punto enfocado.

9. Puente de distancia y carro de base.

Dos husillos, con guías paralelas al movimiento del carro de las z (ver fig. 2) facilitan el movimiento del llamado "puente de distancias", paralelamente a la dirección del movimiento del carro de las y .

Este puente lleva dos deslizadoras, una correspondiente al eje de la palanca de direcciones y la otra para el corrimiento de la palanca de paralajes.

Estas dos deslizadoras están separadas entre sí en una distancia igual a la distancia que separa los puntos de giro de esas palancas disminuida en la longitud de la base b , a la escala del plano.

Llámase a veces "carro de base" a ese elemento del aparato comprendido entre las dos deslizadoras desplazables sobre el puente de distancias.

Con accionar la manivela de las y , girarán ambas palancas; desplazándose entonces (en consecuencia de esos giros) el carro de base sobre el puente de distancias.

Con accionar la manivela de las X (la que substituye la manivela Z en el estereocomparador) se desplazará el puente de distancias en la dirección de las X , permaneciendo, en cambio, sin variar la dirección de la palanca del medio (de direcciones).

Como en la visión estereoscópica de cada punto del espacio, según ya dijimos, los ejes de palancas (de direcciones y paralajes) son paralelos a la visual izquierda y a la visual derecha, respectivamente, podemos decir que esos dos ejes de palancas materializan las dos guías o rayos de un sistema de intersección mecánica.

Un trazador cartógrafo, fijamente unido al puente, dibujará directamente en el plano la proyección horizontal del punto observado.

La cota **Z** del punto será leída directamente en la escala **E**.

13. Dibujo cartográfico de las líneas de esqueleto.

El estereoautógrafo no sólo permite el dibujo automático de puntos aislados, sino también de líneas, de las llamadas **líneas de esqueleto** del plano, por ejemplo, caminos, cursos de agua, bordes de bosques, etc., con sólo recorrerlas, con la marca móvil, sobre la imagen estereoscópica del respectivo sector del terreno.

14. Dibujo automático de las curvas de nivel.

El invento del estereoautógrafo no sólo resolvió el problema de la restitución automática de puntos aislados y líneas de esqueleto del terreno, sino que hizo posible el trazado directo de las **curvas de nivel** en el plano.

Colócase para ello la guía de la escala **E** (fig. 6) en el número de la cota de la curva a trazar, en 4500 metros, por ejemplo (ver fig. 4), bloqueando la manivela de las alturas.

Observando el paisaje estereoscópicamente, se acercará la marca móvil a la superficie del terreno con mover las manivelas de las **y** y **x** (paralajes).

Manteniendo a esa marca en continuo contacto con el terreno con accionar las mencionadas manivelas, la misma **forzosamente** debido a ese bloqueo) se moverá sobre la **horizontal** de 4500 metros de altura, dibujándose por el lápiz cartógrafo, automáticamente, la línea de intersección de un plano horizontal con el terreno (a la altura de 4500 metros), es decir, la **curva de nivel** correspondiente a la cota de 4500 metros.

15. Dibujo perspectivo de las curvas de nivel.

Sobre una copia (positiva) de la placa izquierda, dispuesta en el lado izquierdo del comparador, otro lápiz vinculado con el estereocomparador dibuja al mismo tiempo la **imagen perspectiva** de las curvas de nivel (ver fig. 3). Esta imagen de las curvas es de mucha utilidad práctica.

16. Ponderación del progreso realizado con el invento del estereoautógrafo.

Con el invento del estereoautógrafo se introdujo en la Topografía una técnica fundamental, lo que hizo superfluos todos los cálculos y trabajos de dibujo anteriormente necesarios para la confección de planos.

Son tales las ventajas económicas que esta nueva técnica nos brindó y tan fundamental el progreso científico que encierra, que merece una denominación propia; la llamaremos **autoestereofotogrametría**.

Como ya sabemos, el estereoautógrafo no sólo permite el dibujo automático en el plano de cualquier punto enfocado con el comparador, sino también de cualquier línea visible en la imagen de relieve de un objeto del terreno; lo cual se realiza con sólo mantener a la marca móvil en continuo contacto con esa línea del terreno.

Hay más: Con bloquear la manivela **V** del comparador podemos obtener, en la forma indicada, líneas de puntos de igual cota (curvas de nivel), con

bloquear la manivela de las x (paralajes) líneas de puntos de igual distancia y , con bloquear la manivela H , líneas de igual valor de y (perfiles transversales).

Huelga decir que de estos tres tipos de líneas, las más importantes son las **curvas de nivel**.

Mientras que la Fotogrametría ordinaria, la Estereofotogrametría sin autógrafo, al igual que los procedimientos taquimétricos sólo nos proporcionan una red de puntos más o menos densa, dentro de la cual la situación planimétrica de los objetos a levantar, así como la representación de las formas del terreno mediante **curvas de nivel interpoladas**, deben ser dibujadas; la autoestereofotogrametría, en cambio, dibuja directamente en el plano, a escala, los caminos y ferrocarriles, los arroyos y los ríos, los lagos y lagunas, los bordes de bosques y cultivos, y las **curvas de nivel**, con una **veracidad de concepción y riqueza de detalles** de sus formas antes desconocidas.

Con excepción de las llanuras, la autoestereofotogrametría es aplicable en cualquier terreno siendo especialmente apta para el levantamiento de alta montaña; sin exceptuar las faldas densamente cubiertas de bosques.

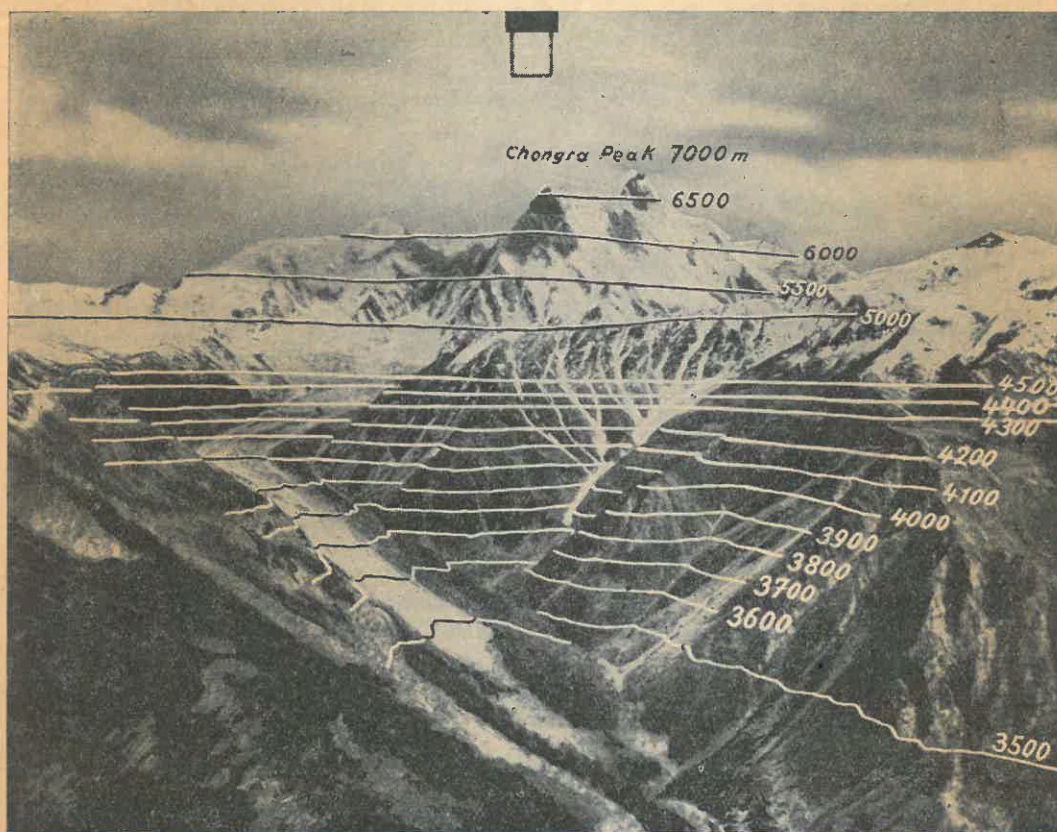
En este último caso se tendría en cuenta, en la colocación de la guía de la escala **E** (fig. 6) la altura media de los árboles.

Ofrécese a veces para el trabajo en estas condiciones un valioso contralor en un claro del bosque, por donde puede penetrar hasta el fondo la "mirada" del comparador.

En cuanto a la **economía del trabajo** podemos decir: A igualdad de costos de un trabajo ejecutado autoestereofotogramétricamente o por el método taquimétrico común, el primero resultará siempre más o mucho más económico por la mayor celeridad de las operaciones de campo y la mayor rapidez de la confección de plano en el gabinete.

Capítulo V

Práctica de campo y práctica de gabinete



*Una de las 400 vistas del levantamiento estereofotogramétrico del Himalaya
(tomada a la altura de 4500 metros)*

Conceptos y nociones fundamentales.

ADVERTENCIA PREVIA.

A fin de facilitar la tarea didáctica en el presente Volumen nos hemos visto obligados de *repetir a menudo* (dos hasta tres veces) figuras y explicaciones de conceptos anteriormente tratados pero siempre en otro orden de ideas.

No son por eso simples repeticiones, sino que nos sirven, como queda destacado de un modo general en pág. 193 de nuestra Teoría de los Errores y Cálculo de Compensación, para *profundizar* esos conceptos, aumentando con ello su *eficiencia práctica*.

1. Concepto general de estereofotogrametría.

Cada vez que, desde los extremos de una base se toman vistas conjugadas de un mismo objeto del espacio, simultáneas o casi simultáneas, en tal forma que esas parejas de vistas produzcan en el estereoscopio una impresión de relieve, nos hallamos en presencia de un caso de **estereofotogrametría**; de **estereofotogrametría aérea** cuando la base se halla establecida en una aeronave, y **estereofotogrametría terrestre** cuando la base se encuentre en terreno natural.

Nos ocuparemos a continuación exclusivamente de la **estereofotogrametría terrestre**, porque la explicación de la misma nos proporciona de un modo muy fácil todos los elementos y conceptos necesarios para nuestros fines.

2. Condición imprescindible para la visión estereoscópica; consecuencia.

Sabemos que la impresión de relieve sólo se produce cuando cada punto del objeto a levantar aparezca en por lo menos dos vistas; y para que la identificación de los puntos homólogos sea de fácil realización, es necesario que las vistas conjugadas sean tomadas desde los extremos de bases **relativamente cortas**.

3. Dependencia del efecto estereoscópico de la relación entre la longitud de la base y el alejamiento del objeto.

Por lo que hemos visto anteriormente ya sabemos que el efecto estereoscópico depende de la relación que existe entre la longitud de la base y el alejamiento máximo y mínimo del objeto a levantar.

Es un quebrado común cuyo valor varía entre límites muy amplios, entre $\frac{1}{3}$ para objetos próximos y $\frac{1}{30}$ para objetos lejanos.

4. Escala de imagen.

La **escala de imagen** o sea la relación:

$$\frac{\text{Distancia focal de la cámara}}{\text{Distancia del objeto fotografiado}}$$

es un importante concepto de la fotogrametría, el que nos sirve para la **clasificación de los planos**, en planos a escala grande ($\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1\,000}$, etc. (ver figs. 1 y 2) y planos a escala pequeña ($\frac{1}{25\,000}$, $\frac{1}{50\,000}$, etc. (ver figura de la cubretapa del presente libro).

5. Dos etapas de desarrollo de la técnica estereofotogramétrica (caso normal y caso de oblicuidad).

El método seguido durante la 1ª etapa queda explicado con las figs. 1 y 1A en pág. 74 (caso normal).

Apenas habían salido de los talleres de Zeiss los primeros ejemplares del modelo de 1903 (ver fig. 5, pág. 37) el Dr. Pulfrich, asistido por un experto topógrafo se puso a comprobar prácticamente la eficacia y la precisión del método por él ideado.

Vista de estereofotogrametría técnica.

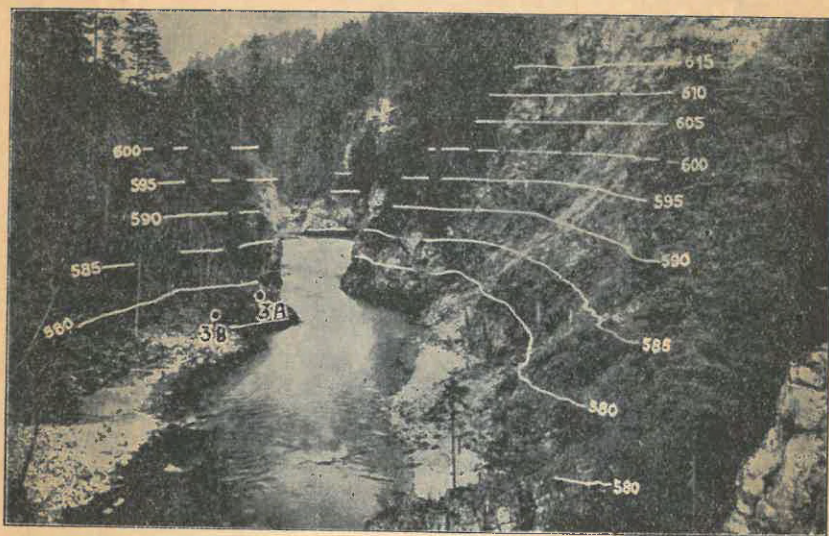


Fig. 1.— Fotografía de un sector de valle.

El primer lápiz del estereoaquígrafo ha dibujado, sobre una copia de la placa izquierda, automáticamente las curvas de nivel, en perspectiva.

La base del trabajo de ensayo especialmente elegido para el objeto, fué de 100 metros de longitud, la distancia máxima de puntos levantados de 2 500 metros; a las que determinó con la inseguridad media de sólo 1,5 metros.

Los ejes de toma de vistas fueron perpendiculares a la base, lo que caracteriza el caso normal (ver fig. 1 A, pág. 74).

La restitución de los puntos levantados se realizó exclusivamente con ayuda del estereocomparador, modelo 1901 (ver fig. 2, pág. 75).

El plano original fué levantado a escala 1:10 000, el que luego fué reducido fotográficamente a la escala 1:25 000.

A fin de establecer la comparación entre los resultados del nuevo método y del método clásico, se efectuó cuidadosamente el levantamiento a plancheta del mismo sector a escala 1:25 000.

De esa comparación resultó una casi completa coincidencia de los puntos homólogos identificados en ambos planos.

A este primer período de desarrollo de la estereofotogrametría pertenece el primer trabajo estereofotogramétrico de envergadura realizado en la República Argentina anteriormente mencionado.

El método seguido en la segunda etapa del desarrollo queda explicado con las figs. 2 y 2 A, pág. 75 y fig. 3, pág. 77.

Este desarrollo se realizó en el Instituto Geográfico de Viena, en el que, según ya destacamos, von **Orel** actuaba con mucho éxito en el perfeccionamiento del aparato de restitución, en unión con otros prominentes geodestas austriacos como H. **Lüscher**, que perfeccionaron el método de toma de vistas estereofotogramétricas según se ilustra en la ya citada fig. 3.

Plano del sector de valle de fig. 1.

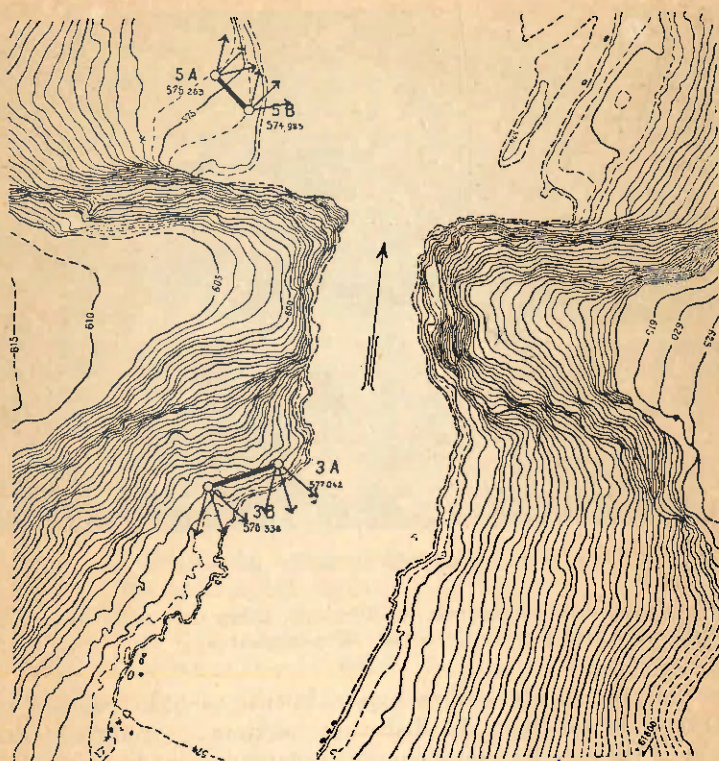


Fig. 2.— Proyección horizontal de las curvas de nivel.

El segundo lápiz del estereofotógrafo ha trazado automáticamente en el plano (a escala) la proyección horizontal de las curvas de nivel.

Son los austriacos quienes emplearon por primera vez en la toma de vistas el llamado “**caso de oblicuidad**” y quienes construyeron los primeros fototeodolitos con eje óptico inclinable.

Este segundo período de desarrollo que se inició en 1908 con el invento del estereofotógrafo de von **Orel**, quedó terminado en 1914 con la iniciación de la primera guerra mundial.

6. Criterio sobre la precisión de un trabajo de levantamiento.

Quienquiera se proponga efectuar un trabajo de medición (poligonal, mensura, por ejemplo) y quiera saber la precisión que deben tener las operaciones directas (angulares o lineales) que conducen al resultado final así como la precisión de los instrumentos a emplear, debe ante todo conocer la precisión de ese resultado final que es dable exigir.

En el caso de la fotogrametría, ese resultado final es un **plano topográfico** dibujado a mano (como en el primer período del método estereofotogramétrico) o mecánicamente con el estereoautógrafo.

Para este dibujo de plano podemos admitir uniformemente el **error medio** de 0,1 mm, el que expresa la inseguridad media de la posición de un punto restituído, a la escala de la restitución ($1/19\,000$ por ejemplo).

7. Algo más sobre el error medio de la restitución, modelo del espacio.

Sabemos que en el estereocomparador se miden las 3 dimensiones de los objetos del espacio como en un **modelo** de ese objeto a la escala de imagen; y todas las coordenadas que se leen en el estereocomparador estarán siempre referidas a esa escala de imagen.

8. Modelo estereoscópico.

Con ese modelo del espacio a la escala de imagen, no debe ser confundido el **modelo estereoscópico** (resultado de la visión binocular), en cuya escala influye también la óptica del aparato de observación.

9. Tolerancia gráfica de un punto restituído.

En cuanto al valor del error medio de 0,1 mm de un punto restituído, no debemos olvidar que la precisión de la restitución queda influenciada por todos los errores de la orientación externa (que son 7 si incluimos entre los elementos de orientación externa también la **base**), así como por los errores de las coordenadas de imagen.

Teniendo en cuenta todo ese gran número de errores podemos aceptar el valor de 0,3 mm como **tolerancia de restitución** de un punto estereofotogramétricamente levantado.

10. Inconveniente de la base larga del método de intersecciones (de Laussedat).

La base del método de Laussedat necesariamente larga para obtener una buena intersección de rayos en el punto objeto a levantar, tuvo el inconveniente de que muchas veces resultó muy difícil, hasta imposible, la identificación de puntos homólogos en los pares de placas, debido al aspecto muy distinto que ofrecía el paisaje fotografiado desde puntos extremos de base muy larga.

Sabemos que fué precisamente esta dificultad de identificar puntos homólogos lo que originó la introducción del método estereofotogramétrico, con base relativamente corta, sobre el cual tratarán los siguientes números.

11. Longitud de la base estereofotogramétrica *b*.

La longitud de la base estereofotogramétrica *b* depende de la distancia máxima y distancia mínima del objeto a fotografiar, de la precisión con que se quiere obtener los puntos más alejados y de la distancia focal de la cámara.

La diferenciación (parcial y total) de la fórmula fundamental (3), pág. 75 o sea:

$$(2) \quad X = \frac{f \times b}{p}$$

nos resuelve la cuestión.

Vemos que X es una función de las magnitudes b , p y f medidas.

La (2) nos da:

$$(3) \quad \frac{X}{b} = \frac{f}{p}$$

$$(4) \quad \frac{X}{f} = \frac{b}{p}$$

$$(5) \quad \frac{X}{fb} = \frac{1}{p}$$

Diferenciando la (2), tendremos:

$$(6) \quad dX = \frac{\partial X}{\partial p} dp + \frac{\partial X}{\partial f} df + \frac{\partial X}{\partial b} db$$

La diferenciación parcial de la (2) con respecto a p nos da:

$$(7) \quad \frac{\partial X}{\partial p} = - \frac{bf}{p^2}$$

y con tener en cuenta la (5):

$$(8) \quad \frac{\partial X}{\partial p} = - \frac{X^2}{(bf)^2} bf = - \frac{X^2}{bf}$$

Diferenciando con respecto a la base b , se obtiene:

$$(9) \quad \frac{\partial X}{\partial b} = \frac{f}{p}$$

Teniendo en cuenta la (3), la (9) nos da:

$$(10) \quad \frac{\partial X}{\partial b} = \frac{X}{f}$$

Finalmente con respecto a la distancia focal f :

$$\frac{\partial X}{\partial f} = \frac{b}{f}$$

y con tener en cuenta la (4), la (10) nos da:

$$(11) \quad \frac{\partial X}{\partial f} = \frac{X}{f}$$

Luego, para la diferencial total dX según (6):

$$(12) \quad dX = - \frac{X^2}{bf} dp + \frac{X}{b} db + \frac{X}{f} df$$

la que, con sólo considerar el primer término, nos dice:

El error dX de la distancia X de un punto a la base b , crece con el cuadrado X^2 de esa distancia; siendo en cambio, inversamente proporcional a la longitud de la base b y longitud de la distancia focal f .

Para el error relativo db/b de la base b , en el segundo término de la (12), podemos adoptar de un modo general el valor:

$$(13) \quad \frac{db}{b} \leq \frac{1}{1000}$$

y despreciar el error relativo df/f en el tercer término de la misma.

Despreciando ahora en la (12) el segundo y tercer término y dividiendo luego por X , obtendremos para el error relativo dX/X :

$$\frac{dX}{X} = -\frac{X}{bf} dp$$

y con considerar la (5)

$$(14) \quad \frac{dX}{X} = -\frac{X}{b \cdot f} dp = -\frac{dp}{p}$$

Adoptando ahora también para el error relativo dX/X de la distancia X el valor.

$$(15) \quad \frac{dX}{X} \leq \frac{1}{1000}$$

y para la precisión dp de la paralaje p el valor de su error medio

$$dp = 0,01 \text{ mm}$$

obtendremos para una cámara con $f = 200$ mm, según (14):

$$\frac{1}{1000} = -\frac{X \times 0,01}{b \times 200}$$

o sea, despreciando el signo negativo, para $b_{\min}$.

(17)

$$b_{\min} \geq \frac{1}{20} X_{\max}$$

la que nos dice: Para realizar la precisión de $1/1000$ en la determinación de la distancia X , es necesario que se mantenga para la relación:

(18)

$$\frac{\text{Longitud de la base } b}{\text{Alejamiento } X \text{ del punto objeto}}$$

el valor mínimo de $1/20$.

Para la determinación del valor máximo de la relación (18) para una distancia mínima $X_{\min}$ del objeto influye el valor máximo de la paralaje p que puede ser medida en el estereocomparador, al que se estima en:

(19)

$$p \leq 40 \text{ mm.}$$

Este límite no sólo queda impuesto por las condiciones del aparato sino por la necesidad de una buena observación estereoscópica.

Introduciendo el valor de la (19) en la (14), tendremos:

$$\frac{dp}{p} = \frac{X}{b \cdot f} dp$$

Dividiendo por dp :

$$\frac{1}{p} = \frac{X}{b \cdot f} \quad \frac{1}{40} = \frac{X}{b \cdot 200}$$

de donde:

(20)

$$b_{\max} \leq \frac{1}{5} X$$

Las ecuaciones (17) y (20) permiten establecer la siguiente **regla práctica**: Se elegirá la longitud de la base entre

$\frac{1}{5}$ del alejamiento del punto más próximo y
 $\frac{1}{20}$ " " " " " " lejano

a levantar. En otros términos: La base no debe ser más larga que $\frac{1}{5}$ de la distancia de los objetos más próximos, ni más corta que $\frac{1}{20}$ de la distancia de los objetos más lejanos a levantar.

Trabajos preliminares.

12. Influencia de la escala del plano.

La **escala del plano** a confeccionar puede considerarse de antemano fijada. La misma influye sobre la cantidad de puntos fijos a determinar y el número de estaciones a elegir.

También la precisión del plano depende de la escala elegida.

13. Plan de trabajo.

En base al material cartográfico y listas de coordenadas existentes, se establecerá el **plan de trabajo** que abarca:

- 1° Determinación de los puntos fijos;
- 2° Establecimiento de las bases;
- 3° Toma de vistas;
- 4° Trabajos complementarios.

Cuando se trate de levantamientos fotogramétricos de gran envergadura, los trabajos preparatorios son generalmente separados de los de levantamiento propiamente dicho. Sólo en los trabajos de exploración o los de carácter expeditivo se suelen ejecutar simultáneamente los 4 grupos de trabajos mencionados.

14. Elección de los puntos trigonométricos.

Antes de proceder a las mediciones trigonométricas, deberán ser colocadas en un croquis sobre el material cartográfico existente las proyectadas posi-

ciones de fototeodolito, a fin de que, en base a éstas, resulten más eficaces los contralores que proporcionan los puntos trigonométricos.

La **densidad de puntos fijos** debe ser tal que en cada estereofotograma que se proyecta tomar aparezca por lo menos **un punto fijo**, y que la **determinación de la posición planimétrica** de las estaciones sea posible por simple medición de ángulos horizontales (problema de la carta), y la **determinación altimétrica** de las mismas por simple medición de ángulos verticales (problema de la carta altimétrica, (ver pág. 145, Vol. 2 del Tomo III).

15. Señalación de los puntos fijos trigonométricos contralores en los fotogramas.

Todos los puntos fijos trigonométricos que se utilicen como contralor de las parejas de vistas, deben ser señalados debidamente antes de la toma de aquéllas, para que resulten visibles en los respectivos fotogramas a restituir.

Las dimensiones mínimas de grosor de estas señales, que dependen de la distancia y que pueden ser establecidas, por ejemplo, por medio de tablas, se ven en la siguiente tablilla, cuya eficacia fué comprobada en la práctica de campo.

Distancia de la señal en metros	Grosor de la señal en cm
300 m	5 cm
400 "	10 "
600 "	20 "
800 "	40 "
1 000 "	50 "
2 000 "	100 "
3 000 "	150 "
4 000 "	250 "
5 000 "	300 "

Esta tablilla vale para todas las distancias focales usuales en cámaras fotogramétricas.

16. Elección de los puntos de estación estereofotogramétrica; normas de trabajo que la rigen.

En la elección de los puntos de estación y de las correspondientes bases, se seguirán las siguientes normas de trabajo:

a) En cada estación elegida sobre la hoja de carta del material cartográfico disponible, deberá indicarse el **ángulo visual utilizable**, tratando en ello de evitar lagunas (ángulos muertos) entre las vistas adyacentes, así como superposiciones exageradas.

En una cámara de dimensiones usuales ese ángulo visual utilizable es aproximadamente de 45°.

b) En cada estación estereofotogramétrica se toman generalmente **3 vistas** (ver fig. 2, pág. 100) moderadamente superpuestas, formando los respectivos ejes de toma con la base los ángulos:

60°, 90°, 120°

Resulta así para el ángulo visual total el valor aproximado de 105° .

c) En puntos de estación que ofrezcan una excelente visibilidad en varias direcciones, conviene establecer **varias bases** que partan del mismo punto, por reducirse así considerablemente las mediciones.

d) Los extremos de la base estereofotogramétrica deben tener en lo posible la **misma altura**.

e) La situación altimétrica de la estación con respecto a la diferencia de altura del objeto a fotografiar, es decisiva para la impresión de profundidad en el modelo estereoscópico.

El caso más favorable se presenta cuando la extensión vertical del objeto a fotografiar se halla dividida por el horizonte de la cámara de toma en la relación

$$1:2$$

Siendo, por ejemplo, el objeto a fotografiar una pendiente de alta montaña que se eleva en 360 metros sobre el fondo de un valle, habría que situar la cámara en la pendiente opuesta a la altura de 240 metros sobre el fondo del valle para obtener la máxima eficacia de la visión estereoscópica.

f) La **medición de la longitud de la base** se efectúa con cinta de acero o por medio de un distanciómetro.

El fototeodolito Pulfrich-Zeiss posee un tornillo micrométrico unido a la alidada horizontal el que, en unión con una regla metálica horizontal de 1 a 3 metros permite obtener la longitud de la base con gran precisión.

Toma de vistas estereofotogramétricas.

17. Los 13 pasos de que se compone la toma de la primera semi- vista de una estación estereofotogramétrica.

La toma de la primera semi- vista (extremo izquierdo de la base) puede ser subdividida en las siguientes 13 tareas que llamaremos "pasos":

Primer paso.

En cada extremo de base se colocará un trípode (con su cabeza), nivelándolo y centrándolo sobre la respectiva estaca.

Segundo paso.

En el trípode del extremo izquierdo de la base será colocado el fototeodolito Pulfrich-Zeiss y en el trípode de la derecha la señal.

Tercer paso.

Al eje de la cámara se le dará la orientación que corresponda a la vista que se tome, de 60° , 90° ó 120° con respecto a la base.

Cuarto paso.

Con ayuda del vidrio esmerilado se mira el paisaje correspondiente a la dirección del eje óptico fijándose en ello si hay que levantar o bajar el objetivo de la cámara.

Quinto paso.

Colocación de los discos de numeración (numeración de placa y numeración de estación).

Sexto paso.

Colocación del diafragma de campo y del tiempo de exposición.

Séptimo paso.

Se quitará el vidrio esmerilado, colocando en su lugar el chasis, quitando la tapa.

Octavo paso.

Se apretará la placa contra el marco apoyo.

Noveno paso.

Se verifica la buena nivelación y orientación de la cámara.

Décimo paso.

Exposición de la placa.

Undécimo paso.

Se soltará la presión de la placa contra el marco.

Duodécimo paso.

Cierre del chasis, sacándolo luego de la cámara.

Décimo tercer paso.

Anótase en la libreta de campo los siguientes datos: fecha, condiciones del tiempo, número de la estación, número de la placa, tiempo de exposición, abertura del diafragma, altura del instrumento, etc.

Nota: Para el caso de fallar la primera exposición efectúase muchas veces una segunda, la que puede servir también para contralor de la primera.

18. Segunda semi-vista de la estación.

Después de terminar la toma de la primera semi-vista en la forma que acabamos de detallar, se trasladará la cámara al trípode del extremo derecho y la señal al extremo izquierdo, cuidando en ello de no mover los trípodes.

Luego se repetirán en forma análoga las operaciones de los 13 pasos de estación izquierda.

Detallando en orden sucesivo los trabajos de restitución a ejecutar con el estereoautógrafo de von Orel-Zeiss.

19. Examen previo de las parejas de placas.

Antes de comenzar el trabajo de restitución los pares de placas deben ser examinadas colocándolas dentro de un estereoscopio.

En base a las imágenes de puntos trigonométricos que aparecen en ambas placas, se comprobará si hubo o si no hubo error grosero de orientación en el terreno.

20. Colocación de las parejas de placas en el estereoautógrafo.

El procedimiento de colocación de placas en el estereoautógrafo no difiere en ningún punto esencial del procedimiento descrito para el estereocomparador.

Para ello se suelta la unión del carro del microscopio con la regla de alturas.

La regla de direcciones y la regla de paralajes son llevadas a sus respectivas posiciones "cero".

21. Colocación de la copia (positiva).

Después de la orientación de las placas, deberá ser ajustada sobre un soporte especial, una **copia** (positivo) de la placa izquierda, exactamente orientada como esta placa.

Sobre esta copia se realiza automáticamente, por el primer lápiz, el dibujo en perspectiva de todas las líneas recorridas por la marca móvil sobre el modelo estereoscópico, especialmente las curvas de nivel.

22. Orientación de la mesa de dibujo.

La hoja de dibujo en la que figuran las posiciones de los puntos trigonométricos así como las direcciones de los ejes de toma de vistas, va groseramente orientada sobre la mesa de dibujo del aparato; mientras que al mismo tiempo se sitúa el punto de estación izquierda debajo de la marca de estación del aparato.

Se colocará ahora en el ocular izquierdo del microscopio un punto trigonométrico, girando luego el tablero de dibujo y desplazando el carro de paralajes hasta lograr que el punto de estación se halle debajo de la marca del aparato y al mismo tiempo el lápiz trazador exactamente sobre la marca del punto trigonométrico.

En esta posición se fijará el papel sobre la mesa de dibujo del aparato, quedando así correctamente orientado el dibujo.

23. Colocación de la base en el estereoautógrafo.

La base será colocada en el carro de base, que desliza sobre el puente de distancia mediante dos deslizadoras, cuya distancia entre sí se regula de acuerdo a la longitud de la base.

24. Líneas de esqueleto; su definición y restitución.

Entenderemos por **línea de esqueleto** de un plano el conjunto de elementos lineales como caminos, cursos de agua, bordes de bosques, etc., que también en el plano aparecen como elementos lineales.

Estas líneas son restituídas del siguientes modo:

Teniendo desacoplada la regla de alturas, se colocará, con visión estereoscópica, en posición correcta a la marca del horizonte de la placa izquierda, llevando luego a la regla de alturas a la posición "cero", acoplándola en seguida al microscopio.

Luego se colocará mediante una cremallera en la escala de alturas la cota de la estación izquierda, cuidando de no modificar la posición "cero" de la regla de alturas.

Observando ahora binocularmente una sucesión de puntos, el lápiz trazará directamente la planimetría de los mismos, pudiendo ir leyendo en la escala de alturas las correspondientes cotas.

25. Dibujo automático de las curvas de nivel.

Se colocará en la escala de alturas la cota de la curva a trazar, conduciendo luego la marca móvil a lo largo de la superficie del modelo estereoscópico (ver fig. 4, pág. 89).

Como en esta operación queda bloqueada la manivela de alturas, se accionará solamente sobre las manivelas de las direcciones y paralajes.

Con accionar el correspondiente pedal (fig. 2, pág. 87), será movida en dirección de las *z* la placa derecha, en caso de existir una **paralaje vertical** (ver fig. 2, pág. 65), la que podría impedir o reducir la impresión de relieve del terreno.

Cada curva de nivel debe ser trazada en lo posible, desde el borde izquierdo hasta el borde derecho de la placa (ver fig. 4, pág. 89).

Primeramente serán restituídas las curvas de nivel principales (en la alta montaña de 100 m en 100 m, ver figura de la cubretapa).

Precisión de los levantamientos estereofotogramétricos.

26. Dos tipos de errores medios, errores medios "a priori" y "a posteriori".

Después de habernos ocupado en páginas anteriores del probable efecto total de todo un gran conjunto de errores aislados, de los errores de orientación externa, de los de la orientación interna y de la restitución propiamente dicha, o sea de los llamados "errores a priori", falta todavía considerar los "errores a posteriori", que son los que resultan de trabajos prácticos efectivamente ejecutados; entre los cuales se distinguen todavía:

a) Trabajos especialmente ejecutados para la determinación de errores medios;

b) Trabajos de levantamientos estereofotogramétricos de gran envergadura, de los que resultan los valores de los errores medios que se buscan.

27. Errores medios determinados por H. Lüscher.

Entre los trabajos de la clase a) cabe mencionar el ejecutado por H. Lüscher, el que en una doble determinación (trigonométrica y estereofotogra-

métrica) de 3 puntos obtuvo los siguientes resultados:

Distancias

trigonómicas:	estereofotogramétricas:	Diferencias:
173,73 m	173,64 m	9 cm (= 1/1 900)
164,02 „	163,94 „	8 „ (= 1/2 000)
157,88 „	157,89 „	1 „ (= 1/16 000)

Alturas

trigonómicas:	estereofotogramétricas:	Diferencias:
853,74 m	853,68 m	6 cm
836,55 „	836,57 „	2 „
824,54 „	824,51 „	3 „

28. Trabajos de levantamiento de gran envergadura.

Trabajos de levantamiento estereofotogramétricos a escala 1:25 000, dieron para las inseguridades medias (errores medios) los siguientes valores:

5 metros en la planimetría y 1 metro en la cota.

29. Magnitudes de errores que conviene tener presente.

Para la cota: 1 a 3 metros

$$,, ,, \text{ distancia: } \leq \frac{1}{1\,000}$$

30. Comparación de trabajos de restitución efectuados en el estereocomparador con trabajos realizados en el estereoautógrafo.

En cuanto a la restitución de puntos aislados, realizada en el estereocomparador y en el estereoautógrafo, se puede decir que no existe una diferencia esencial entre los resultados obtenidos con ambos aparatos.

En cambio, el dibujo automático de las curvas de nivel, así como de las líneas de esqueleto (camino, ríos, etc.), generalmente muy irregulares, efectuado con el estereoautógrafo, cabe ser destacada la gran superioridad de los planos así confeccionados, sobre las que se obtienen con estereocomparador en base a un número relativamente reducido de puntos restituídos; mientras que aquellos están determinados por un número infinito de puntos automáticamente obtenidos.

Observaciones finales de carácter didáctico

1. Hemos dado preferencia, en el presente Volumen, en la descripción y estudio práctico de instrumentos, a los siguientes aparatos:

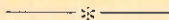
Fototeodolito Pulfrich - Zeiss
Estereocomparador Pulfrich - Zeiss
Estereoautógrafo von Orel - Zeiss

con lo cual juzgamos responder en la mejor forma a la finalidad de nuestra "Introducción", la que consiste en proporcionar al lector a raíz del detenido estudio de esos instrumentos una preparación técnica tal que lo capacite para la rápida comprensión y racional estudio de cualquier instrumental más moderno, como el de Wild (ver pág. 47) o Santoni (ver pág. 48).

2. Otra razón no menos importante nos obligó a proceder en la forma indicada: Los tres instrumentos mencionados (que hicieron época en su tiempo) están difundidos en numerosos ejemplares en los institutos geográficos, empresas particulares de la especialidad, reparticiones nacionales de obras públicas, en las facultades de ingeniería de la mayor parte de los países civilizados.

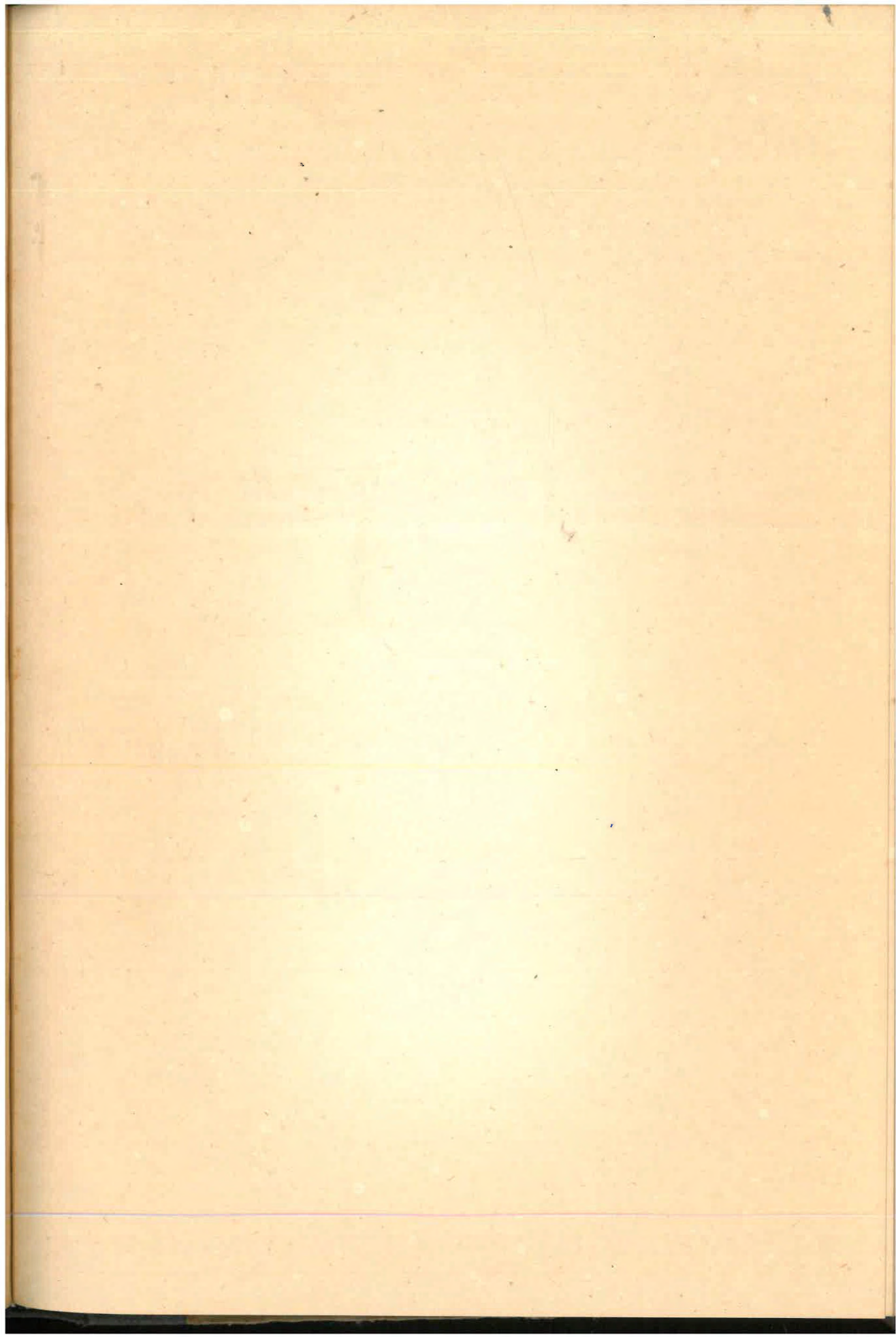
Debido a sus óptimas cualidades constructivas, esos instrumentos se hallan en uso hasta el día de hoy en la enseñanza universitaria y en la práctica de campo y gabinete de las mencionadas instituciones.

El intenso estudio de esos instrumentos se impone entonces no sólo como una necesidad didáctica, sino por razones eminentemente prácticas.



ACABOSE DE IMPRIMIR ESTE LIBRO EN LAS
ESCUELAS GRAFICAS DEL COLEGIO LEON XIII
DORREGO 2106 - BUENOS AIRES
EL DIA 5 DE OCTUBRE
DE 1950.

