

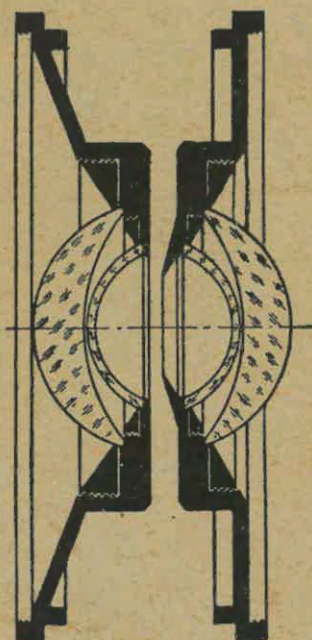
Roberto Müller

Suplemento al Tomo IV del Compendio de Topografía

(Introducción a la Fotogrametría)

*Novedades Ópticas de mayor aplicación en los modernos
trabajos de levantamientos fotogramétricos,
terrestres y aéreos*

(Este trabajo fué primeramente publicado como APENDICE a la 4ª Edición del Tomo II, Volumen 1
del Compendio de Topografía)



TOPOGON DE ZEISS

Fundamento óptico de la moderna fotogrametría granangular.

Buenos Aires
1952

Roberto Müller

JUAN CARLOS SANFILIPPO
AGRIMENSOR
LEY 4048 MAT. 6397

DONACIÓN: Agrim. J.C.

Sanfilippo

528.7

1197

FECHA:

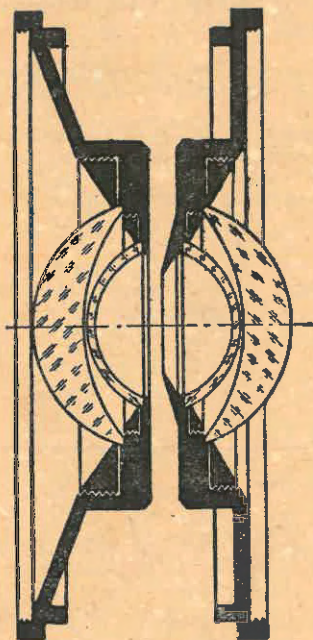
12/2/2019

Suplemento al Tomo IV del Compendio de Topografía

(Introducción a la Fotogrametría)

*Novedades Ópticas de mayor aplicación en los modernos
trabajos de levantamientos fotogramétricos,
terrestres y aéreos*

(Este trabajo fué primeramente publicado como APENDICE a la 4ª Edición del Tomo II, Volumen 1
del Compendio de Topografía)



TOPOGON DE ZEISS

Fundamento óptico de la moderna fotogrametría gran angular.



Buenos Aires
1952

Sumario

CAPITULO I. — *Nociones fundamentales de óptica instrumental.*

§ 1. Generalidades	3
§ 2. Errores de las lentes o de las imágenes que producen	5
§ 3. Corrección de los errores de las imágenes	8
§ 4. Leyes de Lambert	13

CAPITULO II. — *Tipos de modernos objetivos fotogramétricos. Novedades ópticas de mayor aplicación en los modernos trabajos de levantamiento fotogramétricos, terrestres y aéreos.*

§ 1. Clasificación general de los principales tipos de objetivos fotogramétricos. Síntesis de célebres objetivos fotogramétricos	17
§ 2. Modernos objetivos granangulares extraluminosos empleados en Fotogrametría; destacando sus características, su rendimiento y precisión	19
§ 3. Modernas cámaras de Fotogrametría aérea	22

Capítulo Primero

NOCIONES FUNDAMENTALES DE OPTICA INSTRUMENTAL

§ 1. — GENERALIDADES

1. Definición de instrumento óptico.

Llámase *instrumento óptico* a todo instrumento o sistema compuesto de medios ópticamente diferentes y limitados por superficies reflectantes y refringentes que sirven para ayudar o reemplazar al ojo en sus funciones.

2. División de los instrumentos ópticos.

Divídense los instrumentos ópticos en los dos siguientes grupos:

Instrumentos ópticos subjetivos
Instrumentos ópticos objetivos

3. Instrumentos ópticos subjetivos.

Estos instrumentos sirven para prestar ayuda a un ojo o a un par de ojos. Sus principales representantes son:

- a) Los anteojos;
- b) El catalejo (anteojo de Kepler o astronómico, anteojo prismático, etc.);
- c) Los gemelos de teatro;
- d) La lupa;
- e) El microscopio, etc.

En el uso de estos instrumentos la óptica del ojo forma con la de cada uno de ellos un sistema de combinación, el que produce sobre la retina del ojo la imagen del objeto observado. Esta imagen es sólo visible por la persona que observa.

De los instrumentos ennumerados en este grupo, nos ocuparemos solamente con algún detalle de los anteojos.

4. Los anteojos.

A fines del siglo XIII fueron construídos industrialmente en Venecia los primeros anteojos, concebidos en su origen por los religiosos de la Edad Media. Ello es lógico porque fueron los sacerdotes de aquella época las únicas personas que sabían leer las escrituras sagradas.

Se componen de dos cristales colocados en un armazón delante de los ojos y a una distancia de 12 mm del vértice de la córnea, para ayuda en la visión de los ojos míopes y presbítes.

Los anteojos que corrigen la presbicie son de curvatura convergente o positiva y los de los ojos míopes de curvatura de dispersión o negativa, puesto que en los ojos presbítes la imagen del punto remoto en lugar de formarse sobre la retina se forma detrás de ella y en los ojos míopes delante de la misma.

Esta curvatura, positiva o negativa, se suele indicar por el término técnico de dioptría (dptr) que es el valor recíproco de la respectiva distancia focal f de la lente:

$$\pm 1 \text{ dptr} = \pm \frac{1}{f}$$

La dioptría cero es la que corresponde a un plano ($f = \infty$) y la de la unidad corresponde a la curvatura de una lente, positiva o negativa, con distancia focal de un

metro. Una lente de distancia focal $f = 0,10$ m tendrá $+ 10$ dptr si es convergente y $- 10$ dptr si es divergente. Los valores usuales de las dioptrías oscilan entre 0 y ± 15 .

Un ojo de visión normal operado de catarata (sin cristalino) tiene que llevar una lente de $+ 11$ dptr para ver objetos lejanos y de $+ 14$ dptr para objetos cercanos o para leer.

A partir de la edad de 45 años el ojo humano pierde su facilidad de acomodación o enfoque (ver pág. 119 de la "Optica") por lo que será necesario entonces aumentar las dioptrías positivas en el présbite e ir disminuyéndolas en el ojo míope.

5. Instrumentos ópticos objetivos.

Pertenece a este grupo:

- a) La cámara oscura de agujero, de Bacon o sin lente;
- b) La cámara oscura con lente;
- c) La cámara fotográfica;
- d) El aparato de proyección;
- e) El microscopio de proyección.

Estos instrumentos ópticos substituyen al ojo en sus funciones, proyectando la imagen de tamaño reducido, visible por muchas personas, sobre el vidrio esmerilado de una cámara fotográfica; o de tamaño aumentado, sobre la pantalla de un aparato de proyección.

En estos instrumentos la óptica instrumental no entra en ninguna combinación con la del ojo observador.

La mayor parte de los aparatos mencionados se hallan detalladamente descritos en sus respectivos lugares de esta obra, de modo que nos podemos limitar a unas pocas recapitulaciones de conceptos fundamentales como iniciación e introducción para la exposición de nuestro tema principal: *El objetivo, sus errores, su corrección y su importante papel en los aparatos de toma y de restitución.*

De los aparatos de este segundo grupo nos ocuparemos muy brevemente de la cámara oscura, sin lente y con lente, como antecedente para el estudio del objetivo de la cámara fotográfica y fotogramétrica.

6. Cámara oscura de agujero, de Bacon o sin lente.

Según hemos visto en pág. 114 del presente tomo, esta cámara con abertura bien elegida produce sobre un vidrio esmerilado una imagen de nitidez y claridad aceptable. Sabemos también que una reducción de la abertura más allá de ese estado óptimo no conducirá a una mayor nitidez sino que sólo aumentará los efectos de la difracción de los rayos luminosos en los bordes de la abertura empeorando la imagen.

Un aumento de la abertura tampoco mejorará la claridad de la imagen sino que la hará más borrosa hasta llegar a desaparecer porque los delgados haces luminosos que formaban la imagen con abertura óptima son ahora anchos haces de luz incapaces de formarla.

7. Cámara oscura con lente.

La imagen producida por la cámara oscura de Bacon puede ser mejorada notablemente colocando una lente convergente en la abertura, ver pág. 114 de la "Optica".

8. Diafragma de abertura y otros dos conceptos ópticos fundamentales.

La imagen formada por la cámara de Bacon (sin lente), es una *proyección simple*; figurando en ella el punto medio de la pequeña abertura circular como *centro de perspectiva*.

Si en lugar de la abertura circular de la cámara de Bacon colocamos una lente convergente, será la montura de esta lente la que hará el papel de *diafragma de abertura*; a los rayos que pasan por el punto medio de la cámara de Bacon, corresponderán aquí los rayos que pasan por el centro de la lente convergente. Son los llamados *rayos principales* de la proyección óptica. Sus puntos de intersección sobre el plano del vidrio esmerilado o de una placa fotográfica nos dan la imagen del contorno del objeto del espacio.

Si la lente objetivo, en lugar de estar constituida por una sola lente, estaría compuesta de dos o más (como ocurre en los modernos objetivos de cámaras fotográficas) con su diafragma colocado en el centro (ver fig. de pág. 12) la lente delantera (izquierda) formará la imagen de ese diafragma D en el espacio objeto, imagen que lleva la

denominación de *pupila de entrada* del sistema óptico. La imagen del diafragma de abertura, formada en el espacio imagen (hacia la derecha), es la llamada *pupila de salida* del sistema.

La pupila de entrada P de un sistema óptico determina la cantidad de rayos luminosos que un punto axial O puede enviar al sistema; determinándose por la pupila de salida P' la cantidad de rayos salientes eficaces en la formación de la correspondiente imagen O' del punto considerado.

Estos dos conceptos ópticos, la pupila de entrada P y la pupila de salida P' , introducidos por *Abbe*, tienen mucha importancia en Fotografía y Fotogrametría, como veremos más adelante.

Cuando el diafragma de abertura está constituido por la misma montura del objetivo como en el caso del anteojo telescópico, entonces será esa misma montura del objetivo la pupila de entrada del sistema, resultando entonces la pupila de salida del anteojo A veces más reducida, donde A expresa el aumento del anteojo (ver pág. 154, del tomo II, volumen 1).

§ 2. — ERRORES DE LAS LENTES O DE LAS IMAGENES QUE PRODUCEN

1. Aberración esférica de la lente convergente.

Según hemos visto en pág. 104 del presente volumen, los rayos luminosos paralelos que salen de un punto objeto muy lejano y que inciden en distintas zonas de una lente convergente, no se reúnen después de su refracción en un único punto imagen: Los rayos centrales o próximos al eje forman su imagen en un determinado foco; en otro lugar del eje se formará la imagen correspondiente a los rayos marginales. Este error o defecto se denomina *aberración esférica de la lente convergente* y se manifiesta como una falta de nitidez de la imagen. Si llevamos la imagen de los rayos centrales correctamente a su foco quedará fuera de foco o con falta de nitidez la imagen de los rayos marginales y viceversa si se enfocan los rayos marginales. En la práctica se coloca en general el plano de imagen a media distancia de ambos focos obteniendo en consecuencia una falta de nitidez general.

2. Aberración esférica de la lente divergente.

Una cosa análoga se produce en la lente divergente: Los rayos paralelos emanados

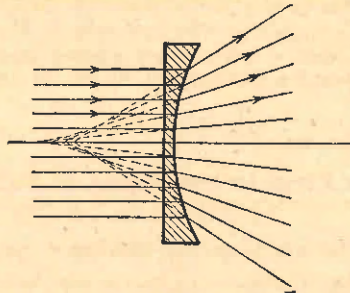


Fig. 1. — Se ilustra la refracción producida por la lente divergente.

de un punto lejano, incidentes sobre diversas zonas de la lente, son divergentes en distinto grado, quedando desviados los rayos marginales como si procedieran de un punto más cercano a la lente que el correspondiente a los rayos centrales (ver fig. 1).

3. Aberración cromática.

También sabemos por lo visto en pág. 107 del presente libro que en la refracción de la lente simple se produce una descomposición de la luz solar en los conocidos colores del arco iris; que estos colores tienen distintas distancias focales o sea distintos índices de refracción, siendo máxima la distancia focal (mínimo el índice de refracción) del

color rojo y mínima la distancia focal (máximo el índice de refracción) del color azul. Resulta entonces que la imagen de un punto luminoso del objeto en lugar de ser un punto será una corta línea axial, con extremo azul más próximo a la lente y extremo rojo más alejado de la misma.

Si hacemos incidir sobre una lente la luz del Sol, podemos recoger sobre una pantalla, en el foco de la misma, como imagen del Sol una mancha clara. Desplazando la pantalla hacia la lente se llegará a un sitio en que la mancha estará rodeada de una franja roja. Es el lugar en el cual se forma la imagen azul por la intersección sobre el eje de los rayos azules y violeta de la luz solar. El interior de la mancha queda blanca debido a la superposición de las imágenes de los demás colores.

Moviendo en cambio la pantalla en sentido contrario, alejándola más y más, se llegará al lugar de la imagen de la luz roja, en el que aparecerá la mancha blanca rodeada por una franja azul.

Si enfocamos con la lente convergente un objeto muy lejano, se obtendrá en el plano focal de la misma la imagen del objeto. Pero, como en este enfoque se emplea el ojo, sensible principalmente para la parte más clara del espectro solar o sea el color amarillo, resultará una falta de nitidez de la imagen formada por los rayos azules y violeta. Si el objeto observado es de cierto tamaño, se notarán sus bordes con un velo de color azul.

Este fenómeno tiene mucha importancia en la fotografía: El ojo enfoca sobre el vidrio esmerilado la imagen de color amarillo, quedando entonces fuera de foco la imagen de color azul formada por la parte de luz de distancia focal corta, azul y violeta, que es químicamente la más eficaz para producir la correspondiente imagen en la placa sensible.

Una lente en la que se ha corregido este grave defecto del cromatismo (1) se denomina *acromática* (2).

(1) Cromatismo: derivado de la palabra *chroma*, que significa color.

(2) Importancia de la corrección del cromatismo de la imagen producida por una lente convergente simple.

La importancia de la utilización clásica de la lente *acromática* en la construcción de instrumentos ópticos de observación y medición es tan grande que cabe ser destacada mediante el ejemplo del anteojo.

En los primeros tiempos después de la invención del anteojo ya se sabía que la principal causa de la falta de nitidez de la imagen producida por el objetivo de lente convergente simple, residía en la aberración cromática. También se sabía que la mayor parte de este defecto podía ser eliminado aumentando la distancia focal f del objetivo del anteojo.

Consideraciones geométricas pertinentes habían permitido deducir la siguiente ley cuadrática entre la distancia focal f y el diámetro D de la lente:

$$(1) \quad f = k \times D^2$$

donde f y D son medidos en milímetros.

A fin de no hacer muy largos los tubos de los anteojos se admitió en esos tiempos para k el valor de 1, 2, siendo entonces la distancia focal f :

$$(2) \quad f = 1,2 \times D^2$$

En los tiempos actuales, con exigencias respecto a la calidad de la imagen muy superiores, se tiene para la (2):

$$(3) \quad f = 3,8 \times D^2$$

Con la introducción de la lente objetivo *acromática* en la construcción de los instrumentos ópticos la (3) quedó reducida a la siguiente exigencia:

$$(4) \quad f = 0,1 \times D^2$$

Quiere decir, con aplicar como objetivo, una lente *acromática* en lugar de la lente simple, la longitud del anteojo pudo elegirse 38 veces más corta de lo que exige el uso de una lente convergente simple, de transcendencia fundamental para la construcción del anteojo.

Comprenderá ahora el lector la enorme ventaja de que se disponía en el momento de la invención de la Fotografía (año 1839): Hallábanse entonces listos los primeros objetivos *acromáticos*, fabricados industrialmente primero en Inglaterra y luego en Alemania. Sólo por esa feliz circunstancia fué posible el extraordinario desarrollo del nuevo arte de tan gran esplendor; de cuyas más recientes creaciones fotogramétricas hablaremos en el próximo capítulo.

4. Astigmatismo.

Hemos considerado hasta ahora principalmente puntos objetos axiales, que son aquellos que emiten sobre la lente haces de rayos luminosos simétricos con respecto al eje óptico.

Nos ocuparemos, en lo que sigue, de puntos objetos situados sobre un plano perpendicular al eje y más o menos alejados del eje óptico. Consideramos además que los haces de luz que emiten esos puntos penetran a la lente a través de una pequeña abertura central del diafragma de la lente. Estas condiciones ópticas pueden ser cómodamente realizadas con un giro de la lente alrededor de su eje central lo cual corresponde a un gradual alejamiento del punto objeto de su posición axial inicial sobre el plano perpendicular.

A un giro de 45° de la lente correspondería un ángulo de incidencia de 45° del rayo central del haz.