"1950 AÑO DEL LIBERTADOR GENERAL SAN MARTIN"

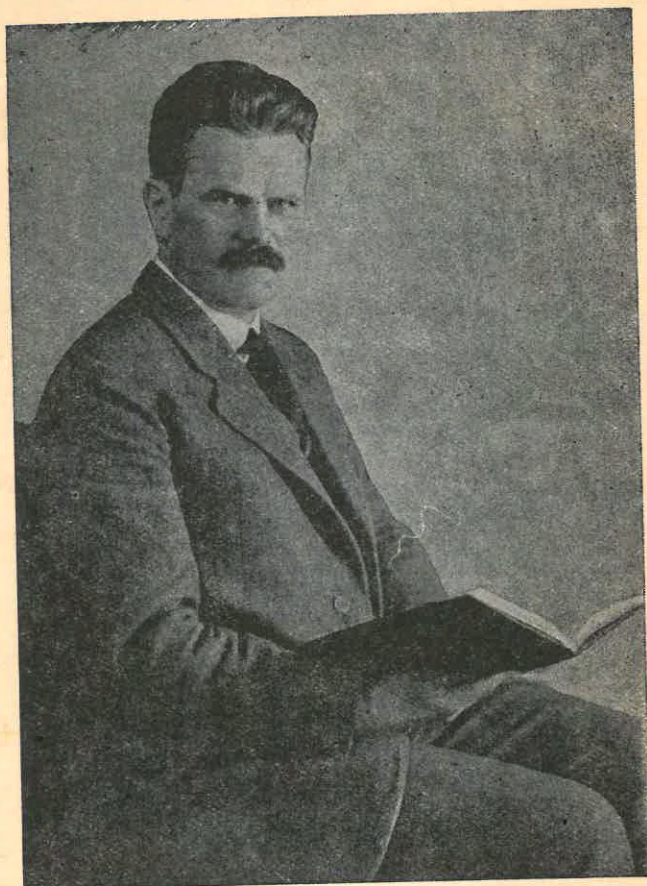


Tomo IV

Introducción a la Fotogrametría

SEGUNDA PARTE

Fotogrametría Terrestre y Aérea



Otto von Gruber (1884 - 1942)

COMPENDIO GENERAL

DE

Topografía Teórico Práctica

POR

ROBERTO MÜLLER

AGRIMENSOR NACIONAL

**EX-PROFESOR DEL CURSO LIBRE DE TOPOGRAFIA DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
EX-GEODESTA DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR ARGENTINO**

Tomo IV

Introducción a la Fotogrametría

Segunda Parte

Fotogrametría Aérea

**Obra premiada con Mención Especial en Ciencias Físicas, Químicas
y Matemáticas por la Comisión Nacional de Cultura
(22 de Agosto de 1945)**

**Librería "EL ATENEO", Florida 340 - 44
Buenos Aires**

1951 (Setiembre 15)

Prefacio final del autor

Cumplimos con un deber de justicia, expresando nuestra gratitud a las autoridades del Colegio León XIII de Artes y Oficios, actualmente:

R. P. Director, José Clemente Silva;

R. P. Prefecto, Enrique Pöhlmann;

así como a sus respectivos jefes de Talleres, Sr. Anselmo Benassi, Sr. Fermín San Vicente, Sr. Carlos Llosa, Sr. José M. Guainazzo, Juan Oscar Pereira, bajo cuya dirección se ha efectuado nuestra obra, por las múltiples pruebas de colaboración que nos han venido dando desde el año 1930 hasta el día de hoy.

De este generoso espíritu de colaboración ha sido notablemente beneficiado nuestro Compendio General de Topografía Teórico Práctica y con ello una de las más fundamentales obras de cultura argentina.

Buenos Aires, marzo de 1951.

R. Müller.

Principales Obras consultadas.

1. *Gast, P.: Vorlesungen über Photogrammetrie*, J. A. Barth, Leipzig, 1930.
2. *Gruber von O.: Traité de Photogrammétrie aérienne et terrestre*, Editions La Concorde, Lausanne, 1931.
3. *Schwidefsky K.: Fotogrametría terrestre y aérea*, Editorial "La Labor", Barcelona 1945.
4. *Zeller M.: Lehrbuch der Photogrammetrie*, Orell, Füssli Zürich, 1946.

Otto von Gruber

Ponderación de su obra fundamental

Nació en Salzburg (Austria) el 9 de Agosto de 1884.

La escuela secundaria la visitó Otto, primero en Viena, terminándola en Munich, donde se recibió de bachiller en 1903.

En 1905 lo encontramos inscripto en la Universidad de Berlín, estudiando Matemáticas, Geografía, Física y Astronomía.

En 1906 hizo el Servicio Militar, estudiando al mismo tiempo en la Universidad de Würzburg.

En 1907 rindió el primer examen para profesor secundario; en 1909 el segundo examen, que lo habilitó para la enseñanza de Matemáticas y Física en colegios secundarios.

Como estudiante en la Universidad de Munich y recomendado por su profesor S. Finsterwalder Gruber hizo su primer gran trabajo práctico, una medición de ventisquero, para el Club Alpino Germano-Austriaco. Fué este trabajo calculado y elaborado en los años siguientes, el tema para su tesis doctoral en la Universidad de Munich, donde se recibieron de *Dr. phil.* en 1911.

Años de intensa actividad de diversa índole, sin orientación definida.

Desde 1911 hasta 1913 actuó como Asistente en el Instituto de Física de la Escuela Superior Técnica de Munich.

En la Primera Guerra Mundial (1914-18), von Gruber efectuó trabajos fotogramétricos.

Terminada esa guerra, y vencido el decaimiento producido por ella y por la Revuelta de Munich, se lanzó con nuevas energías a los trabajos: Ejecutó cálculos geodésicos (desviación de la plomada) para la Comisión Internacional de Geofísica, elaboró el material de campo de grandes expediciones científicas, etc.

Después de actuar durante breve tiempo como profesor de matemáticas y física en colegios secundarios de Munich, dictó von Gruber, como profesor adjunto, en la Escuela Superior Técnica de Munich, clases de Fotogrametría, determinación del lugar geográfico para exploradores, trigonometría plana y esférica, cálculo de compensación.

En esa misma época von Gruber ejecutó extensos trabajos de levantamiento para anteproyectos de grandes obras públicas.

Como no se produjo el esperado nombramiento para una actividad más amplia y más estable, von Gruber resolvió buscar un nuevo campo de actividades más concorde con sus capacidades y sus inclinaciones.

Colaborador científico de la Casa Zeiss, Jena. (1922-26).

A partir de 1922 von Gruber fué colaborador científico de la Casa Zeiss y jefe de la Sección aerofotogramétrica.

Desde este privilegiado sitio de casi ilimitados recursos técnicos, podían comenzar a dar frutos las grandes experiencias y capacidades de von Gruber.

No se sabe si von Gruber dió este importante paso intuitivamente, o por reflexión, dándose cuenta que el verdadero objetivo de la Fotogrametría, su campo y meta, es la *vista aérea*.

Lo que es cierto, es que la evolución de la Fotogrametría terrestre había terminado y que la de la Fotogrametría aérea tomó entonces un ritmo acelerado. Uno tras otro aparecieron los trabajos que trataban aparatos de toma y aparatos de restitución de vistas aéreas.

Cabe destacarse aquí la gran dificultad que se presentó para realizar el paso de un campo a otro, de la concepción de Fotogrametría terrestre al de Fotogrametría aérea, del "caso normal" de aquélla al "caso general" de ésta. Lo que en aquélla era una cuestión sumamente fácil (como la determinación del punto de estación o la dirección del eje de levantamiento), se presentó en ésta como un gran problema.

La dificultad residía en el hecho de que faltaba el aparato para realizar ese "caso general", el que ya no exigía una simple resolución mecánica de ecuaciones, sino una completa reconstrucción del modelo estéreo del terreno mediante vistas aéreas.

La creación de este aparato de incalculable perspectiva práctica dió lugar a una gran lucha de competencia entre talleres ópticos mecánicos alemanes, suizos, italianos y franceses.

En 1923 salió el primer modelo de este aparato de restitución, construido por la Casa Zeiss, ideado por *Bauersfeld*.

En este periodo de lucha von Gruber publicó los siguientes trabajos:

1923: "Der Zeiss'sche Stereoplanigraph",

1919 - 1923: "Entzerrung von Luftaufnahmen",

1924: "Ueber den raumlichen Rückwärtseinschnitt",

1924: "Einfache und doppelte Punkteinschaltung im Raume".

Encanta ver en este último trabajo la manera clara y precisa con que von Gruber explica el procedimiento de ajuste de los modelos estéreos; él mismo ejecutó extensos trabajos de restitución de prueba en el Estereoplanígrafo.

* *Profesor de Geodesia en Stuttgart. (1926 - 1929).*

En 1925 había fallecido E. von Hammer (ver pág. 220 del Índice de Nombres, Tomo I) Profesor de Geodesia de la Escuela Superior Técnica de Stuttgart. Por sus extraordinarias cualidades didácticas, la cátedra de Hammer había logrado un gran prestigio; y no era por eso fácil encontrar un digno sucesor.

En 1926, la cátedra de geodesia de Stuttgart fué ofrecida a von Gruber, el que la aceptó.

Sus numerosas publicaciones sobre importantes trabajos prácticos realizados, sobre trabajos científicos fundamentales, su exitosa intervención en la creación de nuevos métodos y nuevos instrumentos y en el perfeccionamiento de métodos e instrumentos existentes, todo esto, había contribuido a que von Gruber apareciera como único candidato sucesor de Hammer.

La aceptación de esta Cátedra de Geodesia significaba para von Gruber una obligación; porque aun cuando no había sido precisamente geodesia la materia de su mayor preocupación, no obstante, con la energía que le era propia, von Gruber supo ponerse en poco tiempo a la altura de su nueva tarea.

O. von Gruber no sólo conservó la herencia de Hammer, sino la amplió. No se limitó a efectuar los clásicos ejemplos prácticos universitarios. Ejecutó con sus asistentes y alumnos trabajos fotogramétricos de mayor envergadura, en los que hizo actuar a sus estudiantes como verdaderos colaboradores.

En este tiempo en que los alumnos de von Gruber ejecutaron trabajos fotogramétricos, vinculándolos con los puntos trigonométricos por ellos determinados con anterioridad, él mismo se ocupaba intensamente con un nuevo problema, la *aerotriangulación*: En base a un material aerofotogramétrico (5 vistas aéreas de faja) del año 1924, obtenido por encargo del Club Alpino Germano-Austriaco, von Gruber efectuó la restitución en el Estereoplanígrafo. La orientación del primer estereograma la obtuvo con ayuda de una carta preexistente, procurándole un punto de apoyo visible en el último estereograma los necesarios elementos de contralor: un error lineal de 10 metros y un error altimétrico de 2,4 metros.

Ha sido este ejemplo práctico por él mismo establecido, el que constituyó el fundamento para la inquebrantable fe que tuvo desde entonces von Gruber en el éxito final

de la triangulación aérea; a la que iba dedicando hasta el fin las mejores energías de su vida.

O. von Gruber en Jena (1929-1942): Jefe de la Sección fotogramétrica y de la Sección Geodesia de la Casa Zeiss.

En 1929, von Gruber se encargó de la dirección del Curso de Vacaciones de Fotogrametría, como sucesor de Pulfrich, el que lo había dirigido desde su fundación en 1909 hasta su muerte en 1927.

El primer trabajo publicado por von Gruber, después de su regreso a Jena, fué: "Ferienkurs in Photogrammetrie", Jena 1930. Es una colección de disertaciones y conferencias dadas en ese Curso; las que, para su más fácil difusión, fueron traducidas a 4 idiomas (al francés, por ejemplo, con el título: "Traité de Photogrammetrie, terrestre et aérienne").

Por ser la mayor parte de los artículos de carácter fundamental, cuyo autor es von Gruber, el libro no ha envejecido, conservando su valor total hasta el día de hoy.

Las grandes experiencias adquiridas por von Gruber en el terreno y el gabinete, así como sus investigaciones teóricas, lo capacitaron de un modo particular, para una eficiente colaboración en la evolución constructiva de los aparatos de toma y de restitución fotogramétrica; pudo aplicar así directamente los principios teorico-prácticos por él introducidos y experimentados.

Dotado de un gran talento para todas las cuestiones constructivas, von Gruber sabía reconocer con sorprendente seguridad y rapidez los inconvenientes y las ventajas de similares construcciones de competencia.

De ahí que von Gruber ejercía su misión de colaboración con asistir y guiar al constructor, mostrándole los inconvenientes y las ventajas de otras posibilidades constructivas.

De este ideal y fecunda colaboración entre von Gruber y Bauersfeld resultó el modelo C/4 (año 1930) del Estereoplanógrafo de Zeiss, que es el aparato de restitución más perfecto y más preciso hasta el día de hoy.

Se difundió con relativa rapidez en los países más civilizados del mundo.

O. von Gruber tuvo la satisfacción de poder presenciar la iniciación de la construcción del ejemplar N° 100, poco tiempo antes de morir (1942).

En la misma época se realizó la construcción del aeroprojector apropiado para fines didácticos en la enseñanza universitaria.

Von Gruber nos ha dado una excelente guía explicativa en la publicación: *Der Aeroprojector "Multiplex" als Anschauungs- und Übungsgeraet im photogrammetrischen Unterricht*, 1936.

También la reconstrucción de los aparatos de toma de vistas aéreas, la transformación de la cámara accionada a mano, en cámara completamente automática, es principalmente obra de von Gruber, realizada en la época en que estuvo al frente de la Sección fotogramétrica.

Mirando la obra de conjunto de von Gruber desde el punto de vista de la Fotogrametría aérea, debemos decir que su influencia ha sido muy grande y decisiva en muchos aspectos.

En muchas partes del mundo se levantan planos desde el avión con métodos por él indicados e instrumentos por él ideados o transformados.

La precedente detallada exposición biográfica nos sirve ante todo para fundamentar debidamente la razones de la siguiente proposición y nuestra conclusión final.

Por tales hechos y motivos no podemos desoir la voz del corazón que no dice: "Es justicia y un ineludible deber nuestro contribuir a honrar y perdurar la memoria de von Gruber, con todos los medios a nuestro alcance, apareciéndonos como el más eficaz el llamarlo:

"Padre de la Fotogrametría aérea".

denominación mediante la cual O. von Gruber, conjuntamente con Laussedat y Pulfrich, integraría un trinomio de puntales de la Fotogrametría: el padre del método clásico de la intersección fotogramétrica terrestre, el padre del método estereofotogramétrico terrestre y el padre de la Fotogrametría aérea, el que contribuyó eficazmente a librarnos de la ficción de la Fotogrametría terrestre, dán-

donos la primera solución práctica del difícil problema de la triangulación aérea, con la cual nos condujo a la inmediata proximidad de la meta final de la Aero-fotogrametría.

Sería para nosotros sumamente satisfactorio si nuestra iniciativa encontrara favorable eco en las esferas científicas de la materia, de los países latino-americanos, como nueva prueba de que nosotros sabemos valorar y apreciar las conquistas del saber con que el Viejo Continente contribuye a nuestro progreso económico y de cultura.

Buenos Aires, abril de 1951.

R. MÜLLER.

Índice de Materias

Capítulo Primero

Generalidades y explicaciones previas

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Finalidad perseguida por el autor ..	113	15. Clasificación de los métodos de toma de vistas según la dirección del eje de levantamiento. Angulos muertos .	120
2. Nota histórica: Los 3 ciclos evolutivos de la Fotogrametría,	113	16. Métodos de toma de vistas estereoscópicas o vistas apareadas	121
I. — Generalidades sobre vistas fotogramétricas y la correspondiente carta topográfica. Escala de vista vertical.		17. Influencia de la capacidad resolvente de la emulsión de la placa o película (y de la capacidad de la lente objetivo de la cámara) sobre la visibilidad de los detalles en una vista aérea	121
3. Vistas verticales y vistas oblicuas ..	114	18. Superficies terrestres (correspondientes a vistas nadirales). Ejemplos numéricos calculados para cámaras tipos	122
4. Características fundamentales de la carta topográfica. Importancia de los signos convencionales	114	19. Superficies $S = L_2$, cubiertas por vistas nadirales (distancia nadiral = 0°) aisladas, de cada una de las 5 cámaras típicas	123
5. Escala de imagen de vista vertical ..	115	20. Anchura de faja	124
6. Primera comparación de los dos nuevos procedimientos de levantamiento: Fotogrametría terrestre y Fotogrametría aérea	116	21. Vistas nadirales en serie; aclarando más el concepto de recubrimiento. Base b.	125
II. — Conceptos y nociones fundamentales sobre toma de vistas aéreas.		22. Finalidad del recubrimiento. Porcentaje de avance efectivo	125
7. El cuadrilátero en el terreno	116	23. Recubrimiento estereoscópico. Relación de base	126
8. Nota didáctica	117	24. Lo que enseña la práctica respecto al recubrimiento longitudinal en la faja	127
9. Concepto del recubrimiento longitudinal de una vista aérea	117	25. Avance longitudinal expresado en tiempo	128
10. Superficie S del terreno para vistas verticales en función de la altura de vuelo, de la distancia focal f de la cámara y longitud l de la placa (película)	117	26. Recubrimiento transversal (lateral). Anchura efectiva de la faja	128
11. Ventajas e inconvenientes de la escala de imagen E; pequeña. Límite	118	III. — Cámaras aéreas fotogramétricas.	
12. Desventaja de la Fotogrametría aérea frente a la Fotogrametría terrestre	118	26. Cámara de mano de Wild	130
13. Altura de vuelo mínima como consecuencia de la reducida capacidad resolvente de la emulsión muy sensible de placas de Fotogrametría aérea	119	27. Cámara fotogramétrica aérea HMK C/4 Zeiss, para vistas de 13×18 cm, de mano con placas de suspensión y películas	131
14. Factores de que depende el método de toma de vista	120		

Nº	Pág.	Nº	Pág.
28. Cámara aerofotogramétrica Zeiss RMKC/3 para tomar automáticamente vistas verticales	132	V. — Navegación y plano de vuelo.	
29. Cámara aerofotogramétrica doble $2 \times \text{RMKC}/2$ de Zeiss para toma de vistas automáticas en serie	133	36. Instrumentos de navegación aérea general	139
30. Cámara aerofotogramétrica cuádruple $4 \times \text{RMKC}/1$ de Zeiss para la toma automática de vistas en serie, oblicuas y convergentes	134	37. Instrumentos de navegación aérea auxiliares usados en Fotogrametría	142
31. Cámara aerofotogramétrica, completamente automática, RC7 de la firma Wild	135	38. Importancia práctica del material cartográfico preexistente	142
32. Estatoscopio de Väisälä	136	39. Acción del viento: deriva, ángulo de deriva	142
IV. — Avión fotogramétrico (equipo instrumental y personal).		40. Dirección de la faja de vuelo	143
33. Principales características y equipo instrumental de un avión fotogramétrico	138	41. Cantidad de vistas necesarias para un determinado vuelo proyectado. Concepto de superficie neta de aerofotograma	143
34. Aviones lentos, helicópteros	138	42. Plano de vuelo	143
35. Personal de la tripulación	139	43. Escala de imagen y su estrecha vinculación con la economía del trabajo	143
		44. Relación entre la escala de imagen de la vista aérea y la escala de la carta obtenida en base a aquella ..	144
		45. Ejemplo práctico de las relaciones anteriores	140 y 141

Capítulo II

Restitución

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Recapitulación sobre condiciones de visión estereoscópica	145	10. Error de altura en fotogrametría aérea; su fórmula	149
2. Resumen sobre la base estereoscópica móvil	145	11. Interpolación altimétrica con fotogramas de vistas verticales	150
I. — Estereoscopio de reflexión o de espejos.		12. El estereoscopio de reflexión como aparato de dibujo automático	151
3. Nota didáctica	146	13. El estereoscopio de reflexión actual, perfeccionado, como aparato medidor de coordenadas rectangulares	151
4. Objetivos del estereoscopio de espejos; limitación de su campo de aplicación	147	II. — Transformación, rectificación o enderezamiento.	
5. Comparación del estereoscopio de espejos con el estereoscopio de lentes	147	14. "Terreno prácticamente llano"; precisando el alcance de esta expresión para Fotogrametría aérea	151
6. El estereoscopio de reflexión como aparato de medición y dibujo; elementos constructivos	147	15. Fotogrametría aérea con vistas aisladas y Fotogrametría aérea con vistas apareadas	152
7. Ejecución de la medición estereoscópica mediante la marca estérea móvil	147	16. Caracterizando el método de restitución por transformación (rectificación o enderezamiento)	152
8. Fundamento para la determinación de las diferencias de altura	148	17. Enderezador de Zeiss para la obtención de fotoplanos deducidos de vistas aéreas verticales	152
9. Destacando un importante concepto fundamental de la Teoría de los Errores	148		

Nº	Pág.	Nº	Pág.
18. Misión principal del enderezador ..	153	carta aérea (pirámide de rayos) simple	157
19. Partes constructivas principales ...	153	28. Determinación de puntos aéreos dobles o problema de Hansen del espacio	157
20. Cinco elementos (posibilidades operativas) de ajuste para realizar la posición perspectiva	154	29. Orientación relativa de parejas de vistas; definición	157
21. Caso (más general) en que la posición perspectiva de la vista se halla definida por cuatro puntos (de apoyo) conocidos	154	30. Teorema de la Geometría Proyectiva	157
22. Amplitud de aplicación del método de enderezamiento. Precisión	154	31. Modelo óptico; su definición y característica. Núcleo	158
III. — Problemas preparativos y más conceptos fundamentales.		32. Paralaje vertical de pares de vistas verticales; su concepto y su anulación	158
23. Norma didáctica relativa a la confección de figuras	155	33. Anulación de paralajes verticales por el método óptico-mecánico	158
24. Comparación del problema de la carta de fotogrametría terrestre con el problema de la carta de Fotogrametría aérea	155	34. Resultado práctico que se logra mediante la orientación relativa de un estereograma	159
25. Importancia del problema de la carta en el espacio	155	35. Los 7 elementos restantes de la orientación externa de un estereograma aéreo	159
26. Solución analítica del problema de la carta aérea (problema de la pirámide de rayos)	156	36. Fijación de la escala de levantamiento (del modelo)	159
27. Inconveniente del problema de la		37. Posición correcta del modelo óptico en el espacio. Recursos teóricos y ejecución práctica	160
		38. Procedimiento de los anaglifos	160

Captulo III

Aparatos de Restitución

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Idea fundamental de los aparatos de restitución automática	161	tina	163
2. Los distintos métodos de proyección, como criterio para clasificar los diversos modelos de aparatos de restitución	162	8. Operando con el Estereoplanígrafo Colaboración de O. von Gruber	164
3. Característicos rasgos constructivos de los 3 modos de proyección	162	9. Amplitud operativa del Estereoplanígrafo. Precisión de los resultados	165
4. Importantes aparatos de restitución automática universalmente conocidos, empleados en la República Argentina; su clasificación según el criterio de la proyección	162	10. Nota adicional	165
5. "Paso muerto"	163	I. — Doble proyección óptica. (principio de Scheimpflug)	
6. Aparatos de restitución de primer, segundo y tercer orden; resultado de su subdivisión por el criterio de la precisión	163	11. Principio de Scheimpflug; su definitiva introducción en fotogrametría	166
7. Aparatos de restitución de primer orden en uso en la República Argen-		12. M. Gasser perfeccionó y popularizó el método de Scheimpflug	166
		13. Base estereoscópica del método	166
		14. Características de la doble proyección óptica	167
		15. Imágenes superpuestas; su separación y fusión	168

Nº	Pág.	Nº	Pág.
II. — El aeroprojector "MULTIPLEX" de Zeiss.		18. El "Multiplex" perfeccionado	170
16. Característicos elementos constructivos	168	19. Límites de la escala de restitución	170
17. Dibujo. Precisión planimétrica y altimétrica	169	III. — Revista de importantes modelos de aparatos de restitución usados en la República Argentina	171

Capítulo IV

Aplicaciones de Fotogrametría Aérea

Nº	Pág.	Nº	Pág.
I. — Generalidades.		la fig. 1	180
1. Importancia del material cartográfico existente	175	14. Extensión y límite del "procedimiento del pentágono"	181
2. Caso de no existir carta previa	175	15. Poligonación aérea de enlace. Factores correctores de escala y orientación	182
3. Cuatro tareas principales de la Fotogrametría aérea	176	16. Cadena de rombos	182
II. — Puntos fijos de apoyo.		17. Red radial	182
4. Importancia de los puntos de apoyo	176	18. Nota histórica relativa al invento y desarrollo del método de triangulación radial	183
5. Número necesario de puntos de apoyo por cada fotograma aéreo. Dos casos	177	19. Tres procedimientos de restitución de los fotogramas de triangulación radial	183
6. Ejemplos de aplicación práctica . .	177	20. Amplitud de aplicación de un instrumento de restitución de triangulación radial	183
7. Otro recurso de dotación de puntos fijos de apoyo, mediante el "vuelo a gran altura"	177	21. Operaciones a efectuar con cada par de vistas	184
III. — Método de enderezamiento.		22. Precisión angular y lineal, alcanzable con el procedimiento de medición	184
8. Fotoplanos o fotocartas "mosaicos"; su obtención. Precisión	178	23. Procedimiento de restitución gráfica, de triangulación radial	185
IV. — Triangulación aérea.		24. Triangulación radial mecánica. Triangulador radial mecánico (modelo argentino). Nota histórica	185
9. Característica principal de cada uno de los dos métodos de triangulación aérea	179	La República Argentina, su colaboración constructiva en Fotogrametría. Nota histórica	186
10. Objetivo del método de triangulación radial	179	25. Importancia del problema de la triangulación aérea	188
11. Condiciones de toma de vistas instrumentales, operativas y del terreno	180	26. Recapitulación de cuestiones fundamentales	188
12. Terna de puntos radiales, sus ventajas e inconvenientes	180	27. Problema de la aerotriangulación estereoscópica	188
13. Explicación del método en base a		28. Errores sistemáticos; necesidad de su reducción	189
		29. Teoría de los errores de Fotogrametría aérea	189

Nº	Pág.	Nº	Pág.
30. Recursos instrumentales para reducir los errores sistemáticos, perfeccionando la determinación de los elementos de orientación externa ..	189	V. — Poligonación aérea de enlace (su ejecución instrumental).	
31. Criterio de distinción de métodos	190	34. Observaciones previas	191
32. Método de los pares de vistas independientes; su característica	190	35. Los 7 pasos operativos en el empleo del Aeroprojector "Multiplex"	192
33. Método de las vistas enlazadas	190	36. Verificación parcial del trabajo	192
		37. Recapitulación relativa a los aparatos de restitución	192

Capítulo V

Confección de la Carta Topográfica

a escala 1:50 000

Nº	Pág.	Nº	Pág.
1. Observación previa	193	7. Base altimétrica de la red de puntos fijos	195
I. — Consideraciones técnicas de carácter fundamental.		8. Elementos básicos constitutivos del primer número del programa de trabajo	195
2. Exigencias para una moderna confección de carta topográfica a 1: 50 000 de un gran territorio ..	193	9. Número 2 del programa de trabajo	195
3. Valores de la precisión gráfica y de la altimetría que son característicos para la ejecución racional de la Carta Topográfica a escala 1: 50 000	194	10. Fajas fotogramétricas principales o de 1er. orden y fajas de relleno, de segundo orden	195
II. — Ideas directrices para la aplicación del método.		11. Precisión altimétrica de la Carta a 1: 50 000 como elemento determinante de la altura máxima de vuelo	196
4. Red trigonométrica de primer orden	194	12. Nivelación autogramétrica de las fajas de vuelo principales (entre puntos fijos de 1er. orden). Error medio de un punto compensado	196
5. Importancia decisiva de la precisión de los aparatos de toma y restitución para la economía de los trabajos de levantamiento aerofotogramétricos	195	13. Compensación de las fajas principales	196
6. Máxima altura de vuelo fotogramétrico	195	14. Fajas de relleno; su compensación	196
		15. Precisión lineal	196
		16. Observación final; condición "sine qua non"	196
		Advertencia final	197
		Índice alfabético	198

SUMARIO

Segunda Parte

Fotogrametría aérea

Capítulo I

Generalidades y explicaciones previas	113
I Generalidades sobre vistas fotogramétricas y la correspondiente carta topográfica. Escala de vista vertical	114
II Conceptos y nociones fundamentales sobre toma de vistas aéreas	116
III Cámaras aéreas fotogramétricas	129
IV Avión fotogramétrico (equipo instrumental y personal)	138
V Navegación y plano de vuelo	139

Capítulo II

Restitución	145
I Estereoscopio de reflexión o de espejos.	146
II Transformación, rectificación o enderezamiento.	151
III Problemas preparativos y más conceptos fundamentales	155

Capítulo III

Aparatos de restitución	161
I Doble proyección óptica (principio de Scheimpflug)	166
II El aeroprojector "MULTIPLEX" de Zeiss	168
III Revista de importantes modelos de aparatos de restitución usados en la, República Argentina	171

Capítulo IV

Aplicaciones de fotogrametría aérea	
I Generalidades	175
II Puntos fijos de apoyo	176
III Método de enderezamiento	178
IV Triangulación aérea	179
V Poligonación aérea de enlace (su ejecución instrumental)	191

Capítulo V

Confección de la carta topográfica a escala 1:50 000

I Consideraciones técnicas de carácter fundamental	193
II Ideas directrices para la aplicación del método	194

Introducción a la Fotogrametría Aérea

Capítulo Primero

Generalidades y explicaciones previas

1. Finalidad perseguida por el Autor.

Con la presente Introducción a la Fotogrametría aérea nos proponemos ofrecer al lector una guía, que lo oriente en el vastísimo campo de la materia, familiarizándolo del modo más fácil posible con los más diversos aspectos del tema en su actual estado de evolución.

En la descripción de los aparatos nos limitamos muchas veces a destacar sólo los característicos rasgos constructivos de los mismos, a veces sólo indicamos su misión, con excepción de algunos, como del **estereoscopio de reflexión de Zeiss** (ver fig. 1 pág. 146), cuyo más profundo conocimiento juzgamos imprescindible para la comprensión y correcta aplicación de los nuevos métodos de trabajo en los grandes aparatos de restitución.

La importancia de los nuevos métodos de levantamiento es extraordinariamente grande para los intereses del Estado, económicos y culturales; figurando entre ellos como problema máximo el de la **Carta**, de la carta general del país a escala uniforme de 1:50 000.

Esperamos que el presente trabajo nuestro signifique un aporte útil para el logro de tan elevada aspiración, no sólo para la Argentina, sino para todos los demás países latinoamericanos en iguales condiciones cartográficas.

2. Nota histórica: Los 3 ciclos evolutivos de la Fotogrametría.

Los dos nuevos procedimientos de levantamiento topográfico en que se subdivide, naturalmente, la Fotogrametría, a saber:

la Fotogrametría terrestre y
la Fotogrametría aérea.

nacieron casi simultáneamente.

En efecto, ya en la guerra de Solferino, en 1859, época en que se hicieron los primeros ensayos de Fotogrametría terrestre, Laussedat hizo levantar aerofotogramétricamente por vez primera un plano de fortaleza, con hacer subir en un globo cautivo una cámara fotográfica.

El primer ciclo evolutivo de fotogrametría (método de Laussedat) llegó a su madurez a fines del siglo pasado por causas detalladamente expuestas en la 1ª parte del presente Tomo.

El segundo ciclo o sea el método estereofotogramétrico, culminó alrededor de 1914.

Con la conquista del aire por el avión durante la Primera Guerra Mundial (1914-18), comenzó el tercer ciclo evolutivo de la Fotogrametría.

Era ese su primer período, su período de ensayo, de indecisión, vacilación y dudas.

Recién en 1920, cuando la Casa Heyde (Dresde) hizo conocer el primer modelo del Aerocartógrafo ideado por Huguershoff se aclaró el horizonte definitivamente.

Empezó en esa memorable fecha una serie de éxitos y triunfos ininterrumpidos hasta la hora actual.

No obstante divisarse desde ya con toda claridad la meta final de este tercer ciclo (carta a pequeña escala de un gran territorio), alcanzable y en parte ya alcanzada, debemos sin embargo, destacar que este ciclo se halla aún en pleno período de evolución y que son muchos los perfeccionamientos y mejoramientos constructivos y operativos, que quedan por realizar.

I. - Generalidades sobre vistas fotogramétricas y la correspondiente carta topográfica. Escala de vista vertical.

3. Vistas verticales y vistas oblicuas.

Las vistas tomadas con cámara ubicada en el suelo del avión, y con eje óptico dirigido hacia abajo, son llamadas **vistas nadirales** o, aunque menos correctamente, **vistas verticales**; las que son tomadas con cámara ubicada en el costado del avión y con eje óptico inclinado, son llamadas **vistas oblicuas**.

La vista aérea oblicua nos presenta un sector de terreno con un aspecto parecido al que nos proporciona nuestra mirada natural desde tierra; la vista aérea vertical, en cambio, nos presenta un paisaje en forma semejante a la de la carta para el correspondiente sector de terreno.

Esta semejanza entre el aspecto de la vista aérea vertical y el aspecto del correspondiente cuadrilátero de la carta topográfica, merece, por su gran importancia, un breve comentario cartográfico.

4. Características fundamentales de la carta topográfica. Importancia de los signos convencionales.

Mientras que el aerofotograma de vista vertical es una fiel representación gráfica de un sector de terreno con todos los detalles vistos por el "ojo" de la cámara en el momento de la toma, el contenido del correspon-

diente **cuadrilátero de la carta**, en cambio, es un producto del espíritu del topógrafo. El topógrafo interpreta la naturaleza, valiéndose en ello de los correspondientes **signos convencionales**. Omite detalles sin importancia, exagera otros, como los caminos que por su pequeñez no tendrían representación gráfica a la escala de la carta.

El topógrafo (o el cartógrafo que trabaja con criterio topográfico) **generaliza** dejando a un lado los pequeños detalles que no agregan nada al carácter general de una zona.

5. Escala de imagen de vista vertical.

A la imagen (aerograma) obtenida con la cámara en el aire corresponde en la planimetría del terreno un **cuadrilátero**, cuya magnitud y forma dependen de la inclinación del eje de la cámara, de la distancia focal de la misma, del formato de placa y de la altura de vuelo del avión.

En el caso general con eje de toma inclinado (pero con placa libre de inclinación lateral), ese cuadrilátero terrestre es un **trapecio** (de paralelas) con eje de simetría que pasa por el punto Nadir.

En el caso particular con eje de toma vertical para vista vertical, el trapecio se convierte en **rectángulo terrestre** semejante al formato de la placa.

Realízase con este caso particular de inclinación de eje vertical un aerograma de **escala uniforme** en toda su extensión, mientras que la escala de vistas oblicuas varía según la distancia de los objetos representados en ellas.

El caso particular de vistas verticales tiene por eso un interés práctico muy grande, lo que pasamos a tratar.

Siendo:

f la distancia focal de la cámara,

h la altura de vuelo del avión sobre el terreno,

l_{mm} la longitud de un segmento rectilíneo sobre el aerograma (expresada en milímetros),

L_m la longitud del correspondiente segmento en el terreno (expresado en metros), y

E_i la buscada **escala de imagen**,
tendremos:

$$(1) \quad E_i = \frac{f}{h}$$

la que nos dice que la **escala de imagen E_i** es inversamente proporcional a la **altura de vuelo h** .

En caso de no conocerse la altura de vuelo h , según (25) de pág. 16:

$$(2) \quad E_i = \frac{l_{mm}}{L_m} \times \frac{1}{1000}$$

6. Primera comparación general de los dos nuevos procedimientos de levantamiento: Fotogrametría terrestre y Fotogrametría aérea.

Las vistas de Fotogrametría terrestre se distinguen de las de Fotogrametría aérea por su mayor claridad, mayor nitidez y por el predominio del primer plano de las mismas.

La vista terrestre de un paisaje es más parecida al aspecto con el cual estamos acostumbrados a verlo que la vista aérea.

La **escala de imagen** de la vista aérea puede ser **variada** a voluntad, porque la misma depende según (1) de la altura de vuelo del avión.

Es lógico que la **precisión** que nos da la vista terrestre sea en general superior a la que proporciona una vista aérea. Porque aquella está tomada desde un punto terrestre perfectamente conocido, mientras que ésta se obtiene desde un punto aéreo que pueda hallarse de 1 a 5 km de distancia de la tierra.

Según sabemos de la Primera Parte del presente Tomo, la **precisión** de la altimetría (cotas) es superior a la de los alejamientos de los puntos, cuyos errores medios aumentan con el cuadrado de las distancias.

En el caso más frecuente de Fotogrametría aérea o sea, en la toma de vistas verticales, sucede justamente lo contrario, pudiendo ser obtenidas las distancias con gran precisión.

Respecto a la **economía del trabajo** debemos decir que la realización de una vista aérea de un sector de terreno, es mucho más costosa que la correspondiente toma de vista con fototeodolito.

Comparando las labores de campo y de gabinete que corresponden a los dos procedimientos, podemos decir que son menores las originadas por las vistas aéreas que las causadas por las vistas terrestres.

Podemos decir entonces que el procedimiento aereofotogramétrico debe ser empleado sólo cuando se trate de levantar grandes extensiones de superficies.

Huelga decir también que el mismo encuentra casi exclusiva aplicación en las modernas operaciones de guerra.

El **procedimiento de Fotogrametría terrestre**, en cambio, es empleado con ventaja en los levantamientos topográficos para la ejecución de las grandes obras públicas (diques, ferrocarriles, obras de riego, etc.).

II. - Conceptos y nociones fundamentales sobre toma de vistas aéreas.

7. El cuadrilátero en el terreno.

A la vista obtenida con cámara aerofotogramétrica desde el avión, corresponde un **cuadrilátero** en el terreno.

La forma y magnitud de este cuadrilátero dependen, según ya destacamos, de los siguientes elementos:

- a) De la inclinación hacia abajo, más o menos intensa, del eje óptico de la cámara tomavista;
- b) De la distancia focal f de la cámara;
- c) Del formato de la placa (película);
- d) De la altura de vuelo h del avión.

Sabemos también que para el caso que la placa esté libre de error de inclinación lateral (que es uno de los 6 elementos de la orientación externa), ese cuadrilátero es un **trapezio de paralelas**, cuyo eje de simetría pasa por el **Nadir** de la estación aérea.

Para el caso particular de eje de toma vertical o eje nadiral, ese trapezio se convierte en **rectángulo** y en **cuadrado** para el caso de ser cuadrática la forma de la placa de la cámara.

8. Nota didáctica.

A fin de simplificar las fórmulas adoptaremos para el formato de la placa (película) la forma cuadrática l^2 , en lugar de la forma rectangular que aquella muchas veces tiene.

9. Concepto del recubrimiento longitudinal de una vista aérea.

A fin de poder ser correctamente restituídas las vistas aerofotogramétricas, las mismas deben ser suficientemente "**recubiertas**"; importante concepto de Fotogrametría que pasamos a explicar.

Sea l la longitud del lado del negativo (cuadrático) de la cámara y L la longitud del correspondiente lado en el terreno.

Si el camino recorrido por el avión entre los lugares de toma de la 1ª y 2ª vista es más corto que la longitud L (del terreno), se producirá el llamado **recubrimiento longitudinal**.

Llámase así porque un cierto porcentaje de la superficie S_n^2 de la n -ésima vista va siendo cubierta por segunda vez por la superficie correspondiente a la vista consecutiva.

10. Superficie S del terreno para vistas verticales en función de la altura de vuelo, de la distancia focal f de la cámara y de la longitud l de la placa (película).

Siendo f la distancia focal de la cámara aérea, l la longitud del lado del formato (cuadrático) de la misma y

$$L^2 = S$$

la superficie del terreno correspondiente al formato l^2 de la placa, tendremos según fig. 9, pág. 15, la relación:

$$(3) \quad \frac{L}{h} = \frac{l}{f} \text{ de donde: } L = \frac{l}{f} \times h$$

$$(4) \quad l = L \times \frac{f}{h} = L \times E_1$$

Luego:

$$(5) \quad \boxed{L^2 = S = \left(\frac{l}{f}\right)^2 \times h^2}$$

En palabras: La ecuación (3) nos dice que la longitud L aumenta proporcionalmente a la altura de vuelo h ; mientras que la (4) nos dice: La

superficie S de terreno horizontal correspondiente a la de una vista aérea nadiral (negativo de la cámara en posición horizontal) aumenta con el cuadrado h^2 de la altura de vuelo h , desde la cual la vista es tomada.

11. Ventajas e inconvenientes de la escala de imagen E_i pequeña. Límite.

Desde el punto de vista económico la escala de imagen (con gran altura de vuelo) tiene indudablemente notables ventajas: ahorro de gastos de tiempo en el levantamiento y en la restitución.

La contraparte de esta ventaja económica es la **disminución de la precisión** de los detalles de las vistas a escala pequeña, tanto de la planimetría como de la altimetría.

Adóptase como **límite de escala pequeña de vista aérea original** la de 1:50 000 hasta 1:60 000.

Fotografías a escala más pequeña generalmente no permiten reconocer ciertos detalles topográficamente muy importantes, como las redes de vías de comunicación.

Si los negativos son obtenidos con buena cámara aérea a la escala 1:50 000, los mismos pueden ser ampliados al duplo para la confección de la carta a 1:25 000.

Hay más: La vista a pequeña escala, 1:60 000, por ejemplo, puede servir cómodamente para el levantamiento de los escasos y necesarios puntos fijos de apoyo de la zona, puesto que la misma abarca una superficie de terreno cuatro veces mayor que la que cubre una vista a escala 1:30 000.

12. Desventaja de la Fotogrametría aérea frente a la Fotogrametría terrestre.

La posibilidad de ver los pequeños detalles del terreno en las vistas aéreas, no depende sólo de la altura de vuelo desde donde fueron tomadas, sino también de la "**capacidad**" de la lente de la cámara aérea y de la emulsión de la placa (película) empleada.

Esta "**capacidad**" especial del objetivo y de la emulsión que en alemán lleva la denominación: **Auflösungs-Fähigkeit** y que fué muy mal traducida al castellano con "**capacidad de descomposición**", la llamaremos "**capacidad resolvente**".

Distínguense dos tipos de emulsión de capa sensible: la **emulsión de grano grueso**, sumamente sensible que se emplea para las placas (películas) de Fotogrametría aérea y la **emulsión de grano fino** sólo medianamente sensible, usada para **Fotogrametría terrestre**.

La emulsión de grano grueso es de menor capacidad resolvente que la de grano fino.

Las placas de vistas aerofotogramétricas, por el cortísimo tiempo de 1/200 de segundo de exposición impuesto por la velocidad del avión, son de emulsión necesariamente muy sensible (grano grueso) y por estas causas las vistas aéreas son generalmente menos nítidas que las vistas de Fotogrametría terrestre.