Con realizar este giro observaríamos que el punto imagen anteriormente obtenido sobre una pantalla y producido por el punto axial ha desaparecido. Si desplazamos la pantalla en el sentido del eje de la lente en busca de la nueva imagen, nos sorprenderá encontrar más próxima a la lente, como primera imagen, una corta línea vertical nítida; si alejamos la pantalla más allá del punto en que antes se hallaba la imagen puntual, encontramos como segunda imagen del punto una corta raya horizontal. Es como si la imagen puntual del punto objeto al desaparecer se hubiera descompuesto en dos imágenes lineales, una vertical y otra horizontal. Este fenómeno ha recibido la denominación de *astigmatismo* (1).

Mediante un reticulado de líneas horizontales y verticales transparentes y fuertemente iluminadas desde atrás, podemos cómoda y eficazmente ilustrar el efecto del astigmatismo: A una cierta distancia detrás de la lente se verán nítidas las líneas verticales y sin nitidez o desaparecidas las líneas horizontales. A otra distancia más alejada que la anterior se verán sobre la pantalla nítidas las líneas horizontales y sin nitidez o desaparecidas las verticales.

5. Error de curvatura astigmática.

A cada giro distinto de la lente o sea a cada nueva posición del punto objeto sobre el plano perpendicular al eje, corresponderá otro par de cortas líneas imagen perpendiculares entre sí. La representación gráfica de estos distintos pares de líneas nos revela enseguida que las mismas no se hallan sobre planos de imagen sino sobre superficies curvas, las que se tocan sobre el eje óptico en un punto que correspondería a un giro cero de la lente. Este defecto se denomina *error de curvatura astigmática*.

Podemos decir entonces que el astigmatismo de una lente se manifiesta en dos sentidos: Produce en primer lugar como imagen dos líneas perpendiculares entre sí y en segundo lugar, forma una imagen nítida del objeto sobre una superficie curva en vez de plana. Se necesitaría entonces una placa curva para obtener la imagen nítida de un objeto extenso.

6. Coma.

Si producimos la inclinación de la lente como para obtener el defecto de astigmatismo anteriormente descrito, observaremos, cuando los haces incidentes sean rayos marginales únicamente, que producen imágenes de raras figuras muy semejantes a colas de cometa por lo cual este defecto ha sido denominado coma (2). Puede decirse entonces que el coma es el astigmatismo de los rayos marginales de una lente convergente.

Finalmente cabe ser destacado el error de *distorsión de la imagen*. Lo colocamos en último término no por su reducida importancia sino por su distinta característica

(1) Astigmatismo: derivado del prefijo griego *a*, que significa no y de la palabra griega *stigma*, que significa punto.

(2) Coma: de la palabra griega *coma* que significa cola de cometa.

comparado con los errores de aberración esférica y cromática, astigmatismo y coma; mientras que estos errores afectan únicamente a la bondad de la imagen, el error de distorsión afecta a la propia esencia de la imagen, mereciendo por tal causa una consideración especial.

7. Error de distorsión de la imagen.

A fin de ilustrar la manera como se engendra tan importante error para la Fotogrametría, terrestre y aérea, elegimos como objeto un retículo cuadrado. Lo confeccionamos con una placa gelatinada sobre la cual dibujamos una cuadrícula mediante una fina punta. Detrás de ella colocamos una placa de vidrio esmerilado a la cual iluminamos por medio de una potente fuente de luz.

Con esta disposición e iluminación del objeto se podrá obtener mediante una lente convergente la imagen de la red de cuadrados (ver figs. 33 y 34 de pág. 194 del presente volumen). Si colocamos, inmediatamente delante de la lente, entre esta y el objeto, un diafragma central, practicando dentro de un cartón una abertura circular de 4 mm de diámetro, obtendremos la imagen con menor claridad pero con mayor nitidez. Esta imagen es una proyección perspectiva o proyección central en toda su extensión, siendo el cuadrículado semejante al original. Si movemos el diafragma sobre el eje en dirección hacia el objeto, vemos que la imagen se deforma como si fuera de materia plástica. Fuera del eje central, las líneas de los cuadrados se curvan. Originase así una figura que da la impresión de un cuadrículado aplicado sobre la superficie exterior de una esfera. Las líneas que representan imágenes de rectas son convexas hacia afuera, defecto que se llama *error de distorsión de barrilete o de tonel*. Los cuadrados de la imagen han dejado de ser semejantes a los cuadrados del objeto.

Si operamos en forma análoga con el diafragma colocado inmediatamente detrás de la lente, obtendremos una deformación inversa con curvatura de las líneas imágenes de forma cóncava hacia el centro, defecto que se llama *error de distorsión de corselete o cojín*.

Es decir: en ambos casos se ha perdido la uniformidad de la escala de la imagen o sea la propiedad más característica de toda proyección perspectiva.

Sólo por medio de una adecuada combinación de lentes puede ser reducido o eliminado este terrible error de distorsión de la imagen. Es un procedimiento óptico, basado en la exacta inversión de los haces de rayos, que permite eliminar, con toda elegancia, cualquier error de distorsión de la imagen fotográfica.

§ 3. — CORRECCION DE LOS ERRORES DE IMAGENES DE LAS LENTES

1. Observación previa.

No es nuestro propósito entrar en detalles sobre la técnica de la corrección de lentes objetivos que constituye toda una extensa rama de la óptica práctica y experimental. Nos tenemos que limitar a exponer brevemente los conceptos y principios fundamentales en que se basan esas correcciones para facilitar al lector la comprensión y debida ponderación de los esfuerzos y de los exitosos resultados realizados.

2. Generalidades.

La reducción o eliminación simultánea de todos los errores que afectan una lente objetivo es teórica y prácticamente imposible.

El recurso principal de corrección consiste en la combinación de varias lentes (2 hasta 6 y más aún), muchas veces de diferentes clases de vidrio. Según cada caso particular del problema en la práctica, el calculista determinará mediante engorrosos cálculos trigonométricos todos los elementos constructivos que cada uno exige, como ser los radios de curvatura de las lentes aisladas, su grosor y las distancias que las separan, etc. Son por ello muy distintos los cálculos de objetivos para catalejos, microscopios, aparatos fotográficos o cámaras fotogramétricas terrestres o aéreas.

Empero, la teoría de la lente por un lado y la técnica del cálculo por el otro se han perfeccionado a tal grado que es posible para cada caso particular satisfacer el problema con gran precisión.

3. Pérdida de luminosidad y brillo de la imagen.

Es de notar que en cada superficie de lente en contacto con el aire, el rayo sufre una pérdida de luminosidad, disminuyendo además el brillo de la imagen por las reflexiones interiores de los rayos luminosos en las superficies de la lente.

4. Combinación de sistemas de lentes.

Las lentes de una combinación pueden tener posición libre, es decir hallarse con ambos lados de ellas en contacto con el aire, o pueden encontrarse pegadas entre sí con bálsamo de Canadá (por las cualidades especiales de este bálsamo al tener el mismo coeficiente de refracción que el del vidrio por lo que los rayos no son desviados en su pasaje a través de la unión de las lentes).

Para anular ciertos errores de la imagen, principalmente el de distorsión, suele disponerse simétricamente la parte anterior y posterior de una combinación de sistemas de lentes; pueden destornillarse separando la parte anterior para utilizar solamente la parte posterior con lo que se varía la distancia focal del sistema. Se aplica principalmente en aparatos de toma de vistas fotográficas.

5. Magnitud de imágenes producidas por una lente objetivo.

Antes de tratar el primer método de corrección de la aberración esférica, ampliaremos nuestra exposición de pág. 15, del tomo IV de este Compendio.

Para un objeto situado a gran distancia de la lente, la relación entre su tamaño Δy y la correspondiente magnitud de la imagen $\Delta y'$ formada por una cámara fotográfica de distancia focal f sobre el plano focal (vidrio esmerilado) puede ser expresada por la fórmula:

$$3) \quad A = \frac{\Delta y'}{\Delta y} = \frac{f}{D}$$

Ejemplo: Un objetivo con distancia focal $f = 30$ cm daría entonces de un objeto lejano una imagen de doble magnitud comparada con la de un objetivo de distancia focal $f = 15$ cm.

Para objetos próximos a la lente no puede naturalmente utilizarse esta fórmula, en cuyo caso, recordando la fig. 9 de pág. 77 tendremos la siguiente relación considerando que $f = f'$

$$(2) \quad A = \frac{\Delta y'}{\Delta y} = \frac{f}{x} = \frac{f}{x'}$$

o sea:

$$(3) \quad x \cdot x' = f^2$$

que es la conocida fórmula de la lente, referida a las coordenadas focales x y x' , la que juntamente con la (2) nos permite calcular, para cualquier objeto del espacio, lugar y magnitud de la correspondiente imagen, conociendo su distancia x (distancia del objeto a la lente menos su distancia focal), tamaño Δy del mismo y la distancia focal f de la lente.

6. Primer método de corrección de la aberración esférica.

Sabemos que las aberraciones dependen ante todo de la curvatura de las lentes: entre dos lentes de vidrio común tendrá mayor aberración la de mayor curvatura.

Una lente de menor curvatura o mayor distancia focal tendrá entonces menor refracción esférica, ante todo menor aberración cromática. Este último hecho ha constituido un eficazísimo recurso en la corrección del anteojo astronómico en la infancia de su evolución.

Para la corrección del error de aberración esférica se emplea una combinación de una lente convergente con una lente divergente. Si estas dos lentes tienen la misma curvatura, el mismo diámetro y si son confeccionadas de la misma clase de vidrio, ambas

tendrán la misma distancia focal, positiva la de la primera y negativa la de la segunda, convergente la primera y divergente o de dispersión la de la segunda.

Sabemos también que los rayos marginales incidentes sobre la lente convergente serán más fuertemente refractados contra el eje de los rayos centrales; análogamente, los rayos marginales formarán haces de dispersión de mayor inclinación hacia el eje que los haces centrales.

¿Qué es lo que ocurre si lentes de estas características son estrechamente unidas? Por ser las desviaciones producidas por las dos lentes inversamente iguales, las de convergencia producidas por la primera lente serán iguales a las de dispersión producidas por la segunda resultando una eliminación completa de la aberración esférica, pero al mismo tiempo una anulación de la potencia de refracción. La distancia focal del sistema es infinita o sea cero su dioptría.

El conjunto representa un menisco con superficies curvas paralelas que actúa ópticamente como una placa de vidrio de caras planas y paralelas.

Si la segunda lente (de dispersión) de la combinación de lentes positiva y negativa se separa un poco de la primera (convergente), ver figura 1, queda restablecido el poder de convergencia. El foco anterior de la lente de dispersión L_2 queda trasladado al lugar F'_2 y el posterior a F_2 . Los focos F_1 y F'_1 de la lente convergente L_1 no han variado. Debido a esta disposición de lentes, un rayo paralelo al eje incidente sobre L_1 , en lugar de cortar al eje en el foco F'_1 , será desviado cortándolo por consiguiente en F' , el nuevo foco de la combinación de lentes.

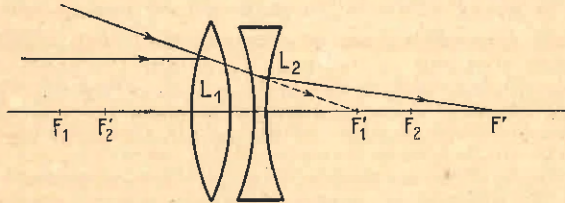


Fig. 1. — Se muestra la eficiencia de la lente divergente en la corrección de la aberración esférica.

Hállase así aumentada la distancia focal del sistema, la que se mide, según hemos visto en la ya citada figura de pág. 77, desde el plano principal posterior del objetivo.

Con un adecuado tanteo se logrará dar a la lente de dispersión la posición más favorable para una suficiente eliminación del error de aberración esférica del objetivo.

Se logró también un aumento de la distancia focal f_1 de la lente convergente L_1 con el consiguiente aumento de la imagen según fórmula 2 (1).

7. Los anteojos del periodo de infancia de su desarrollo. Anteojo de Kepler.

En el periodo de infancia del anteojo empleáronse anteojos con objetivos hasta de 32 metros de distancia focal para reducir no sólo los errores de las aberraciones de las imágenes de los objetos celestes y obtenerlas así con suficiente claridad y nitidez, sino también para eliminar la influencia tan perniciosa del cromatismo de las lentes.

Cabe mencionarse como importante etapa en este desarrollo el anteojo astronómico indicado por Kepler en 1611 (ver pág. 150 del presente tomo).

(1) La aplicación de este principio, que al aumentar la distancia focal en una lente convergente (objetivo) se obtiene un aumento del tamaño de la imagen dió origen a que en 1851 el insigne ingeniero italiano P. I. Porro inventara el teleobjetivo de aplicación universal en las cámaras fotográficas. El teleobjetivo fotográfico se compone de una lente convergente de gran distancia focal comparada con la de la lente divergente, aumentándose con ello considerablemente la distancia focal del sistema, lo que da lugar a un conjunto óptico de menor longitud total que si pretendemos obtener el mismo aumento de la imagen utilizando solamente la lente convergente. En la Primera Guerra Mundial (1914-1918) logróse construir teleobjetivos fotográficos, para fines militares, con distancia focal de hasta 1,20 metros.

8. Segundo método de corrección de la aberración esférica.

Como hemos comentado anteriormente en el número 6 se elimina el error de aberración esférica adosando dos lentes, una convergente y otra divergente. Sin embargo utilizando este procedimiento anulamos el poder refractante del sistema es decir, ambas lentes se comportan como una placa de vidrio plana paralela.

Este inconveniente puede ser eliminado cómodamente utilizando lentes de vidrio de distinto índice de refracción.

En efecto, si construimos un sistema de dos lentes, la primera convergente, de vidrio más refractante (flint) y la segunda divergente, de vidrio menos refractante (crown) cuya curvatura sea igual de modo de poder adosar una a la otra, obtendremos que la distancia focal del sistema quedará modificado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \left(-\frac{1}{f_2}\right)$$

donde f_1 representa la distancia focal de la lente convergente y f_2 la de la lente divergente. En consecuencia se ha corregido el defecto de la aberración esférica al adosar ambas lentes obteniendo un nuevo sistema óptico cuya distancia focal se calcula de la fórmula mencionada. Ambas lentes serán unidas por medio de bálsamo de Canadá cuya propiedad de poseer igual índice de refracción que el vidrio ya nos es conocida.

Como veremos a continuación, este método de corrección es el más apropiado puesto que corrigiendo el defecto de aberración esférica eliminamos al mismo tiempo el del acromatismo.

9. Corrección de la aberración cromática. Chester Moor Hall, John Dollond y José von Fraunhofer.

Como hemos indicado en pág. 108 del presente tomo es en el año 1728 que el físico inglés Chester Moor Hall indicó que la parte principal de la aberración cromática desaparece cuando se hace coincidir la imagen formada por los rayos rojos con la formada por los rayos azules combinando lentes de distinta clase de vidrio, obteniendo así por superposición una imagen de color blanco (para el ojo humano) es decir descubrió el principio de corrección del cromatismo visual de un sistema óptico.

En el año 1758 otro inglés el óptico John Dollond industrializó este principio construyendo los primeros sistemas de lentes acromáticas, patentados por él y publicando extensamente sus experiencias por lo que se lo considera como el inventor del sistema de lentes acromáticas.

Con el procedimiento mencionado se corrige únicamente el efecto del espectro primario sin anular la acción del espectro secundario producido por los colores remanentes y que puede llegar a ser muy molesto en los telescopios con grandes distancias focales. Como único recurso para eliminar el efecto del espectro secundario, en aquella época, se conocía el de aumentar el diámetro de las lentes del sistema diafragmando su abertura útil.

Rivalizaban entonces los más famosos talleres de la época, el de J. Dollond en Inglaterra y el de José von Fraunhofer en Munich, en superarse en la fabricación de grandes objetivos. Las medidas máximas de los de Dollond alcanzaron a 12,7 cm, los de Fraunhofer alcanzaron 24 cm.

La importancia científica en el campo de la óptica de José von Fraunhofer es de tal trascendencia que justifica una breve nota biográfica (ver su retrato en pág. 29 del presente tomo).

Entró como oficial en un famoso taller de óptica-mecánica de Munich, en el cual se distinguió en seguida por su extraordinario talento práctico que se revelaba por sus fructíferas iniciativas. Es a él que se debe la introducción del vidrio de prueba para comprobar la exactitud de la curvatura esférica de las lentes, método de contralor universalmente en uso hasta el día de hoy.

Diseñó y construyó una máquina especial para esmerilar y pulir lentes de gran diámetro, ocupó con buen éxito de la fundición de nuevos cristales para objetivos acromáticos. En las operaciones de clasificación de estos nuevos cristales, Fraunhofer descubrió las famosas líneas del espectro de la luz solar, que hoy llevan su nombre, y que constituyeron el fundamento de un nuevo método de investigación llamado método espectral.

Inició el método de cálculo previo de las dimensiones de un sistema de lentes evitando su construcción por tanteo tan difundido en esa época siendo su prestigio en el campo de la óptica práctica de principios del siglo XIX tal que sólo puede ser comparado con el del Profesor Ernesto Abbe en la segunda mitad del mismo.