Mientras no se logre obtener emulsiones muy sensibles de grano fino para placas (películas) de Fotogrametría aérea, esta última indudablemente permanecerá en desventaja en este punto frente a la Fotogrametría terrestre.

Por la misma causa puntualizada que redunda ser una cierta falta de nitidez, las vistas aéreas no permiten generalmente una ampliación tan grande como las vistas de Fotogrametría terrestre.

13. Altura de vuelo mínima como consecuencia de la reducida capacidad resolvente de la emulsión muy sensible de placas de Fotogrametría aérea.

Los experimentos y la experiencia práctica han demostrado que la capacidad resolvente de la emulsión de grano grueso es de

$$(6) \quad 0,05 \text{ mm}$$

y que la de la emulsión de grano fino es de

$$(7) \quad 0,02 \text{ mm}$$

De estos dos valores básicos nos interesa más el primero que el segundo, porque hasta ahora no ha sido posible obtener emulsiones de grano fino con la gran sensibilidad necesaria para las vistas de Fotogrametría aérea.

Puede operarse entonces en la práctica con esa cantidad de 0,05 mm como con una **constante**, del mismo modo que con la distancia focal f de la cámara, a la que se admite ser del tipo normal.

Interesa entonces, para la práctica de campo la contestación a la siguiente pregunta:

¿Cuál es la altura de vuelo mínima $h_{\min}$ que debe ser mantenida por el avión que vuela con 150 km/h de velocidad para que las vistas (nadirales) tomadas con cámara de distancia focal $f = 20$ cm y $1/200$ de segundo de exposición conserven la necesaria nitidez?

Suponiendo entonces un avión que navega con la velocidad de 150 km por hora, en el cual se halle montada una cámara de distancia focal $f = 20$ cm, que toma vistas con $1/200$ de segundo de exposición, a la altura $h_{\min}$ que se trata de determinar, para el trecho $O_1 O_2$ recorrido por el centro de proyección (centro del objetivo) de la cámara durante ese tiempo de exposición de $1/200$ de segundo:

$$(8) \quad O_1 O_2 = \frac{150\,000}{60 \times 60} \times \frac{1}{200} = \frac{150}{3,6} \times \frac{1}{200} \\ = \frac{0,75}{3,6} = \underline{0,21}$$

Es decir, durante el corto lapso de tiempo de $1/200$ de segundo la cámara se traslada 21 cm; y un punto terrestre P , en lugar de dar sobre la placa de la cámara el punto imagen P' , produciría como imagen el segmento $P'P''$.

Según ya dijimos, este segmento $P'P''$ originado por la navegación del avión, no puede ser reducido a una cantidad menor que 0,05 mm, siendo entonces:

$$(9) \quad P'P'' \geq 0,05 \text{ mm}$$

Siendo f ($=20$ cm) la distancia focal de la cámara y $h_{\min}$ la altura de vuelo mínima que se busca, tendremos la siguiente relación:

$$(10) \quad \frac{0,05}{f} = \frac{O_1 O_2}{h_{\min}}$$

de donde:

$$h_{\min} = O_1 O_2 \times \frac{f}{0,05 \text{ mm}}$$

y con los valores del caso:

$$(11) \quad h_{\min} = 21 \text{ cm} \times \frac{200}{0,05} = 21 \text{ cm} \times 4000$$

$$h_{\min} = \underline{840 \text{ metros}}$$

Es decir, en las condiciones del problema (velocidad del avión de 150 km por hora y distancia focal de la cámara $f=20$ cm), será necesario mantener en la navegación la altura mínima de 840 metros si se quiere evitar que se reduzca la nitidez de las vistas que se tomen.

En caso de disponerse de una cámara con $f=165$ mm, la (11) nos dará:

$$(12) \quad h_{\min} = 21 \text{ cm} \times \frac{165}{0,05} \sim \underline{700 \text{ metros}}$$

Para una doble velocidad del avión (300 km/h), debería ser doble la altura mínima de vuelo es decir 1680 m ó 1400 m, respectivamente, a fin de mantener la necesaria nitidez de las vistas.

14. Factores de que depende el método de toma de vista.

El método de toma de vista depende de la clase de cámara y del aparato de restitución de que se dispone.

Depende también de la naturaleza del terreno a levantar y del tipo de carta que se trata de confeccionar.

15. Clasificación de los métodos de toma de vistas según la dirección del eje de levantamiento. Angulos muertos.

Según la dirección del eje de levantamiento se distinguen los siguientes métodos:

- a) Toma de vistas nadirales o prácticamente verticales;
- b) Toma de vistas oblicuas con distancias nadirales del eje de levantamiento más o menos grandes;
- c) Toma de vistas panorámicas.

Inconveniente de los llamados "ángulos muertos"

Vistas oblicuas. — Son muchos los detalles del terreno que escapan en el momento de la toma de vistas oblicuas. Cuando la distancia nadiral de los rayos visuales llega a $26,5^\circ$, un objeto alto cualquiera del paisaje (árboles, por

ejemplo) taparía una zona en una extensión igual a la mitad ($\text{ctg. } 26,5^\circ = \frac{1}{2}$) de su altura; siendo esa ocultación de una magnitud igual a la altura del objeto, para el caso de ser la distancia nadiral de los rayos igual a 45° ($\text{ctg } 45^\circ = 1$).

Vistas panorámicas. — En las vistas panorámicas se presentan muchos “ángulos muertos” que ocultan importantes detalles topográficos (valles encajonados, por ejemplo).

Para salvar este inconveniente del método panorámico se le combina a veces con el método nadiral.

16. Métodos de toma de vistas estereoscópicas o vistas apareadas.

En cuanto a la dirección de los ejes de toma de parejas de vistas estereoscópicas o vistas apareadas (las que deben ser restituidas por **pares**, no aisladamente), deben ser distinguidos dos métodos:

- a) Toma con ejes paralelos y recubrimiento estereoscópico;
- b) Toma con ejes convergentes.

17. Influencia de la capacidad resolvente de la emulsión de la placa o película (y de la capacidad de la lente objetivo de la cámara) sobre la visibilidad de los detalles en una vista aérea.

Empero, la visibilidad de los detalles de los objetos del terreno no depende sólo de la inclinación de los rayos visuales, sino también del poder resolvente de la emulsión de placa y de la bondad del objetivo de la cámara.

Según ya dijimos, ese poder resolvente de la emulsión de placas de vista aérea, tiene por expresión numérica la cantidad:

$$(12) \quad 0,05 \text{ mm hasta } 0,04 \text{ mm}$$

como **constante fotogramétrica** que, en unión con la distancia focal f de la cámara permiten calcular para cualquier alejamiento (altura) del objeto del paisaje la **magnitud lineal mínima visible**. Es decir, si es más pequeño el objeto que esa magnitud, ya no aparecerá más en el revelado del negativo (y no existirá para la restitución).

Siendo $f = 50 \text{ mm}$ la distancia focal de una cámara panorámica y 5 km el alejamiento de un objeto del paisaje, obtendremos para la magnitud lineal x que se busca la relación:

$$(13) \quad \frac{0,05}{f} = \frac{x}{5 \text{ km}} \quad x = 5000 \times \frac{0,05}{50} = \underline{5 \text{ metros}}$$

y con la constante $0,04 \text{ mm}$:

$$x = 5000 \times \frac{0,04}{50} = \underline{4 \text{ metros}}$$

Para una **cámara normal** con $f = 200 \text{ mm}$ y un alejamiento de objeto igual a 3 km :

$$(14) \quad x = 3\,000 \times \frac{0,05}{200} = \underline{0,75 \text{ metro}}$$

$$x = 3\,000 \times \frac{0,04}{200} = \underline{0,60 \text{ ''}}$$

Lo cual significa que:

Importantes detalles topográficos como caminos, alcantarillas, puentes, casas aisladas, etc., no pueden ser levantados aerofotogramétricamente, según se ilustra con las (13), mediante la cámara panorámica con distancia focal pequeña; la cámara normal, en cambio, con distancia focal $f = 20$ cm, los da, según (14) con toda la precisión requerida.

18. Superficies terrestres (correspondientes a vistas nadirales). Ejemplos numéricos calculados para cámaras tipos.

Por medio de las fórmulas (3) y (5), pág. 117, que expresan:

$$(15) \quad S = L^2 = \left(\frac{l}{f}\right)^2 \times h^2 \quad L = \left(\frac{l}{f}\right) \times h$$

quedó resuelta la cuestión.

Hemos vuelto a tratar el importante tema a fin de ilustrarlo con ejemplos numéricos, ampliando así la exposición del mismo.

El ángulo de campo visual α que muchas veces interesa, puede ser fácilmente calculado en base al lado l del formato y de la distancia focal f de la cámara:

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \frac{\frac{1}{2}l}{f}$$

Luego:

$$(16) \quad \alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{\frac{1}{2}l}{f}$$

Cuatro clases de cámara fotogramétrica.

Tipo I: Cámara normal:

Formato: 18×18 cm, distancia focal $f = 20$ cm.

Angulo visual de campo o ángulo de proyección α :

Según (16):

$$(I) \quad \alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{\frac{1}{2}l}{f} = 2 \operatorname{tg} \frac{9}{20} = 2 \operatorname{tg} 0,45 = \underline{48^\circ}$$

Tipo II: Cámara granangular:

Formato: 18×18 cm, distancia focal $f = 10$ cm.

$$(II) \quad \alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{9}{10} = 2 \operatorname{tg} 0,9 = \underline{84^\circ}$$

Tipo III: Cámara de gran formato:

$$30 \times 30 \text{ cm} \quad f = 50 \text{ cm}$$

$$(III) \quad \alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{15}{50} = 2 \operatorname{tg} 0,30 = \underline{34^\circ}$$

Tipo IV: Cámara panorámica:

$$27 \times 27 \text{ cm} \quad f = 5,3 \text{ cm}$$

$$(IV) \quad \alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{13,5}{5,3} = 2 \operatorname{tg} 2,55 = 136^\circ$$

La comparación de estos 4 tipos de cámaras aerofotogramétricas en lo que respecta al ángulo de proyección α de cada una, nos revela una laguna, es decir, la falta de un tipo que reúna la ventaja del tipo II (cámara granangular) con la del tipo III (cámara de formato grande).

Este tipo existe efectivamente. Lo designaremos por "tipo II bis" y lo denominaremos: "Cámara granangular de formato grande".

He aquí sus elementos:

formato: $30 \times 30 \text{ cm}$, distancia focal $f = 20 \text{ cm}$, siendo entonces el correspondiente ángulo α :

$$(II) \text{ bis} \quad \alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{15}{20} = 2 \operatorname{tg} 0,75 = \underline{74^\circ}$$

19. Superficies $S = L_2$, cubiertas por vistas nadirales (distancia nadiral = 0° aisladas, de cada una de las 5 cámaras típicas.

$$(15) \quad S_I = \left(\frac{L}{f_I} \right)^2 h^2 = \left(\frac{18}{20} \right)^2 h^2 = 0,81 h^2$$

$$(16) \quad S_{II} = \left(\frac{18}{10} \right)^2 h^2 = 3,24 h^2$$

$$(17) \quad S_{II \text{ bis}} = \left(\frac{30}{20} \right)^2 h^2 = 2,25 h^2$$

$$(18) \quad S_{III} = \left(\frac{30}{50} \right)^2 h^2 = 0,36 h^2$$

$$(19) \quad S_{IV} = \left(\frac{27}{5,3} \right)^2 h^2 = 26 h^2$$

Para cámaras aéreas de determinada procedencia, por ejemplo para tres cámaras de Wild, tendremos:

$$(20) \quad S_{\text{Wild } 1} = \left(\frac{120}{165} \right)^2 h^2 = 0,53 h^2$$

$$(21) \quad S_{\text{Wild } 2} = \left(\frac{18}{21} \right)^2 h^2 = 0,73 h^2$$

$$(22) \quad S_{\text{Wild } 3} = \left(\frac{18}{12} \right)^2 h^2 = 2,25 h^2$$

Para una altura de vuelo $h = 1$ km sobre el suelo,
las (15) - (22) darán:

$$\begin{array}{ll} S_I &= 0,81 \text{ km}^2 & S_{\text{Wild } 1} &= 0,53 \text{ km}^2 \\ S_{II} &= 3,24 \text{ ''} & S_{\text{Wild } 2} &= 0,73 \text{ ''} \\ S_{II \text{ bis}} &= 2,25 \text{ ''} & S_{\text{Wild } 3} &= 2,25 \text{ ''} \\ S_{III} &= 0,36 \text{ ''} & & \\ S_{IV} &= 26 \text{ ''} & & \end{array}$$

y para $h = 3,3$ km:

$$\begin{array}{ll} S_I &= 8,1 \text{ km}^2 & S_{\text{Wild } 1} &= 5,3 \text{ km}^2 \\ S_{II} &= 32,4 \text{ ''} & S_{\text{Wild } 2} &= 7,3 \text{ ''} \\ S_{II \text{ bis}} &= 22,5 \text{ ''} & S_{\text{Wild } 3} &= 22,5 \text{ ''} \\ S_{III} &= 3,6 \text{ ''} & & \\ S_{IV} &= 260 \text{ ''} & & \end{array}$$

y para la altura de vuelo máxima de $h = 6$ km, el aerograma obtenido con cámara granangular correspondería a un cuadrado en el terreno de

$$\begin{array}{l} (23) \quad S_{II} = 3,24 \times 36 = 116,6 \text{ km}^2 \\ \quad S_{\text{Wild } 3} = 2,25 \times 36 = 81,0 \text{ ''} \end{array}$$

20. Anchura de faja.

En lugar de obtener vistas aisladas, podemos tomar muchas vistas en orden sucesivo y en dirección rectilínea del avión. Este conjunto de trabajo fotogramétrico lleva la denominación de "faja"; en la misma se supone el lado **L** generalmente perpendicular a la dirección de vuelo, siendo por ello la llamada **anchura de faja**.

Según (3), pág. 117, sabemos que el lado **L** del cuadrilátero en el terreno tiene por expresión:

$$(24) \quad L = \frac{l}{f} \times h$$

Teniendo en cuenta los elementos básicos de los cuatro tipos de cámara aérea, obtendremos para las respectivas anchuras de faja **L** según (24) para $h = 1$ km:

$$\begin{array}{l} L_I = \frac{18}{20} = 0,9 \text{ km}; \quad L_{II} = \frac{18}{10} = 1,8 \text{ km} \\ L_{II \text{ bis}} = \frac{30}{20} = 1,5 \text{ km}, \quad L_{III} = \frac{30}{50} = 0,60 \text{ km} \end{array}$$

y para las tres cámaras de Wild:

$$\begin{array}{l} L_{\text{Wild } 1} = \frac{120}{165} = 0,73 \text{ km}; \quad L_{\text{Wild } 2} = \frac{18}{21} = 0,86 \text{ km} \\ L_{\text{Wild } 3} = \frac{18}{12} = 1,50 \text{ km} \end{array}$$

21. Vistas nadirales en serie; aclarando más el concepto de recubrimiento. Base b.

Son las **vistas nadirales** tomadas **en serie** las que desempeñan un papel preponderante en los trabajos de levantamiento aéreo.

Suponemos un avión en vuelo horizontal a una determinada altura, estando la cámara del mismo dispuesta en tal forma que un lado de la placa (película) es paralelo a la dirección de vuelo. En tales condiciones de navegación se supone tomada una vista vertical y en seguida una segunda.

Pueden entonces ocurrir los siguientes casos:

1º Que el camino recorrido por el avión entre los centros de proyección O_1 (y O_2 que designaremos por b) sea **menor** que la longitud L del lado del cuadrado en el terreno, es decir que:

$$(25) \quad O_1 O_2 < b$$

2º Que se verifique la igualdad:

$$(26) \quad b = L$$

3º Que ese recorrido sea **mayor**:

$$(27) \quad b > L$$

En el primer caso, que es el único que tiene importancia práctica, los sucesivos cuadrados L^2 se superponen parcialmente, produciendo el llamado **recubrimiento longitudinal**.

La magnitud de este recubrimiento longitudinal se suele expresar en un tanto por ciento y designar por $p\%$ de la longitud L .

La magnitud de recubrimiento dependerá de la clase de restitución a la que ha de someterse la faja de vistas levantada.

Para la distancia b entre dos vistas sucesivas de una faja, llamada su base, obtenidas mediante una cámara de toma en serie con un recubrimiento longitudinal de $p\%$, tendremos inmediatamente:

$$(28) \quad b = L \left(1 - \frac{p}{100} \right)$$

y, siendo según (2):

$$(29) \quad L = \frac{l}{E_1}$$

tendremos:

$$(30) \quad b = \frac{l}{E_1} \left(1 - \frac{p}{100} \right)$$

22. Finalidad del recubrimiento. Porcentaje de avance efectivo.

Aplicando el método de levantamiento más sencillo (método de enderezamiento o de rectificación), volando a una determinada altura (1 000 metros, por ejemplo), en línea recta y horizontal sobre terreno llano, tomando vistas nadirales con cámara en serie de distancia focal $f=21$ cm y formato

18 × 18 cm; se podrá ir simplemente agregando cuadrado a cuadrado, de $L = \frac{18}{21} \times 1 \text{ km} = 0,858 \text{ km}$ de lado, tantas veces cuantas vistas se hayan tomado para obtener la **fotocarta** de la zona o faja de terreno así levantada.

Pero en la práctica no será posible efectuar este vuelo en las condiciones perfectas (vuelo horizontal, eje de toma vertical, terreno llano) que hemos supuesto: Debido a las oscilaciones del avión, el eje de toma de la cámara no permanece en posición exactamente vertical (la placa o película no es exactamente horizontal), el terreno es sólo aproximadamente llano y horizontal, de todo lo cual resultan **lagunas** (vacíos) entre los sucesivos cuadrados del terreno y superposiciones de los mismos; y no habrá posibilidad de enderezar o rectificar esas vistas, puesto que los detalles del terreno correspondientes a esas lagunas escaparon en el momento de la toma de las vistas que produjeran esas lagunas.

El simple y eficaz **recurso** para corregir este grave **defecto** de las **vistas aéreas en serie** lo proporciona el **recubrimiento**, que consiste en acortar el camino $O_1 O_2$ recorrido por los centros de proyección O_1 y O_2 con respecto a la longitud L del cuadrilátero en el suelo; siendo entonces:

$$(31) \quad O_1 O_2 = b < L$$

más general:

$$O_n O_{n+1} = b_n < L$$

Este acortamiento de la longitud L que produce el **recubrimiento longitudinal** lo designamos por $p \%$, siendo entonces:

$$b = L - p \% L$$

$$(32) \quad b = L \left(1 - \frac{p}{100} \right)$$

La práctica ha enseñado que para la simple confección de la **fotocarta** se necesitaría un recubrimiento longitudinal de 30 %.

Claro está que con este recubrimiento longitudinal se **reducirá el avance**, el que de 100 % para

$$b = L$$

quedaría reducido a 70 %, cantidad que lleva la denominación de **avance efectivo**.

23. Recubrimiento estereoscópico. Relación de base.

Para que las vistas nadirales tomadas en serie puedan ser restituídas estereoscópicamente, las mismas deberán tener un recubrimiento de por lo menos 60 %, siendo entonces

el avance efectivo de 40 % de L .

Lo cual nos permite calcular para cada una de las cámaras anteriormente caracterizadas la correspondiente **relación de base** que designaremos por: γ

$$(33) \quad \text{Relación de base} \quad \gamma = \frac{b}{h} = \frac{\frac{40}{100} \times \frac{l}{f} \times h}{h} = \frac{40}{100} \times \frac{l}{f}$$

relación que es determinante para la **precisión** de la restitución estereoscópica, lo que ya destacamos en la Estereofotogrametría terrestre:

Según (33) tendremos entonces:

$$\gamma_I \text{ (cámara normal)} = \frac{40}{100} \times \frac{18}{20} = 0,36 = 1:2,8 \sim \frac{1}{3}$$

$$\gamma_{II} \text{ (cámara granangular)} = \frac{40}{100} \times \frac{18}{10} = 0,72 = 1:1,4 \sim \frac{3}{4}$$

$$\gamma_{I \text{ bis}} \quad \text{idem} = \frac{40}{100} \times \frac{30}{20} = 0,6 = 1:1,7 = \frac{2}{3}$$

$$\gamma_{Willd} \quad \text{idem} = \frac{40}{100} \times \frac{18}{20} = 0,6 = \frac{3}{5}$$

$$\gamma_{III} \text{ (cámara de formato grande)} = \frac{40}{100} \times \frac{30}{50} = 0,24 = 1:4,2 \sim \frac{1}{4}$$

24. Lo que enseña la práctica respecto al recubrimiento longitudinal en la faja.

La experiencia enseña la conveniencia de tomar las vistas nadirales en serie, en la faja, siempre con el recubrimiento longitudinal de 60 %, para poder así emplear luego indiferentemente la restitución estereoscópica o simplemente el enderezamiento o método de rectificación; aunque este modo de proceder signifique mayor gasto de tiempo (mayor tiempo de vuelo y mayor tiempo de restitución) y mayor gasto de placas o películas.

Dos ejemplos numéricos ilustrativos de la aplicación práctica de la fórmula (30).

En el supuesto de tratarse de una cámara tomavistas en serie, con distancia focal $f = 20$ cm, formato 18×18 cm (formato utilizable 17×17 cm —ver pág. 128 y un recubrimiento estereoscópico de $p = 60$ % (o sea, un avance efectivo de $1 - \frac{p}{100} = 40$ %), se pregunta:

Ejemplo 1: Para la confección de una carta a escala $E_i = 1:5\,000$, conviene volar a una altura h de 1 600 metros, obteniéndose así con $f = 20$ cm la escala de imagen:

$$E_i = \frac{f}{h} = \frac{1}{5 \times 1600} = 1:8\,000 \text{ [ver (45), pág. 143]}$$

¿Cuál es entonces la correspondiente longitud de la base $O_1 O_2 = b$?

$$b = \frac{l}{E_i} \left(1 - \frac{p}{100} \right) = \frac{0,17}{1:8\,000} \times \frac{40}{100} = 1\,360 \times \frac{40}{100} = \underline{\underline{544 \text{ m}}}$$

Ejemplo 2. ¿Cuál sería, para la altura de vuelo $h = 4\,000$ m, conveniente para la confección de la carta a escala $1:25\,000$, esa longitud de base b ?

En este caso, tenemos para la escala E_i :

$$E_i = \frac{1}{5 \times 4\,000} = \frac{1}{20\,000}$$

Luego:

$$(34) \quad b = \frac{0,17}{1:20\,000} \times \frac{40}{100} = 3\,400 \frac{40}{100} = \underline{1\,360 \text{ m}}$$

25. Avance longitudinal expresado en tiempo.

Siendo v la velocidad del avión, tendremos para el avance Δt (expresado en tiempo) correspondiente al avance longitudinal b (expresado en metros).

$$(35) \quad \Delta t \times v = b$$

teniendo en cuenta la (30) obtendremos:

$$(36) \quad \Delta t = \frac{b}{v} = \frac{l}{E_i} \left(1 - \frac{p}{100} \right)$$

26. Recubrimiento transversal (lateral). Anchura efectiva de la faja.

Cuando las superficies a levantar son extensas en todas las direcciones, se las cubrirá con una serie de fajas rectas, paralelas y adyacentes (ver fig. 7 pág. 42).

En el levantamiento de estas sucesivas fajas adyacentes se empleará el llamado **recubrimiento transversal (lateral)** para su ajuste, evitándose así la formación de lagunas entre ellas.

Adóptase generalmente para el **recubrimiento lateral**, que se designa por q , el porcentaje del 30 %.

Tendremos entonces para la **anchura efectiva de faja**, a la que designaremos por a , por ejemplo, para la cámara normal de **Wild** ($f = 21$ y $l = 20$ cm):

De donde, teniendo en cuenta la (35):

$$(37) \quad a = 70\% \text{ de } L = 70\% \text{ de } \frac{l}{f} \times h$$

$$a = \frac{70}{100} \times \frac{18}{21} h = 0,6 h.$$

Introduciendo en la (37) el porcentaje de q %, tendremos:

$$(38) \quad a = \frac{l}{f} \left(1 - \frac{q}{100} \right) = L \left(1 - \frac{q}{100} \right)$$

y con considerar la (34):

$$(39) \quad a = \frac{l}{E_i} \left(1 - \frac{q}{100} \right)$$

La cámara fotográfica destinada para el levantamiento fotogramétrico de paisajes, desde el avión, ha ido tomando en su desarrollo, formas muy características, impuestas por las exigencias inherentes a esos levantamientos.

III. - Cámaras aéreas fotogramétricas.

La gran riqueza de aparatos de toma de vistas aéreas, la debemos principalmente a O. von Gruber, el que, durante el período 1930-42 en que tuvo la di-

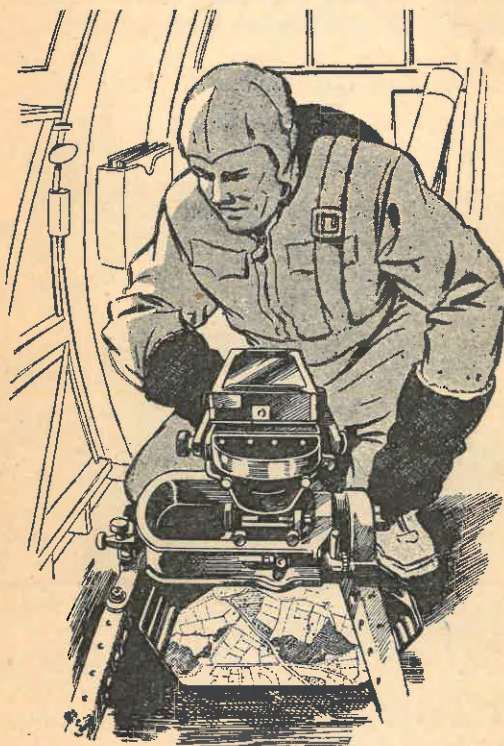


Fig. 1.

Observador con una cámara aérea de Wild.

rección de la **Fotogrametría** en la Casa Zeiss, realizó una evolución de la cámara, desde la cámara tomavistas en serie accionada a mano, hasta la cámara completamente automática, en sus más diversas formas, la cámara au-

tomática simple, la cámara doble, la cuádruple, la cámara acoplada convergente, etc.

Y por haber sido en éste como en otros casos las experiencias prácticas la base de sus creaciones, resulta que se conservaron las mismas formas en el curso de los últimos años, sin modificaciones esenciales.

El empleo moderno en gran escala de los equipos de toma con **objetivos granangulares** introducidos por von **Gruber**, para extensos trabajos de reconocimientos militares y tantas otras aplicaciones de carácter civil, es un fruto directo de esas fecundas actividades de von **Gruber**.

Divídense las cámaras aéreas en tres grandes categorías:

1. Cámaras aéreas de mano.
2. " " tomavistas en serie.
3. " " acopladas.

A fin de poder realizar en las cámaras de la segunda categoría para todas las vistas tomadas en serie exactamente el mismo intervalo, previamente fijado, se halla construido en las mismas un **registrador** especial, el que me-

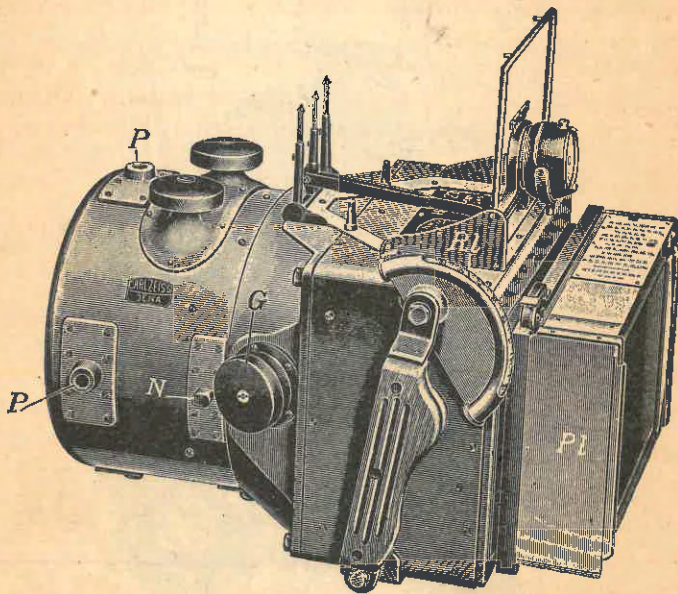


Fig. 2. — Cámara HMK C/4 para 6 placas

diante impulsos eléctricos registra los intervalos de tiempo de exposición de las vistas, aun con cambio de velocidad o con cambio de altura de vuelo.

26. Cámara de mano Wild (fig. 1).

Formato: 13×13 cm, distancia focal $f = 165$ mm.

El uso de esta cámara de mano de muy fácil y sencillo manejo queda limitado a aquellos casos en que sólo un reducido número de vistas deben ser

tomadas, lo que no justificaría el montaje de una costosa y pesada cámara tomavista en serie en el avión.

A fin de orientar al lector en el gran conjunto de cámaras aéreas que actualmente existen daremos a continuación los principales elementos descriptivos y constructivos de algunos modelos de cámaras aéreas de Zeiss muy difundidos en todos los países del mundo.

Al proceder así dejaremos al lector preparado para comprender cualquier modelo que caiga en sus manos y capacitado para juzgar sobre su posible rendimiento.

27. Cámara fotogramétrica aérea H M K C/4 Zeiss, para vistas de 13×18 cm, de mano con placas (ver fig. 2) o con suspensión y películas (fig. 3).

Las partes principales del modelo de mano (con placas) son:

Objetivo con distancia focal $f = 21$ cm, prácticamente libre de distorsión, abertura útil 1:4,5 **obturador** con los 3 tiempos de exposición: $1/70$, $1/120$ y $1/150$ de segundo, dos **filtros amarillos** para colocar delante del objetivo, marco-soporte con señales ópticas marcadoras de los ejes del mismo y otra señal de numeración de vista.

Marco visor y nivel para indicar las inclinaciones de la cámara.

Sistema de suspensión para series de vistas verticales u oblicuas.

La cámara se une al cardán mediante el soporte del objetivo, de tal modo

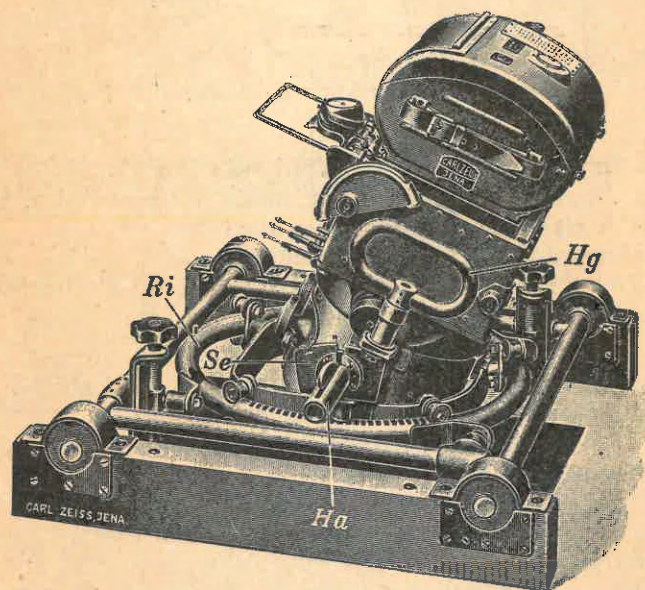


Fig. 3. — Cámara aérea H M K C/4 con suspensión y para 120 películas.

que, según se desee, pueden hallarse los lados largos o los lados cortos en la dirección del vuelo. El eje óptico del objetivo puede hallarse dirigido hacia el Nadir o formar con esta dirección ángulos hasta de 20° .

28. Cámara aerofotogramétrica Zeiss R M K C/3 para tomar automáticamente vistas verticales.

Las vistas que se pueden obtener con esta cámara permiten la aplicación del método de **poligonación aéreo** (ver pág. 189) con ayuda del **Triangulador radial** (ver fig. 2, pág. 184), la confección de la **fotocarta** mediante el **enderizador o rectificador** (ver fig. 2, pág. 153) o, finalmente, de **planos topográficos**.

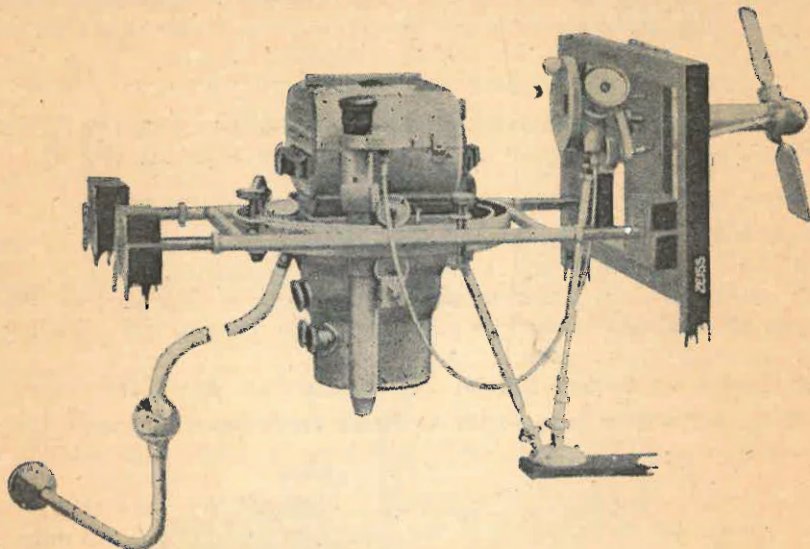


Fig. 4. — Cámara aerofotogramétrica Zeiss R M K C/4 para vistas en serie.

cos con curvas de nivel, con el **Estereoplanígrafo** (ver fig. 1, pág. 161) u otro modelo de los grandes aparatos de restitución estereoscópica.

Sus principales elementos constructivos son:

Cámara con suspensión y presión neumática.

Objetivo con $f = 21$ cm y abertura útil de $1:4,5$, es prácticamente libre de distorsión; tiene tres tiempos de exposición, a saber:

$1/120$, $1/150$ y $1/200$ de segundo

dos filtros amarillos que pueden ser colocados delante del objetivo; un marco soporte con las cuatro señales indicadoras de los ejes.

En la vista se registra automáticamente el número de orden de la misma y la graduación de un nivel esférico.

Un dispositivo neumático asegura, en el momento de la toma, el exacto contacto de la cara dorsal de la película contra una placa.

La suspensión es cardánica con una disposición para llegar a un límite de 75° de inclinación y un **ángulo de deriva** de 30° (ver N° 39, pág. 142).

Anteojo visor y regulación del recubrimiento.

El anteojo visor tiene un campo visual de 65° y permite al observador comprobar el recubrimiento de las imágenes sucesivas, la velocidad del avión con respecto al terreno, la dirección del eje de levantamiento con respecto a la vertical, facilitando por eso eficazmente las correspondientes correcciones.

Mecanismo regulable movido por una hélice.

La carga y descarga del obturador, el cambio de película, el movimiento del contador de velocidades, la regulación del recubrimiento, todo ello se logra realizar mediante un mecanismo especial regulable, accionado por una hélice.

Esta hélice está montada en la pared exterior de la carlinga y es movida por la corriente producida por el vuelo del avión. Actuando sobre las palas de la hélice, se podrá regular el número de vueltas desde 1 000 hasta 6 000 vueltas por minuto, pudiendo así obtener vistas con intervalos de tiempo que varían entre 3 y 75 segundos.

Para vistas aisladas se accionará el aparato a mano.

Almacén de películas.

Puede llevar la cámara una película de 55 metros de longitud, 19 cm de anchura y 0,15 mm de espesor.

Con esta película se pueden obtener 285 vistas.

El intervalo de la película entre cada dos vistas consecutivas queda marcado en forma perceptible al tacto a fin de facilitar el recorte que precede al revelado de la misma.

Peso total del equipo aerofotogramétrico.

El peso total de la cámara con su aparato de suspensión, el almacén con 55 m de película, el anteojo visor, el mecanismo con hélice y accesorios, es de sólo 34 kg.

El método de levantamiento con cámaras acopladas y ejes convergentes es considerado hoy un recurso de gran rendimiento, siendo por eso muy apreciados los equipos que lo permiten emplear.

29. Cámara aerofotogramétrica doble $2 \times \text{R M K C}/2$ de Zeiss para toma de vistas automática en serie (ver fig. 5).

Principales características.

Formato 12×12 cm, distancia focal $f = 13,5$ cm,

Cámara doble con dispositivo neumático y suspensión.

Dos objetivos con $f = 13,5$ cm y abertura 1: 4,5.

Obturadores centrales con los tiempos de exposición:

1/75, 1/150 y 1/200 de segundo

rigurosamente simultáneos.

Regulador del recubrimiento de cada par de vistas consecutivas. Gradúa automáticamente la velocidad del movimiento de la película según la altura y la velocidad de vuelo del avión; todo ello mediante un motor eléctrico.

Motor eléctrico.

Este motor se encarga también del arrollamiento de la película y del funcionamiento de los obturadores; la corriente eléctrica la toma de un generador montado sobre el avión.

Almacén de películas. Puede llevar hasta para 460 vistas.

El equipo $2 \times \text{R M K C}/2$, permite el empleo de uno de los dos siguientes procedimientos de trabajo:

1) Montaje de las cámaras en el avión transversalmente a la dirección de vuelo: Se abarcará así una faja de terreno comprendido dentro de un ángulo de 82° por medio de vistas con 30 hasta 60 % de recubrimiento.

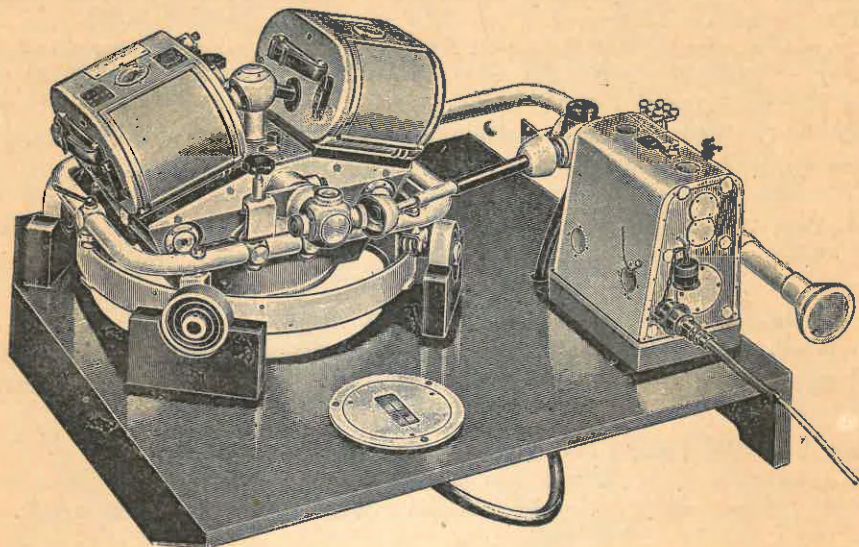


Fig. 5. — Cámara aerofotogramétrica doble $2 \times \text{RMKC}/2$ de Zeiss para toma de vistas automáticas en series oblicuas.

En caso de ser $p = 60\%$ (avance 40%), resultaría para la relación de base γ :

$$\gamma = \frac{40}{100} \times \frac{12}{13,5} = 0,36 \sim \frac{1}{3}$$

2) Móntanse las dos cámaras en tal forma en el avión que el plano de los 2 ejes ópticos sea paralelo a la dirección de vuelo.

Obtiénese así automáticamente vistas convergentes con un recubrimiento del 60 % entre las sucesivas parejas; siendo entonces el ángulo de convergencia igual a 36° y la relación entre base y altura de vuelo γ :

$$\gamma = 36^\circ = \frac{36}{57,3} \sim \frac{2}{3} \text{ (ver fig. 5).}$$

El procedimiento 1) nos da una faja de doble anchura, mientras que el procedimiento (con $\gamma = 2/3$) nos proporciona una altimetría de precisión mayor permitiendo por ello elegir una altura de vuelo mayor, lo que redunda en una marcada economía en el trabajo de levantamiento.

30. Cámara aerofotogramétrica cuádruple $4 \times \text{RMKC}/1$ de Zeiss para la toma automática de vistas en serie, oblicuas y convergentes.

Formato 12×12 cm, distancia focal $f = 13,5$ cm.

Las características de esta cámara son idénticas a las de la cámara doble $2 \times \text{RMKC}/2$.

Esta cámara permite abarcar una faja de terreno comprendido en el ángulo de 83° con un recubrimiento del 60 %, lo que da una relación de base γ .

$$\gamma \sim \frac{2}{3}$$

La toma de vista realizada con esta cámara cuádruple reúne las ventajas de dos cámaras dobles.

La gran anchura de la faja aumenta considerablemente el rendimiento del vuelo.

La convergencia de las vistas permite obtener una altimetría más precisa, la que, a su vez, permite volar a mayor altura, lo cual también redunda en un rendimiento mayor.

31. Cámara aerofotogramétrica, completamente automática, RC 7 de la Firma Wild.

En el año 1948 la firma Wild hizo conocer un nuevo modelo de cámara aérea, de precisión, destinado para levantamientos aerofotogramétricos a gran escala. Está construída la cámara para la utilización de placas, de 14×14 cm, las cuales vienen alojadas en dos almacenes, de 40 placas

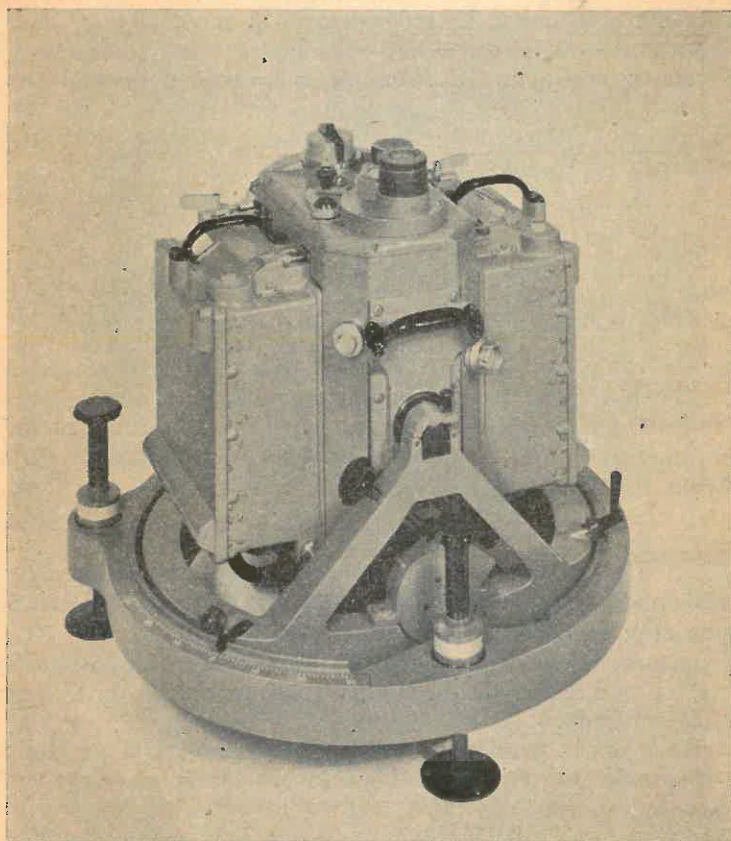


Fig. 6. — Cámara aerofotogramétrica, completamente automática RC 7, de la Firma Wild (Heerbrugg, Suiza)

cada uno. Durante las posibles 80 exposiciones cada placa realiza un movimiento de desplazamiento automático a través de ambos almacenes, siendo presionada cada vez, durante el momento de la toma, contra el marco adaptador. El objetivo, "Aviotar", 1:4,2, con $f=17$ cm, da un ángulo visual de 45° .

Cabe ser destacado, finalmente, que para levantamientos a gran escala se logró construir un nuevo tipo de cámara, en el que se realiza el siguiente **principio constructivo**: A fin de eliminar la falta de nitidez provocada por la gran velocidad relativa del avión cuando éste vuela a reducida altura, se ha diseñado un nuevo aparato de toma de vistas aerofotogramétricas, en el que, por intermedio de un movimiento sincronizado del objetivo, se logra que el punto imagen de un punto objeto del terreno permanece inmóvil en la placa (película) en el momento de la exposición; es decir: que el **punto del terreno, el centro de proyección del objetivo y el punto imagen la placa se encuentran sobre una recta.**

Aparatos auxiliares para la toma de vistas aéreas.

Las exigencias de la **orientación absoluta** (externa) de las vistas aéreas para su correcta restitución, hacen necesario el conocimiento de las **diferencias de altura** entre las sucesivas estaciones aéreas, así como el conocimiento de la posición en el espacio del plano de imagen en el momento de toma de la vista.

A fin de mejorar el cumplimiento de esta exigencia se han introducido en la Fotogrametría aérea los dos **aparatos auxiliares**:

Estatóscopo y
Cámara de horizonte

Cámara de horizonte.

Esta cámara, dotada de objetivos especiales, tiene funcionamiento sincrónico con el de la cámara tomavista del terreno. Esta cámara auxiliar proporciona todos los elementos necesarios para el cálculo de las inclinaciones del plano de imagen, del **ángulo de inclinación longitudinal y del ángulo de inclinación transversal.**

32. Estatóscopo de Väisälä.

El estatóscopo ideado por el finlandés Väisälä es un **barómetro diferencial**, un altímetro muy sensible, de **líquido**.

Consiste en un recipiente de vidrio, cerrado, que está en comunicación con el aire exterior por medio de un tubo capilar en forma de **U** lleno a mitad de un líquido colorado.

Toda variación en la presión del aire exterior motivada por un cambio en la altura de vuelo del avión, modifica la altura de la columna de líquido del tubo.

Las dimensiones del tubo capilar son tales que **variaciones de un metro** de altura pueden ser leídas con toda claridad.

Montado este instrumento como aparato auxiliar de navegación, sobre el

tablero de instrumentos, el piloto podrá mantener la altura de vuelo con toda la precisión exigible.

(Un buen piloto fotogrametrista puede mantener, en un corto recorrido, una determinada altura con la aproximación de 10 metros).

Si el aparato es **registrador** (ver fig. 6), se obtendrá sobre una película las imágenes de las distintas alturas de columna de líquido, de las cuales se podrá deducir fácilmente las correspondientes diferencias de altura.

En cambio, E. **Santoni** utilizó una idea emitida ya en 1916 por S. **Finsterwalder**, la desarrolló, aplicándola en el **Periscopio solar**, que lleva su nombre

Se obtiene con este aparato fijado a la cámara, simultáneamente con las vistas del terreno, las fotografías del disco solar, de las indicaciones de una brújula giroscópica, de una brújula magnética, de las indicaciones de un barómetro-aneroide y de un reloj, todo ello sobre una cinta de película.

Los resultados de la medición de las imágenes del Sol, obtenidas mediante un goniómetro especial, conjuntamente con las indicaciones registradas por las dos brújulas, las que se controlan entre sí, nos proporcionan los elementos que nos permiten la determinación de las inclinaciones de las vistas, longitudinales y transversales, así como las orientaciones de las mismas.

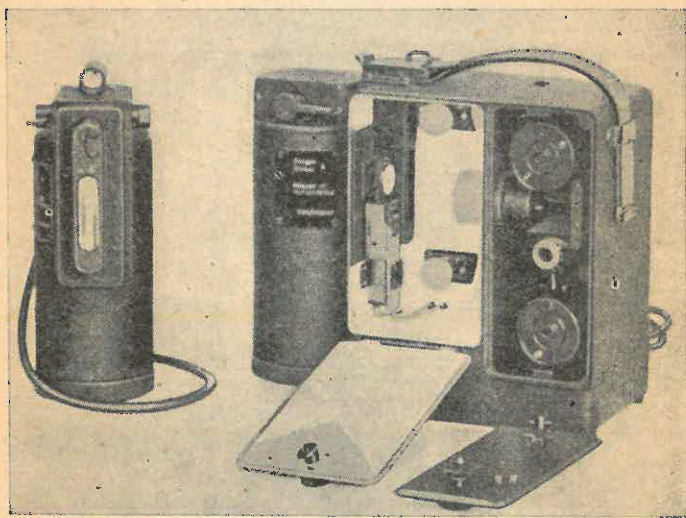


Fig. 7. — Estatóscoo registrador de Wild según Väisälä.

Promisoria mirada al porvenir.

Al lado de la evolución instrumental para la creación de aparatos auxiliares (estatóscoo, cámara de horizonte, periscopio solar) que tiene por objetivo la determinación de la posición de la cámara en el momento de la toma, se iniciaron en los últimos años, bajo el impulso de los enormes progresos realizados en la Aeronáutica y técnica instrumental, nuevos trabajos con creciente energía, con una finalidad de gran trascendencia.

Trátase de realizar un antiguo sueño, de evitar que el eje de toma de la cámara se desvíe de una dirección deseada, o sea, de "estabilizar" la dirección de la cámara con respecto a la vertical.

Algunos resultados parciales ya obtenidos en la difícil solución de ese gran problema, permiten prever un halagüeño éxito final.

La introducción general de tan perfeccionados recursos de navegación y orientación, para la cual la Fotogrametría exigiría una precisión de pocos minutos de arco (aún no realizable), transformaría por completo toda la técnica de la restitución de vistas aéreas apareadas, reduciéndola al sencillo caso normal de la Estereofotogrametría.

IV. - Avión fotogramétrico (equipo instrumental y personal).

33. Principales características y equipo instrumental de un avión fotogramétrico.

En los primeros tiempos de la Fotogrametría aérea, se empleaban

globos cautivos,
globos libres y
cometas

para elevar la cámara fotográfica a las alturas.

En la actualidad se usa casi exclusivamente el **avión**.

El avión aerofotogramétrico debe responder a las siguientes exigencias y condiciones instrumentales:

- a) Poder de ascensión hasta 20 000 pies;
- b) Velocidad de ascensión: 15 000 pies en 30 minutos;
- c) Velocidad de vuelo de trabajo: 150 km por hora;
- d) Cabina suficientemente amplia como para poder instalar una pequeña cámara oscura;
- e) Buena estabilidad;
- f) Ventanillas con cierre en el suelo y los costados del avión;
- g) El fuselaje y el tren de aterrizaje del avión no deben molestar la visión en la toma de vistas verticales u oblicuas;
- h) Gran radio de acción, para 5 horas de trabajo, por lo menos;
- i) Vibración reducida al mínimo posible;
- j) Buena comunicación por teléfono o señales entre el personal de la tripulación.

No se construyen generalmente aviones especiales para Fotogrametría aérea, sino que se adaptan buenos modelos, como el **Junker W 34**, a ese fin.

34. Aviones lentos, helicópteros.

Por lo visto anteriormente sabemos que las causas que obligan a volar a una cierta altura mínima, para no rebajar la nitidez de la vista, son la velocidad del avión, de 150 km/h y la reducida capacidad resolvente (de 0,05 mm) de la emulsión de la película.

La reducción de esa velocidad de 150 km/h a tan sólo 50 km/h, que se logró realizar en los aviones lentos, llamados **helicópteros**, resultó ser un nuevo progreso para la Fotogrametría aérea de precisión.

35. Personal de la tripulación.

El personal de la tripulación de un avión fotogramétrico se compone del piloto y del observador fotógrafo; a veces colabora una tercera persona.

Es al observador que incumbe la tarea de dirigir la navegación y de corregir cualquier error que notara en el funcionamiento de la cámara.

V. - Navegación y plano de vuelo.

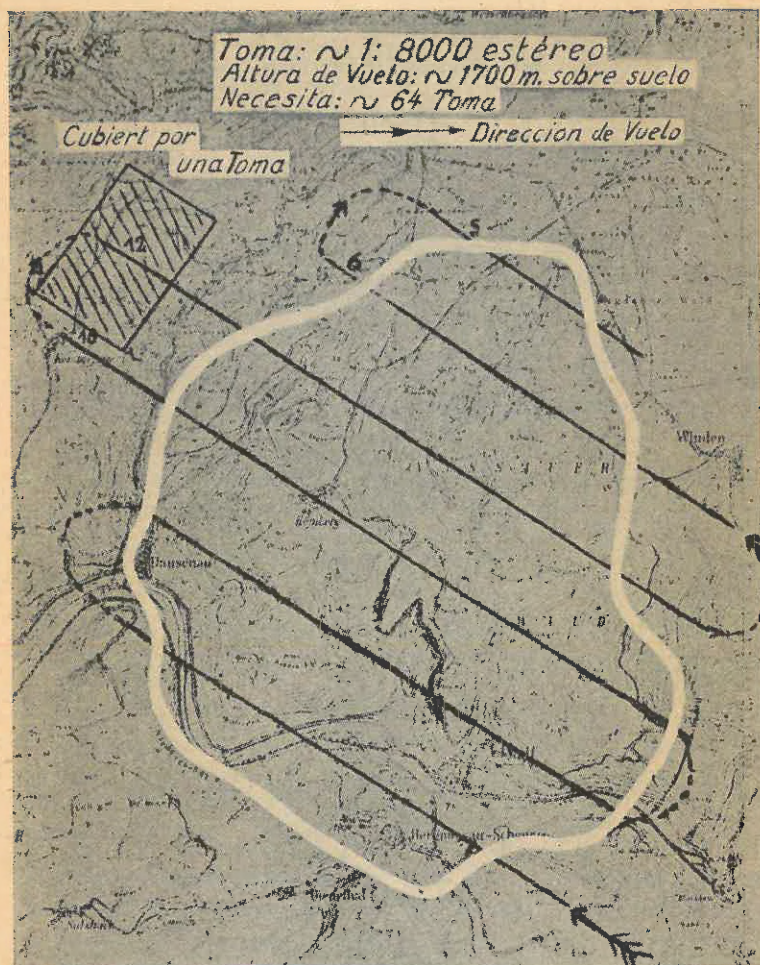


Fig. 8. — Plano de vuelo dibujado sobre carta pre-existente.

36. Instrumentos de navegación aérea general.

El avión está dotado de los instrumentos destinados para la medición de
velocidades,
rumbos (brújulas) y
altímetros (barómetros).

También en el avión aerofotogramétrico se utilizan estos instrumentos de navegación, principalmente la brújula y el altímetro.

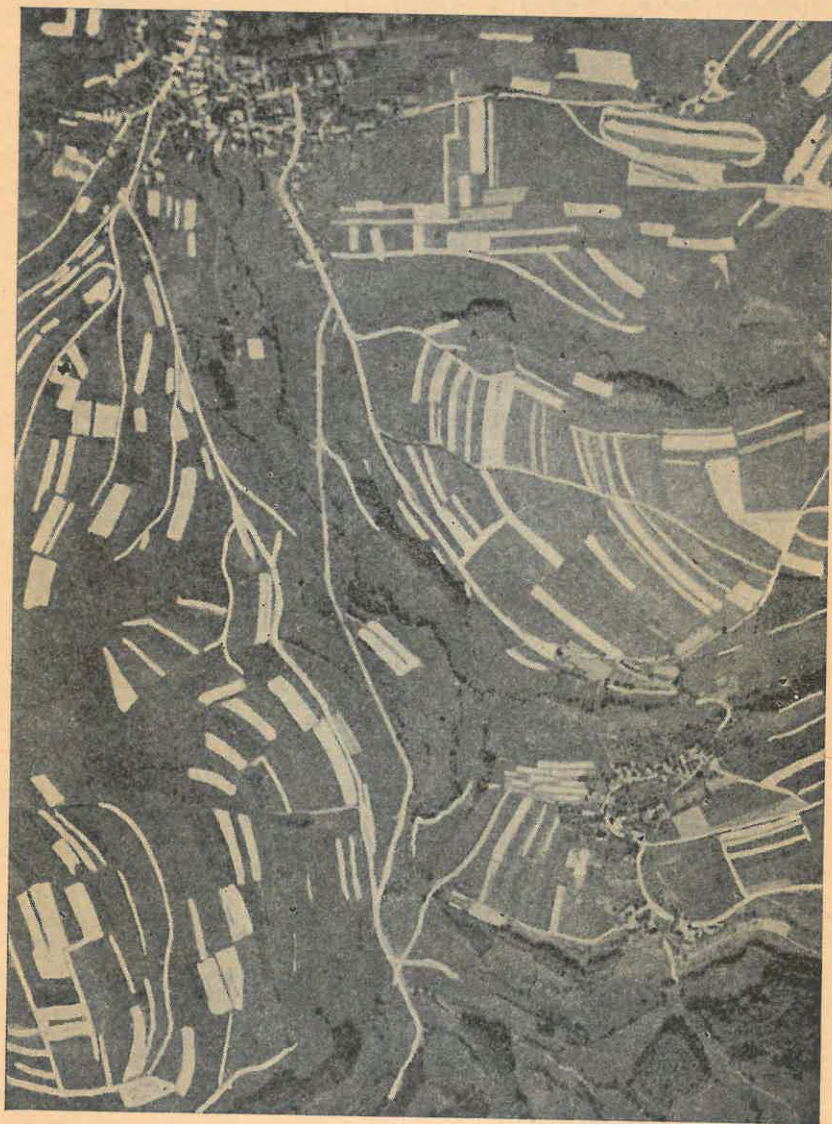


Fig. 9.— Parte de un aerograma de vista vertical tomada a la altura de vuelo (sobre el terreno) de 3 100 metros, con distancia focal $f = 20$ cm, es decir con escala de imagen $E_1 = 1:15\,500$

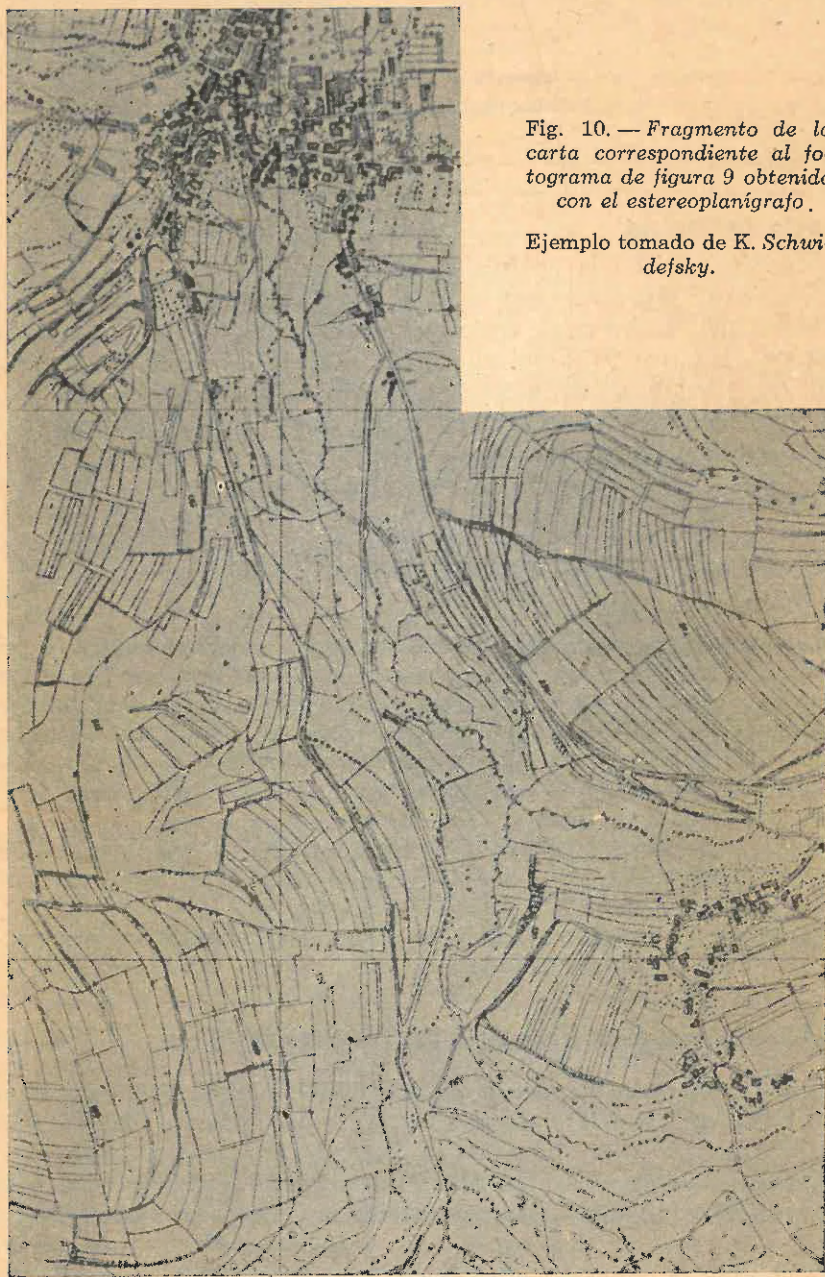


Fig. 10. — Fragmento de la carta correspondiente al fotograma de figura 9 obtenido con el estereoplanógrafo.

Ejemplo tomado de K. Schwidetsky.

37. Instrumentos de navegación aérea auxiliares usados en Fotogrametría.

Usanse en la navegación aerofotogramétrica, los siguientes instrumentos auxiliares:

Estatóscopo
Anteojo de derrota y el
Buscador de faja.

El **estatóscopo** anteriormente descrito permite medir las diferencias de altura entre sucesivas estaciones aéreas con la **precisión de 1 metro**.

Anteojo de derrota.

La precisión que da la **brújula común** no es suficiente para responder a las exigencias de la Fotogrametría aérea. Para obtener la necesaria precisión y seguridad del rumbo en el vuelo se ha introducido el llamado **anteojo de derrota**, con gran campo visual no sólo en el sentido horizontal sino también **nadiral**, que permite elegir, a fin de responder a esa finalidad, lejanos puntos de referencia y asegurar si se navega o **no** por la vertical de determinados puntos prefijados.

Buscador de faja.

La posición de la faja adyacente a la que se está sobrevolando, puede determinarse por medio del **buscador de faja**.

38. Importancia práctica del material cartográfico preexistente.

En casi todos los países de la Tierra existen cartas basadas en mediciones, más o menos incompletas y "envejecidas".

Las crecientes exigencias técnicas mundiales hacen que resulte cada día más urgente la necesidad de modernizar ese material existente mediante operaciones adecuadas.

En estos trabajos de renovación, en los que tiene un papel preponderante la Fotogrametría aérea, debe ser utilizado siempre el material cartográfico preexistente (ver fig. 8).

En zonas completamente carentes de cartas, los levantamientos aéreos tropiezan con muy serias dificultades.

39. Acción del viento: deriva, ángulo de deriva.

Cuando la dirección del viento no coincide con la dirección del avión se origina una desviación lateral de este último que lleva la denominación de **deriva**.

A fin de poder mantener en este caso un determinado rumbo de vuelo previamente elegido (como para sobrevolar una faja), es necesario girar el eje longitudinal del avión contra la dirección del viento en un cierto ángulo, llamado **ángulo de deriva α** , que puede ser determinado gráficamente, por el cálculo o mecánicamente por el mismo avión.

El ángulo de deriva varía con la variación de la velocidad y dirección del viento.

40. Dirección de la faja de vuelo.

La **dirección de la faja única** que se compone de una serie simple de cuadráteros parcialmente recubiertos, es la misma que la de la lonja de terreno que con ella se levanta.

Si el terreno se extiende igualmente en todas las direcciones, se dispondrá la dirección de fajas en concordancia con otros motivos, la más favorable iluminación, la dirección del viento reinante durante el día de trabajo, etc.

41. Cantidad de vistas necesarias para un determinado vuelo proyectado. Concepto de superficie neta de aerofotograma.

La distancia entre las líneas de vuelo paralelas es igual a la cantidad a calculada en ecuación (39), en la que se tuvo en cuenta el recubrimiento transversal de q %.

La superficie neta de cada fotograma se deduce entonces fácilmente en base al formato de vista y los correspondientes recubrimientos, longitudinal y transversal.

El número total de vistas necesarias para el levantamiento aéreo de una determinada superficie de terreno se obtiene entonces con dividir el área de esa superficie por la superficie neta de cada vista.

42. Plano de vuelo.

Las líneas de vuelo dibujadas sobre un trozo de la carta de la zona con el rumbo elegido, conjuntamente con los datos de vuelo que en el mismo se consignan (ver fig. 8), han recibido la denominación de **plano de vuelo**.

Limitándonos al caso de vistas nadirales, el más frecuente en la práctica, podemos decir:

Llegado el avión a la zona de levantamiento, el observador deberá trasladar, por así decirlo, esas líneas de vuelo al terreno visible debajo de él.

Al **piloto** del avión fotogramétrico le incumbe la tarea de volar verticalmente, a la altura prescrita, sobre esas líneas de vuelo. Para el **observador** el plano de vuelo deberá contener, además, los siguientes datos:

La altura de vuelo, la escala aproximada de imagen, la superficie de un fotograma (vista), intervalo de las tomas de vistas, cantidad de vistas, etc.

43. Escala de imagen y su estrecha vinculación con la economía de trabajo.

Limitándonos también en este punto al caso de vistas verticales, podemos decir que la economía de un trabajo aerofotogramétrico depende ante todo, según ya destacamos anteriormente, de la magnitud de la superficie terrestre abarcada por una vista aérea, o sea, de la escala de imagen E_i :

$$E_i = \frac{f}{h}$$

que se haya elegido; dependiendo ésta prácticamente sólo de la altura de vuelo h , puesto que la distancia focal f , para un mismo operador que no posee más que una cámara, es una **constante**.

En este orden de ideas cabe ser destacado nuevamente, de un modo general:

Escalas de imagen pequeñas son económicamente más ventajosas que las escalas de imagen grandes, tanto en lo que se refiere a los gastos de levantamiento (se gastan menos películas), como en lo que respecta a los trabajos de gabinete (menos tiempo gastado en la restitución).

Pero no hay que olvidar el inconveniente de la escala pequeña de las vistas aéreas, tomadas a grandes alturas: **Se reduce la precisión**; ciertos detalles del paisaje no aparecen en el revelado de las películas por su pequeñez y el reducido poder resolvente de la emulsión.

44. Relación entre la escala de imagen de la vista aérea y la escala de la carta obtenida en base a aquella.

Las experiencias hechas en los países cartográficamente muy adelantados aconsejan para la relación entre la escala de imagen E_i y la correspondiente escala E_c de la carta dibujada, los siguientes valores:

	Escala de la carta E_c	Escala de la imagen E_i	Relación $E_c : E_i$
	1: 1 000	1: 3 500	3,5
	1: 2 000	1: 5 000	2,0
	1: 5 000	1: 8 000	1,6
(40)	1: 10 000	1: 12 000	1,2
	1: 25 000	1: 20 000	0,8
	1: 50 000	1: 30 000	0,6

45. Ejemplo práctico ilustrativo de las relaciones (40); (ver págs. 140 y 141), sacado de: K. Schwedfsky: Fotogrametría terrestre y aérea.

Otro ejemplo: Un fotoplano a la escala 1:10 000 puede ser obtenido con vistas verticales a la escala de imagen $E_i = 1:20 000$.

Capítulo II

Restitución

1. Recapitulación sobre condiciones de visión estereoscópica.

Recordamos que la visión binocular (estereoscópica) a ojo “desnudo” (sin armar), que nos facilita la identificación de puntos objetos, se realiza por la intersección de rayos visuales conjugados, dos a dos.

Esta misma condición de visión estereoscópica existe también cuando un objeto del espacio debe ser observado plásticamente mediante las **dos semi-imágenes de un estereograma**, por medio de un instrumento binocular, por ejemplo un **estereoscopio de reflexión** (ver fig. 1, pág. 146).

Sabemos también que esos planos en que se realiza la intersección de rayos visuales conjugados se llaman **planos nucleares** (ver fig. 3, pág. 67); y que las líneas de intersección de estos planos nucleares con los planos de imagen son los **rayos nucleares**.

Y, finalmente, sabemos también que: Para facilitar la visión estereoscópica de un objeto del espacio, sin esforzar la vista, es necesario que se verifiquen las siguientes condiciones:

1) Que los **rayos nucleares homólogos** parezcan ser prolongaciones entre sí, los de la semi-vista izquierda prolongaciones de sus homólogos de la semi-vista derecha, y

2) Que los intervalos entre sucesivos rayos nucleares de la semi-vista izquierda sean iguales a los correspondientes intervalos de la semi-vista derecha.

2. Resumen sobre la marca estereoscópica móvil.

La **medición estereoscópica** de un objeto del espacio fué hecho posible a raíz del desdoblamiento de una marca-índice en dos semi-imágenes homólogas, destinadas cada una a una de las semi-vistas del estereograma del objeto.

La fusión de las dos semi-imágenes obtenida con visión binocular, engendra en el cerebro del observador la **sensación de relieve** del objeto del espacio (su **modelo estéreo** o **modelo óptico**). Obsérvase estereoscópicamente también la marca-índice, la que planea libremente en el espacio y puede ser colocada sobre cualquier punto de detalle del objeto o línea de esqueleto que se trate de levantar.

La realización de la medición con ayuda de la marca-índice móvil, puede ser efectuada según una de las dos siguientes maneras:

1) Las semi-imágenes de la marca-índice son desplazadas con respecto al estereoscopio, permaneciendo, en cambio, invariable la posición del modelo óptico.

2) La posición de las semi-imágenes de la marca permanece invariable, apareciendo, en cambio, variable la posición del modelo óptico del objeto del espacio.

El primer método es empleado en el **estereomicrometro** y el segundo en el **estereocomparador**.

Los desplazamientos de las semi-imágenes conjugadas (que se registran en los instrumentos) pueden ser **absolutas** (comunes a las dos imágenes) o **relativas**.

En el primer caso, debido a la fusión de las semi-imágenes, el observador tiene la impresión que la marca estereoscópica se mueve sobre un plano frontal, con distancia constante; mientras que en el segundo caso (desplazamiento relativo) el observador recibe la impresión que la distancia varía.

I. - Estereoscopio de reflexión o de espejos.

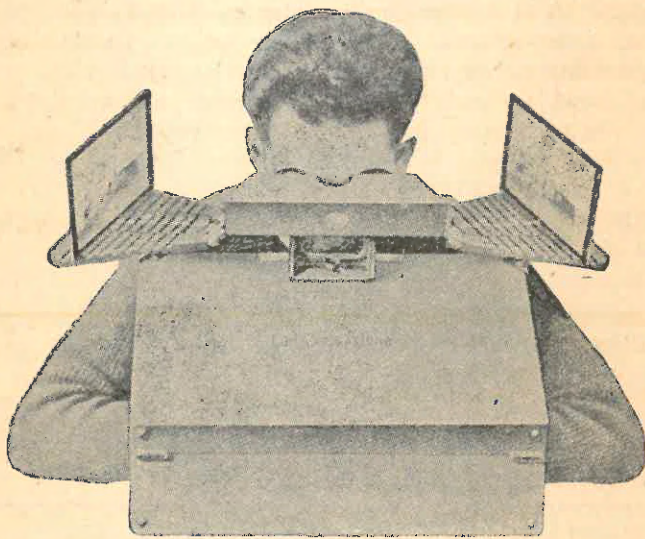


Fig. 1.— Estereoscopio de reflexión de Zeiss para vistas terrestres.

El correspondiente modelo de la casa Zeiss destinado para vistas aéreas, es muy parecido pero algo menos ilustrativo que el de la figura.

3. Nota didáctica.

No obstante la gran sencillez de este primer aparato de restitución y la reducida precisión que da, lo consideramos un importante **instrumento auxiliar** al cual dedicaremos por eso nuestra atención especial.

El estudio teórico práctico de este aparato prepara al lector para la comprensión a grandes rasgos de los aparatos de restitución de precisión, su manejo y racional aplicación práctica.

4. Objetivos del estereoscopio de espejos; limitación de su campo de aplicación.

Este importante instrumento auxiliar sirve para la observación, medición y dibujo de vistas aéreas. Es por eso un **estereoscopio de Helmholtz** (ver *Optica*, pág. 224), perfeccionado con dispositivos de medición y dibujo.

Empléase el instrumento principalmente en completar cartas preexistentes y en la determinación de la situación (planialtimétrica) de ciertos puntos representados en fotogramas.

Trátase generalmente de **vistas verticales**. Debido a la reducida precisión del instrumento, su aplicación queda limitada a escalas de imagen relativamente pequeñas.

5. Comparación del estereoscopio de espejos con el estereoscopio de lentes.

En contraposición al **estereoscopio de lentes de Brewster** que sólo permite la observación de fotogramas de tamaño reducido, el **estereoscopio de espejos** según Helmholtz permite observar fotogramas de tamaño grande, debido a que la distancia entre los rayos principales de los haces es múltiplo (26 mm) de la separación de los ojos del observador, realizado por la reflexión doble de los espejos.

La mirada al estereograma se hace en dirección vertical por medio de un par de anteojos prismáticos enchufable de 4 aumentos; quedando con ello, naturalmente, reducido el campo visual.

6. El estereoscopio de reflexión como aparato de medición y dibujo; elementos constructivos.

El **estereómetro** destinado para las mediciones y el dibujo, consiste en dos plaquitas de cristal, dotada cada una de una marca índice. Las enlaza entre sí una varilla provista de tornillo micrométrico intercalado, el que vincula esas marcas entre sí.

El desplazamiento relativo de esas marcas-índices puede ser medido con la precisión de 0,01 mm.

La varilla lleva, además, en su centro un lápiz para el dibujo.

7. Ejecución de la medición estereoscópica mediante la marca estérea móvil.

Estas mediciones consisten principalmente en la determinación de **diferencias de altura**.

Mídense con el estereómetro **diferencias de paralaje horizontal** correspondientes a los puntos objetos que interese levantar.

Para ello se producirá la fusión de las dos marcas-índices en una sola marca, la llamada **marca estérea móvil**, a la que se va colocando en los puntos y líneas del modelo óptico que se trata de medir.

En la escala micrométrica se leerán directamente las diferencias de paralajes buscadas.

8. Fundamento para la determinación de las diferencias de altura.

El fundamento para la determinación de las diferencias de altura nos da la fórmula (3) de pág. 75.

$$(1) \quad X = b \times \frac{f}{p}$$

en la que a la distancia (horizontal) X de Fotogrametría terrestre (caso normal), la substituiremos ahora para Fotogrametría aérea y el caso de vistas verticales, por la altura sobre suelo h :

$$(2) \quad \boxed{h = b \times \frac{f}{p}}$$

9. Destacando un importante concepto fundamental de la Teoría de los Errores.

Según lo expuesto en pág. 72 de la segunda edición de nuestra Teoría de los Errores y Cálculo de Compensación sabemos que:

En fotogrametría, topografía, geodesia, astronomía, física, así como en las demás ramas de las ciencias naturales y la técnica en general, se obtienen a raíz de ciertas cantidades directamente observadas (medidas), mediante el cálculo, otras magnitudes que guardan con esas cantidades observadas relaciones funcionales bien conocidas.

Ver ecuaciones (1) y (2).

Como las cantidades observadas están afectadas de los inevitables errores de medición, es lógico que también las magnitudes calculadas con aquellas estén también afectadas de errores.

Se supone, por ejemplo, que, en lugar de haber medido las cantidades b , f y p de la (2) con exactitud, se las obtuvo afectada cada una del inevitable error de medición, a saber:

$$b + \Delta b$$

$$f + \Delta f$$

$$p + \Delta p$$

donde los errores Δb , Δf y Δp pueden tener signo positivo o negativo.

El cálculo de la función h efectuado con esas cantidades afectadas de error, producirá entonces en lugar del valor exacto h , el valor aproximado:

$$h + \Delta h$$

El Cálculo Diferencial nos enseña que para pequeños valores de error de las cantidades observadas (Δb , Δf y Δp), el correspondiente valor del error de la función (diferencial dh) puede ser obtenido cómodamente por diferenciación.

La diferenciación de la (2) nos da:

$$(3) \quad dh = \frac{\partial h}{\partial p} dp + \frac{\partial h}{\partial f} df + \frac{\partial h}{\partial b} db$$

La diferencia parcial de la (2) con respecto a p nos da:

$$\frac{\partial h}{\partial p} = -\frac{bf}{p^2} = -\frac{h^2}{bf} \quad (\text{compare pág. 102}).$$

con respecto a f :

$$\frac{\partial h}{\partial f} = \frac{h}{f}$$

con respecto a b :

$$\frac{\partial h}{\partial b} = \frac{h}{b}$$

Luego, con poner estos valores en la (3):

$$(4) \quad \boxed{dh = -\frac{h^2}{bf} dp + \frac{h}{f} df + \frac{h}{b} db}$$

La (4) nos dice:

El error de altura dh de un punto determinado por Estereofotogrametría aérea, aumenta con el cuadrado h^2 de la altura de vuelo h ; siendo, en cambio, inversamente proporcional a la longitud de la base b .

Todo lo cual queda expresado en el primer término de la (4).

Los otros dos términos pueden ser despreciados, porque los errores relativos

$$\frac{df}{f} \text{ y } \frac{db}{b}$$

pueden ser reducidos a tan pequeños valores que quedan sin influencia sobre el error total dh .

10. Error de altura en Fotogrametría aérea; su fórmula.

En virtud de lo que acabamos de exponer, tenemos para el error de altura dh (despreciando el signo negativo):

$$(5) \quad dh = \frac{h^2}{bf} dp = \frac{h}{b} \times \frac{h}{f} dp$$

Siendo

$$\frac{f}{h} = E_i \quad \frac{h}{f} = \frac{1}{E_i}$$

(6)

$$\frac{b}{h} = \gamma \quad \frac{h}{b} = \frac{1}{\gamma}$$

la (5) nos da:

$$(7) \quad \boxed{dh = \frac{dp}{\gamma \times E_i}}$$

que es la llamada **fórmula del error de altura** para vistas aéreas verticales. La misma nos dice que el error de altura es inversamente proporcional a la escala de imagen E_i y la relación de base γ .

Podemos escribir la (7) también en esta otra forma:

Con poner para γ su valor $\frac{b}{h}$ resulta:

$$(8) \quad dh = \frac{h}{b \times E_i} dp = \frac{h}{b'} dp$$

donde $b' = b \times E_i$ expresa la magnitud de la imagen correspondiente a la base b .

En el supuesto de tratarse siempre de vistas verticales con pequeñas distancias nadirales, los valores b' pueden ser fácilmente medidos en los planos de imagen de los fotogramas, después de haber determinado y marcado con punta de alfiler los centros en vistas contiguas.

11. Interpolación altimétrica con fotogramas de vistas verticales.

El concepto del trecho de imagen b' :

$$b' = b \times E_i$$

es de mucha utilidad práctica, sirviendo para el cálculo de la diferencia de paralaje horizontal dp , en base a la diferencia de altura Δh entre dos puntos de alturas conocidas y la altura de vuelo h desde la cual se supone tomada la vista vertical.

Tenemos:

$$(9) \quad dp = \Delta h \frac{b'}{h} = \Delta h \frac{b E_i}{h}$$

$$(10) \quad = \Delta h \times \gamma E_i$$

La determinación altimétrica de nuevos puntos de la imagen (fotograma) por el procedimiento de la **interpolación de alturas**, sólo es posible realizar en base a cuatro o cinco puntos imagen de cotas conocidas.

Exígesse también que estos puntos fijos se hallen bien distribuidos, de tal modo que los nuevos puntos queden dentro de la superficie abarcada por aquéllos; evitándose así la llamada **extrapolación**.

Comiéntase el trabajo con medir las diferencias de las paralajes horizontales de los puntos fijos altimétricos con respecto a uno de ellos. Las designamos por $[dp]$.

Luego se las calcula mediante la fórmula (10), con respecto al mismo punto de referencia.

Los valores de estas diferencias de paralajes horizontales dp así calculados, deberían concordar con los valores $[dp]$ anteriormente medidos.

La discrepancia llamada ∂p :

$$\partial p = dp - [dp]$$

tiene su origen en la deformación y defectuosa posición del modelo óptico. La misma nos da una medida que nos indica con qué precisión las condiciones de levantamiento han sido mantenidas durante el vuelo.

Se toman los valores ∂p como **corrección de paralaje** de los nuevos puntos a determinar.

Tendremos entonces en lugar de la (8) esta ecuación con la dp corregida:

$$(12) \quad \Delta h = \frac{h}{b'} (dp + \partial p) = \frac{h}{b E_1} (dp + \partial p) \\ = \frac{1}{\gamma E_1} (dp + \partial p)$$

12. El estereoscopio de reflexión como aparato de dibujo automático.

El trazado de las líneas de forma o líneas de esqueleto del terreno se realiza con conducir el estereómetro, sin variar la posición del tornillo micrométrico del mismo, en tal forma que la marca estérea móvil se apoye constantemente en el terreno. En eso, el lápiz habrá dibujado la línea de forma recorrida.

El aparato sirve también para el dibujo de **curvas de nivel**.

13. El estereoscopio de reflexión actual, perfeccionado, como aparato medidor de coordenadas rectangulares.

El estereoscopio de reflexión actual se ha perfeccionado. Se ha combinado el estereómetro con una conducción paralela, con la cual el estereoscopio puede correr paralelamente a sí mismo y en dos direcciones perpendiculares entre sí.

De este modo se facilita la traslación de los índices medidores y se hace posible la medición de coordenadas rectangulares de cualquier punto del fotograma.

II. - Transformación, rectificación o enderezamiento.

Esta multiplicidad de términos para denominar un mismo concepto que en alemán se llama "**Entzerrung**" y en francés "**redressement**", requiere una breve explicación:

Si las **condiciones ideales** de la toma de vistas **verticales**, a saber:

Terreno horizontal y prácticamente llano no se verifican con suficiente aproximación, la vista del fotograma resultará con **deformación**, la que puede dificultar o impedir la ulterior elaboración de la vista. Producense variaciones de escala de imagen, distorsiones, etc.

Es el procedimiento de anulación de esa deformación o eliminación de los defectos del fotograma original y que consiste en una transformación, rectificación o enderezamiento del mismo, que dió origen a estas tres denominaciones para un mismo concepto.

14. "Terreno prácticamente llano"; precisando el alcance de esta expresión para Fotogrametría aérea.

Estamos en presencia de un *terreno prácticamente llano* cuando las diferencias de altura en una zona abarcada por una vista aérea no exceden $1/500$ del denominador de la escala de imagen de esta vista; no pudiendo exceder de 50 metros para la escala de 1: 25 000.

15. Fotogrametría aérea con vistas aisladas y Fotogrametría aérea con vistas apareadas.

Desde el doble punto de vista instrumental y operativo, la Fotogrametría aérea se subdivide en dos grandes ramas:

Fotogrametría aérea con vistas aisladas, para terrenos prácticamente llanos, en los que sólo interesa la planimetría de los objetos topográficos; y la **Fotogrametría aérea con vistas apareadas**, para terrenos no llanos, en los cuales es de gran importancia el conocimiento de las diferencias de altura de los objetos topográficos.

El estereoscopio de reflexión de Zeiss es un sencillo aparato de restitución para vistas apareadas.

16. Caracterizando el método de restitución por transformación (rectificación o enderezamiento).

Si en el momento de la toma de vista vertical de un terreno horizontal, el negativo (película) se halla en posición horizontal, se obtendrá una imagen (fotograma) semejante a la carta topográfica de la zona fotografiada.

Bastará llevar esa imagen a la escala deseada, para luego poderse servir de ella como de una carta topográfica.

Empero, en la práctica no es posible mantener con exactitud las condiciones de vuelo para vistas nadirales (verticales).

Debido a las inevitables oscilaciones del avión fotogramétrico, el eje de la cámara puede llegar a tener hasta 3° de distancia nadiral; de lo cual resulta la correspondiente desviación del fotograma de su posición horizontal.

Por otra parte tampoco se cumplirá con exactitud la horizontalidad y carácter llano del terreno; de todo lo cual resultará en la imagen una **deformación** que debe ser eliminada si es que la vista debe servir para finalidades topográficas.

La eliminación de esta deformación de la vista aérea ha recibido la denominación de **transformación, rectificación o enderezamiento**.

El aparato con el cual se realiza la rectificación de vistas aéreas verticales ha recibido entre nosotros el nombre de "**enderezador**".

17. Enderezador de Zeiss para la obtención de fotoplanos deducidos de vistas aéreas verticales.

O. von Gruber inventó el **enfoque automático** para el enderezador y publicó en 1931: "Entzerrung von Luftbildern und optisch-graphische Lösung des Rückwärtseinschnitts im Raume".

Es el típico aparato a **vista única**, que sirve para la transformación de vistas aéreas fotográficamente para que tengan la deseada escala; pero no sirve para obtener diferencias de nivel de los objetos fotografiados.

En la práctica efectiva de aerofotogrametría sólo han adquirido importancia los enderezadores automáticos, es decir, los que producen automáticamente por medio de mecanismos de inversión, la nitidez de la imagen proyectada sobre la mesa de proyección.

La figura 2 representa el modelo de Zeiss. El eje de proyección es vertical; se le da esa dirección para que la mesa de proyección resulte aproximadamente horizontal.

Características:

Los objetivos (*Protares* de 14 y 18 cm) son intercambiables.

Vistas de formato 18×24 cm pueden ser agrandadas y reducidas hasta 3 veces; y vistas de formato 18×18 cm pueden ser agrandadas hasta 5 veces y reducidas 3 veces.

En su posición extrema, el aparato tiene una altura de 3,65 m.