10. Ernesto Abbe y Otto Schott; los famosos cristales de Jena.

Recién en 1885 a iniciativa del Profesor Ernesto Abbe se comenzó a ejecutar el cálculo previo de todos los datos constructivos y ópticos de un sistema de lentes. El mencionado E. Abbe fomentó la necesidad de contar con nuevos tipos de vidrio que cumplieran las exigencias de los calculistas de lentes ópticas. En colaboración con Otto Schott, propulsor de la industria del vidrio, se elaboraron nuevos tipos de cristales de crown, flint y otros con los que fué posible eliminar también el efecto del espectro secundario en la aberración cromática e iniciar la construcción de los conocidos microscopios de la casa C. Zeiss de Jena y los afamados cristales ópticos de Jena.

11. Corrección de los errores de distorsión.

Si combinamos sobre un mismo eje óptico dos sistemas de lentes acromáticas (dos lentes cada uno) ver fig. 2 podemos corregir con mucha facilidad el error de distorsión. Conociendo exactamente la distancia entre ambos sistemas y demás datos de las lentes nos será fácil calcular la distancia focal del nuevo sistema.

Exactamente en el centro del mismo colocamos el diafragma D. Dicho diafragma será para el primer sistema de lentes un diafragma posterior y para el segundo un diafragma anterior. Los haces de rayos que atraviesan el primer sistema darán una imagen con *error de distorsión de corselete o cojín* por encontrarse el diafragma en un plano posterior. Como ambos sistemas de lentes son simétricos con respecto al diafragma, el mismo haz antes mencionado atravesará el segundo sistema de lentes con igual ángulo de incidencia pero con *error de distorsión de barrilete* por encontrarse el diafragma en un plano anterior al sistema de lentes. Por consiguiente ambos errores de igual magnitud relativa, quedarán automáticamente eliminados dando lugar a una imagen del objeto, sin error de distorsión, en el foco resultante del sistema de ambas lentes acromáticas. Un sistema de este tipo lleva la denominación de *aplanático*.

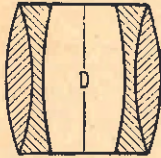


Fig. 2. — Se ilustra un sistema óptico acromático en el cual se reducen los efectos de los errores de distorsión.

12. Otro método de corrección del error de distorsión. Principio Porro-Koppe.

La placa fotográfica, obtenida en un levantamiento fotogramétrico o simplemente en un aparato fotográfico común, afectada de error de distorsión, se colocará para eliminar ese error dentro de la misma cámara u otro instrumento ópticamente idéntico utilizado como aparato de proyección de la imagen. Los puntos imágenes se encuentran entonces en el plano focal de la placa (hemos supuesto, como sucede en Fotogrametría, que los puntos objetos levantados se encuentran a gran distancia). Los haces de rayos que emiten al ser proyectados y que atraviesan el objetivo de la cámara, lo abandonan en forma idéntica a su entrada en la cámara durante la toma, en forma de haces paralelos en los cuales pueden medirse cómodamente los respectivos ángulos que se quieran determinar. Esta medición se efectúa con un anteojo goniómetro especial, que lleva la denominación de *fotogoniómetro*.

Este ingenioso método metrofotográfico fué ideado por Porro y completado prácticamente por Koppe, razón por la cual lleva la denominación de *principio de Porro-Koppe*. Este principio es de descollante aplicación en los grandes aparatos de restitución óptica de Fotogrametría, cuyo principal representante es el *Estereoplanógrafo de Bauersfeld-Zeiss* (ver pág. 161 del tomo IV de este Compendio).

Se puede medir así por la reciprocidad de los haces emanados de los puntos objetos en el momento de la exposición y de los emanados de los correspondientes puntos imagen en el momento de la medición fotogramétrica, los verdaderos valores de los ángulos libres de error de distorsión.

13. Corrección del error de astigmatismo y coma.

La eliminación de los errores astigmáticos (astigmatismo, error de curvatura astigmática y coma) no puede obtenerse por medio de un simple cálculo al no existir para este fenómeno óptico fórmulas exactas que lo controlen. Deben eliminarse con cálculos engorrosos y solamente con resultados aproximados, combinados con estudios prácticos del taller, válidos únicamente para cada caso particular en estudio. No podrá eliminarse completamente la curvatura astigmática de la imagen, por ello se acostumbra a disminuirla hasta límites tales que no resulten visibles a los fines a que está destinado el objetivo o sistema de lentes. Utilizarlos para reproducir imágenes de mayor tamaño que el estipulado resultará inadecuado debido a la falta de nitidez que se observará en los bordes de la imagen.

§ 4. — LEYES DE LAMBERT; SU GRAN IMPORTANCIA FOTOGRAFICA Y FOTOGRAFOMETRICA

1. Intensidad de iluminación del fotograma; indicación de los factores determinantes.

En la obtención de vistas fotográficas la intensidad de iluminación del fotograma depende de la claridad del objeto fotografiado, de la razón de apertura del objetivo de la cámara, del ángulo de imagen, así como de las pérdidas de luz sufrida por los rayos debido a la reflexión y absorción en su pasaje por la lente.

2. Primera ley de Lambert, sobre la cantidad de rayos entrantes.

Siendo O (ver fig. 1), un punto axial de un elemento perpendicular al eje en O , φ el semi-ángulo bajo el cual aparece en O la pupila de entrada P del objetivo, la primera ley de Lambert nos dice que: La cantidad de rayos entrantes I se mide por el cuadrado del seno del semi-ángulo φ :

1)

$$I = \text{sen}^2 \varphi$$

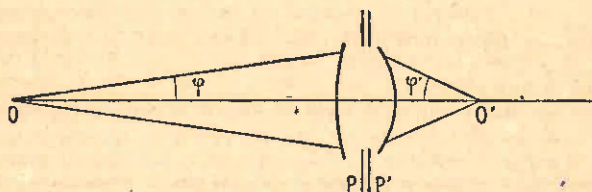


Fig. 1. — Se ilustra la primera ley de Lambert: siendo O el punto objeto, P la pupila de entrada, φ el semiángulo de apertura del haz resulta:
 $I = \text{sen}^2 \varphi$

La misma ley vale para el espacio imagen con el cambio de nomenclatura correspondiente, φ' y P' .

La cantidad de rayos luminosos I' salientes por la pupila P' está dada por:

(2)

$$I' = \text{sen}^2 \varphi'$$

3. Importante caso particular: objeto O lejano.

Para el caso particular de un objeto O lejano (ver fig. 2), al cual corresponden rayos incidentes paralelos al eje óptico, la cantidad de rayos incidentes será medida por el cuadrado del siguiente quebrado:

$$\frac{\text{diámetro } d \text{ de la pupila de entrada}}{\text{distancia focal } f'}$$

o sea:

(3)

$$\left(\frac{d}{f'} \right)^2$$

Este quebrado $\frac{d}{f'}$ representa la medida de la intensidad de iluminación para este caso, de gran importancia en Fotogrametría.

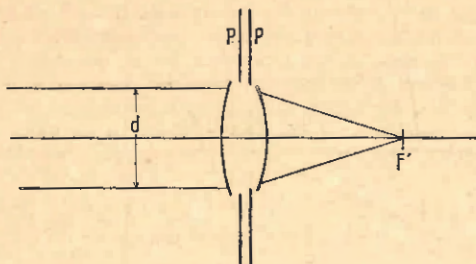


Fig. 2. — Se ilustra la primera ley de Lambert para el caso particular de un punto objeto O lejano: siendo d el diámetro de la pupila de entrada, f' la distancia focal del sistema (no indicado)

$$\text{resulta } I = \left(\frac{d}{f'}\right)^2$$

Según ya dijimos en pág. 11 del tomo IV de este Compendio se suele expresar el quebrado $\frac{d}{f'}$ por una fracción con numerador 1; por ejemplo: 1: 4,5 donde 4,5 expresa el número de veces que el diámetro d de la lente entra en la distancia focal f de la misma.

4. Máxima abertura útil o intensidad de iluminación relativa e intensidad de iluminación absoluta.

El concepto $\frac{d}{f}$ es de gran importancia práctica y sirve generalmente para calificar la luminosidad de un objetivo.

Empero, sabemos por lo visto anteriormente, que esa luminosidad no es la real, la verdadera, debido a las pérdidas de luz que los rayos luminosos sufren en su pasaje por el objetivo: Con cada entrada de un rayo luminoso del aire al vidrio, una pequeña parte de su luminosidad se pierde por reflexión. Lo mismo ocurre en su salida, pudiendo estimarse en un 5% a "grosso modo" la pérdida de luz sufrida por el rayo luminoso en su pasaje del aire al vidrio y viceversa. Con más aproximación podemos decir:

9% de pérdida para 2 superficies de vidrio en contacto con aire.

17% de pérdida para 4 superficies de vidrio en contacto con aire.

25% de pérdida para 6 superficies de vidrio en contacto con aire.