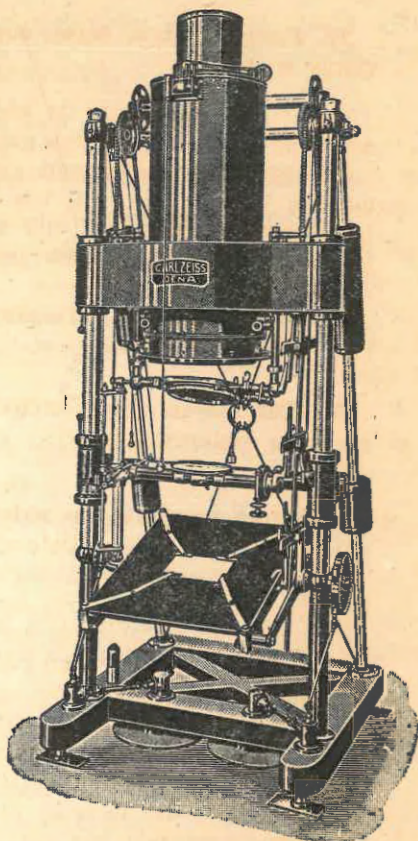


Fig. 2.— Enderezador automático Zeiss.

La rapidez del procedimiento, la mecanización de gran parte de los trabajos operativos, la sencillez constructiva del aparato, su relativo moderado costo y amplitud de su aplicación le han asegurado una difusión casi universal; razón por la cual nos limitaremos a su consideración exclusiva.

18. Misión principal del enderezador.

La misión principal del enderezador consiste en la transformación de vistas aéreas verticales tomadas desde el avión, en otras que tengan la escala de la carta o del plano que se trata de completar o modernizar mediante esas vistas aéreas.

19. Partes constructivas principales.

Las partes principales del aparato son: dos columnas que sostienen el plano de proyección, sirviendo de guía para el porta objetivo y el porta placa (película);

el condensador y
la fuente de luz.

20. Cinco elementos (posibilidades operativas) de ajuste para realizar la posición perspectiva.

A fin de poder poner en posición perspectiva simultáneamente el plano de proyección y el plano de la vista a enderezar, el aparato de Zeiss posee los siguientes cinco elementos (posibilidades operativas) de ajuste:

- 1º El plano de proyección puede bascular sobre un eje horizontal.
- 2º El objetivo de proyección puede bascular también sobre un eje horizontal.
- 3º La relación de distancia entre los ejes de báscula (plano de proyección, objetivo y porta placa) es variable, siendo por ello variada la escala de la vista.
- 4º La vista puede girar en su propio plano.
- 5º El porta placas puede ser desplazado en la dirección de su eje de báscula.

El empleo de un porta película especial facilita el pasaje de una vista a la siguiente sin necesidad de cortar la película.

21. Caso (más general) en que la posición perspectiva de la vista se halla definida por cuatro puntos (de apoyo) conocidos.

Por medio de esas 5 operaciones de ajuste se puede hacer corresponder perspectivamente en pocos minutos y con pocos ensayos sistemáticos los imprescindibles cuatro puntos de apoyo del mapa a sus homólogos en la vista o, inversamente: colocar en posición perspectiva cuatro puntos de la vista con respecto a sus homólogos de la carta.

Esta correspondencia perspectiva se puede realizar no sólo con vistas de terreno llano y horizontal (vistas nadirales), sino también con vistas de distancia nadiral hasta de 40°. Este caso de vistas inclinadas tiene mucha aplicación en las operaciones militares.

Los necesarios cuatro puntos de apoyo para la rectificación de vistas aéreas pueden obtenerse muchas veces de cartas existentes; otras veces deben ser determinadas a propósito por medio de los conocidos métodos topográficos (por ejemplo el método de poligonación taquimétrica, ver págs. 251, 305 y siguientes de *Teoría de los Errores y Cálculo de Compensación*, 2ª Edición).

Todos los movimientos de ajuste a realizar por el operador, pueden ser ejecutados con mano derecha, quedando así la izquierda libre para disponer convenientemente el mapa sobre la mesa de proyección.

22. Amplitud de aplicación del método de enderezamiento. Precisión.

Por causa de la facilidad y rapidez del procedimiento, la sencillez y bajo costo del aparato, el método es generalmente empleado para la confección de fotocartas y planos de conjunto en terreno llano y horizontal.

Las grandes ventajas, técnicas y económicas, que ofrece el empleo del procedimiento de enderezamiento, hacen que hoy ya no se excluya su empleo en terrenos levemente ondulados.

Si se excluyen terrenos fuertemente movidos (terrenos montañosos), el método de enderezamiento correctamente aplicado, nos proporciona **fotocartas** o **fotoplanos** muy precisos, especialmente apropiados para anteproyectos de grandes obras públicas.

Precisión. Admítase generalmente el valor:

0,3 mm como error medio gráfico

de un fotoplano correctamente rectificado.

III. - Problemas preparativos y más conceptos fundamentales.

23. Norma didáctica relativa a la confección de figuras.

Evitaremos en lo posible la representación de las relaciones geométricas de Fotogrametría aérea mediante figuras planas; porque muchas veces en lugar de aumentar la claridad de esas relaciones, las hacen más oscuras.

Aconsejamos, en cambio, al lector, encarecidamente, ejecutar y practicar la *visión objetiva* en el espacio de esas figuras y relaciones geométricas, y de perfeccionar continuamente esa habilidad, por ser el recurso ideal que nos conduce directamente al reconocimiento de la realidad, ahorrándonos el gran trabajo de interpretar figuras más o menos expresivas, pero muchas veces superfluas.

24. Comparación del problema de la carta de Fotogrametría terrestre con el problema de la carta de Fotogrametría aérea.

Sabemos por la Primera Parte del presente Volumen, que en Fotogrametría terrestre son generalmente conocidos los centros de estación; los que, en caso contrario, pueden ser determinados geodésicamente.

En Fotogrametría aérea, en cambio, esos centros de toma de vista deben ser determinados para cada vista, a raíz de las coordenadas de 3 puntos fijos en el terreno, las imágenes nítidamente visibles en el fotograma y la distancia focal de la cámara.

En base a estas imágenes, el centro de película y la distancia focal se obtienen los **3 ángulos de posición**, los que determinan una **pirámide trilateral de rayos** que pasan, respectivamente, por los 3 puntos fijos del terreno.

Con estos elementos pueden obtenerse la longitud de los rayos de pirámide, así como la posición del vértice de pirámide o sea del centro de proyección en el espacio buscado.

Son muy numerosas las soluciones numéricas y gráficas que se han dado para este importante problema.

25. Importancia del problema de la carta en el espacio.

La extraordinaria importancia práctica del problema de la carta para la orientación externa de la vista aérea hizo que los más grandes matemáticos se esforzaran, en el lustro de 1915-1920, a encontrar soluciones, analíticas o gráficas, más o menos elegantes.

Figura entre ellos como uno de los primeros **S. Finsterwalder**.

Pero pronto los más eminentes espíritus prácticos de la época reconocieron que no era por el camino del cálculo ni del graficismo que se podían obtener

las soluciones definitivas de tan importante problema. O. von Gruber obtuvo por medios ópticomecánicos la solución del problema de la carta en el aire que tuvo mayor aplicación práctica.

26. Solución analítica del problema de la carta aérea (problema de la pirámide de rayos).

(Con el siguiente ejemplo práctico pondremos en evidencia la eficacia de la norma didáctica consignada en pág. 155).

La solución analítica del problema de la carta aérea que nos conduce al conocimiento de 3 de los 6 elementos de orientación externa, puede ser dividida en las tres siguientes tareas principales:

Primera tarea: Cálculo de los 3 ángulos de posición, α , β , γ , en base a las coordenadas rectangulares (referidas al sistema de orientación interna de la cámara) de los 3 puntos imágenes a , b , c , del fotograma correspondiente a los 3 puntos fijos conocidos **A**, **B**, **C** del terreno.

Segunda tarea: Cálculo de la posición del centro de proyección aéreo **O** (vértice de pirámide de rayos o punto de toma de vista), en base a las coordenadas rectangulares de los puntos fijos **A**, **B**, **C** y los 3 ángulos de posición α , β , γ , bajo los cuales aparecen en el centro **O**, los segmentos lineales **AB**, **BC** y **CA** del terreno, respectivamente.

Otro punto fijo **D** que existiese en el sector de terreno abarcado por la vista y que apareciera claramente fotografiado en la película, serviría para aumentar la seguridad y precisión de la determinación.

Tercera tarea: Con la determinación de los 3 parámetros angulares (rumbo, inclinación longitudinal y transversal) quedarán completados los 6 elementos de orientación externa de la vista aérea.

A fin de realizar la primera tarea, se comenzará por medir las coordenadas rectangulares de los puntos imagen a , b , c , en el fotograma de vista tomada desde el centro de proyección **O**.

La vista se supone vertical y las coordenadas referidas al punto principal **H** o centro **M** del fotograma.

En base a estas coordenadas de los puntos de imagen a , b , c y la distancia focal f de la cámara, se calcularán las longitudes de las aristas de la pirámide de imagen **Oabc** y, en base a esas longitudes de aristas se obtendrán los valores de los ángulos de posición:

$$aOb = \gamma, bOc = \alpha \text{ y } cOa = \beta$$

buscados.

Segunda tarea.

Conocidas las coordenadas de los puntos fijos en el terreno, **A**, **B**, **C**, así como los correspondientes ángulos de posición:

$$AOB = \gamma, BOC = \alpha \text{ y } COA = \beta$$

sabemos, por la analogía con el problema de la carta de la Planimetría, que no puede haber más dificultad para el cálculo de las 3 coordenadas del vértice de la pirámide del espacio **OABC** o centro de proyección aérea **O** buscado.

27. Inconveniente del problema de la carta aérea (pirámide de rayos) simple.

Al efectuar las vistas con eje vertical, según venimos suponiendo y que es el caso más frecuente en la práctica, se obtiene a menudo para el centro de proyección **O** una posición insegura y poco precisa, porque el mismo cae próximo al llamado "**cilindro peligroso**"; que es un cilindro circular perpendicular al plano determinado por los 3 puntos fijos del terreno y que nos hace recordar el caso análogo del problema de la carta simple de la Planimetría, con el caso particular de la "**circunferencia peligrosa**".

28. Determinación de puntos aéreos dobles o problema de Hansen del espacio.

El grave inconveniente del problema de la carta aérea puede ser evitado mediante la toma simultánea de dos vistas, desde dos centros de proyección próximos entre sí.

Condición imprescindible de la toma: Parte del contenido de los dos fotogramas debe representar el mismo sector de terreno.

En este caso, son 12 (2×6) los elementos de orientación a determinar, a saber: Dos ternas de coordenadas para los dos centros de proyección y 2 ternas de parámetros angulares.

Algunas de las incógnitas (diferencias de altura, ángulos de inclinación) pueden ser obtenidas directamente mediante el empleo del **estatoscopio** (ver pág. 38), la toma simultánea del fotograma y de la vista del horizonte (ver pág. 38); con lo cual se simplifica notablemente el trabajo de determinación.

Es este el único método que tuvo éxito en la práctica y que lleva la denominación de **método de las paralajes verticales**.

En este método la resolución se realiza en **dos etapas**:

Llevar primeramente los dos fotogramas a su correcta situación recíproca (el uno con respecto al otro), operación que recibió la denominación de: **orientación recíproca relativa**.

Cumplida esta tarea de primera etapa, la pareja de fotogramas debe ser llevada a su verdadera posición con respecto a los puntos dados del terreno, operación que se llama: **orientación absoluta de la pareja**.

29. Orientación relativa de parejas de vistas; definición.

La orientación relativa de una pareja de vistas consiste en llevar los dos haces de rayos fotogramétricos dados por las dos vistas a una posición tal que los rayos homólogos en ambos se corten, dos a dos, como lo hicieron en el momento de la toma.

30. Teorema de la Geometría Projectiva.

En la **Geometría Projectiva** se demuestra que, cuando en dos haces proyectivos 5 rayos homólogos se cortan, dos a dos, se cortarán también todos los demás rayos homólogos de los dos haces.

Aplicado este teorema a nuestro caso, nos dirá que todos los rayos homólogos de cada pareja de vistas se cortarán simultáneamente dos a dos, cuando lo hacen sólo 5 de ellos.

31. Modelo óptico; su definición y característica. Núcleo.

El conjunto de todos los puntos de intersección obtenidos por la intersección simultánea de todos los rayos homólogos de una pareja de vistas de un sector de terreno fotografiado, formará una figura geoméricamente semejante y reducida del terreno, la que recibió la denominación de **modelo óptico** o simplemente **modelo** del mismo.

El modelo no es visible objetivamente sino tan sólo subjetivamente (virtualmente), porque para su visibilidad sería necesario colocar en el sitio de su formación una pantalla en relieve igual al modelo.

El conjunto de los imprescindibles 5 puntos necesarios para realizar la orientación relativa de una pareja de vistas se llama **núcleo**.

32. Paralaje vertical de pares de vistas verticales; su concepto y su anulación.

Suponemos que en un proyector con centro de proyección O_1 se ha colocado el fotograma izquierdo y en otro proyector, con centro de proyección O_2 , el fotograma derecho, y ambos proyectores en posición recíproca aproximada a la exacta; todo ello con ayuda de la longitud de la base y de los elementos angulares que se conocen por la operación de la toma de vista.

En los centros de proyección O_1 y O_2 se halla colocada en cada uno de ellos una fuente de luz para proyectar las vistas sobre una **mesa de proyección común**.

Debido a esa circunstancia de que los dos proyectores en los que se hallan montadas las semivistas de la pareja, no ocupan todavía la posición relativa exacta sino sólo aproximada, los rayos homólogos salientes de los puntos homólogos P_{zi} y P_{der} de la vista izquierda y derecha no se cortan, por no hallarse en un mismo plano nuclear.

En lugar de formar los dos puntos conjugados P_{iz} y P_{der} de los fotogramas un sólo punto imagen, lo que sucedería con una orientación relativa exacta de esos fotogramas, se formarán las proyecciones P'_{iz} y P''_{der} . El segmento

$$P'_{iz}P''_{der} = \Delta Z$$

que se presenta en la dirección de las Z , expresa gráficamente la magnitud de la llamada **paralaje vertical** correspondiente a ese punto.

Esta paralaje, al igual que la de otros cuatro pares de puntos del estereograma, pueden ser medidas y en base a ellas, ser calculadas las correspondientes correcciones de orientación.

Aplicadas estas correcciones de orientación a los valores aproximados de la posición de los proyectores, las 5 paralajes verticales se anulan; eliminándose con ello, según hemos expuesto, las paralajes verticales de todos los puntos; cortándose entonces, como ya dijimos, simultáneamente todos los pares de rayos homólogos; el conjunto de estos puntos de intersección constituyen el ya definido **modelo** del objeto natural fotografiado.

33. Anulación de paralajes verticales por el método óptico-mecánico.

En la práctica, empero, no se emplea el método numérico que acabamos de indicar, prefiriéndose un procedimiento óptico-mecánico; el que consiste en la

variación de posición de proyectores para cada uno de los 5 puntos proyectados.

A cada uno de los 5 puntos elegidos corresponderá entonces, según su situación en el fotograma (central o marginal) un determinado corrimiento o corrección de orientación de uno de los proyectores.

Esta correspondencia debe ser realizada en tal forma que el corrimiento determine en cada uno de los 5 puntos un desplazamiento máximo en la dirección de las **Z**, y que la eliminación de paralajes se ejecute en un orden de operaciones tal, que al anularse una paralaje en un punto no se vuelva a producir paralaje en otro punto anteriormente corregido.

34. Resultado práctico que se logra mediante la orientación relativa de un estereograma.

Habiéndose realizado el modelo óptico (estéreo) por medio de la orientación relativa con un aparato de restitución, se podrá colocar la marca móvil en cualquier punto del estereograma sin notar paralaje vertical alguna.

Si, en cambio, uno de los 5 puntos estuviera afectado de un error, no sería posible obtener en el aparato la impresión estereoscópica del mismo.

35. Los 7 elementos restantes de la orientación externa de un estereograma aéreo.

Según ya sabemos: De las 12 incógnitas a determinar para obtener la orientación externa de una pareja de vistas aéreas, 5 se hallan determinadas mediante la orientación relativa de la misma, cuyos valores proceden exclusivamente de elementos contenidos en ambos fotogramas. Es decir, la orientación relativa se realiza en forma independiente de la posición de las cámaras en el momento de la toma.

De los 7 elementos que nos proporciona el conocimiento de las **coordenadas** de

2 puntos fijos en el terreno y
la altura de un tercer punto fijo

un elemento (una longitud) nos sirve para la determinación de la **escala de levantamiento** y los elementos restantes para la determinación del modelo en el espacio.

36. Fijación de la escala de levantamiento (del modelo).

La escala indeterminada en que se presenta primeramente el modelo, debe ser transformada en la **escala prefijada** para el levantamiento.

Calcúlese para ello, a raíz de las coordenadas de los dos puntos fijos conocidos, la **distancia** que los separa. Comparando esta distancia con la obtenida con el aparato de restitución, a raíz de las coordenadas leídas en el mismo para sus imágenes estereoscópicamente enfocadas, se revelará la magnitud de la necesaria corrección de la **base b** del aparato (aumento o reducción).

37. Posición correcta del modelo óptico en el espacio. Recursos teóricos y ejecución práctica.

El modelo óptico que aun ocupa, como suponemos, una situación arbitraria en el espacio, deberá ser correctamente orientado con respecto a la **vertical** y con respecto a un **sistema de coordenadas**.

Los 7 elementos de determinación para ello necesario, son proporcionados, según ya dijimos, por las coordenadas de dos puntos conocidos en el terreno y la altura de un tercer punto terrestre.

Para realizar esa posición correcta del modelo óptico en el espacio, el mismo (o mejor dicho, los proyectores que lo engendran) deben ser girados alrededor de 3 ejes, y ser corridos en tres direcciones en ambos casos perpendiculares entre sí.

En la práctica, empero, esos corrimientos y rotaciones no serán dados a los proyectores sino a la hoja de carta colocada sobre la mesa de proyección.

Con estas breves líneas hemos indicado someramente las principales tareas básicas a ejecutar en la restitución de parejas de vistas aéreas con un gran aparato de restitución universal.

En lo que sigue daremos más detalles ilustrativos y constructivos de estos aparatos.

Empero, antes de comenzar a tratar estos detalles, cabe explicar todavía un importante **concepto óptico**, los **anaglifos** (*), básico en uno de los tipos más sencillos de aquellos aparatos.

38. Procedimiento de los anaglifos.

Otro recurso para facilitar la observación estereoscópica nos ofrece el método de **d'Almeida**, presentado por éste en 1858 a la Sociedad Francesa de Fotogrametría de París.

Según este método las semi-vistas conjugadas son proyectadas **superpuestas** sobre la mesa de proyección. Para distinguirlas se las colorea mediante los **colores complementarios** (verde y rojo, con preferencia al amarillo y azul). En el proyector izquierdo se colocará, por ejemplo, la película verde y, en el derecho, la roja. (La casa Agfa, Berlín, suministra películas ya preparadas para esos colores complementarios).

Cada ojo verá entonces a través de un filtro colocado delante de él de **espejo**, verde para el ojo izquierdo y rojo para el derecho, la imagen complementaria en negro, desapareciendo la de igual color del filtro porque el papel de la mesa de proyección aparece con ese mismo color.

De este modo cada ojo recibirá la imagen que le pertenece y sólo ésta; y no habrá dificultad para que por la fusión de ambas vistas parciales se produzca la deseada impresión estereoscópica.

(*) *Anaglifo*, término que se deriva del griego y que significa *relieve*.

Capítulo III

Aparatos de restitución

1. Idea fundamental de los aparatos de restitución automática.

La idea fundamental de todo aparato de restitución automática y estereoscópica, es la transformación de dos proyecciones centrales en dos proyecciones paralelas.

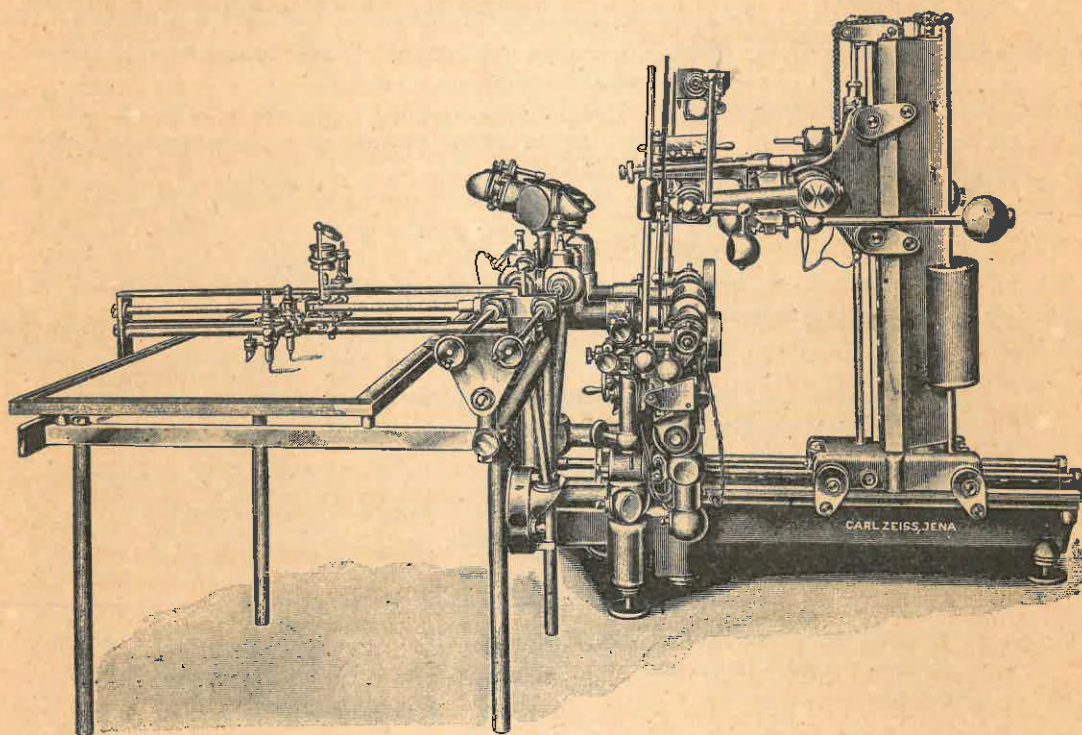


Fig. 1.— *Estereoplanógrafo Bauersfeld - Zeiss Modelo C/4 del año 1930.*

El marco limitado que nos hemos trazado para esta Introducción a la Fotogrametría, no nos permite indicar en detalle, ni menos explicar y describir, los diversos recursos constructivos en los distintos modelos para realizar esa finalidad.

2. Los distintos métodos de proyección, como criterio para clasificar los diversos modelos de aparatos de restitución.

La proyección de los fotogramas aéreos puede ser realizada según una de las siguientes maneras:

I. — PROYECCION MECANICA

- a. Planimetría y altimetría separadas.
- b. Proyección estérea.

II. — PROYECCION OPTICO - MECANICA

III. — PROYECCION OPTICA

3. Característicos rasgos constructivos de los 3 modos de proyección.

En el caso de la proyección mecánica, se materializan los rayos conjugados en su recorrido total, desde los puntos homólogos de los fotogramas hasta el buscado punto de la carta mediante varillas o reglas.

En el segundo caso, o sea, en la proyección óptico-mecánica parte de los rayos conjugados será representada por rayos ópticos; y su totalidad en el tercer caso, o sea, en la proyección óptica.

En el caso de la proyección óptica existen dos posibilidades: Mediante proyección óptica objetiva puede formarse una imagen real, la que puede ser recibida sobre una mesa (lo que ocurre en la proyección doble), o se forma, mediante una óptica subjetiva, una imagen virtual, la que sólo puede ser vista por el observador.

4. Importantes aparatos de restitución automática universalmente conocidos, empleados en la República Argentina; su clasificación según el criterio de la proyección.

A raíz del criterio de la proyección, los aparatos de restitución en uso pueden ser ordenados en la siguiente forma:

I. — PROYECCION MECANICA

- a. Estereocartógrafo de von Orel-Zeiss.
- b. Estereocartógrafo de Santoni (1921). Autógrafos de Wild A-5 (1937) y A-6 (1938).

II. — PROYECCION OPTICO - MECANICA

- a. Autógrafo de Wild A-4.
- b. Estereosimplex de Santoni.

III. — PROYECCION OPTICA

- a. Doble proyector Multiplex de Zeiss.
- b. Estereoplanógrafo de Bauersfeld-Zeiss.

5. "Paso muerto".

Debe todavía ser mencionada la dificultad que existe para evitar el "paso muerto" de toda **solución mecánica** (ver pág. 32 del Tomo II, Volumen 2).

En Fotogrametría, el "paso muerto" actúa, por ejemplo, cuando un movimiento de la marca móvil no tiene la reacción inmediata dentro de la **precisión necesaria**, sobre el lápiz trazador.

En las **soluciones ópticas** corresponde a este error la falta de nitidez de la imagen, de la proyectada sobre el terreno o de la imagen virtual sólo visible por el observador.

6. Aparatos de restitución de primer, segundo y tercer orden; resultado de su subdivisión por el criterio de la precisión.

Por analogía con los teodolitos y las triangulaciones de los distintos órdenes, se difunde cada vez más en el mundo la costumbre de distinguir las 3 clases de instrumentos de restitución:

- Aparatos de restitución de primer orden,
- Aparatos de restitución de segundo orden,
- Aparatos de restitución de tercer orden.

reservándose a los de primer orden el papel de restituir los puntos fijos de la red; a los segundos, la tarea de restituir los puntos de apoyo de la red de relleno.

Los instrumentos de primer orden que son los grandes aparatos de restitución fotogramétrica, son los más precisos; se los emplea en las triangulaciones aéreas y los trabajos de levantamiento a escala grande.

Los de segundo orden permiten obtener, no obstante su construcción más sencilla, una orientación exacta de las vistas apareadas y resultados de precisión mediana.

Los aparatos de restitución de tercer orden, en cambio, se limitan a una orientación aproximada, dando resultados cuya precisión depende de la exactitud con que se verifica la condición de terreno llano y horizontal.

7. Aparatos de restitución de primer orden en uso en la República Argentina.

El pujante espíritu de progreso que se notara entre los ingenieros dirigentes de nuestro país, desde el principio en materia fotogramétrica, y la extraordinaria productividad inventiva y constructiva que se manifestara en el continente europeo a partir del año 1920, hicieron que los 3 modelos más perfectos se hallen en uso en nuestro país desde algún tiempo, a saber:

Estereoplanógrafo de Bauersfeld-Zeiss, año 1922, Jena, Alemania.

Autógrafo de Wild A-4, año 1926, Heerbrugg, Suiza.

Estereocartógrafo de Santoni, Florencia, Italia.

El punto de vista de la "escuela inglesa" que rechaza en absoluto todo instrumento "continental" de restitución automática y universal por su elevado costo y excesiva complicación, explica el hecho de no figurar entre esos aparatos de primer orden ninguno de procedencia inglesa, así como el

otro hecho de no contar ya Inglaterra entre los países conductores de la moderna Fotogrametría aérea.

8. Operando con el Estereoplanígrafo.

Establecida la orientación relativa de una pareja de vistas, fijada la deseada escala de restitución y realizada la orientación absoluta con ayuda de los puntos de apoyo conocidos en el terreno, se comenzará la restitución o sea la confección del plano con recorrer con la marca móvil las líneas de esqueleto del modelo estéreo, dibujándose en ello por el lápiz trazador, simultánea y automáticamente, directamente la planimetría en la hoja del plano colocada sobre la mesa de proyección del aparato.

En cuanto a la altimetría, se comenzará por los puntos más elevados de las montañas y los más bajos de los valles u hondonadas, marcando en la carta sus sitios y escribiendo a su lado las respectivas alturas leídas directamente en el instrumento.

Después de acotar así los puntos más notables del terreno, se dibujarán las **curvas de nivel**; para lo cual se colocará primero el índice de la escala en el valor de la cota de la primera curva. Se hará que para esa posición de escala la marca móvil tome contacto con el terreno, cuidando que su desplazamiento se efectúe sólo en dirección horizontal, sin separarse nunca del terreno. El lápiz trazará entonces, simultánea y automáticamente, la primera curva de nivel, en proyección horizontal y a la deseada escala del plano.

En forma análoga se obtendrán todas las demás curvas del plano.

Colaboración de O. von Gruber.

Según destacamos anteriormente (ver pág. V) las grandes experiencias prácticas de O. von Gruber, adquiridas en el terreno y el gabinete, así como sus investigaciones teóricas, lo capacitaron de un modo particular, para una eficiente colaboración en la evolución constructiva de los aparatos de toma y restitución de Fotogrametría, haciendo triunfar en ello los principios y las ideas concordantes con esa práctica y teoría.

Dotado de un extraordinario talento para las cuestiones constructivas, acrecentado por esas experiencias, von Gruber reconocía con sorprendente seguridad y rapidez los inconvenientes y ventajas de otros aparatos de competencia.

No se ocupaba por eso von Gruber en cálculos de proyectos constructivos, sino que él veía su misión en asistir y dirigir al constructor, mostrándole los inconvenientes y ventajas de otras posibilidades constructivas.

De esta fecunda e ideal colaboración entre el práctico científico y el constructor, resultó como ejemplo máximo el modelo **C/4** (ver fig. 1) del estereoplanígrafo, del año 1930, en el cual se hallaban aplicadas en forma ideal las ideas prácticas y principios teóricos de von Gruber.

Es una transformación completa del modelo originario de **Bauersfeld**, pero sin cambios esenciales; considerándosele hasta el día de hoy el aparato de restitución mejor y de más precisión, una verdadera maravilla óptico mecánica; difundándose por ello en todas partes del mundo. Poco tiempo antes

de morir (1942) von Gruber tuvo la satisfacción de poder presenciar la iniciación de la construcción del ejemplar N° 100.

En la misma época se produjo la creación del **Aeroprojector "Multiplex"** (descrito en pág. 168), especialmente apropiado para fines didácticos en la enseñanza universitaria, método para el cual O. von Gruber nos dió una excelente explicación en la revista: "Bildmessung und Luftbildwesen", año 1926.

9. Amplitud operativa del Estereoplanógrafo. Precisión de los resultados.

Los resultados de la restitución con el Estereoplanógrafo no sólo se obtienen gráfica y automáticamente, como queda dicho anteriormente, sino también numéricamente con ayuda de los respectivos registradores.

Para las finalidades fotográficas se tratará siempre, como ya sabemos, de la confección de planos acotados provistos de curvas de nivel; pudiendo leerse las respectivas cotas de puntos aislados directamente en metros en un registrador de alturas.

Para mayores exigencias relativas a la precisión, como ser, para levantamientos catastrales a escala grande y triangulación aérea, pueden ser leídas las 3 coordenadas de los puntos levantados directamente en escalas mecánicas especiales.

Precisión. — Para la situación planimétrica de un punto aislado, a la escala del fotograma, se puede admitir:

(3) un error medio de 0,02 mm hasta 0,03 mm

y para la inseguridad altimétrica de un punto:

$$\pm \frac{1}{4} \% \text{ de la altura de vuelo } h$$

El estereoplanógrafo puede ser empleado para la restitución de vistas simples (aisladas), dobles, cuádruples y granangulares, así como para una ilimitada ejecución de triangulaciones aéreas.

Esta extraordinaria e impresionante universalidad de este instrumento, así como la alta calidad de los resultados, hacen que nos sintamos nuevamente en presencia de una construcción **cumbre** —quizás la más celebrada de todas—; lo cual nos explica que el Estereoplanógrafo se haya difundido, con relativa rapidez, no obstante su elevado costo en muchos países del mundo, llegando un ejemplar a la República Argentina.

Es particularmente satisfactorio para nosotros poder destacar este hecho: Porque, cuando se trata de un recurso de cultura técnica de primer orden como lo es el Estereoplanógrafo, no puede haber, para un pueblo progresista como el nuestro, motivo de carácter monetario que impida su adquisición y uso para bien de todos.

Es esta observación que da lugar a la siguiente nota.

10. Nota adicional.

A fin de aumentar la eficacia práctica del Estereoplanógrafo y de todos los demás instrumentos fotogramétricos y topográficos de la misma procedencia, la Casa Zeiss acostumbraba organizar en la época de verano de los años comprendidos entre las dos últimas guerras mundiales, *Cursos de Aplicación "Ferienkurs in Photogrammetrie"*, en los que los participantes de los más diversos países podían adquirir fácilmente

todos los conocimientos, teóricos y prácticos, necesarios para su futura actuación en sus respectivos países.

El Instituto Geográfico Militar Argentino mandó a ese fin, en 1930, al Capitán Rodolfo C. Perazzo, entonces jefe de la Sección Fotogramétrica del mencionado Instituto.

Para la definitiva organización de los trabajos fotogramétricos así como para la más acertada ejecución de los mismos, ese contacto del Capitán Perazzo con la cultura europea y las enseñanzas y experiencias de insignes maestros, redundó en grandes y duraderos beneficios para nuestro país.

I. - Doble proyección óptica

(Principio de Scheimpflug)

Los grandes esfuerzos realizados por Th. Scheimpflug para facilitar la restitución de estereogramas, lo condujeron en 1898, a establecer el **principio de la doble proyección óptica** que lleva su nombre.

La realización práctica de la aplicación de este principio debía marchar a la par con el desarrollo de los aparatos de restitución.

11. Principio de Scheimpflug; su definitiva introducción en Fotogrametría.

Scheimpflug demostró su principio con las siguientes operaciones:

Fijó sobre una tabla horizontal dos cámaras (de foco variable) exactamente iguales entre sí, para tomar simultáneamente las vistas conjugadas de un modelo de edificio, ubicado a corta distancia horizontal de las cámaras.

Reveladas las placas, se situaron los negativos dentro de dos proyectores, a la misma posición relativa que ocuparon en el momento de la toma.

Con una conveniente iluminación de los negativos, Scheimpflug pudo obtener mediante doble proyección óptica, sobre una pantalla vertical común, la imagen real (estereoscópica) del objeto (edificio) del espacio.

12. M. Gasser perfeccionó y popularizó el método de Scheimpflug.

Compenetrado de la trascendencia práctica del principio de Scheimpflug, Gasser se lanzó sobre el mismo con gran entusiasmo, desarrollándolo. Lo perfeccionó constructivamente y aplicó por primera vez el método en gran escala, contribuyendo con ello a su divulgación.

Las evidentes e innegables ventajas que el método de la doble proyección óptica indudablemente tiene, le han de asegurar una vida duradera a través de los tiempos venideros; estando por ello en uso práctico para la confección de planos a escala pequeña hasta el día de hoy en Alemania, Francia, Italia, etc.

13. Base estereoscópica del método.

La pequeña base estereoscópica empleada por Scheimpflug en su experimento de Estereofotogrametría terrestre mediante la reducida separación de las dos cámaras-gemelas fué luego considerablemente aumentada por él mis-

mo en su aplicación en los primeros trabajos de Estereofotogrametría aérea. Las montó una en cada extremo de una aeronave (Zeppelin) para tomar vistas verticales simultáneas.

Boykow empleaba dos aviones que volaban a corta distancia entre sí, en los cuales tenía montadas en cada uno de ellos una doble cámara, con cada una de las cuales se pudo tomar la vista del terreno y la del otro avión del cual colgaba una cinta metálica graduada, que sirvió para la medición taquimétrica de las bases. Los obturadores de ambas cámaras eran sincronizados.

Obteníanse así vistas apareadas exactamente simultáneas con los elementos de cálculo para obtener taquimétricamente, la **longitud de la base estereoscópica**.

En la actualidad, se obtiene la longitud de esta base b , más simplemente, según la fórmula (30), a raíz de vistas tomadas en serie con recubrimiento estereoscópico del 60 %.

14. Características de la doble proyección óptica.

Cada uno de los dos proyectores que constituyen un **doble proyector** (ver fig. 2) contiene intercalado en el camino de los rayos un fotograma de vista vertical o vista inclinada obtenida con recubrimiento estereoscópico.

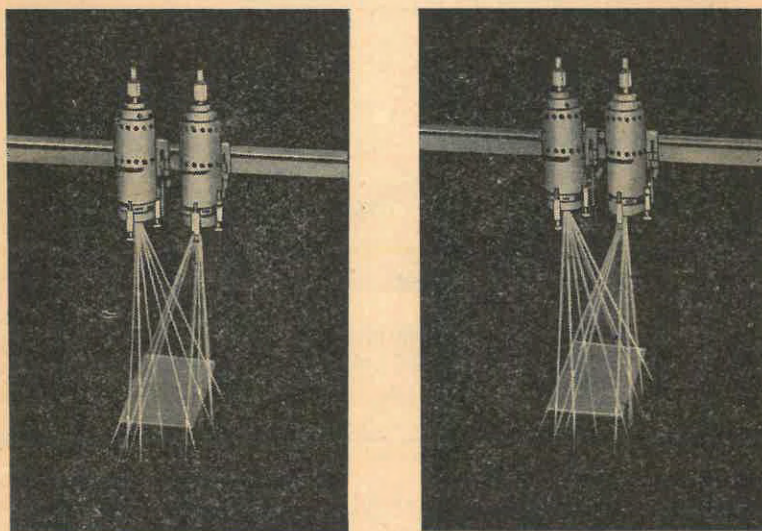


Fig. 2.— Principio de la doble proyección óptica.

Invirtiendo el proceso de la fotografía estereoscópica: se forma el modelo óptico de un objeto del terreno levantado (en nuestro ejemplo una superficie plana) por la intersección de pares de rayos homólogos.

Después de haber dado a los dos proyectores con respecto a la mesa de proyección la misma orientación que tuvieron entre sí las cámaras en el momento de la toma, habiendo previamente reducida la base estereoscópica a la de la carta, todos los rayos conjugados salientes de los proyectores, procedentes de puntos homólogos se cortan dos a dos.

El conjunto de estos puntos de intersección constituye el modelo óptico del terreno levantado.

La **proyección paralela** de los puntos de intersección sobre el plano de la carta, será realizada mediante una mesa de dibujo. Para poder representar en esta mesa no sólo la planimetría sino también la altimetría (con curvas de nivel), la misma puede ser desplazada en altura.

15. Imágenes superpuestas; su separación y fusión.

Como en la mesa de proyección las semi-imágenes aparecen superpuestas, los puntos de intersección no pueden ser distinguidos.

A fin de hacerlos visibles, es necesario **separarlos**.

El mejor recurso óptico que conduce a esta separación es el **procedimiento de los anaglifos** anteriormente explicado.

Se colocará para ello en el proyector izquierdo un filtro **verde** y en el derecho un filtro **rojo**.

La imagen así obtenida será observada por el operador, con gafas de color verde para el ojo izquierdo y rojo para el derecho.

Cada ojo verá entonces solamente la imagen que le pertenece y no habrá más dificultad para la **fusión** de ambas semi-vistas y la formación de la imagen estereoscópica buscada.

Con ayuda de la mesa de dibujo, se obtendrá la planimetría y altimetría (curvas de nivel) de la carta.

II. - El aereoprojector «MULTIPLEX» de Zeiss.

16. Característicos elementos constructivos.

A fin de hacer el aparato más manejable y más cómodo en su uso, mediante un instrumento reductor adicional, los negativos originales del formato 18×18 cm son reducidos al tamaño 4×4 cm.

Como se desprende de la figura 3, varios proyectores dobles pueden ser fijados sobre una barra horizontal.

La gran **ventaja** que brinda este montaje de varios proyectores dobles en conjunto, será destacada más adelante al tratar la triangulación y la poligonación aérea.

A fin de poder reproducir la correcta orientación relativa de los fotogramas, cada proyector tiene tres movimientos, siendo girable alrededor de tres ejes.

Una vez terminada la orientación de cada modelo parcial, se logrará realizar la orientación absoluta del conjunto por medio de dos movimientos de la barra horizontal.

17. Dibujo, Precisión planimétrica y altimétrica.

Se dispone de un pequeño tablero de dibujo, al cual se puede variar su altura.

Si el dibujo es efectuado a escala doble o cuádruple de la carta, siendo luego nuevamente reducida a ésta, se podrá obtener con este instrumento la

(5) **precisión planimétrica de 0,2 mm**
generalmente exigida para la confección de planos topográficos.

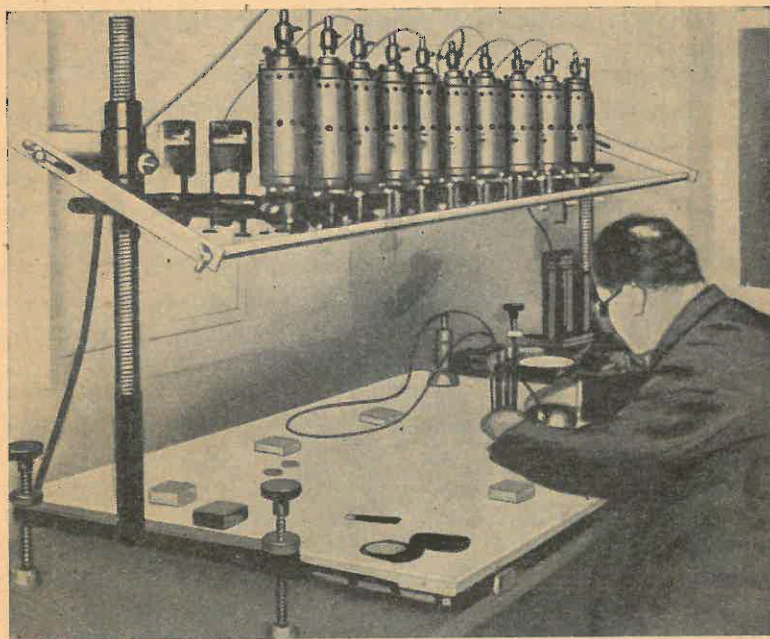


Fig. 3.— Restitución de una faja con 10 vistas aéreas mediante el Aereoprojector "Multiplex".

Para la medición estereoscópica de las alturas se puede admitir el valor medio del error de:

$$1\% \text{ de la altura de vuelo } h$$

resultando por ello el instrumento especialmente apto para la rápida confección de planos y cartas a escala pequeña.

Hacemos recordar al lector que las tolerancias o máximos errores medios sirven, por un lado, como criterio teóricamente fundado, para la eliminación de los errores groseros, por el otro lado, para asegurar la precisión, exigida por la práctica.

Al declararse que al instrumento "Multiplex" le falta precisión, como afirman algunos autores se confiesa tácitamente que ha sido aplicado para finalidades para las cuales no está destinado.

18. El "Multiplex" perfeccionado.

Se construye actualmente el "Multiplex" para restituir vistas granangulares de 30×30 cm y vistas inclinadas de diferentes distancias nadirales.

Una barra de 3 metros de longitud permite orientar simultáneamente hasta 21 proyectores.

19. Límites de la escala de restitución.

En los proyectores normales, el plano de nitidez máxima se encuentra a 36 cm de distancia del objetivo de proyección; en los más modernos modelos granangulares a sólo 26 cm.

Si se diafragma el objetivo de proyección, se obtendría una zona de nitidez de 15 cm de profundidad a ambos lados del plano de máxima nitidez.