32% de pérdida para 8 superficies de vidrio en contacto con aire.

A esta pérdida por reflexión debe agregarse la de absorción, obteniéndose así una reducida intensidad de iluminación total remanente en el sistema óptico de un objetivo fotográfico, en el supuesto de tratarse siempre de iluminación de la parte central del fotograma o sea de objetos en la proximidad del eje óptico.

5. Segunda ley de Lambert relativa a la iluminación o claridad superficial.

Mientras que en la observación con antejo interesa principalmente la claridad y nitidez de las imágenes de los objetos situados en la proximidad del eje óptico, en la Fotografía y Fotogrametría, es de mucha importancia la claridad superficial, es decir, la distribución de la intensidad de iluminación sobre toda la extensión de la imagen.

Para esta distribución de iluminación desde la parte central hacia los bordes de la placa, Lambert encontró la siguiente ley (ver su ilustración en fig. 3):

Intensidad de iluminación para la inclinación φ' = claridad de la parte central multiplicado por $\cos^4 \varphi'$ resultando por ejemplo una reducción al 3/4 para un valor del semi-ángulo de imagen de 21° y una reducción a la mitad para $\varphi' = 33^\circ$.

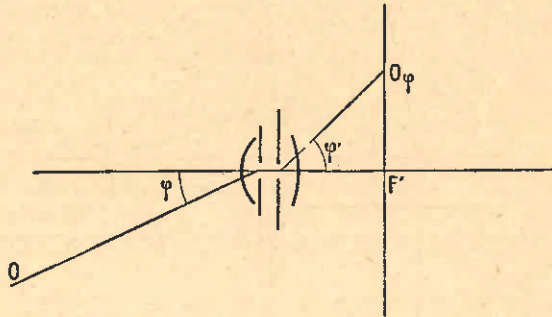


Fig. 3. — Se ilustra la 2ª ley de Lambert siendo O el punto objeto de un rayo muy inclinado (muy alejado del punto óptico) de ángulo de incidencia φ . φ' el correspondiente ángulo de salida en el espacio imagen, I_c la intensidad de iluminación del punto objeto considerado como perteneciente a la zona central, resulta la intensidad de iluminación $I = I_c \cdot \cos^4 \varphi$.

6. Ejemplo de aplicación numérica de la segunda ley de Lambert.

Para un objetivo de cámara normal de 18×18 cm de dimensión del fotograma, distancia focal $f = 20$ cm resultaría:

$$\begin{aligned} \text{tg del ángulo de imagen } \varphi' &= \frac{18:2}{20} = 0,45 \\ \varphi' &= 24^\circ 13' 40'' \\ \cos^4 \varphi' &= 0,6916 \approx \sim \frac{2}{3} \end{aligned}$$

es decir en el borde de la placa la claridad de la imagen quedaría reducida en un 2/3 de la de la parte central.

Para el objetivo de cámara granangular con 18×18 cm y $f = 10$ cm, tendríamos:

$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi' &= \frac{18:2}{10} = 0,9 \\ \varphi' &= 41^\circ 59' 14'' \\ \cos^4 \varphi' &= 0,3052 \approx \sim \frac{1}{3} \end{aligned}$$

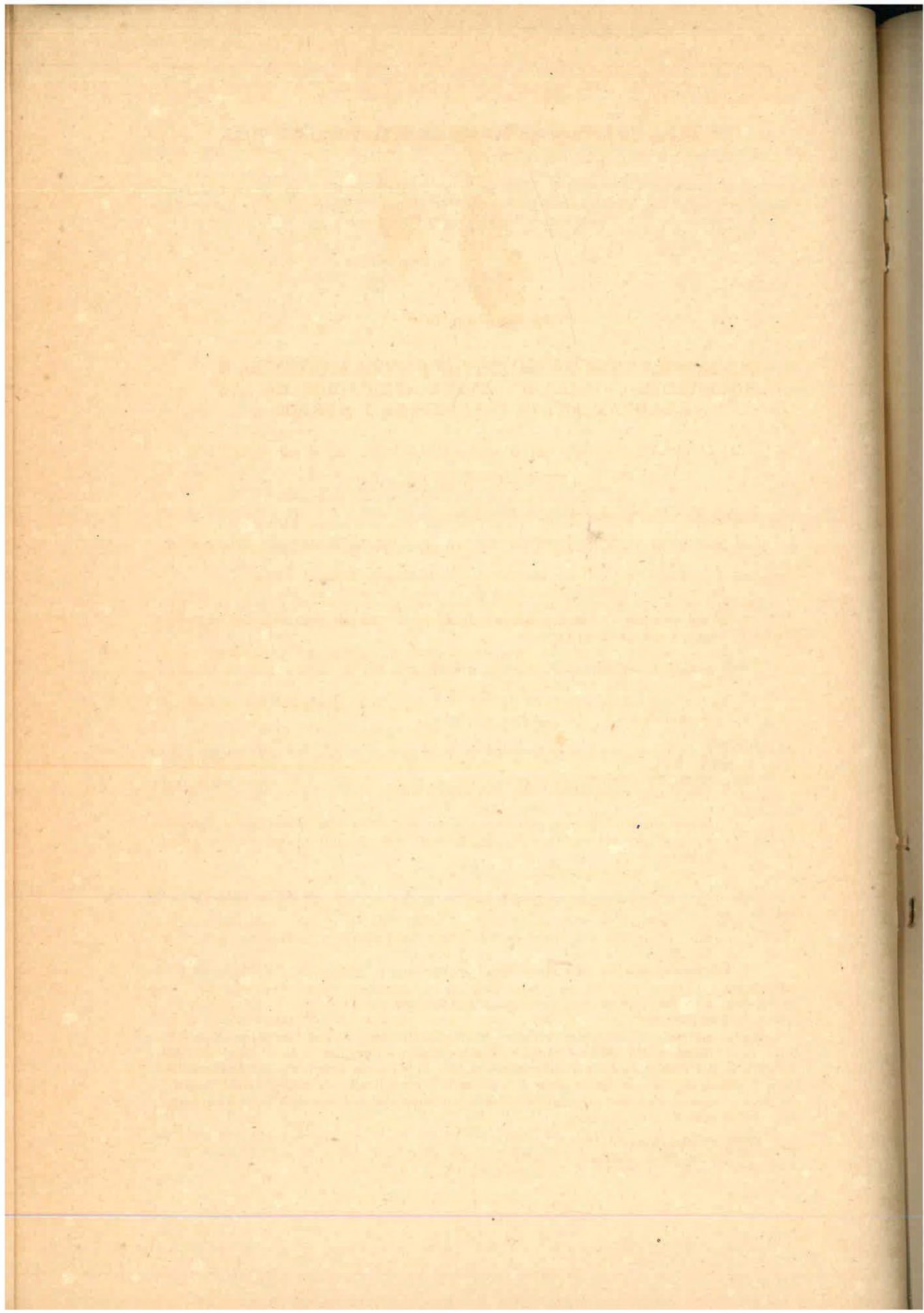
Es decir, la claridad de la parte periférica de la placa quedaría reducida a la tercera parte.

7. Conclusión.

Las pérdidas de luz, resultantes de la reflexión y disminución de intensidad de iluminación en los bordes de las placas podrían hacernos creer que solamente los haces de moderada inclinación (rayos centrales) pueden ser aprovechados en la fotografía y visión ocular normal.

Sin embargo no debemos olvidar que tanto la emulsión de la placa fotográfica como el ojo humano poseen gran insensibilidad a las variaciones de intensidad de iluminación. Es por ello que en un objetivo compuesto por 4 lentes en contacto libre con aire no se aprecia mayor diferencia entre la iluminación de la parte central y la de los bordes (rayos incidentes bajo un ángulo de $17\frac{1}{2}^\circ$) a pesar que esta diferencia de iluminación llega a un 17 %.

Tratándose de objetivos con gran inclinación del rayo incidente (granangulares) es obvio que la pérdida de luminosidad será apreciable por lo que se los construye de modo especial para contrarrestar ese defecto.



Capítulo Segundo

TIPOS MODERNOS DE OBJETIVOS FOTOGAMETRICOS Y NOVEDADES OPTICAS DE MAYOR APLICACION EN LOS LEVANTAMIENTOS TERRESTRES Y AEREOS

§ 1. — CLASIFICACION GENERAL DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE OBJETIVOS ACTUALMENTE EN USO

1. Síntesis de célebres objetivos fotogramétricos.

Los principales tipos de objetivos hoy en uso pueden clasificarse, teniendo en consideración la razón de abertura (máxima), $\frac{d}{f}$ en las siguientes 4 clases:

Primera clase (en dos distintas ejecuciones) con gran abertura, 1: 3 hasta 1: 1,5.

En su primera ejecución, con distancia focal normal, para cámara de taller para toma de retratos.