La escala de restitución elegida deberá por eso producir una reducción de la altura de vuelo tal que el terreno a levantar quede dentro de esa zona de nitidez del proyector.

La escala mínima de restitución queda determinada por la base mínima que se puede poner en el aparato, o sea, por el diámetro de los proyectores; es decir de 9 cm en los modelos normales y de 11 cm en los modelos granangulares.

Si se trata, por ejemplo, de confeccionar una carta a escala 1:25 000, con cámara de $f = 20$ cm y altura de vuelo $h = 4\,000$ m, se tendrá para la escala de imagen:

$$E_i = \frac{f}{h} = \frac{1}{5 \times 4\,000} = \frac{1}{20\,000}$$

La longitud de la base b será en este caso, según hemos visto en pág. 128, ejemplo 2, de 1 300 metros aproximadamente.

En una escala de restitución de 1:10 000, esta longitud de base de 1 300 metros quedaría reducida a la magnitud de 13 cm, entre los proyectores; y la superficie del modelo se hallaría a la distancia de $\frac{4\,000 \text{ m}}{10\,000} = 40$ cm del

objetivo de proyección, es decir, muy próximo al plano de nitidez máxima (36 cm).

Cabe ser mencionado aquí que la casa norteamericana **Bausch y Lomb** Rochester, N. Y., construye actualmente modelos de **Multiplex** en varios puntos perfeccionados por R. K. **Bean**, y que a partir de 1945 también la firma inglesa **Williamson** construye modelos del **Multiplex**.

Finalizando este subcapítulo dedicado a la doble proyección óptica, podemos decir: No obstante el alto interés que merece el procedimiento de *Scheimpflug* desde varios puntos de vista, el mismo tuvo que ceder el paso a los métodos de la **Fotogrametría de paralajes**, a cuyas admirables creaciones constructivas se debe un nuevo impulso en la confección de planos y cartas con la perspectiva de alcanzar la meta final.

III. - Revista de importantes modelos de aparatos de restitución usados en la República Argentina.

Daremos como continuación de fig. 1 una reseña ilustrativa, de los modelos más conocidos no sólo en la República Argentina, sino también en los demás países del mundo civilizado.

En el modelo actual, **C7 del Estereoplanógrafo** (abril de 1951), de la firma **Zeiss-Aerotopograph** (München, Alemania), se logró aumentar el formato de la imagen desde 18×18 cm hasta 24×24 cm; siendo así este instrumento

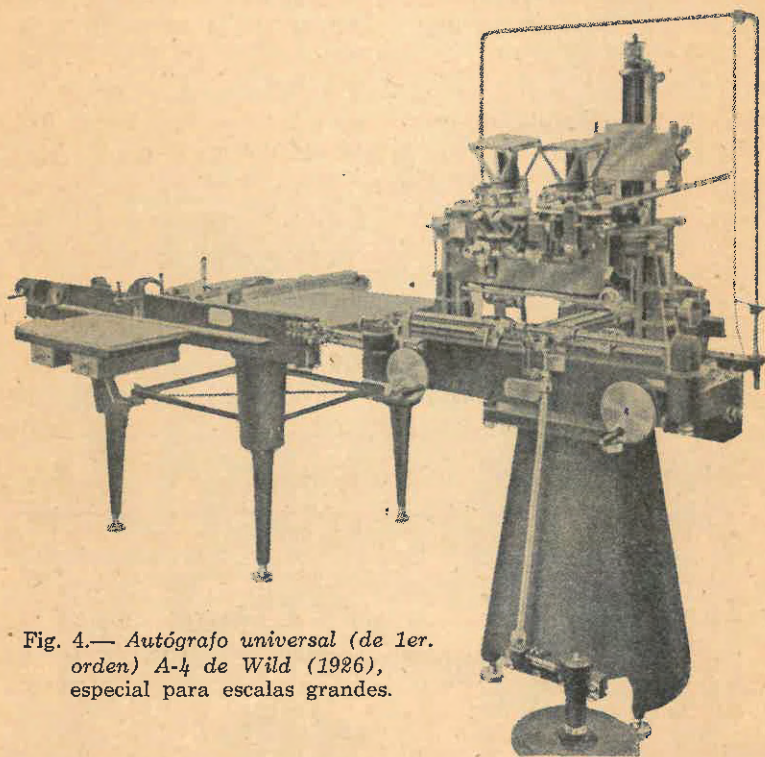


Fig. 4.— Autógrafo universal (de 1er. orden) A-4 de Wild (1926), especial para escalas grandes.

de 1er. orden hasta ahora el único que permite restituir directamente vistas aéreas y terrestres del formato 9 por 9 pulgadas (23×23 cm) actualmente muy usado en los Estados Unidos.

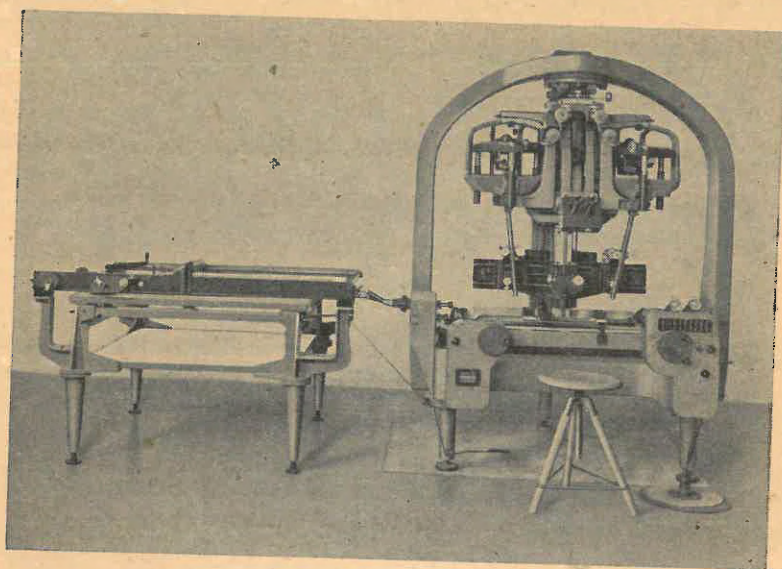


Fig. 5. — Instrumento de restitución de primer orden, A-5 de la firma Wild, basado en la proyección mecánica, para vistas terrestres y aéreas.

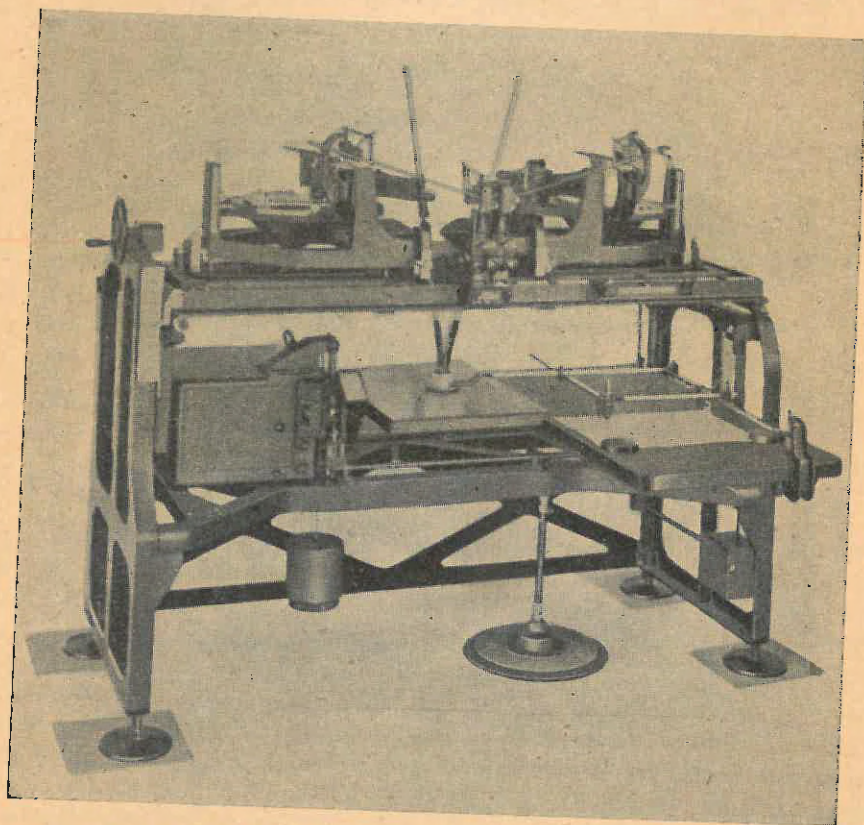


Fig. 6. — Instrumento de restitución de 2º orden A-6 de Wild (1938), especial para planos topográficos a escalas medianas y pequeñas.

Proyección enteramente mecánica.

La primera solución del problema de la proyección enteramente mecánica fué dada, ya en 1911, por la casa Zeiss, con la construcción del **Estereocartógrafo** de **von Orel** aparato que fué detalladamente descrito y explicado en la Primera Parte del presente tomo.

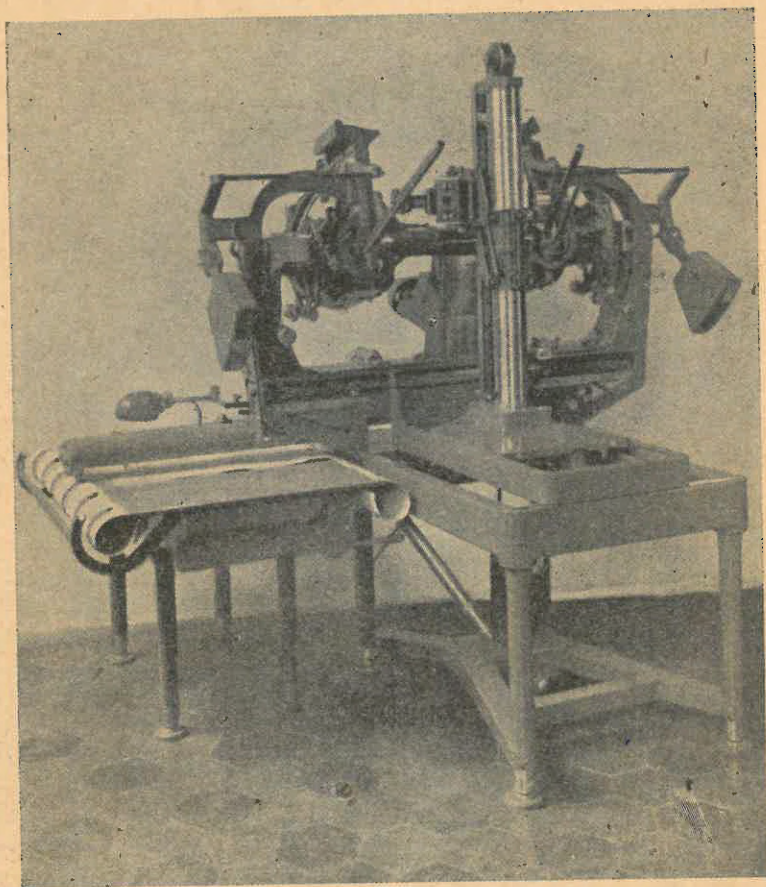


Fig. 7. — *Estereocartógrafo "Santoni". Modelo III, para trabajos de precisión.*

Es un aparato de restitución de primer orden.

Entre las soluciones actuales merece ser mencionada en primer lugar el Estereocartógrafo Modelo II de Santoni, (ver fig. 8), aparato de restitución de segundo orden, construido por las "Officine Galileo" de Florencia; así como el Estereocartógrafo Modelo III de Santoni, construido según el mismo principio, pero en forma más perfecta (fig. 7).

Según este mismo principio constructivo la firma Wild (Heerbrugg, Suiza) construyó los modelos:

A-5 (ver fig. 5) de primer orden y

A-6 (ver fig. 6) de segundo orden.

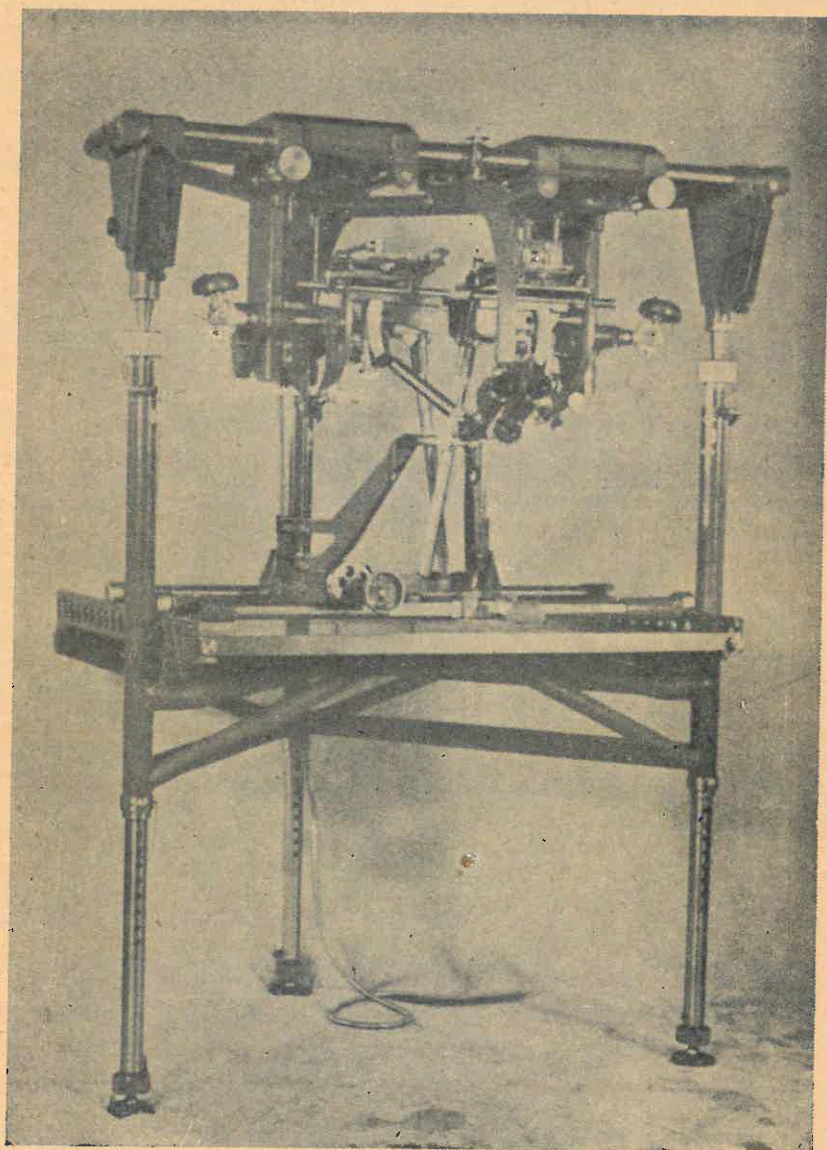


Fig. 8. — Estereocartógrafo "Santoni" Modelo II.

Pertenece a la categoría de instrumentos de proyección enteramente mecánica.

Es un aparato de restitución de segundo orden.

Capítulo IV

Aplicaciones de fotogrametría aérea

I. - Generalidades.

1. Importancia del material cartográfico existente.

Todo proyecto de confección de nuevos planos o cartas de una zona, debe tomar muy en cuenta la **cartografía existente**, por más pobre o deficiente que ésta fuera.

Ignorarla completamente y pretender realizar una obra totalmente nueva, sería ya un gran error técnico inicial.

En muchísimos casos la tarea consiste en el fondo, sólo en poner al día la cartografía existente, cambiando detalles que ya no existen más en la forma en que anteriormente fueron representados y quitando otros que han desaparecido.

Sabemos también que un plano topográfico completo, en realidad, no existe: el trabajo del hombre, así como los factores destructores de la Naturaleza (inundaciones, terremotos, etc.) se encargan de "envejecer la carta" con un ritmo más o menos acelerado, según la zona.

Esa actualización de cartas y planos abarca las más diversas escalas, desde las de levantamiento topográfico (1:50 000 y 1:25 000) hasta las de catastro rural (1:5 000 y 1:2 000).

Empero, debido a la pequeñez del dibujo de los detalles, se acostumbra emplear, según (40), pág. 48, para la escala $E_r = 1:50\,000$ la escala $E_i = 1:30\,000$ y para $E_c = 1:25\,000$, la escala $E_i = 1:20\,000$.

2. Caso de no existir carta previa.

El caso de faltar carta previa de la zona a levantar, presenta a la navegación aerofotogramétrica dificultades serias; porque no se trata en este caso de poder unir simplemente un punto dado con otro prefijado por el camino más corto. En este caso se tratará de vuelos especiales, con rumbo convenientemente elegido, en líneas paralelas entre sí y equidistantes, todas a la misma altura.

Al no cumplirse estas condiciones, cuando, por ejemplo, la falta de equidistancias de fajas sobrepase la magnitud del recubrimiento, se producirán **lagunas**. Estas lagunas ocasionarán costosas repeticiones de vuelo.

Empléanse, por eso, en este caso, los aparatos auxiliares indicados en pág. 38.

Considerando a las últimas posibilidades, instrumentales y operativas, como resueltas, el actual estado de desarrollo de la Fotogrametría aérea permite asignarle las siguientes 4 grandes tareas:

3. Cuatro tareas principales de la Fotogrametría aérea.

TAREA I:

Actualización de planos de catastro rural existentes, confección de planos de catastro rural originales en base a puntos fijos de apoyo a crear topográficamente.

TAREA II:

Actualización de planos topográficos existentes, confección de planos topográficos originales, en base a puntos fijos a crear por los métodos topográficos.

TAREA III:

Dotación de puntos fijos por el método de triangulación radial, y levantamiento planimétrico de zonas llanas por el método aerofotogramétrico.

TAREA IV:

Dotación de puntos fijos por aerotriangulación y levantamiento fotogramétrico completo (con curvas de nivel) de carácter topográfico cualquiera.

II. - Puntos fijos de apoyo.

4. Importancia de los puntos de apoyo.

Un vistazo a estas 4 tareas de Fotogrametría aérea, le muestra al lector la importancia que tienen en cada una de ellas los puntos de apoyo, determinados por uno de los siguientes procedimientos topográficos:

triangulación independiente,
 „ de relleno,
 poligonación con teodolito,
 „ taquimétrica,
 „ de brújula,

así como de los que se obtienen aerofotogramétricamente, por triangulación radial y aerotriangulación.

También comprende el lector la necesidad de una buena y eficaz señalación de esos puntos fijos en el terreno, de su buena visibilidad en el terreno y en el aerofotograma.

Al no cumplirse estos requisitos, los fotogramas no servirán para la restitución y confección de planos.

Comprendemos también las grandes ventajas económicas que nos brindan esos procedimientos de determinación aérea, cuando se trata de levantamientos de extensas zonas de selva virgen, de regiones de pantanos o de alta mon-

taña; siendo cada vez más intensa la tendencia a independizar a la Fotogrametría aérea de todas las operaciones terrestres.

5. Número necesario de puntos de apoyo por cada fotograma aéreo. Dos casos.

Caso 1º: Fotograma aislado. Son 3 la cantidad de puntos de apoyo necesarios en la restitución para la correcta orientación de una vista aislada; requiriéndose 5 puntos para una pareja de vistas.

2º Caso (más importante): En el caso de vistas aéreas en serie con recubrimiento estereoscópico, es decir con 60 % de recubrimiento longitudinal y 30 % de recubrimiento transversal, se necesita un punto de apoyo por cada fotograma.

6. Ejemplos de aplicación práctica.

En zonas con la densidad de puntos fijos de
un punto por 2 km²

se satisface la exigencia de 1 punto por cada vista, con tomar vistas nadirales desde

3 000 m de altura de vuelo
mediante cámara simple.

Con cámara cuádruple se la realizaría con tomar vistas desde sólo 1 500 m de altura sobre el suelo.

Utilizando este sistema de cámara para una altura de vuelo de
4 000 m sobre el suelo

bastaría para satisfacer la exigencia antes establecida (1 punto por cada vista) una densidad de puntos fijos de tercer orden o sea:

1 punto fijo por cada 20 km²

7. Otro recurso de dotación de puntos fijos de apoyo, mediante el "vuelo a gran altura".

Cabe ser destacado aquí especialmente que de todos los métodos geométricos en uso para la determinación de puntos fijos, el más adecuado es el método de **poligonales taquimétricas**, al que examinamos teóricamente en págs. 251 y 305 de nuestra Teoría de los Errores y Cálculo de Compensación (2ª edición). De su aplicación práctica damos un ejemplo numérico, en págs. 56 y 57 del Volumen 2 del Tomo III.

Empero, en los últimos años se viene empleando con creciente preferencia, principalmente en la dotación de puntos fijos a extensas superficies de terreno, el **procedimiento de triangulación radial mecánica** (ver pág. 185), por las múltiples ventajas que su uso nos brinda, dándose así un paso más en la independización de las operaciones aéreas de las terrestres.

Cuando en una zona a levantar no existen otros puntos fijos de apoyo que los de primero y segundo orden de la red geodésica, se podrá recurrir al método de "**vuelo a gran altura**" para obtener los necesarios puntos de apoyo: Se la sobrevolará a dos distintas alturas, una vez con vuelo ordinario a mediana altura para la deseada escala de imagen, y una segunda vez a gran altura para obtener los necesarios puntos de apoyo.

Los fotogramas procedentes de este segundo vuelo pueden ser restituidos porque contendrán los necesarios puntos de apoyo; y, con ampliarlos a la escala de los fotogramas del primer vuelo, se les proporcionará a los fotogramas del mismo los necesarios puntos de apoyo para su restitución y la confección del respectivo plano.

III. - Método de enderezamiento.

La rapidez del procedimiento, la mecanización casi completa del trabajo, el relativo bajo precio del aparato, así como la gran sencillez del manejo del mismo hacen que el procedimiento de enderezamiento o rectificación sea el preferido cuando se trate de la confección de planos y cartas en terreno llano; y que se lo emplee también en terreno ondulado cuando la precisión exigida lo permita.

Recordamos que el método abarca toda esa parte de la Fotogrametría aérea basada en *vistas aisladas* en oposición a la otra parte, más importante por cierto, basada en *vistas apareadas*.

Llámase a veces esa 1ª parte de la Fotogrametría "**Fotogrametría bi-dimensional o planimetría**" y la 2ª "**Fotogrametría tri-dimensional o estereoscópica**".

En un país eminentemente llano como el nuestro, es lógico que la Fotogrametría aérea de vistas aisladas, encuentre un enorme campo de aplicación: Se la emplea en la confección de **fotoplanos** o **fotocartas**, en la actualización de planos catastrales rurales (1ª tarea, ver pág. 176), en la actualización de planos topográficos (2ª tarea, pág. 176), a veces sin enderezamiento; en trabajos de reconocimientos y anteproyectos de grandes obras de ingeniería, para la cartografía estadística (superficies cubiertas de bosques, etc.), de turismo, etc.

8. Fotoplanos o fotocartas, "mosaicos"; su obtención. Precisión.

Llámase "**mosaico fotogramétrico**" a un conjunto de vistas verticales ordenadamente dispuestas y pegadas entre sí.

Son estos "**mosaicos**" que, no obstante sus pequeñas fallas de escala, son utilizados en la moderna cartografía estadística y de turismo.

Son, según dijimos anteriormente, las oscilaciones del avión en el espacio y las pequeñas desigualdades en el terreno las que motivan las pequeñas diferencias de escala y las deformaciones de las vistas.

Para conseguir que el conjunto de fotogramas tenga en todas partes igual escala previamente fijada, es necesario recurrir al procedimiento del enderezamiento o rectificación.

El enderezamiento de cada fotograma aéreo requiere la unión con 4 puntos de apoyo terrestres, los que se reducirán a 3 puntos en caso de conocerse, además, la distancia principal de la cámara de toma.

Sin embargo, en la práctica no se considera generalmente bien apoyado un enderezamiento sobre tres puntos, por tratarse casi siempre de vistas verticales y la consiguiente proximidad del "cilindro peligroso".

El operador se esforzará por ello de apoyar la rectificación en lo posible en 4 puntos y de distribuirlos de tal modo que el cuadrilátero formado por ellos tenga la máxima superficie posible.

Precisión de la posición de puntos de la fotocarta rectificada.

Admítense generalmente los errores medios de

(1) 0,2 hasta 0,3 mm

como inseguridad planimétrica de un punto de la fotocarta rectificada.

Sin embargo, en la práctica estos valores suelen ser mayores a medida que no se verifique en el terreno levantado la condición de terreno llano exigida.

Como ejemplos de esta clase de planos podemos citar:

1) el mosaico fotogramétrico de la Capital Federal, ejecutado por la Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires,

2) actualización de la Plancheta de Morón (Prov. de Buenos Aires), ejecutada por el Instituto Geográfico Militar.

IV. - Triangulación aérea.

Divídese la triangulación aérea en dos grandes ramas, en la

triangulación radial

para terrenos bi-dimensionales o terrenos llanos;

triangulación aérea, propiamente dicha,

para terrenos tri-dimensionales o terrenos de cualquier clase (llanos, ondulados y montañosos).

9. Característica principal de cada uno de los dos métodos de triangulación aérea.

En el método de triangulación radial elígen los puntos radiales como vértices de ángulos o centros de radiaciones; en el método de triangulación aérea, en cambio, son los puntos nodales de los objetivos de las cámaras de toma, los cuales constituyen los vértices de las pirámides de rayos.

TRIANGULACION RADIAL

10. Objetivo del método de triangulación radial.

El método de triangulación radial tiene por objetivo: obtener en ciertas condiciones de vuelo, operativas y del terreno, el material fotogramétrico (fotogramas) apropiado, para la medición o construcción de ángulos, en base a las direcciones salientes de determinados puntos notables, llamados puntos radiales, cual rayos de una radiación.

11. Condiciones de toma de vistas, instrumentales, operativas y del terreno.

Las vistas de triangulación radial deben ser tomadas en lo posible, sobre terreno llano o levemente ondulado, con cámara de vistas en serie, con eje vertical y un recubrimiento longitudinal del 60 %.

La condición de terreno llano y horizontal y la de eje de toma de vista vertical, son necesarias para realizar la igualdad de ángulos:

$$\text{ángulo medido en el fotograma} = \text{ángulo horizontal en el terreno}$$

El recubrimiento longitudinal es necesario para satisfacer la exigencia de que cada fotograma de la serie contenga puntos de las vistas adyacentes, facultándose con ello la visión y medición estereoscópica.

12. Terna de puntos radiales, sus ventajas e inconvenientes.

Son 3 los puntos radiales que pueden ser utilizados como vértices de ángulos en el fotograma:

el punto nadiral **N**,
el punto principal **H**, y
el punto central **M**.

En el punto nadiral **N** de la imagen, se cortan las imágenes de las rectas verticales de objetos del espacio.

Por eso los ángulos que se miden en el punto **N** de la imagen, no serán influenciados por diferencias de nivel del terreno.

La elección del punto nadiral ofrece la ventaja de que las diferencias de nivel de los puntos objetos en el terreno no afectan las correspondientes direcciones en la imagen.

Se le opone a esta ventaja el inconveniente de que, con excepción del caso de coincidencia del punto nadir con el punto principal o sea de vista exactamente nadiral, el ángulo que se mide en la imagen no es igual al ángulo horizontal en el terreno.

Si se elige el punto principal **H** como vértice de ángulos, se obtendrán directamente los mismos valores que los correspondientes ángulos en el terreno, aun con plano de imagen algo inclinado. Pero cualquier pequeña diferencia de altura en el terreno tendría fuerte influencia sobre esta medición angular.

La elección del punto central **M** ofrece la ventaja de una rápida y cómoda determinación como intersección de ejes de coordenadas definidas por las marcas marginales del fotograma.

Para el caso de vistas nadirales coincidirán los puntos **M** y **H**.

13. Explicación del método en base a la fig. 1.

Arriba se ve en perspectiva, 3 vistas, parcialmente superpuestas, formando los puntos principales **H**₁, **H**₂, **H**₃, conjuntamente con los puntos fijos **A** y **B**, el pentágono:

H₁ **H**₂ **H**₃ **A** **B**

Abajo se ven las 3 vistas en posición natural, horizontal, con el dibujo de los ángulos correspondientes a cada una.

A y **B** son dos puntos fijos con coordenadas conocidas.

La figura nos muestra que el recubrimiento es o debe ser tal que el punto principal H_1 de la primera vista y el H_3 de la tercera, aparecen también en la segunda vista; el H_2 también sobre la primera y tercera vista.

Además deben aparecer en las 3 vistas nítidamente visibles, los dos puntos de apoyo terrestres, **A** y **B**.

Si se trazan ahora, en cada vista, con centro en el respectivo punto principal, los rayos a los otros puntos ya mencionados, esos rayos formarán entre sí los 8 ángulos que determinan la forma del pentágono $H_1 H_2 H_3 A B$.

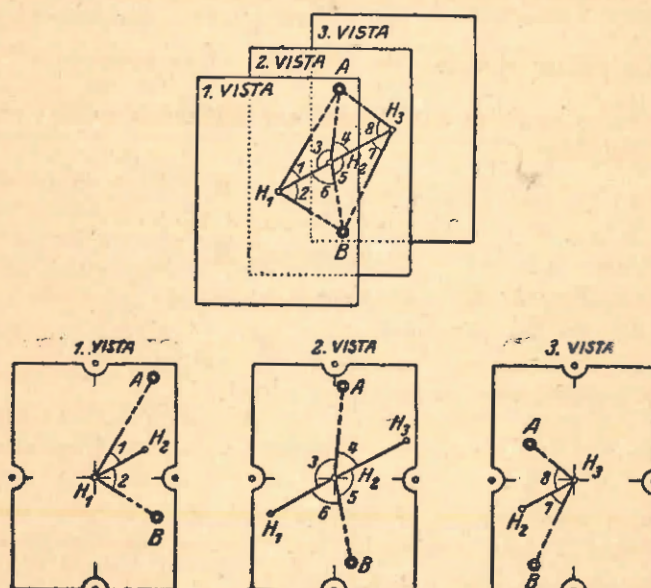


Fig. 1. — Determinación de puntos fijos de apoyo mediante el método de triangulación (poligonación) radial, con vistas verticales (negativos horizontales).

Si las coordenadas de los puntos **A** y **B** son conocidas, según lo suponemos, las coordenadas de los puntos H_1 , H_2 y H_3 pueden ser fácilmente calculadas, empleando el procedimiento de “triangulación de enlace” o “poligonal de enlace” explicada en Tomo III, Volumen 1 de nuestro Compendio.

14. Extensión y límite del “procedimiento del pentágono”.

El “procedimiento del pentágono” que acabamos de explicar, puede ser extendido a toda una cadena de vistas verticales tomadas en serie con suficiente recubrimiento. Empero, la acumulación de los inevitables errores le impone pronto un límite. Adóptase para la distancia de los puntos de apoyo **A** y **B** la longitud máxima de

15 a 20 km

15. Poligonación aérea de enlace. Factores correctores de escala y orientación.

La triangulación radial o “**poligonación aérea de enlace**”, para terreno llano, que acabamos de sintetizar, completada por el método de **poligonación aérea de enlace con anaglifos**” (que trataremos más adelante), para terrenos de cualquier carácter topográfico; estos dos procedimientos muestran del modo más claro y más convincente el progreso realizado en la dotación de puntos de apoyo, desde el aire, a zonas carentes de ellos, en base a un mínimo de puntos fijos terrestres.

El método es más claro y más convincente que otros recursos por su gran sencillez y la gran similitud con la “**poligonización de enlace terrestre**”.

Son dos análogos “puentes”, el “puente aéreo” realizado por Fotogrametría aérea, y el “puente terrestre” medido con teodolito y cinta; ambos “puentes” calculados y corregidos o **compensados** por el mismo procedimiento.

Se adoptan valores fingidos o aproximados para el lado poligonal de arranque y su rumbo. La escala verdadera y el rumbo definitivo son obtenidos por medio de un punto fijo visible en la 1ª imagen y otro punto fijo visible en la última. Ambos puntos fijos son vinculados con el sistema de la poligonal aproximada o fingida por medio de la bisección.

La comparación de sus valores en este sistema con sus valores conocidos en el sistema de coordenadas del país nos procura los factores correctores de la escala (o sea el factor longitudinal) y del rumbo.

16. Cadena de rombos.

El recubrimiento empleado en la triangulación radial es tal, como hemos visto en fig. 1, que en cada vista aparecen los puntos principales de las vistas adyacentes.

Este recubrimiento puede ser aprovechado para obtener otros puntos, los llamados **puntos auxiliares**, con marcar los puntos medios de los bordes, superiores A_1, A_2 , e inferiores B_1, B_2 , de cada vista. Uniendo cada uno de estos puntos auxiliares con el punto principal de las vistas adyacentes, se obtendrá una serie de rombos parcialmente superpuestos, que lleva la denominación de **cadena de rombos**; ampliándose con ello eficazmente la utilidad práctica del método.

17. Red radial.

Si en lugar de una sola faja de vistas en serie con recubrimiento longitudinal del 60 %, dispusiéramos de varias fajas paralelas, con un recubrimiento transversal del 50 %, el conjunto constituiría una **red radial**, formada principalmente de una red de puntos radiales. El ajuste de esta red se efectuará con tanta mayor perfección cuanto mayor sea el número de puntos fijos de apoyo que aparezcan sobre los fotogramas.

18. Nota histórica relativa al invento y desarrollo del método de triangulación radial.

Scheimpflug expresó ya en 1908 la idea fundamental de la triangulación radial.

En 1921, **S. Finsterwalder** retomó la idea y la desarrolló.

En 1928, la casa Zeiss construyó el Triangulador radial según las indicaciones de **O. von Gruber**.

En 1933, **C. W. Collier** ideó el método de triangulación radial mecánica.

En 1945, la casa Zeiss hizo conocer un nuevo aparato auxiliar para triangulación radial mecánica.

19. Tres procedimientos de restitución de los fotogramas de triangulación radial.

La "escuela alemana" prefiere el **procedimiento de medición y cálculo**, con el triangulador radial, en base a los negativos originales. Ver fig. 2.

Los ingleses prefirieron siempre el **procedimiento gráfico**, en base a las copias de los negativos originales.

En U. S. A. se halla en uso desde 1933 el **procedimiento de triangulación radial mecánica**, del cual trataremos en págs. 185 y 187.

20. Amplitud de aplicación de un instrumento de restitución de triangulación radial.

Utilízase en el instrumento de fig. 2 el efecto estereoscópico obtenido por la observación simultánea de dos vistas consecutivas tomadas con recubrimiento estereoscópico (del 60 %).

Los principales órganos de este instrumento son los siguientes:

Dos porta-imágenes (negativas) *B* con sus dos círculos graduados giratorios *D*;

el puente-guía *G*, con las escalas *F* para los dos porta-negativos;

Doble microscopio *A*, con prisma de Amici para la inclinación lateral de las imágenes;

Dos volantes *H*, el izquierdo para el movimiento común de los dos negativos y el derecho para su movimiento relativo, leyéndose los valores de los respectivos movimientos en la escala *F* con la precisión de 0,02 mm.

En el **Triangulador perfeccionado**, de más reciente construcción, se pueden medir directamente coordenadas polares o coordenadas rectangulares en vistas hasta de 30 × 30 cm de tamaño.

La **observación y medición estereoscópica** hace más fácil la identificación de los puntos a medir aumentando al mismo tiempo la precisión de los resultados.

Teniendo en cuenta la amplitud de su empleo, podríamos decir:

El triangulador radial es un verdadero "**fototeodolito de gabinete**", con el cual se pueden efectuar las bisecciones de puntos radiales, puntos auxiliares, puntos fijos de apoyo, etc.; sin necesidad de trasladarse al terreno, sin ser molestado en la puntería por árboles o edificios; ventajas que redundan en grandes ahorros, de tiempo y dinero.

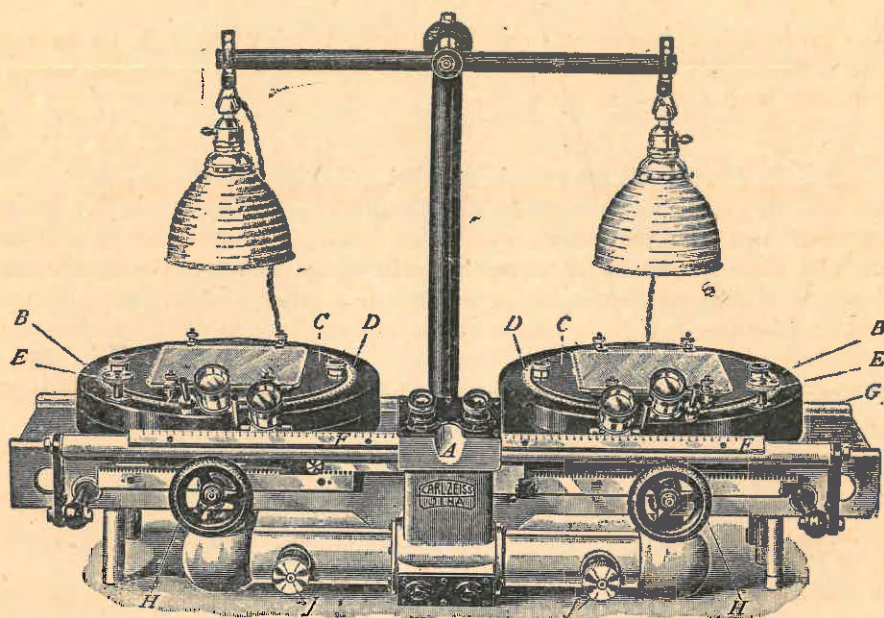


Fig. 2. — Triangulador radial de Zeiss.

21. Operaciones a efectuar con cada par de vistas.

El trabajo se inicia con las siguientes operaciones:

- 1) Elección y marcación de los puntos auxiliares sobre copias en papel;
- 2) colocación y centración de los negativos 1 y 2 en los porta-negativos;
- 3) enfoque estereoscópico cuidadoso de las rectas de unión de los puntos radiales (**H**, **N** o **M**) mediante los volantes;
- 4) lectura de las respectivas direcciones en ambos círculos graduados;
- 5) enfoque y lectura de direcciones correspondientes a los puntos auxiliares y puntos de apoyo que aparezcan en el campo visual;
- 6) cambio del negativo 1 por el 3 y repitiendo las operaciones anteriores.

22. Precisión angular y lineal, alcanzable con el procedimiento de medición.

Respecto a la **precisión de las direcciones** realizable con el triangulador radial, teniendo en cuenta posiciones medianamente favorables de los puntos, se puede admitir el

error medio de 2'

En cuanto a la precisión de las distancias en las cadenas de rombos o en las redes radiales, la misma depende mucho de la configuración del terreno sobrevolado; así como de la calidad de vuelo fotogramétrico es decir: de la mayor o menor aproximación a la verticalidad del eje de la cámara.

Para orientación del lector en cuanto al error lineal, citaremos los resultados de la medición con **triangulador radial**, de dos grandes **redes radiales**, en las Indias Holandesas.

De la primera red resulta un error lineal relativo de 2,6 %, y de la segunda, en base a un control establecido en 10 puntos fijos de apoyo una desviación o discrepancia media de

7 metros

23. Procedimiento de restitución gráfica, de triangulación radial.

El procedimiento de restitución gráfica de triangulación radial ha sido empleado por los ingleses en extensas superficies de terreno. Es mucho más sencillo que el procedimiento que acabamos de explicar porque se evita toda medición y cálculo; y si se le aplica cuidadosamente, la pérdida de precisión no es grande.

Se comienza por trazar sobre trozos de papel transparente, los haces de rayos radiales de cada fotograma.

Se inicia el trabajo, en lo posible, con un par de fotogramas que contenga un mínimo de 2 puntos fijos, con coordenadas conocidas.

Los dos haces de rayos radiales de los mismos serán superpuestos de tal modo que los correspondientes rayos al punto radial de las vistas vecinas, $H_1 H_2$ y $H_2 H_1$, coincidan exactamente.

Sólo falta ahora establecer la *escala de imagen*, la que se consigue con correr el haz de rayos radiales de la segunda imagen hasta que los dos puntos fijos antes mencionados, queden determinados por los correspondientes rayos conjugados de ambas imágenes. Se tendrá determinada así, gráficamente, la distancia $H_1 - H_2$ buscada en base a los dos puntos fijos dados.

En esta posición de los puntos radiales, H_1 y H_2 , se podrían determinar los puntos auxiliares A_1 (arriba) y B_1 (abajo), por intersección hacia adelante de rayos conjugados y, en base a ellos, la posición del punto radial H_3 , del mismo modo que antes el punto radial H_2 fué obtenido en base a los puntos fijos de coordenadas conocidas.

En análoga forma se proseguirá con las demás imágenes de la faja.

Si durante el desarrollo de la faja se encontrara un nuevo punto fijo, con coordenadas conocidas, se obtendrá una discrepancia entre la posición dada por las coordenadas y la del dibujo, la que será repartida sobre los puntos anteriores proporcionalmente a sus distancias al origen.

Cabe ser mencionado y brevemente caracterizado también el tercer procedimiento de restitución, la *triangulación radial mecánica*, introducida por Collier en 1933, con la denominación de "slotted template" o *método de las planillas ranuradas*.

Este método de restitución se ha difundido mucho en U.S.A. y, a partir de 1945, también en Alemania.

24. Triangulación radial mecánica. Triangulador radial mecánico (modelo argentino). Nota histórica.

Este método de restitución se diferencia del procedimiento gráfico en que, en lugar de obtener los rayos radiales geoméricamente como rectas trazadas sobre papel transparente, se los representa con trozos de ranuras, practicadas en las copias de los negativos con un aparato especial, siendo el más perfeccionado de estos aparatos el de Zeiss, del año 1945, anteriormente mencionado.

En lugar de la intersección geométrica de rayos conjugados del procedimiento gráfico, tenemos aquí una vinculación mecánica de "rayos mecánicos".

Las ventajas del procedimiento de triangulación radial mecánica son seductoras: Se evita toda medición y todo cálculo. Permite subdividir la labor de conjunto en varias sencillas operaciones parciales, las que pueden ser ejecutadas por un personal de relativa poca ilustración; el que, después de poca práctica, suele dar resultados completamente satisfactorios.

El trabajo se controla por sí mismo, evitándose así las dificultades y molestias inherentes a las compensaciones de las discrepancias.

La precisión de los resultados satisface a muchos objetivos de la práctica.

Podemos decir, **resumiendo**: La **triangulación radial**, con sus 3 procedimientos de restitución, el numérico (medición y cálculo), el gráfico y el mecánico, ha adquirido en la actualidad mucha importancia por la sencillez y la eficiencia práctica con que logra realizar su objetivo; o sea, la obtención de nuevos puntos fijos, puntos de apoyo para un trabajo de enderezamiento o el dibujo de carta topográfica.

Mientras que en el procedimiento gráfico las direcciones del fotograma son trasladadas a trozos de papel transparente, con el solo recurso de lápiz y regla, y que luego son convenientemente empalmados entre sí, en el procedimiento numérico las direcciones de la imagen son directamente medidas en el negativo mediante un triangulador radial. En el procedimiento mecánico, en cambio, se las realiza con ranurar los fotogramas ó cartón auxiliar.

La compensación de las discrepancias que se revelan dentro de las fajas aisladas y entre fajas adyacentes, en la aplicación de los dos primeros procedimientos, da lugar a un trabajo adicional más o menos grande, el que se evita completamente con el procedimiento mecánico.

La longitud máxima de las fajas oscila entre 20 y 30 km (distancia entre puntos fijos de primer orden).

La República Argentina, su colaboración constructiva en Fotogrametría.

Nota histórica.

En 1916, en plena Primera Guerra Mundial, con todas las grandes dificultades causadas por ella, se llevó a cabo en los talleres de mecánica de precisión de la firma **C. Boglietti y Cía.** (Buenos Aires), la construcción de un **Estereoautógrafo**, según las indicaciones de **J. Limeses** y **G. Pacchioni**.

Este primer aparato automático de restitución prestó servicios en el **Instituto Foto-Topográfico Argentino**, fundado en esa época por **A. Saralegui**.

Posteriormente, el **Instituto Geográfico Militar** encargó a la nombrada firma la construcción de un segundo ejemplar (Modelo 1922) y más tarde un tercero, perfeccionado (Modelo 1926), con el cual se hizo con todo éxito la carta de un gran trabajo de levantamiento (5 000 km²).

Para las correspondientes figuras y más datos ilustrativos, ver págs. 147 y siguientes del Volumen V, Tomo I (años 1920 - 26) del Anuario del Instituto Geográfico Militar.

Después de este primer ejemplo de encomiable colaboración constructiva argentina digna, ciertamente, de ser sacado de su injustificado olvido, nos

resulta sumamente grato poder informar al lector de un segundo gran éxito constructivo argentino que acaba de ser realizado por la firma **Maffi, Cope-
llo y Cía.**, en sus talleres de mecánica y óptica de precisión de esta Capital.

Es un Triangulador radial mecánico (ver fig. 3),

Las altas cualidades mecánicas y ópticas del aparato, así como las grandes ventajas comparadas con otras construcciones similares que ofrece su uso

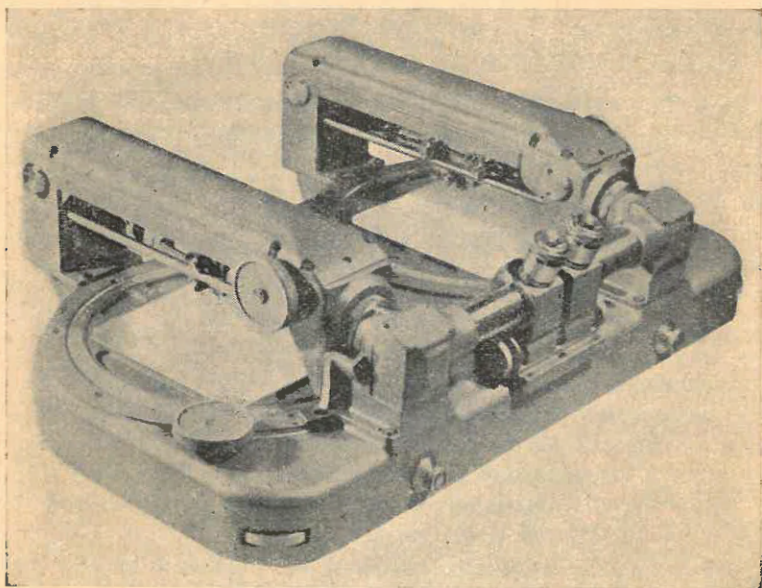


Fig. 3. — Triangulador radial mecánico argentino.

La figura completa correspondiente a este Triangulador radial, se halla en el dorso de la cubretapa de este último tomo de nuestro Compendio de Topografía.

práctico, fueron recientemente puestas de relieve ante los técnicos especializados del Instituto Geográfico Militar; lo que condujo a la adquisición del aparato por él mismo.

Cabe ser agregado aquí una breve **nota histórica** de especial interés para la Argentina.

A partir del año 1920, durante el cual se estableció; dentro de su nueva organización, la **Sección estereofotogramétrica** del Instituto Geográfico Militar, los trabajos fotogramétricos recibieron nuevos impulsos, no sólo los propios, sino los que el mismo efectuaba por cuenta de otras reparticiones técnicas del Estado, así como los de Yacimientos Petrolíferos Fiscales; intensificándose también los trabajos fotogramétricos efectuados por empresas particulares.

En ese mismo memorable año 1920, constituyóse en nuestro Instituto la primera Comisión estereofotogramétrica, bajo la dirección de los ya nombrados señores Pacchioni y Limeses, con la sola ayuda de un dibujante; componiéndose el equipo instrumental de un Fototeodolito y de un Estereocomparador de campaña.

Comprobóse por esta Comisión, por primera vez, en la República Argentina, prácticamente en el terreno, la relativa lentitud y laboriosidad del procedimiento cartográfico "punto por punto", o sea la desventaja del uso del Estereocomparador de Pulfrich, fren-

te a un aparato que dibuja directa y automáticamente líneas (curva de nivel) en la carta.

Por eso: Pacchioni y Limeses, excelentes topógrafos y luchadores de gran perseverancia, que se completaban idealmente (práctico el primero y teórico el segundo), han tenido un importante papel en el desarrollo de la Fotogrametría en la Argentina.

Ambos desaparecieron demasiado temprano, el primero en plena labor de campo, el segundo en plena labor de gabinete.

Sírvales a ambos esta breve nota como merecido homenaje a su memoria.

TRIANGULACION AEREA ESTEREOSCOPICA

25. Importancia del problema de la triangulación aérea.

El problema de la triangulación aérea constituye uno de los más importantes, puesto que su objetivo es la **provisión de puntos fijos a zonas carentes de ellos**, dándoles con ello el necesario fundamento para la confección de las correspondientes cartas.

26. Recapitulación de cuestiones fundamentales.

a) Orientación externa.

Sabemos que la orientación externa de un **fotograma aéreo aislado**, procedente de vista vertical, sólo es posible realizar, geoméricamente, cuando en el mismo aparecen las imágenes de un mínimo de **3 puntos**, conocidos planimétrica y altiméricamente. Sabemos también que para seguridad de la determinación son necesarios **4** de estos puntos básicos.

En caso de tratarse de **vistas verticales apareadas**, esta exigencia debe cumplirse por lo menos para la primera vista de cada par.

b) Determinación de puntos fijos en base a vistas aéreas con recubrimiento estereoscópico.

Si los haces de rayos de dos vistas vecinas se entrecortan dos a dos, de tal modo que parte del objeto (terreno) levantado aparece fotografiada en dos o más fotogramas, entonces será teóricamente posible que cada vista sucesiva sea orientada en base a puntos fijos fotografiados en vistas anteriores.

Es decir: Para que una vista vertical carente de puntos fijos de apoyo pueda ser ajustada con respecto a la anterior, en orden sucesivo de la serie a partir de la primera, es necesario y teóricamente suficiente que la primera vista o pareja de vistas de la serie esté dotada del necesario número de puntos fijos de apoyo.

Después de esta breve preparación podemos formular el **problema de la triangulación aérea estereoscópica** del siguiente modo:

27. Problema de la aerotriangulación estereoscópica.

Retomando el hilo de nuestra exposición de pág. 157, podemos indicar como **solución directa** de esta importante problema el siguiente método:

Determinar dos puntos de estación aéreos mediante el problema de la carta (por intersección hacia atrás) en base a puntos fijos terrestres conocidos, hablando luego, por el método de intersección hacia adelante, desde esos dos puntos de estación aéreos, la posición planimétrica y altimétrica de nuevos

puntos del terreno, los que, a su vez, constituirán la base para nuevos problemas de la carta para un segundo ciclo de determinación, y así sucesivamente.

La simple lectura del enunciado de este método de determinación le dará al lector la idea que no ha de ser éste el camino que en la práctica da resultados satisfactorios.

Porque se da cuenta de la dificultad de obtener desde esos dos puntos de estación aéreos por el método de bisección, la posición planimétrica y altimétrica de nuevos puntos de apoyo terrestre; porque sabe que las ternas de coordenadas correspondientes a esos dos puntos de estación aéreos, son valores inseguros, y que son inseguros también los valores de las ternas de parámetros angulares de cada uno.

28. Errores sistemáticos; necesidad de su reducción.

Los principales recursos para mejorar las mediciones y reducir con ello los errores sistemáticos, son de dos tipos: uno de carácter instrumental y el otro de índole teórica.

Empero, no son las magnitudes absolutas de esas inseguridades o los errores individuales de los parámetros la causa principal de nuestras preocupaciones, sino el **carácter sistemático** de los mismos: nos preocupan los errores de inclinación longitudinal sistemáticos, los errores de inclinación transversal sistemáticos, etc., siendo necesario emplear todos los recursos a nuestro alcance para su reducción.

29. Teoría de los errores de Fotogrametría aérea.

Han sido S. Finsterwalder, O. von Gruber y W. K. Bachmann (*"Théorie des erreurs de l'orientation relative"*, tesis doctoral, Laussane, 1943), los que más se preocuparon en perfeccionar la teoría de los errores de Fotogrametría aérea.

S. Finsterwalder demostró con su propia teoría que una cadena de triángulos abierta en un extremo, y de extensión rectilínea, conserva mejor las direcciones que las longitudes.

O. von Gruber logró encontrar una sencilla relación entre los errores lineales, de dirección y alturas, la que permite una inmediata aplicación a la compensación sistemática de discrepancias de cierre.

Bachmann en su interesante Tesis, nos hizo conocer importantes nuevos conceptos fundamentales de la teoría de los errores de Fotogrametría, en base a los cuales A. Brandenberger estableció fórmulas de errores, mediante las cuales varios hechos observados en la práctica encontraban por primera vez su expresión matemática.

30. Recursos instrumentales para reducir los errores sistemáticos, perfeccionando la determinación de los elementos de orientación externa.

La cámara especial con el estatóscopto acoplado (ver fig. 7, pág 137) que originariamente fué empleada solamente para facilitar la confección de fotoplanos, con enderezador, ha resultado muy útil y apropiada en la triangulación aérea.

La fotografía del **horizonte natural** en dos direcciones (transversal a la dirección del vuelo y longitudinal en la dirección del vuelo), obtenida simultáneamente con la fotografía del terreno, permite deducir la inclinación transversal y la inclinación longitudinal de la cámara de toma en el momento de la exposición de la vista del terreno.

La fotografía (sobre cinta) de las indicaciones del estatógrafo, en cambio, permite deducir las alturas de las estaciones aéreas con la aproximación de pocos metros.

31. Criterio de distinción de métodos.

Llámase **modelo total** (estereoscópico) de una faja de terreno levantada, al conjunto de puntos de intersección de rayos homólogos de sucesivos pares de haces de rayos conjugados.

El hecho de que un modelo total de un terreno, obtenido en la forma indicada por una sucesión de vistas debidamente recubiertas para su correcta observación estereoscópica, puede ser concebido como una agrupación de **modelos parciales** de pares de fotogramas, esta idea nos proporciona un valioso criterio de distinción de maneras de proceder, a saber:

el método de los pares de vistas independientes,
el método de los pares de vista enlazadas.

32. Método de los pares de vistas independientes; su característica.

Ejemplos de pares de vistas independientes:

1 y 2,
2 y 3,
3 y 4, etc.

El primer modelo parcial se obtiene con orientar las vistas **1 y 2** en base a los respectivos puntos de apoyo.

Luego se formará, análogamente, el segundo modelo parcial y se lo ajusta sobre el primero. Para que este ajuste pueda ser efectuado con suficiente seguridad, los modelos parciales deben recubrirse un 50 % ó 60 %.

El fotograma **2** es orientado nuevamente en 2/3 de su superficie, con entera independencia de la posición que tiene en la primera combinación.

Las experiencias han demostrado que todos los modelos parciales sufren en su sucesivo empalme deformaciones sistemáticas (en el mismo sentido), lo cual constituye un grave inconveniente del método.

33. Método de las vistas enlazadas.

El método que ha dado hasta hoy los mejores resultados en la triangulación aérea es el de los fotogramas enlazados, que consiste en lo siguiente: Se comenzará por orientar el primer modelo 1-2 (como en el método anterior) en base a los puntos fijos conocidos. Luego se orientará la vista **3** con respecto a la **2**; empero, sin modificar nada en la orientación que la misma había recibido en la orientación del primer modelo 1-2. A continuación de esto, se orientará la vista **4**, sobre la **3** exclusivamente y así sucesivamente.

Es evidente que, al proceder así, agregando vista a vista, sin preocuparse de que la vista anterior puede estar o, mejor dicho, está en cierta medida erró-

neamente orientada, este modo de proceder origina, por causa de la acción de los **errores sistemáticos**, en el **modelo final o total** una deformación tanto más pronunciada cuanto mayor sea la longitud de la cadena. Resultan entonces cada vez más grandes las diferencias entre las medidas del modelo y las reales.

De ahí la necesidad de emplear esos aparatos especiales mencionados en el N° 30 que nos proporcionan valiosos datos para la orientación absoluta de las vistas.

A raíz de estos datos, que expresan informaciones independientes de las fuentes de errores sistemáticos, se irá variando posiciones en la sucesiva orientación de las vistas enlazadas.

Pero todos estos recursos instrumentales que nos proporcionan los elementos para corregir la orientación absoluta de los aerofotogramas, con respecto a la vertical y al horizonte, sólo pueden ser considerados como **solución precaria** de un gran problema cuya solución definitiva debe ser mirada como una posibilidad del porvenir.

V.- Poligonación aérea de enlace (su ejecución instrumental).

..O. von Gruber publicó en 1935: "*Beiträge zur Theorie und Praxis der Luftpolygonierung und Lufternivellament*", trabajo en el cual nos da un resumen sobre los experimentos y ensayos de aerotriangulación realizados hasta entonces. Aplica en el mismo las leyes de errores establecidas por S. Finsterwalder para cadenas de triángulos a los levantamientos con vistas aéreas en serie demostrando el carácter sistemático de las leyes de propagación de los errores.

34. Observaciones previas.

1) Daremos a continuación un ejemplo de ejecución de poligonación aérea para ilustrar la aplicación del **método de fotogramas enlazados** por su gran sencillez y claridad, en primer lugar; y en segundo lugar, por considerar que la misión de dotar desde el aire de puntos fijos a una zona carente de ellos, de tender un enorme "puente" sobre la zona apoyado en sólo dos puntos extremos, esta misión, en su forma más fundamental no la llena la cadena o la red de triángulos, sino la **poligonación aérea de enlace**.

2) La forma más sencilla de aplicar el método de fotogramas enlazados, se obtiene cuando se consigue realizar el modelo total por una simple composición directa y sucesiva de los modelos parciales; y cuando sea posible conservar el modelo total en esta forma, durante todo el proceso de elaboración.

Todo esto es sólo posible realizar con el empleo del

Aeroprojector Multiplex

el que permite orientar simultáneamente, hasta **21 proyectores** (vistas).

Efectuando, en cambio, el trabajo con uno de los grandes aparatos de restitución anteriormente ilustrados (ver págs. 171 a 174), para vistas apareadas, dotadas de sólo **2 proyectores**, resulta mucho más laboriosa la tarea; debiendo ser establecida la coordinación de un modelo parcial recién formado, con el modelo total, mediante lectura de coordenadas en el aparato o por medio de la determinación de puntos auxiliares intercalados.

3) Cabe ser destacado aquí el hecho de que la medición de alturas, a base de fotogramas de vistas nadirales o casi nadirales, es mucho más sensible a los errores que las operaciones planimétricas.

De este hecho se saca provecho en la Fotogrametría aérea, como veremos más adelante.

35. Los 7 pasos operativos en el empleo del Aeroprojector "Multiplex".

Los 7 pasos operativos a realizar en el empleo del Multiplex son los siguientes:

Paso 1: Orientación relativa de los fotogramas 1 y 2;

Paso 2: Orientación absoluta del primer modelo parcial con respecto a puntos de apoyo conocidos;

Paso 3: Se añade el fotograma 3 al 2, pero sin variar nada en la posición del 2;

Paso 4: Ajuste de la escala del segundo modelo parcial;

Paso 5: Repetición de los pasos operativos 3 y 4 para todos los fotogramas del levantamiento;

Paso 6: Corrección de la escala del modelo total, en base a los puntos de apoyo conocidos del último modelo parcial;

Paso 7: Rectificación altimétrica de la orientación absoluta del modelo total, en base a los puntos altimétricos conocidos.

Terminada esta última operación instrumental, puede ser iniciada la confección de la Carta de toda la faja levantada, su planimetría y altimetría.

36. Verificación parcial del trabajo.

Fuera de la sencillez y claridad que acabamos de destacar, el método ofrece la gran ventaja de permitir un fácil control de cualquier parte del desarrollo del trabajo, lo que no es posible realizar con los grandes aparatos de restitución.

37. Recapitulación relativa a los aparatos de restitución.

Cuando se trate de la dotación de puntos fijos a extensas zonas de grandes territorios, mediante Fotogrametría aérea, para la confección de la carta topográfica a escala 1:50 000, en este caso el Aeroprojector "Multiplex" no dará la suficiente precisión.

En este caso debe ser empleado uno de los grandes aparatos de restitución fotogramétrica de primer orden, el Estereoplanógrafo, de Zeiss, el Autógrafo A-4 de Wild o el Estereocartógrafo de Santoni modelo III; obteniéndose con ellos los puntos básicos de las grandes mallas y, mediante los correspondientes aparatos de restitución de segundo orden, los puntos de apoyo del relleno.

En el próximo y último capítulo daremos algunas ideas directrices sobre este tema de gran actualidad:

Confección de la Carta Topográfica a 1:50 000 por el método de Fotogrametría aérea.

Capítulo V

Confección de la carta topográfica

a escala 1:50 000

1. Observación previa.

El tema de la Confección de la Carta Topográfica (a 1:50 000) por Fotogrametría aérea; es efectivamente de actualidad para todos los países del mundo que, como la República Argentina, en extensas zonas de su territorio, carecen de puntos fijos geodésicos; pero cuyas cartas topográficas son necesarias para satisfacer urgentes exigencias de la técnica, de la economía y de la estadística.

I.-Consideraciones técnicas de carácter fundamental.

2. Exigencias para una moderna confección de carta topográfica a 1:50 000 de un gran territorio.

Dadas las enormes sumas de dinero y la no menos enorme cantidad de energías que insume la confección de una Carta Topográfica de un gran territorio, aún la ejecutada con los recursos más modernos de la Fotogrametría aérea, es lógico que la primera exigencia que debe imponerse a una tal obra es su capacidad de servir no sólo para la generación que la ejecutó, sino también, con no disminuída eficiencia, para muchas generaciones venideras, es decir, más brevemente, su capacidad de vivir una larga vida, su **longevidad**.

Para que una obra cartográfica tenga la alta calidad que acabamos de indicar, es necesario e imprescindible levantarla con la **máxima precisión** posible, con los más adecuados y más exactos aparatos de toma y los más exactos aparatos de restitución fotogramétrica.

Una Carta Topográfica de un gran territorio realizada con esta característica, es un verdadero monumento, un monumento de la más alta cultura de un pueblo, que lo honra por su capacidad técnica desplegada, y que lo honra mucho más todavía por su generosidad para con las generaciones venideras, herederas de una obra de gran magnitud, la que seguirá conservando su enorme valor con sólo efectuar los necesarios trabajos de actualización en las zonas de más intenso desarrollo económico e industrial.

Una obra cartográfica de gran magnitud no ejecutada con el sello de precisión, pierde muy pronto todo su valor, porque no sirve para su necesaria actualización periódica.

Le daremos por eso el atributo de "**racionalmente ejecutada**" a una Carta Topográfica elaborada con la norma de asegurar su "**longevidad**", puesto que existen en ella, por así decirlo, **valores eternos** (el relieve del terreno) que vale la pena de ser fijados una vez por todas.

3. Valores de la precisión gráfica y de la altimetría que son característicos para la ejecución racional de la Carta Topográfica a escala 1: 50 000.

Para planos o cartas originales a cualquier escala se puede exigir una inseguridad planimétrica de puntos bien marcados, como casas, codos de caminos, etc. de

0,3 mm

lo que significará en la Carta Topográfica a 1: 50 000:

15 metros en el terreno

y 30 metros para la carta a 1:100 000.

Para la altimetría se puede adoptar, según **Zeller**, una inseguridad media de los puntos acotados que varía entre

1/5 y 1/8 de la equidistancia de las curvas de nivel para terrenos más o menos inclinados.

Los valores numéricos correspondientes a la inseguridad planimétrica, constituyen elementos básicos cuando se trate de decidir la necesidad de la ejecución de una actualización de una sección de la Carta.

II. - Ideas directrices para la aplicación del método.

Después de haber destacado la importancia del principio fundamental de "**longevidad**", que debe regir en la ejecución de toda obra geodésica y topográfica de primer orden y por ello también en la Confección de la Carta Topográfica a escala 1: 50 000, realizada por Fotogrametría aérea, pasamos ahora a indicar sintéticamente las **ideas directrices**, a las que queda sujeta la aplicación del método, en sus diversas etapas desde su iniciación hasta el fin, o sea la carta dibujada.

4. Red trigonométrica de 1er. orden.

En la zona de la cual debe ser confeccionada la Carta Topográfica a 1: 50 000, será primeramente efectuada una triangulación de 1er. orden con medición de base y la determinación de **acimut, longitud y latitud** en cada punto de 1er. orden.

La **longitud máxima** de los lados de la red será de 50 km.

Los puntos de 1er. orden deben ser elegidos de tal manera que sea fácil una posterior densificación de puntos de la red.

5. Importancia decisiva de la precisión de los aparatos de toma y de restitución para la economía de los trabajos de levantamiento aerofotogramétricos.

Podemos decir: Cuanto más precisos los instrumentos, a tanta mayor altitud puede ser dispuesta la altura del vuelo fotogramétrico.

Como la superficie cubierta por cada fotograma aumenta con el cuadrado de la altura de vuelo sobre el suelo, se obtendrá la economía máxima con los aparatos de toma y restitución de máxima precisión.

6. Máxima altura de vuelo fotogramétrico.

En una zona de cota media de 1 000 metros, puede admitirse como **máxima altura de vuelo:**

5 000 metros

7. Base altimétrica de la red de puntos fijos.

A fin de obtener la **base altimétrica** necesaria para el levantamiento topográfico, los puntos trigonométricos deben ser unidos mediante tiras de nivelación, medidas en ida y vuelta, con los más próximos puntos fijos altimétricos.

8. Elementos básicos constitutivos del primer número de programa de trabajo.

Con esta 3ª coordenada que nos da la **cota** se hallan completos los elementos que fijan de un modo inequívoco la posición de los puntos básicos de 1er. orden, que nos sirven de arranques y cierres de poligonales aéreas.

Huelga decir que todos los elementos planimétricos se hallan referidos al **sistema de coordenadas Gauss-Krüger**, el que podría servir de base para análogos trabajos a efectuar en los demás países latinoamericanos.

9. Número 2 del programa de trabajo.

El número 2 del programa de trabajo abarca: ejecución del levantamiento aerofotogramétrico (triangulación aérea, poligonación aérea de enlace y topografía aérea), con restitución estereoscópica en las regiones que lo exigen, y con simple enderezamiento en las extensas zonas de llanura, que permiten emplear esta simplificación.

De este gran conjunto de operaciones aerofotogramétricas, cabe sin embargo, destacar, para mejor orientación del lector, algunas cuestiones especiales y operaciones parciales.

10. Fajas fotogramétricas principales o de 1er. orden y fajas de relleno, de segundo orden.

Las fajas de vuelo fotogramétrico principales, las que llamaremos de primer orden, conviene que sean dispuestas entre pares de puntos trigonométricos de 1er. orden, prestándose así, por los errores de cierre que se revelan, a una compensación que aumenta considerablemente la calidad y seguridad del trabajo.

Las muy numerosas **fajas de relleno** (dentro de las superficies de triángulo) serán dispuestas en la forma más conveniente para su mejor ajuste.

11. Precisión altimétrica de la Carta a 1:50 000 como elemento determinante de la altura máxima de vuelo.

No obstante la gran importancia práctica del criterio económico, es la **precisión altimétrica** el factor decisivo para la fijación de la altura máxima. Y como esta altura máxima es, según lo comprueban las experiencias en 5 000 metros sobre el suelo, altura que responde también al criterio económico, resulta ser sumamente ventajosa la escala 1:50 000 para la Carta Topográfica, como lo muestra el siguiente ejemplo: Empleando una cámara normal con $f = 21$ cm, obtendremos para la altura de 5 000 m sobre suelo una escala de imagen de $\frac{0,21}{5\,000} = 1:24\,000$, perfectamente apropiada para la confección de la Carta Topográfica original a 1:50 000.

12. Nivelación autogramétrica de las fajas de vuelo principales (entre puntos fijos de 1er. orden). Error medio de un punto compensado.

Las experiencias hechas en Suiza han demostrado que se puede admitir para puntos situados sobre fajas principales (entre puntos fijos de 1er. orden; acotados) autogramétricamente determinados (con autoregistración) y compensados, un

error medio altimétrico de 5 metros

13. Compensación de las fajas principales.

Las fajas principales (que se extienden de punto fijo a punto fijo de la red) dan lugar a numerosos **errores de cierre altimétrico**. La compensación en conjunto de toda la red, aumenta considerablemente la seguridad de los resultados, dando excelentes puntos de apoyo a las **fajas de relleno**.

14. Fajas de relleno; su compensación.

Las grandes superficies de terreno que quedan encerradas por las fajas principales, son cubiertas por las llamadas **fajas de relleno**, con suficiente recubrimiento transversal; facilitándose así su **compensación por malla**.

15. Precisión lineal.

En cuanto a la **precisión lineal** de los puntos de la Carta a 1:50 000, ya dijimos que es relativamente fácil mantener la precisión gráfica de 0,3 mm o sea 15 metros en el terreno.

16. Observación final; condición "sine qua non".

Ejecutados los trabajos en la forma someramente indicada y efectuada su compensación, se obtendrá una Carta cuya imprecisión altimétrica media no sobrepasa el valor de 5 metros, exactitud que se considera suficiente para una Carta Topográfica a 1:50 000.

Sin embargo, este resultado es solamente realizable cuando tanto la labor de campo como la de gabinete son efectuadas cuidadosamente, cuando los

aparatos de toma y de restitución son de la más alta calidad y, finalmente —last not least—, cuando el personal técnico que interviene en las operaciones posea los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para asegurar el máximo rendimiento de esos aparatos.

Esta "condición" guarda perfecta armonía con el hecho muchas veces demostrado prácticamente, de que el rendimiento económico de los trabajos aerofotogramétricos aumenta con el mismo ritmo que el de la precisión de los aparatos de toma y restitución fotogramétrica.

Finalizamos nuestra obra con la idea de "la precisión" en su íntima relación con "la longevidad" de la carta, o sea, con su más alta estimación como **obra de arte**, la que no pierda su valor con el tiempo, sino en escala muy reducida, y honra a quienes la crearon.

Si nuestra obra contribuyera a generalizar estos principios y a estimular a nuestra juventud para producir trabajos geodésicos, topográficos y fotogramétricos de alta calidad, para el progreso cultural del país, se habrían cumplido nuestros más grandes anhelos y esperanzas.

Advertencia final.

En un **Apéndice** a nuestra **Optica** (Volumen 1 del Tomo II), cuya nueva (4ª) edición ya está en prensa, serán tratados los últimos notables progresos realizados en la casa **Zeiss**, relativos a la construcción de **objetivos granangulares** (el Topogón y el Pleón) y su aplicación a las más modernas **cámaras aéreas granangulares de gran formato**, en substitución a las **cámaras aéreas múltiplex** (dobles y cuádruples), descriptas en págs. 133 - 135 del presente Tomo.

Índice Alfabético

Análítico de los principales tópicos de Fotogrametría terrestre y aérea.

Los números significan páginas. Las rayitas (—) substituyen los términos impresos en cursiva en el presente Índice.

- AEROFOTOGRAMA**, confrontación de su contenido con relación al correspondiente Cuadrilátero de la Carta 115.
- Aeroprojector "Multiplex"** de Zeiss, característicos elementos constructivos 168;—, colaboración de von Gruber.
- Aeroprojector "Multiplex"**, 7 pasos operativos 192.
- Agudeza visual monocular**, 1ª y 2ª especie, 62.
- Agudeza visual de la visión estereoscópica**, 1ª y 2ª especie, 65.
- Ajuste del aparato enderezador**, posibilidades operativas, 154.
- Ajuste del microscopio binocular**, 82.
- Ajuste estereoscópico**, 83.
- Almeida (d'Almeida)**, método de —, 160.
- Altura de vuelo**, su designación por *h*, 115;—, su importancia para la escala de imagen de vista vertical, 115.
- Altura mínima de vuelo para Fotogrametría**, 119 - 120.
- Altura de vuelo**, altura máxima de vuelo sobre el suelo, 194;—, influencia de la precisión altimétrica sobre ella, 195.
- Anaglifos**, explicación del término, 160;—, su empleo práctico, 168.
- Analogía entre el método de la plancheta y el de Laussedat**, 51.
- Anchura de la faja**, definición y ejemplos numéricos, 124.
- Anchura efectiva de la faja**, 128.
- Angulo muerto**, concepto, 120;—, su importancia en las vistas panorámicas, 121.
- Angulo de campo visual de la cámara** su cálculo, 122.
- Angulo de deriva**, su definición y variación, 142.
- Angulo de posición**, su papel en la solución de la carta aérea, 155.
- Angulo visual de la cámara**, recursos para aumentar su magnitud, 27;—, ejemplos numéricos 27.
- Anteojo visor de la cámara aérea**, su misión, 132.
- Anteojo de derrota**, su finalidad, 142.
- Anulación de paralajes verticales**, su uso, 158.
- Aparato de dibujo automático**, su representación más sencilla, 151.
- Aparato de restitución de primer orden**, su finalidad, 163.
- Aparato de restitución de segundo orden**, su finalidad, 163.
- Aparato de restitución de tercer orden**, su finalidad, 163.
- Aparatos auxiliares**, para facilitar la reducción de errores, 189.
- Aumento de la distancia interpupilar**, dos recursos, 69 y 70.
- Aumento específico**, su definición, 70.
- Autógrafo de Wild A - 4**, 162 y 171.
- Autógrafo de Wild A - 5**, 162 y 172.
- Autógrafo de Wild A - 6**, 162 y 172.
- Avance efectivo de trabajo**, 126.
- Avance efectivo**, explicación del término, 126.
- Avance longitudinal expresado en tiempo**, 128.
- Avión fotogramétrico**, características principales, 138;—, personal de su tripulación, 139.
- Aviones helicópteros**, sus ventajas, 138.

- BACHMANN, W. K.**, teoría de los errores, 189.
- Base estereoscópica*, en el método de Scheimpflug, 166.
- Base*, (terrestre), su medición, 54.
- Bauersfeld**, Estereoplanógrafo de —, (* 1879 - vive), 161.
- Bausch y Lomb**, constructores de aparatos aerofotogramétricos, 170.
- b*, designación de la base aérea, 125; *b*, sus fórmulas, 126.
- Boykow**, su procedimiento para tomar vistas apareadas según Scheimpflug, 167.
- Branderberger**, fórmulas de errores, 189.
- Buscador de faja**, su utilidad, 142.
- CAMARAS** aéreas, sus tres subdivisiones, 129; —, modelos Zeiss, 129.
- Cámara aérea acoplada*, 130.
- Cámara aérea cuádruple*, sus características, 134.
- Cámara aérea de mano*, observación, 130.
- Cámara aérea de tomavistas en serie*, 130.
- Cámara aérea doble (acopladas)*, su característica, 134.
- Cámaras aéreas Wild*, tres tipos; formatos, distancias focales y superficies, 123.
- Cámara aerofotogramétrica automática*, R. C. 7 Wild, su característica, 135.
- Cámara automática de toma de vistas verticales*, 132.
- Cámara de horizonte*, su característica, 136.
- Cámara fotográfica estereoscópica*, su característica, 69.
- Cámara granangular*, formato grande, 122.
- Cámara móvil o de enfoque variable*, concepto, 23.
- Cámara normal*, formato, distancia focal y superficie, 122.
- Cámara oscura con lente*, su descripción, 10.
- Cámara oscura de Bacon (sin lente)*, definición, 9.
- Cámara panorámica*, formato, distancia focal y superficie, 123.
- Cámara rígida o de enfoque fijo*, concepto, 23; —, su descripción, 24; —, 26.
- Cantidad de vistas necesarias para un levantamiento*, modo de calcularla, 143.
- Capacidad estereoscópica de un instrumento*, concepto, 71.
- Capacidad resolvente*, explicación del término, 118.
- Capacidad resolvente de las emulsiones de placa*, 118; —, grano grueso = 0,05 mm, 119; —, grano fino = 0,02 mm, 119.
- Capelle**, dibujos perspectivos, año 1726, 1.
- Características fundamentales de la carta topográfica*, 114 y 193.
- Carta a escala 1:25 000*, su obtención económica, 118.
- Carta a pequeña escala de un gran territorio*, 193.
- Carta topográfica*, características fundamentales, 114 y 193.
- Carta topográfica a 1:50 000*, su confección, 193; —, su necesidad, 193; —, su condición y alto valor cultural, 194.
- Caso normal y el de oblicuidad*, sus fórmulas, 74 - 75 - 76 - 77 y 98.
- Ciclos evolutivos de la Fotogrametría*, 113.
- "Cilindro peligroso"*, su concepto, 157.
- "Circunferencia peligrosa"*, analogía con el cilindro peligroso, 157.
- Claridad de la imagen*, fórmula y ejemplo, 10.
- Claridad o luminosidad relativa*, fórmula, 11.
- Claridad o luminosidad absoluta*, porcentaje de pérdida de luz, 11.
- Clasificación de los métodos aerofotogramétricos*, 120.
- Clasificación de los trabajos de Fotogrametría ordinaria*, 52.
- Coincidencia de planos*, su importancia, 25.
- Colores complementarios*, verde - rojo (mejor que) amarillo - azul, 168.
- Comparación general de Fotogrametría terrestre y Fotogrametría aérea*, 116.
- Compensación de alturas*, 83.
- Comprobación planimétrica del método de Laussedat*, 55.
- Concepto general de estereofotogrametría*, 98.
- Condiciones de visión estereoscópica*, 145; —, con visión binocular, 145; —, con visión instrumental, 145.
- Condición esencial para la visión estereoscópica*, 64 y 68.
- Condiciones operativas*, determinación de puntos según el método de Laussedat, 54.
- Confección de plano*, 84.
- Constante altimétrica*, su utilidad, 55.
- Constante de Fotogrametría*, 119.
- Coordenadas de la imagen*, su designación, 73.
- Coordenatómetros*, su uso, 58.
- Corrección de la base*, 159.
- Corrección y ajuste del estereocomparador*, 82.
- Correspondencia perspectiva*, su explicación y aplicación, 154.
- Costo de trabajos en pequeña escala*, ventajoso empleo del fototeodolito, 116.
- Collier**, introdujo el procedimiento mecánico en U. S. A., 185.
- Criterio de clasificación para los grandes aparatos de restitución automática*, 162.
- Criterio de la "Escuela Inglesa" respecto a los aparatos de restitución de primer orden*, 163.
- Criterio relativo al empleo del "Multiplex"*, 168.
- Criterio sobre la precisión de un trabajo de levantamiento*, 100.
- Cuadrilátero en el terreno*, su definición, 116.
- Cuadrilátero de la Carta*, confrontación de

su contenido con el del aereograma que le dió origen, 115.

DEFECTOS de la vista oblicua, 120.

Defectos de las vistas en serie, su corrección, 126.

Densidad de puntos fijos de apoyo, su influencia para satisfacer la influencia mínima de la Fotogrametría aérea, 177.

Deriva, definición del concepto, 142. —, Angulo de deriva, su definición, 142.

Desplazamiento relativo y absoluto de las semi-imágenes, su efecto, 146.

Desventajas de la Fotogrametría aérea frente a la Fotogrametría terrestre, 118.

Determinación cartográfica de un punto del terreno, 93.

Determinación de puntos fijos en base a vistas aéreas con recubrimiento estereoscópico, concepto, 188.

Dibujo automático de las curvas de nivel, 94 y 109.

Dibujo cartográfico de las líneas de esquelito, 94.

Dibujo perspectivo, conceptos fundamentales, 3; —, reglas prácticas, 8.

Dibujo perspectivo de las curvas de nivel, 94.

Diferencia de altura, fundamento para su determinación, 148.

Distancia de imagen y distancia focal, diferencia entre ambos, 23.

Doble proyector "Multiplex" de Zeiss, 162.

Doble proyección óptica, su empleo, 166; —, su característica, 167.

ECONOMIA de trabajo, concepto 116.

Economía en el trabajo, importancia de la altura de vuelo, 194.

Efecto plástico total, su definición, 71.

Eje de imagen, definición, 18.

Eje de las alturas, su definición, 24.

Eje de la x (de la imagen), su definición, 25.

Eje de las z , su definición, 24.

Eje nuclear, su definición, 67.

Ejecución práctica de la orientación absoluta del modelo estéreo, 160.

Ejemplos, recubrimiento transversal (lateral), 128.

Ejemplos de anchura de faja, 124.

Ejemplos de cálculo de relación de base, 127.

Ejemplos de obtención de puntos de apoyo en distintos casos, 177.

Ejemplos de superficie para la altura de vuelo máximo, 124.

Ejemplos numéricos, relativos a la magnitud mínima visible (con distintas cámaras), 121-122.

Ejemplos numéricos de superficies terrestres correspondientes a distintas, cámaras tipos, 122.

Ejemplos numéricos para el cálculo de la longitud de la base estereoscópica, 127.

Elección de los puntos trigonométricos, 104; —, 105.

Endereamiento, amplitud de aplicación, 154.

Endereamiento automático, sus características, 152; su misión, 153; — partes principales, 154.

Endereamiento de Fotocartas o fotoplanos, su condición imprescindible, 178.

Endereamiento de vistas verticales, explicación del concepto, 151; —, sus características, 152.

Endereamiento, método de — o rectificación, amplitud de aplicación, 154.

Error altimétrico de la Carta, 195.

Error de altura, su aumento con el cuadrado de la altura de vuelo, 149; —, sus fórmulas, 149-150.

Errores medios planimétricos a esperar con el "Multiplex", 169.

Errores sistemáticos, necesidad de su reducción, 189.

Escala de imagen, clasificación de planos, 98.

Escala de imagen de vista vertical, los distintos factores que la determinan fórmula, 115.

Escala de imagen y escala de la carta, su relación recíproca, ejemplos ilustrativos, 143.

Escala de imagen pequeña, su ventaja económica, 118; —, su ventaja técnica, 118.

Escala de imagen, su definición, fórmula y determinación, 15.

Escala de imagen, ventajas económicas de la escala de imagen pequeña y su inconveniente, 143.

Escala de levantamiento, su determinación y cálculo, 159.

Escala de Rollet, su definición, 71.

Escala uniforme de vista vertical, 115.

Escala variable de la vista oblicua, 115.

Estatógrafo, su descripción y precisión, 136; —, su misión, 142; —, su uso práctico como altímetro, 190.

Estereocartógrafo de Santoni, 162, 173 y 174.

Estereoautógrafo de von Orel-Zeiss, 162.

Estereoautógrafo de von Orel-Zeiss, desequilibrio entre labores de campo y gabinete, 86; —, primer modelo comercial, 86; —, su descripción, 87; 90, 91 y 92; —, síntesis de operaciones, 87.

Estereoautógrafo modelo Argentino, — 186.

Estereocomparador de Pulfrich, su descripción, 78 y 80; —, síntesis de operaciones, 79.

Estereograma, su orientación relativa, 159.

Estereómetro del estereoscopio, como elemento medidor y de dibujo, 147.

Estereoplanógrafo de Bauersfeld-Zeiss, 162;

- , apreciación de su alto valor científico, 165.
- Estereoscopio de Brewster*, su descripción, 69.
- Estereoscopio de Helmholtz*, su característica, 70.
- Estereoscopio de reflexión*, 151; —, medidor de coordenadas rectangulares, 151.
- Estereoscopio de reflexión (espejo) de Zeiss*, 113.
- Estereoscopio de reflexión de espejos*, su ilustración, 146.
- Estereosimplex de Santoni*, 162.
- F**AJA, definición, anchura de faja, 124.
- Faja de relleno, o de segundo orden, su disposición, 195.
- Fajas principales o de primer orden, su disposición, 195.
- Faja, su recubrimiento práctico, 127.
- Filtros de color, su empleo para separar imágenes, 168.
- Filtros de luz (filtro amarillo), su aplicación, 4.
- Finsterwalder, S. (* 1862 - vive), retomó y desarrolló la idea de Scheimpflug sobre triangulación radial, 183.
- Formato cuadrático, nota didáctica, 117.
- Fórmula de error de altura, 149; —, otra forma, 150.
- Formato o tamaño del marco porta-placa, su importancia, 26; —, dimensiones utilizables, 27.
- Fórmulas para la base b, 126.
- Fórmula para la determinación de altura, 148.
- Fórmulas relativas a la magnitud mínima visible, 119.
- Fórmula relativa a la superficie terrestre cubierta, 120.
- Fórmulas, recubrimiento transversal lateral, 128.
- Fórmula, relación de base, 127.
- Fotocarta, concepto, 126.
- Fotografía, nota histórica, 14.
- Fotograma, concepto, 17.
- Fotogramas aéreos, ternas de puntos notables, 180.
- Fotograma aislado, número necesario de puntos de apoyo, 177.
- Fotograma de vistas apareadas, número de puntos de apoyo, 177.
- Fotogrametría aérea, cuatro tareas principales, 176.
- Fotogrametría aérea con vistas aisladas, concepto, 152.
- Fotogrametría aérea con vistas apareadas, concepto, 152.
- Fotogrametría bi-dimensional o planimétrica, su definición, 178.
- Fotogrametría terrestre y Fotogrametría aérea, su comparación, 116.
- Fotogrametría tri-dimensional o estereoscópica, su definición e importancia, 178.
- Fotoplanos o Fotocartas, "mosaicos", su obtención, 178; —, su precisión, 178.
- Fototeodolito "Pulfrich", su construcción, 30; —, su temprana introducción en la República Argentina, 30.
- Fototeodolitos, finalidad de su construcción, 31; —, dos caminos constructivos, 32; —, importancia del peso, 33.
- Fundamento para la determinación de las diferencias de altura, 148.
- G**ASSER, M., perfeccionó y divulgó el método de Scheimpflug (* 1872 - vive), 166.
- Gruber, Otto von, (* 1884 - † 1942), biografía, V, —, su colaboración en la construcción del estereoplanógrafo, 164; —, su colaboración en el enderezador, 152; —, su colaboración en la construcción del "Multiplex", 164; —, su colaboración en el triangulador radial, 183; —, su colaboración en la construcción de las cámaras aéreas automáticas, 129.
- H**AZ de rayos fotogramétricos, definición, 16.
- Helicópteros (avión), sus ventajas, 138.
- Homografía de Gauss, puntos conjugados, rectas conjugadas, planos conjugados, 17.
- Horizontal principal de la imagen, su definición y designación, 25.
- Horizonte del cuadro, su designación, 7.
- I**DEA fundamental de los aparatos de restitución automática, 161.
- Identificación de puntos en el método de Laussedat, su dificultad, 59.
- Imagen objetiva, su obtención por doble proyección óptica, 162.
- Imagen perspectiva, modo de engendrarla, 3; —, propiedades fundamentales, 5 y 9.
- Imagen subjetiva o imagen virtual, 162.
- Imágenes superpuestas, separación y fusión, 168.
- Importancia práctica del material cartográfico preexistente, 142.
- Inconveniente del método de cálculo, 84.
- Inconveniente del método de pares de vistas independientes, 190.
- Inconveniente del problema de la carta aérea con vista vertical, 157.
- Inconveniente de la base larga de intersecciones, método de Laussedat, 101.
- Inconvenientes de la escala de la imagen E pequeña, 118.
- Inconvenientes y ventajas de la escala de imagen pequeña, 144.
- Influencia de la escala de plano, 104.
- Instituto Geográfico Militar Argentino, enlace con el Ferienkurs in Photogrammetrie" en

Jena (Alemania), 165; —, su organización y evolución, 186.