En su segunda ejecución, con distancia focal intermedia y pequeña, gran ángulo de imagen, para cámara aerofotogramétrica común, cámara fotográfica de tamaño reducido y proyectores.

En estos tipos de objetivos deben estar muy bien corregidos los errores de aberración.

Segunda clase.

Pertenece a esta clase el llamado *objetivo universal*, llamado así por sus múltiples aplicaciones.

Los más luminosos entre ellos, con aberturas de:

1: 4,5

presentan a fin de responder a las exigencias de la alta calidad de la imagen, al igual que los objetivos de la primera clase, combinaciones de 6 y hasta 8 lentes.

Los menos luminosos con

1: 7

tienen generalmente sólo 4 lentes en contacto con el aire.

En ambos tipos se exige un ángulo de imagen de 50° y para todo este campo una corrección del error de curvatura astigmática y corrección del error de distorsión.

Un tercer tipo de esta clase de objetivos con:

1: 9

lo asemeja a la tercera clase, granangulares.

También pertenecen a esta segunda clase los llamados *objetivos dobles* o *simétricos*, universales por excelencia porque pueden ser empleados con 2 y hasta 3 distancias focales distintas, según se emplee todo el conjunto del sistema o sólo el primer grupo o sólo el segundo grupo de la combinación.

Esas dos partes, la anterior y la posterior, simétricas con respecto al diafragma central, constituyen aisladamente consideradas, el tipo de objetivos agrupados en la 4ª clase.

Tercera clase, granangulares.

La razón de abertura es relativamente pequeña:

1: 18 y menores

debiendo cuidarse en este tipo de objetivo no tanto la nitidez de la parte central de la imagen sino principalmente la corrección de la aberración de curvatura astigmática y la corrección del error de distorsión en toda la extensión del fotograma.

Es sobre este tipo de lente y sus notables perfeccionamientos realizados en los últimos 15 años que nos ocuparemos en el segundo párrafo.

Cuarta clase.

Mientras que en las tres clases de lentes objetivos descritos el diafragma se halla ubicado dentro del sistema, en esta 4ª agrupación se encuentra colocado delante del mismo, acusando por ello todos los objetivos de este tipo distorsión de barrilete o tonel en moderado grado.

Para que sea posible la corrección de las aberraciones esférica y astigmática, deben elegirse aberturas de:

1: 12 y menores

Con esta breve exposición de conceptos fundamentales (que abarca también todo el primer capítulo), consideramos haber dado al lector los suficientes elementos de juicio para poder apreciar debidamente los progresos ópticos realizados en la construcción de nuevos objetivos granangulares y su aplicación en las cámaras aéreas de gran formato para Triangulación aérea, tema del segundo párrafo.

2. Síntesis de célebres objetivos fotogramétricos.

De acuerdo a la finalidad del presente apéndice, de completar la exposición del Tomo IV de nuestro Compendio, con las últimas novedades en materia de objetivos, daremos a continuación las características de los principales tipos, figurando entre las creaciones más modernas el objetivo *Topogón* y el *Pleón*, con los cuales quedó iniciada una evolución en la que nos encontramos en el momento actual.

En general, podemos clasificar los objetivos fotogramétricos en los siguientes grupos:

a) Objetivos de fototeodolitos.

1) El *Colinear* de Voigtländer,

1: 6,3 con $f = 16$ cm

empleado por C. Koppe en su fototeodolito (ver págs. 35-36 del tomo IV).

2) El *Ortoprotar* de Zeiss,

1: 25 con $f = 19$ cm

empleado por Zeiss en su renombrado fototeodolito de precisión del año 1926.

3) El *Topogón* de Zeiss,

1: 6,3 con $f = 10$ cm

empleado por la firma *Zeiss-Aerotopograph* (Munich) en el modernísimo pequeño modelo de fototeodolito, formato 6×9 cm para exploraciones geográficas.

b) Objetivos de cámaras de restitución.

El *Tessar métrico* de Zeiss,

1: 5

especialmente destinado para los grandes aparatos de restitución. Hállase en él empleado por primera vez la placa de cristal colocada delante del plano focal del sistema para reducir los efectos del error de distorsión.

c) Objetivos de cámaras aerofotográficas.

1) El *Ortometar* de Zeiss,

1:4,5 = 21 cm

2) El *Aviatar* de Wild (Heerbrugg),

1:4,2 = 21 cm

Uno de los objetivos más luminosos que actualmente existe para cámaras aéreas de precisión.

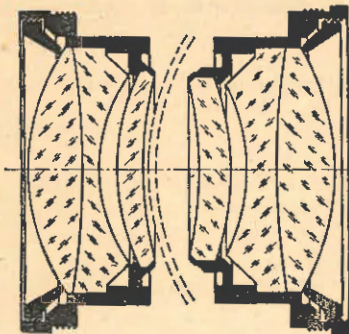


Fig. 1. — Ortometar de Zeiss, 1:4,5, $f = 21$ cm ($2/3$ tamaño natural). Para tomas aérea comunes; gran corrección de errores.

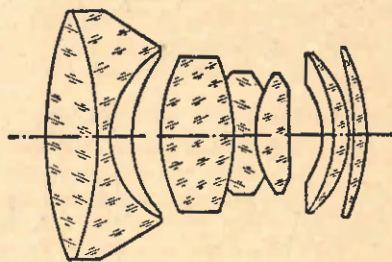


Fig. 2. — Aviotar de Wild (Heerbrug), 1:4,2 - $f = 21$ cm (tamaño natural). Uno de los objetivos más luminosos y mejor corregidos que existen para cámara de toma aérea.

d) Objetivos granangulares.

- 1) El *Hipergón* de Goerz (ver fig. 1, pág. 19)
1: 20 con $f = 4$ cm
- 2) El *Topogón* de Zeiss (ver fig. 2, pág. 20)
1: 6,3 con $f = 10$ cm
- 3) El *Pleón* de Zeiss (ver fig. 3, pág. 22)
1: 8 con $f = 7,5$ cm

En el próximo párrafo nos ocuparemos con más detalle de estos 3 objetivos granangulares que constituyen la última palabra en objetivos fotogramétricos.

§ 2. — MODERNOS OBJETIVOS GRANANGULARES EXTRALUMINOSOS USADOS EN FOTOGRAMETRIA; DESTACANDO SUS CARACTERISTICAS CUALIDADES, RENDIMIENTOS Y PRECISION

1. Objetivo *Hypergón* de Goerz, punto de partida para un nuevo desarrollo constructivo de objetivos.

En el año 1900 la casa *C. P. Goerz* construyó el objetivo granangular *Hypergón* (ver fig. 1), para ángulos de imagen hasta 135° con buena corrección de la aberración astigmática de curvatura y del error de distorsión.

2. Inconvenientes del *Hypergón* de Goerz.

Por haberse dejado sin la suficiente corrección de los errores de aberración esférica y cromática, el *Hypergón* sólo puede ser utilizado para la razón de abertura

1: 20 hasta 1: 30

lo cual lo clasifica entre los objetivos granangulares (3ª clase de objetivos).

Para la fotografía de objetos sin movimiento, en la cual puede aumentarse a voluntad el tiempo de exposición, el mencionado inconveniente no tuvo carácter serio.

Empero, cuando después de 1930 se empezó a divisar la posibilidad de la "conquista del aire" por medio de la triangulación aérea se planteó como condición imprescindible la construcción de objetivos granangulares muy luminosos y su instalación en las correspondientes cámaras de gran formato.

Sólo así la triangulación aérea podía resultar eficiente y racionalmente un progreso en los nuevos métodos de levantamiento de cartas.

Comenzó entonces una acérrima lucha, principalmente en Alemania y Rusia para obtener objetivos granangulares con una luminosidad de 1: 6,3 y mayores aún.



Fig. 1. — *Hypergón* de Goerz, 1:20, $f = 4$ cm (tamaño natural). Objetivo de dos lentes, diseñado especialmente para aparatos de restitución.

3. El Topogón de Zeiss (Metrogón de Bausch y Lomb).

El objetivo granangular Topogón ideado por *E. Richter* (véase figura 2) y construido por Zeiss en 1935 permite tomar vistas con buena corrección de errores hasta 95° de ángulo de imagen.

Puede considerarse a este objetivo como básico para toda la Fotogrametría granangular.