Instrumentos de navegación aérea auxiliares, 142.

Instrumentos de navegación aérea general, 139.

Intensidad de iluminación, fórmula, 11; —, consecuencia de la Ley de Lambert, 13.

Interpolación de diferencia de altura, condición para su aplicación, 150; —, modo de ejecutarla, 150.

LABORES de campo y gabinete, ventajas de las vistas aéreas, 116.

Lagunas, su origen y manera de corregirlas, 126.

Lambert, J. H., origen del dibujo perspectivo, 1; —, Ley de —, 12; —, fórmula de —, 12.

Laussedat, Amado, datos biográficos, 49.

Límite de escala pequeña de vista aérea, 118.

Líneas de forma o líneas de esqueleto, su trazado, 151.

Longevidad de la Carta Topográfica 1:50 000, su condición y alto valor cultural 193.

Longitud de base, su medición, 54.

Longitud de la base de la imagen, su función en la fórmula del error de altura y modo de medirla, 149; —, su utilidad práctica, 149.

Longitud de la base estereofotogramétrica b, 101.

MAGNITUDES angulares que pueden ser deducidas de vistas, 53.

Magnitud lineal mínima visible, 121.

Marca de medición, su forma más favorable para la visión estereoscópica, 81.

Marca índice móvil, dos maneras de utilizarla, en la medición, 145.

Marcas ópticas de Zeiss, su ventaja, 25.

Marco de apoyo o soporte, concepto, 25; —, marcas del —, 25.

Material cartográfico no existente, su importancia 175.

Material cartográfico existente, su inconveniente, 175.

Material cartográfico preexistente, su importancia práctica, 142.

Mecanismo regulable movido por una hélice, su función en la práctica, 133.

Medición de direcciones en el fotograma con el triangulador radial, 184.

Medición de las placas, su ejecución, 57.

Medición estereoscópica, modo de realizarla, 145; —, su ejecución con el estereoscopio de reflexión, 147.

Método de aerotriangulación estereoscópica, sus dificultades, 188.

Método de enderezamiento, amplitud de aplicación, 154; —, su precisión, 155.

Método de Laussedat, su analogía con el método de la plancheta, 51; —, inconveniente de la base larga, 101.

Métodos de levantamientos aerofotogramétricos, su clasificación, 120.

Método de levantamiento de vistas estereoscópicas, con ejes paralelos y con ejes convergentes, 121.

Métodos de los pares de vistas independientes, su característica, 190; —, su inconveniente, 190.

Método de pares de vistas enlazadas, su característica, 190; —, su empleo, 190 y 191.

Método de paralajes verticales, dos etapas de aplicación, 157.

Métodos de producir la impresión estereoscópica, 145.

Método de transformación, rectificación o enderezamiento, su definición, 152; —, su ventajoso empleo, 154.

Método de vuelo a gran altura, su utilidad para dotación de puntos, 177.

Método estereofotogramétrico, primer trabajo de envergadura realizado en el Mundo según el —, 30.

Método gráfico, 84; —, su eficacia, 57.

Misión del instrumento óptico, 62.

Misión del transformador, rectificador y enderezador, 153.

Modelo estereoscópico, 101.

Modelo estereo, modo de producirse, 145; —, su orientación absoluta, 159.

Modelo óptico, modo de producirse, 145; —, su definición y característica, 158.

Modelo rígido del espacio, concepto, 17.

Modelo total del terreno, definición, 190; —, criterio de la división de métodos, 190.

Modelos de fototeodolitos, 32 a 48; —, Estado Mayor Italiano, 32; —, Finsterwalder, Ott, 33; —, C. Koppe, 35; —, Pulfrich, 1903 y 1906, 37; —, C. Zeiss, 1926, 42; —, Wild, 45; —, Santoni, 48.

Montaje de cámaras acopladas, sus ventajas, 134.

"Mosaico fotogramétrico", su obtención y definición, 178.

"Multiplex" aeroprojector, 168; —, sus ventajas, 168; —, 7 pasos operativos, 192.

"Multiplex", criterio sobre su empleo, 169; —, perfeccionando, 170; —, escala mínima de restitución, 170.

NADIR, su definición, 7; —, analogías, 7.

Negativo de la imagen, su definición, 28.

Nivelación autogramétrica, error medio, 196.

Norma didáctica, relativa a la confección de figuras, 155.

Nota didáctica, relativa al estereoscopio de

- reflexión, 146; —, relativa al formato de la placa, 117.
- Nota histórica*, relativa al invento y desarrollo del método de triangulación radial, 183.
- Núcleo, concepto*, 158.
- O**BJETIVO de la triangulación radial, 179.
- Objetivo desplazable, su finalidad, 24.
- Observador fotográfico del avión, su misión, 139.
- Obturador, su definición, 26.
- Orel, E. von, inventor del estereoautógrafo, 86.
- Orientación absoluta de un estereograma, ventajas de su realización, 159.
- Orientación absoluta del modelo estereo, 159.
- Orientación externa de la cámara, sus 6 elementos, 19.
- Orientación externa de vistas aéreas aisladas, condiciones imprescindibles, 186.
- Orientación externa de vistas aéreas apareadas, condiciones imprescindibles, 188.
- Orientación externa o absoluta, concepto, 157.
- Orientación interna de la cámara, sus elementos, 19; —, condiciones principales a cumplir, 26; —, condiciones especiales, 26.
- Orientación recíproca o relativa, concepto, 157; —, definición, 157.
- Orientación relativa de los fotogramas de doble proyección óptica, 168.
- Oscilaciones del avión, su efecto, 126.
- P**ARALAJE, su determinación, 83.
- Paralaje horizontal, definición, 64; —, valor límite, 64; —, signos de los segmentos, 65.
- Paralaje vertical, definición, 64; su concepto y anulación, 158; —.
- Parámetros de orientación interna de la cámara, 18.
- Parámetros de orientación externa de la cámara, 18.
- "Paso muerto", explicación y ejemplo, 163; —, su analogía en la proyección óptica, 163.
- Periscopio solar, su característica, 137.
- Personal de la tripulación, misión del observador, 139.
- Perspectiva aérea, su influencia, 4.
- Perspectiva fotográfica, analogía con el ojo, 2.
- Perspectiva libre, concepto, 5; —, conjunto de tareas, 5.
- Perspectividad, teorema, 5.
- Peso, su importancia en la construcción del fototeodolito, 33.
- Piloto del avión fotogramétrico, su tarea con respecto al plano de vuelo, 143.
- Pirámide de rayos, su concepto, 155.
- "Placa", definición particular, 25.
- Plano de vuelo, su ilustración, 143; —, definición, 143.
- Plano focal y foco del espacio imagen, definición, 18.
- Plano focal y foco del espacio objeto, definición, 18.
- Plano nuclear, su definición, 67.
- Plano vertical principal, su definición, 24.
- Plano visual de una recta, definición, 6.
- Poder resolvente de la emulsión, su expresión numérica, 121.
- Poligonación aérea de enlace, su importancia, 182.
- Porcentaje del avance efectivo $1 - \frac{p}{100}$, 125.
- Porcentaje del recubrimiento longitudinal $p\%$, 125.
- Porcentaje del recubrimiento transversal, $q\%$, 128.
- Possibilidades operativas con el aparato enderezador, 154.
- Posición perspectiva, su realización, 154; —, correspondencia entre cuatro puntos de la vista con sus homólogos de la carta, 154.
- Positivo, concepto, 28; —, su ventaja didáctica, 28.
- Precisión, corrección del estereocomparador, 82.
- Precisión altimétrica, su influencia sobre la altura máxima de vuelo, 196.
- Precisión altimétrica realizable con el "Multiplex", 169.
- Precisión angular, errores medios, 184.
- Precisión de la vista terrestre, concepto, 116; —, de la planimetría, 116; —, de la altimetría, 116.
- Precisión de la vista vertical, planimetría, 116; —, de la altimetría, 116.
- Precisión del método de enderezamiento, 155.
- Precisión de la fotocarta o fotoplano, 178.
- Precisión del método de Laussedat, 59.
- Precisión de los levantamientos estereofotogramétricos, dos tipos de errores, 109.
- Precisión lineal, errores medios, 184.
- Principio del dibujo perspectivo, concepto fundamental, 2.
- Principio económico, importancia de la altura de vuelo, 195.
- Problema de aerotriangulación estereoscópica, sus dificultades, 188.
- Problema de la Carta aérea, su comparación con el de la Carta terrestre, 155.
- Problema de la Carta en el espacio, su importancia, 155; —, su cálculo, 156; su inconveniente, 157.
- Problema de la pirámide de rayos, solución analítica, 156; —, su tres tareas principales, 156.
- Problema de Hansen (del espacio), concepto, sus 12 incógnitas, 157.

- Procedimiento de los anaglifos*, 160; —, su empleo, 168.
- Procedimiento del pentágono*, extensión y límite, 181.
- Programa de trabajo*, elementos básicos constitutivos de primer número del mismo, 195; —, número 2, conjunto de labores de campo y gabinete, 195.
- Proporcionalidad perspectiva*, fórmula, 15.
- Proyección mecánica*, su característico rasgo constructivo, 162.
- Proyección óptico mecánica*, su característico rasgo constructivo, 162.
- Proyección óptica*, su característico rasgo constructivo, 162; —, su dos posibilidades, imagen objetiva y subjetiva, 162.
- Proyección paralela*, su empleo en la doble proyección óptica, 168.
- Prueba de campo*, su utilidad, 56.
- Pulfrich*, fototeodolito de —, 29—.
- Puntos auxiliares de triangulación radial*, concepto 182.
- Puntos de apoyo*, su importancia, 176; —, sus diversos modos de obtención, 176; —, número necesario de casos determinados, 177; —, relación entre los de la carta y la vista, 154; —, su importancia en el enderezamiento de fotocartas o fotoplanos, 178.
- Punto de fuga*, concepto, 6.
- Punto de fuga nadiral*, su definición, 7.
- Punto principal*, su designación, 7.
- Puntos radiales*, sus ventajas e inconvenientes, 180.
- Punto nuclear*, su definición, 67.
- R** *RAYO nuclear*, su definición, 67.
- Rectificación*, método de — o enderezamiento, su amplitud de aplicación, 154.
- Rectificación de vistas verticales*, explicación del concepto, 151; —, su característica, 152.
- Rectificador automático de vistas verticales*, sus características, 152; —, su misión, 153; —, partes principales, 154.
- Recubrimiento*, concepto ampliado, tres casos, 125.
- Recubrimiento en la faja*, su porcentaje, 127.
- Recubrimiento estereoscópico de vistas nadirales*, 126.
- Recubrimiento*, finalidad de su empleo, 125.
- Recubrimiento longitudinal*, concepto y definición, 117; —, su porcentaje, 125.
- Recubrimiento transversal de la faja*, (laterral), fórmula y ejemplos, 128 y 129.
- Red radial*, su definición, 182.
- Red trigonométrica de 1er. orden*, base geodésica de la Carta Topográfica 1: 50 000, 194; —, determinación altimétrica, 195.
- Registrador especial de intervalos de tiempo*, 130.
- Relación de la base*, su fórmula, 127.
- Relación entre dos tipos de escalas*, E_c E_i ejemplos numéricos y ejemplos ilustrados, 144.
- República Argentina*, primer trabajo de envergadura realizado por el Instituto Geográfico Militar con el método estereofotogramétrico, 30, —, su colaboración constructiva en Fotogrametría, 186.
- Restitución*, definición del término, 89; —, su significado y ejecución, 163; —, tres procedimientos de triangulación radial, 126; —, procedimiento de triangulación radial mecánica, su característica, 185; —, procedimiento gráfico, su característica, 186.
- Restitución de medición y cálculo*, su característica, 183.
- Restitución automática*, idea fundamental de realización, 161.
- Restitución de vistas aerofotogramétricas*, concepto 117.
- Rollet*, escala de —, 71.
- Rombos*, cadena de —, concepto, 182.
- Rumbo de un rayo*, su obtención, 54; —, regla práctica, 54.
- S** *ANTONI* (* 1896 - vive), periscopio solar de —, 137.
- Scheimpflug Th.*, (*1865 - † 1911), introdujo el principio de doble proyección óptica, 166; experimento de —, 166.
- Semi - imágenes de un estereograma*, dos formas de utilizarla, 145; —, su desplazamiento, 145.
- Sentido del espacio*, su característica, 64.
- Señalación de los puntos fijos trigonométricos*, 105.
- Signos convencionales*, su importancia, 114.
- Sistema de coordenadas de la imagen*, su definición, 24.
- Sistema de coordenadas rectangulares del espacio de orientación externa*, su designación, 73.
- Sistema de coordenadas del espacio de orientación interna*, su designación, 73.
- Sistema de suspensión de la cámara aérea*, 131.
- Sistema de Gauss - Krüger*, utilidad general, 195.
- Stolze, F.*, principio de la "marca estereoscópica móvil", 79.
- Superficie S del terreno para vistas verticales*, 117; —, ley que la determina, 117; —, su definición, 117; —, ejemplos numéricos comparativos, 123.
- Superficie para la altura de vuelo máxima*, ejemplos, 123.

Superficie neta del aerograma, su definición, 143.

Suspensión de cámara aérea, 131.

TAMAÑO o formato del marco porta placa, su importancia, 26; —, dimensiones utilizables, 27.

Tarea de la fotogrametría, 17 y 52.

Tareas principales de la fotogrametría aérea, 176.

Teleobjetivo, su uso, 15.

Teorema de la Geometría Proyectiva, básica para la Fotogrametría aérea, 157.

Teorema sobre perspectividad, 5; —, sobre punto de fuga, 8.

Teoría de errores de Fotogrametría aérea, teoría de Finsterwalder y O. von Gruber, 189.

"Terreno prácticamente llano" significado de la expresión, 151.

Tiempo de exposición de la cámara, criterio que lo rige, 28.

Tipos de cámara, formatos y distancias focales, 122.

Tolerancia gráfica de un punto restituído, 101.

Toma automática de vista verticales, 132.

Toma de vistas estereofotogramétricas, los 13 pasos operativos, 106.

Transformación de vistas verticales, explicación del concepto, 151 —, su característica, 151.

Transformador automático, sus características, 152; —, su misión, 153; —, partes principales, 153.

Triangulación aérea, sus dos divisiones, 179.

Triangulación aérea estereoscópica, su importancia y objetivo, 188.

Triangulación radial, su característica principal, 179; —, nota histórica, 183 —, condiciones de toma de vistas aéreas, 180; —, procedimiento de restitución, 183.

Triangulador perfeccionado, características, 183; —, sus ventajas, 184.

Triangulador radial, medición de ángulos en el fotograma, 180; —, amplitud de su aplicación, 183; —, detallando operaciones, 184; —, su precisión angular y lineal, 184.

Triangulador radial mecánico argentino, 185.

UNIDADES de medición de luz, su aplicación, 10.

VELOCIDADES del avión, 119.

Velocidad máxima de exposición de la cámara aérea, 119.

Ventaja de la orientación relativa, 159.

Ventaja de la posición vertical del cuadro, 4.

Ventajas de la escala de imagen E: pequeña, 118; —, económica, 118; —, técnica, 118.

Ventajas de las vistas aéreas en cuanto a labor de campo y gabinete, 116.

Ventajas e inconvenientes de la escala de imagen pequeña, 144.

Ventajas del método de enderezamiento o rectificación, 154.

Ventajas del triangulador radial, 183.

Vertical principal de la imagen, su definición, 24.

Visión binocular natural, concepto, 62.

Visión binocular, con instrumento, 62 y 68; —, sin instrumento, 63.

Visión estereoscópica, su comparación con la visión binocular, 61; —, sus condiciones, 145; —, con división binocular e instrumental, 145; —, su obtención por el método de D'Almeida, 160.

Visión objetiva, ventajas de su práctica, 155.

Vista aérea oblicua, su definición, 114; —, ángulos muertos, 120.

Vista aérea nadiral, su definición, 114.

Vista aérea vertical, su definición, 114.

Vistas apareadas, ver vistas estereoscópicas, 121.

Vista de Fotogrametría terrestre, sus ventajas, 116.

Vistas estereoscópicas, dos modos de obtenerlas, 121.

Vista nadiral en serie, concepto de recubrimiento, 125; —, su papel preponderante, 125; —, recubrimiento estereoscópico, 126.

Vistas panorámicas, ángulos muertos, 121; —, modo de salvar los ángulos muertos, 121.

Vista vertical, escala de imagen, 115; —, su toma automática, 132.

WILD, H., (* 1877 - vive), tres tipos de cámaras aéreas —, 123.

Willamson, constructores de aparatos "Muiltiplex", 170.

THE HISTORY OF THE UNITED STATES OF AMERICA

FROM THE FIRST SETTLEMENTS TO THE PRESENT TIME

BY JAMES M. SMITH

VOLUME I

THE DISCOVERY AND SETTLEMENT OF THE COUNTRY

FROM 1492 TO 1789

NEW YORK: PUBLISHED BY J. B. LIPPINCOTT & CO.

1890

THE HISTORY OF THE UNITED STATES OF AMERICA

FROM THE FIRST SETTLEMENTS TO THE PRESENT TIME

BY JAMES M. SMITH

VOLUME I

THE DISCOVERY AND SETTLEMENT OF THE COUNTRY

FROM 1492 TO 1789

NEW YORK: PUBLISHED BY J. B. LIPPINCOTT & CO.

ACABOSE DE IMPRIMIR ESTE LIBRO EN LAS
ESCUELAS GRAFICAS DEL COLEGIO LEON XIII,
DORREGO 2106 - BUENOS AIRES,
EL DIA 15 DE SETIEMBRE
DE 1951.

WILD
HEERBRUGG

NIVELES

AUTOGRAFOS

TEODOLITOS

COMPASES

PLANCHETAS

ENDEREZADORES

CAMARAS AEREAS

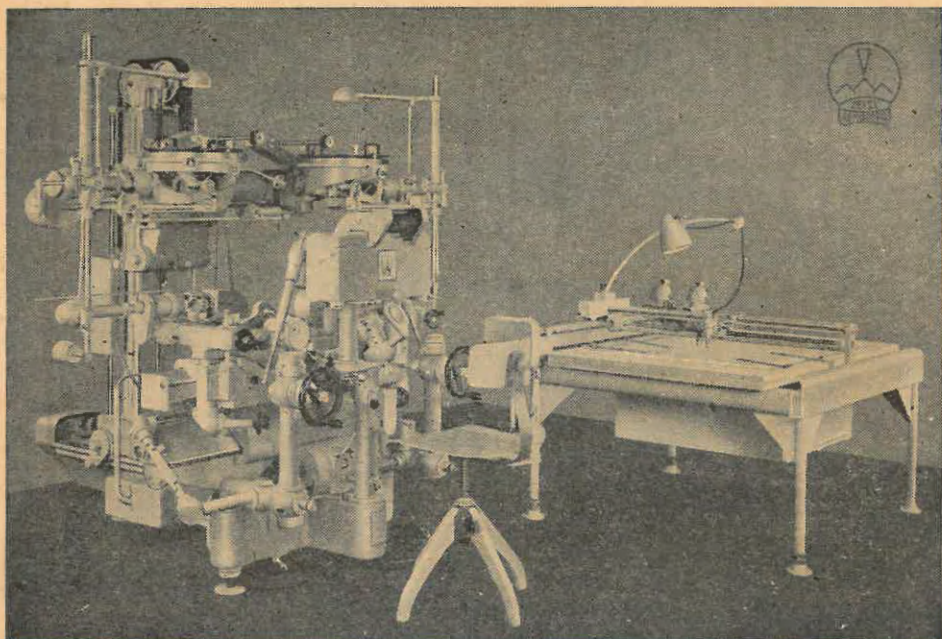
Representantes exclusivos



Casa
OTTO HESS S.A.

MAIPU 50

Bs. AIRES



DETERMINACION DE PUNTOS DE APOYO TERRESTRES OBTENIDOS AEROFOTOGRAMETRICAMENTE

PARA LEVANTAMIENTOS CATASTRALES Y PLANOS TECNICOS DE ALTA PRECISION A GRAN ESCALA

ESTEREOPLANIGRAFO C/7

Instrumento universal de restitución y de triangulación aérea de primer orden.

Para todos los tamaños de fotogramas hasta 24 x 24 cm.

Marcas luminosas de distintas formas y colores.

Optica de proyección y observación con recursos catóptricos.
Intensa iluminación.

Movimiento acelerado en la lectura de alturas, etc.

Para más detalles dirigirse a:



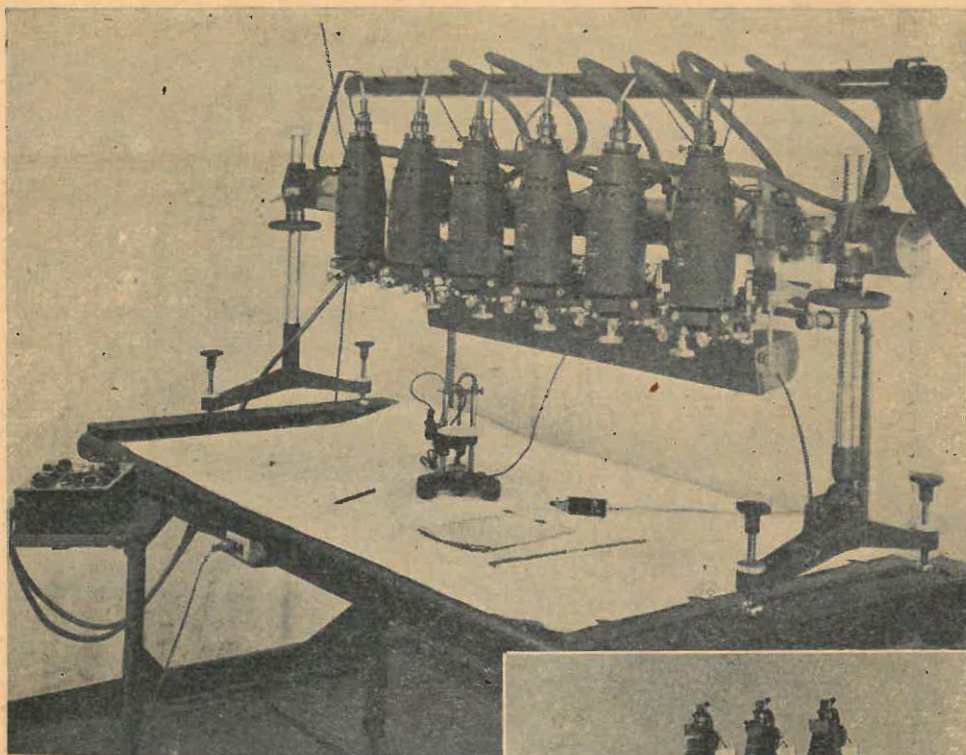
ZEISS - AEROTOPOGRAPH MÜNCHEN

Tel. 60898

Telegr. AEROTOPO

PRINZENSTRASSE 18

ALEMANIA

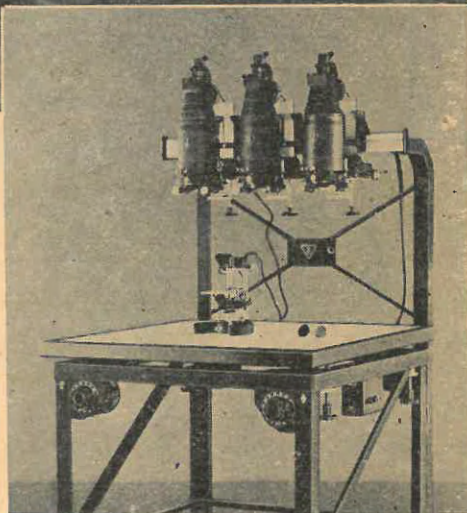


Mayor Exactitud Cartográfica a menor costo

Se obtiene mayor exactitud, rápida y cómodamente, realizando verdadera economía al emplear eficientemente la unidad *Multiplex, B. & L.* o combinación de unidades que *responda exactamente a las necesidades de cada caso.*

Para la confección de cartas de extensas zonas se requieren menores puntos de contralor cuando se utilice la unidad grande del *Multiplex B. & L.* El modelo de barra simple puede llevar hasta 9 proyectores; el de barra doble hasta 21 proyectores.

Para la confección de cartas de reducidas zonas, propósitos educativos, levantamien-



tos topográficos de bajo costo, para Ingenieros, Topógrafos, etc., la unidad auxiliar *Multiplex B. & L.* que acomoda hasta 3 proyectores da la requerida exactitud.

Para uso combinado el empleo de la unidad auxiliar permite utilizarla en trabajos de relleno liberando el modelo grande para aplicarlo a trabajos grandes de contralor.

Bausch & Lomb *Multiplex* Equipment

Bausch & Lomb Optical Co.

ROCHESTER 2, N. Y.

U. S. A.

Bausch y Lomb Argentina S. A.

Av. Roque Sáenz Peña 740

BUENOS AIRES

T. E. 34-8441



S U I Z A



PRESENTA

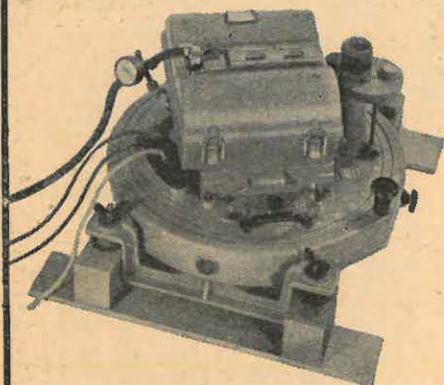
Su nueva cámara aérea
para película.
Completamente auto-
mática.

• **RC5** •

Con objetivo especial
"AVIOTAR"

Extraordinariamente
luminoso, de gran
nitidez.

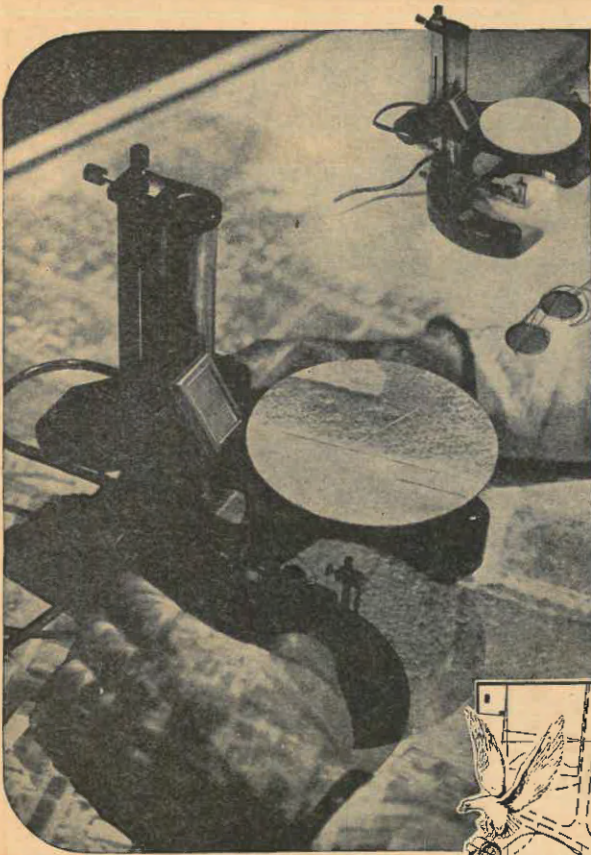
Sin distorsiones.



Representantes exclusivos

Casa
OTTO HESS S.A.

Comercial e Industrial
Maipú 50 T.E. 34-2204
Buenos Aires



REGISTRANDO LOS CONTORNOS QUE LA MAQUINA FOTOGRAFICA TOMA



La forma más simple y más práctica de producir mapas cartográficos de fotografías aéreas es el método Multiplex.

La proyección de negativos se realiza desde una cámara filmadora con el mínimo de aberración y con una orientación interna de alta precisión. Los negativos fueron registrados mediante un diapositivo indicador. Los proyectores son más pequeños que la cámara filmadora, los negativos son disminuídos proporcionalmente y el diapositivo se proyecta.

Estos proyectores, duplicados de la cámara filmadora están colocados de tal manera que se encuentran en la misma posición relativa que la cámara fotográfica cuando el cuadro fué tomado.

— Rayos provenientes de proyectores adyacentes se intersectan para formar imágenes de la misma posición relativa que éstos ocuparon sobre el terreno. Estas imágenes luego se ven en forma

estereoscópica utilizando anteojos de visión estereoscópica.

Las dos vistas (dos proyectores adyacentes) se orienten cuando todos los rayos se cruzan. El modelo orientado es entonces un duplicado de la superficie de la tierra en miniatura. Para convertir este modelo en un mapa se usará la mesa de trazar donde se halla la marca flotante directamente sobre un lápiz. Una escala mide el modelo, mientras el lápiz traza, registrando así la proyección rectangular de la marca flotante, cualquier punto que haga contacto con la marca flotante es registrado en su verdadera posición cartográfica.

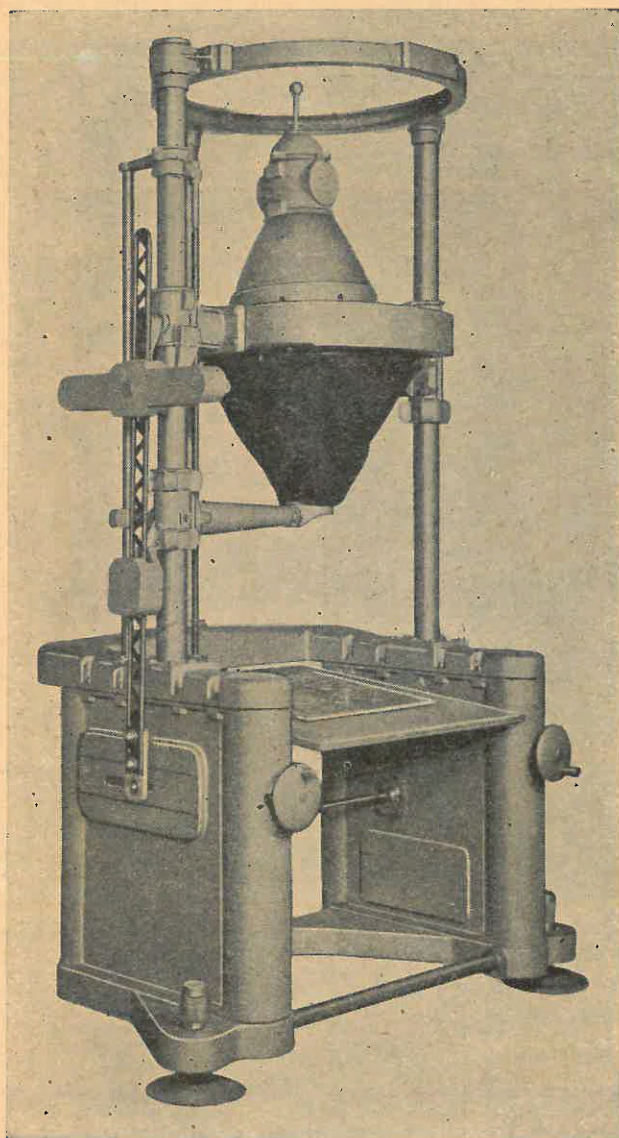
WILLIAMSON Manufacturing Company Ltd.

PHOTOGRAPHIC ENGINEERS

Litchfield Gardens. London, N.W.10, England

In Canada: Williamson Company of Canada Ltd., Toronto Ontario

Representantes en Argentina: DIGGS & MACDEVITT S. A. Buenos Aires



*Enderezador
R A 2
Modelo Gabinete*

MAFFI, COPELLO y

CAPITAL 845.000.

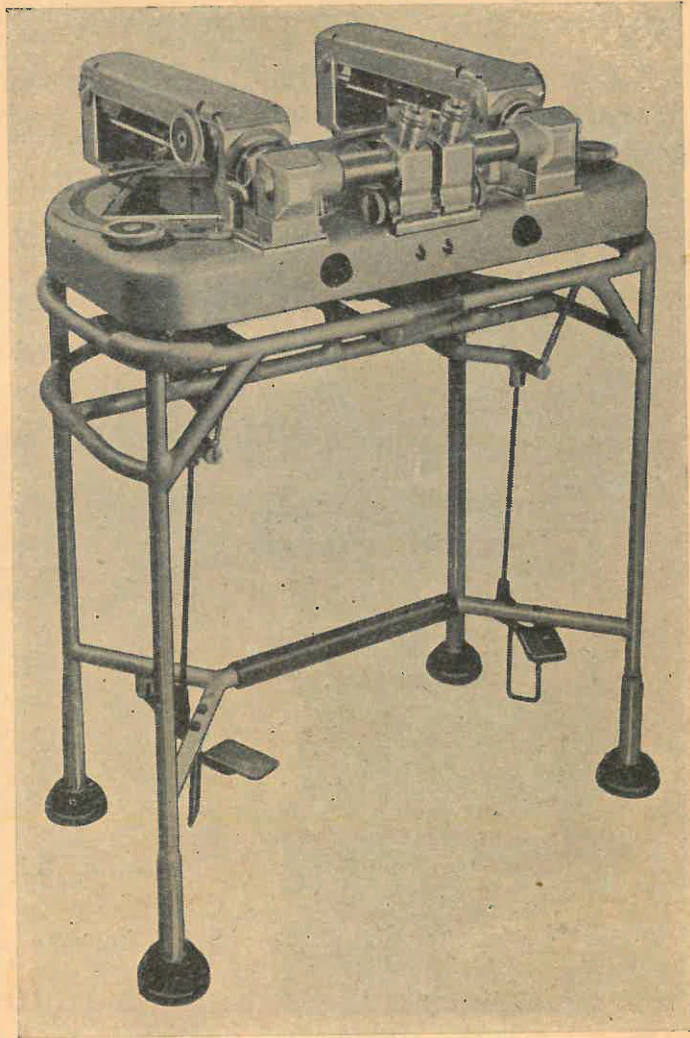
MECANICA DE PRECISION

INSTRUMENTAL FOTOGRAMETRICO
PROPIOS E IMPORTADOS

RECONQUISTA 165

BUENOS

*Triangulador
Radial V A 2
con
Dobleauscort.*



Cía. S. R. Ltda.

00.00 c/l

Y OPTICA EN GENERAL

FABRICACION DE APARATOS
GEODESICOS Y TOPOGRAFICOS

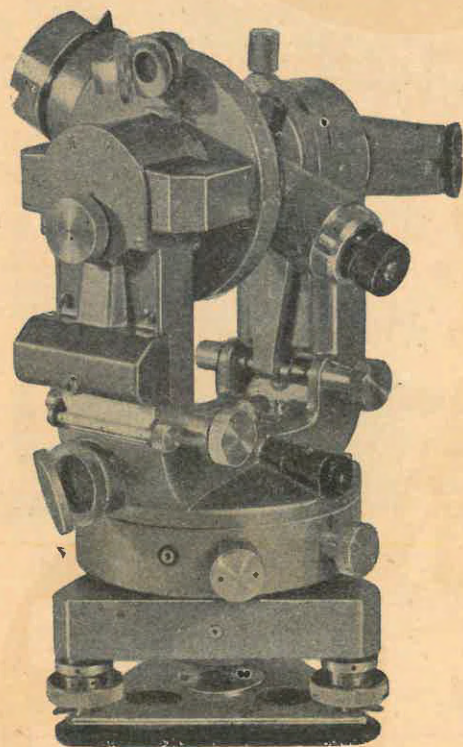
T. E. 33-1154

S AIRES



CORRIENTES 571

T. E. 31-5822



SECCION
TOPOGRAFIA
Y
GEODESIA



Instrumentos Opticos,
Mecánicos y Eléctricos
de alta precisión



Representantes Exclusivos de:

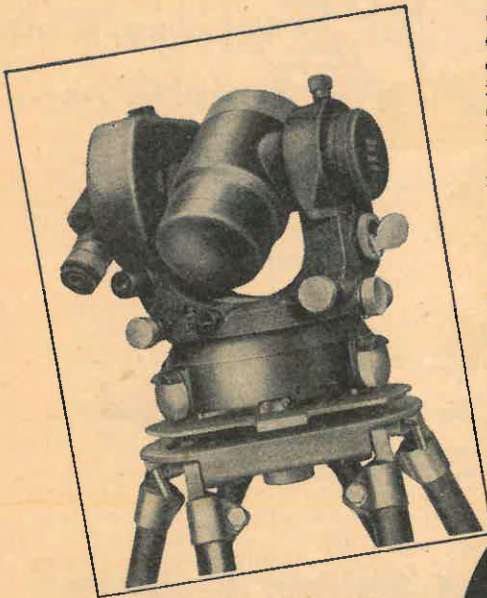
OFFICINE GALILEO
— FLORENCIA - MILAN —

FILOTECNICA SALMOIRAGHI
— MILAN —

F. W. BREITHAUP & SOHN
— KASSEL —

NUEVO TEODOLITO DKM3

Kern
AARAU
SUISSE

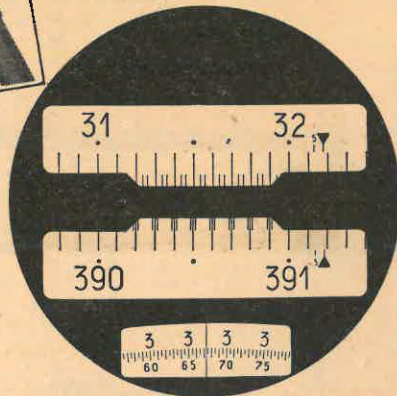


● ANTEOJO CATADIOPTRICO de 45 aumentos (a espejo) de tamaño muy reducido. Da imagen derecha NITIDA y enteramente incolora. GRAN LUMINOSIDAD gracias a su gran abertura (72 m/m) y su revestimiento antireflejo.

- LECTURA DIRECTA 0,5".
- ALTURA DEL INSTRUMENTO 155 m/m.
- TRIPODE CON PLATILLO MOVIL.

Ejemplo de lectura para graduación 400 g.

Para 360° la lectura se efectúa en principio de la misma manera.



Unicos Representantes

Lutz Ferrando y Cia. S.A.

Casa Central: Florida 240 y 15 Sucursales

G. CORADI

ZÜRICH 6 (Suiza)

Weinbergstrasse 49

Fundada en 1880

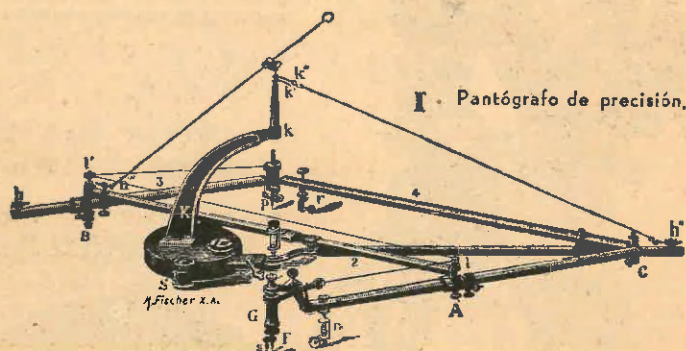
Planímetros

Pantógrafos



Coordinatógrafos

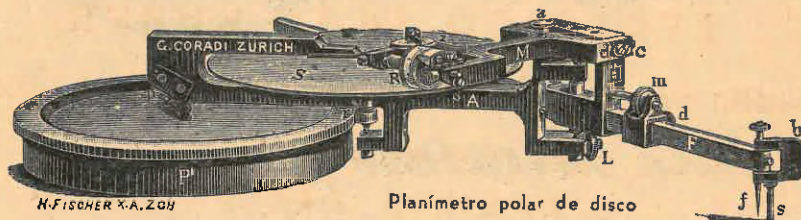
rectangulares y coordinatógrafos polares.



I - Pantógrafo de precisión.



Planímetro polar.



Planímetro polar de disco

Planímetros AMSLER

Utilizados para obtener superficies de figuras con rapidez y exactitud. Se construyen y proveen desde más de 95 años y garantizamos su calidad, exactitud y durabilidad. Se fabrican en 10 distintos modelos para los más variados usos.

Máquinas de ensayo de materiales AMSLER

Utilizadas para pruebas físicas completas de materiales. Se construyen más de 200 modelos distintos para 1 kg hasta 1000 toneladas de carga de prueba.

Integradores AMSLER

Utilizados para obtener superficies, momentos estáticos y de inercia de figuras, así como volumen y posición del centro de gravedad de cuerpos en revolución.

ALFRED J. AMSLER & Cía.

Schaffhausen (Suiza)

Representante exclusivo para la República Argentina:

FEDERICO JUAN HUBER

Casilla de Correo 1588

Teléfono: 31-9711

San Martín 365

BUENOS AIRES

E. R. WATTS & SON LDA.

Londres

Instrumentos Geodésicos y Topográficos

Teodolitos ópticos

Pantógrafos

Niveles

Sextantes

Miras

Brújulas varios modelos

Planímetros

Jalones enchufables

(Patente Boglietti)

C. Boglietti y Cía.

SOC. DE RESP. LTDA. - CAPITAL \$ 100.000,00

Taller mecánico de precisión para reparación y construcción de instrumentos en general.

CASA CENTRAL

SARMIENTO 559

Buenos Aires

Talleres: ESQUIU 1346/50

T. E. 31 - 4254