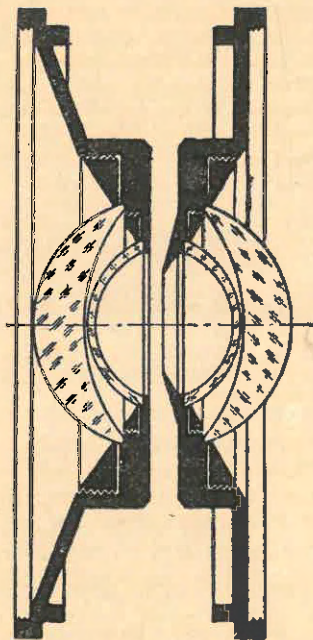


Fig. 2. — Topogón de Zeiss.
1: 6,3 - $f=10$ cm (tamaño natural). Objetivo granangular de 95° de ángulo de imagen con buena corrección de errores, para fotogramas de 18×18 cm.

En los Estados Unidos de Norte América lo construye la firma *Bausch y Lomb* (Rochester) bajo la denominación de *Metrón*.

4. Aplicación práctica del Topogón en la Fotogrametría terrestre.

La experiencia ha demostrado que las ventajas de las emulsiones de grano fino que se utilizan en la Fotogrametría terrestre, permiten reducir la distancia focal de la lente de toma y con ello todas las dimensiones de la cámara, sin perjuicio de la bondad de la imagen en la restitución de los detalles de la misma.

Basándose en este hecho la firma *Zeiss-Aerotopograph* construyó un nuevo modelo de Fototeodolito pequeño, de reducidas dimensiones y peso con objetivo Topogón 1: 6,3, $f=5,5$ cm y formato de fotograma 6×9 cm. Inicialmente fué empleado en planos de escala mediana y pequeña, demostrando su uso que es perfectamente aplicable para la obtención de cartas de gran escala como las utilizadas en los trabajos de ingeniería.

5. Valores angulares límites del campo de imagen para dos distintas finalidades de la práctica.

Primer caso: Cuando se deba obtener la máxima precisión, considerando los errores

propios de la toma de vistas y de la medición de las mismas, la práctica aconseja admitir como máximo el valor de 100° .

Segundo caso: Empero cuando no se trata de obtener la máxima precisión sino por ejemplo en el caso del procedimiento de triangulación radial o de levantamientos de conjunto, es más provechoso emplear ángulos de imagen más grandes, hasta de 150° o mayores aún.

Sin embargo, no se tratará solamente de producir o realizar ese aumento de la magnitud del ángulo del campo de la imagen sin cuidar, como condición imprescindible, que esas imágenes así obtenidas sean fotogramétricamente aprovechables.

En la lucha por las dificultades ópticas que se oponían a la realización de este objeto, se han utilizado dos recursos, el de la cámara múltiple (doble, cuádruple), ver pág. 134 del tomo IV y el del *objetivo único*, basado en la idea de R. Hill con la que se inició una fase de evolución en la construcción de objetivos, actualmente en pleno desarrollo.

6. Dos recursos para obtener grandes campos de las imágenes de fotogramas aéreos.

El primer recurso consistió en la construcción de las cámaras múltiples descritas en pág. 134 antes citada.

Inconvenientes de este primer recurso.

Fuera de las grandes dificultades mecánico-ópticas que existen para conseguir un perfecto movimiento automático y simultáneo del conjunto, existe la otra que obliga emplear un aparato adicional en el cual las diversas vistas son proyectadas o deben ser proyectadas sobre un plano de proyección único.

Segundo recurso ideado por R. Hill, patentado en 1923.

Según Hill será colocado delante del objetivo granangular propiamente dicho un menisco de dispersión de gran tamaño que desvía los rayos incidentes en forma tal que caigan con la buscada inclinación sobre el objetivo colocado detrás del mismo.

Es lógico que este menisco ha de ocasionar en la imagen producida por el objetivo granangular distorsiones muy grandes, a las que se tratará de eliminar por medio de un sistema óptico auxiliar especial.

7. El Pleón de Zeiss construido por R. Richter.

Partiendo de la idea de Hill, R. Richter construyó, en 1941 en la casa Zeiss, un nuevo tipo de objetivo granangular que produce una imagen que ya no es una proyección perspectiva de un objeto del espacio.

Llamóse al nuevo objetivo *Pleón* (ver figura 3); sus características son: abertura 1:8 distancia focal $f = 7,5$ cm, tamaño del fotograma 18×18 cm sobre el cual se forma una imagen circular de 190 cm con claridad uniforme.

Sus rasgos constructivos son: Por un gran menisco de dispersión Hill modificado por Richter, los rayos incidentes de un punto objeto caen sobre un Topogón modificado colocado detrás, produciendo una imagen de 148° de amplitud con iluminación uniforme pero con extraordinaria distorsión de corselete o cojín.

8. Transformador "Pleón", eliminador de la distorsión producida por el objetivo Pleón.

A fin de eliminar la extraordinaria distorsión producida en la imagen del Pleón, R. Richter construyó un aparato adicional especial que llamaremos "transformador Pleón", que en base a los originales de formato 18×18 cm dibuja directamente la imagen corregida de distorsión sobre una placa o papel en el formato 30×30 cm.

9. Aplicación del equipo Pleón.

Cuando se trata de triangulación radial y en particular el procedimiento mecánico o "slotted template method", se pueden aplicar directamente los originales del Pleón.

Para *fotocartas*, en cambio, los originales deben ser lógicamente transformados previamente en imágenes libres de distorsión.

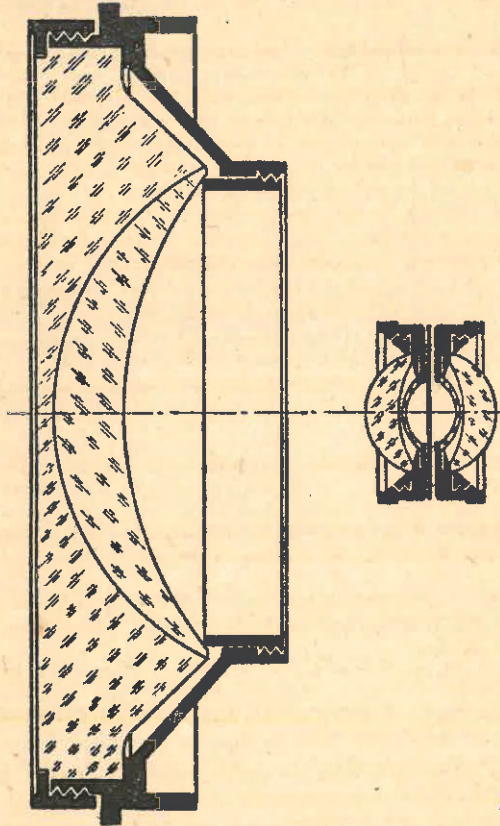


Fig. 3. — Pleón de Zeiss, 1:8, $f = 7.5$ cm (1/3 tamaño natural). Objetivo granangular, 148° de campo. Presenta una extraordinaria iluminación uniforme de la imagen a expensas de gran distorsión de corseleta.

10. Calidad del trabajo realizado con Pleón.

La comparación de un trabajo obtenido con un equipo Pleón con el de una cámara múltiple de la misma magnitud de ángulo de imagen, revela una completa equivalencia de precisión tanto en las partes centrales como en las regiones marginales del fotograma.

§ 3. — MODERNAS CAMARAS DE FOTOGRAFIA AEREA

1. Observación previa.

Acabamos de señalar de que el trabajo realizado con el moderno equipo aerofotogramétrico Pleón de objetivo único y manejo simple, es equivalente a la vista obtenida

con cámara cuádruple (4 objetivos) de complicada construcción y funcionamiento. Que estas dos vistas sean equivalentes lo revela palpablemente el gran progreso realizado en los últimos años, el que se traduce en la simplificación de la construcción, la universalidad de su aplicación y automatismo de su funcionamiento.

He aquí las características de uno de estos tipos de cámaras aerofotogramétricas modernas.

2. Características de una moderna cámara aerofotogramétrica.

El último modelo de cámara aérea alemana produce sobre un formato de 18×24 cm primero una vista del terreno en un tamaño de 18×18 cm y sobre el resto del fotograma simultáneamente con la exposición de la vista del terreno, mediante 2 cámaras auxiliares ubicadas dentro de la caja principal,

2 vistas adicionales

una en la dirección del vuelo y la otra perpendicular a ella, a fin de obtener así los elementos (parámetros) angulares para la orientación externa de la vista.

La cámara se provee con dos elementos portaobjetivos (para la cámara principal), una con objetivo

Ortometar con $f = 21$ cm

y otro con

Topogón con distancia focal $f = 10$ cm

pudiéndose así utilizar indistintamente el equipo para vistas normales y vistas granangulares.

3. Dos tendencias diametralmente opuestas en la construcción de cámaras aerofotogramétricas.

R. Hegershoff propuso una reducción de las medidas del formato de las cámaras a 6×6 cm a fin de realizar con ello una reducción de las medidas de los grandes aparatos de restitución.

Las experiencias de la última segunda Guerra Mundial hicieron triunfar la tendencia opuesta propiciada por los Norteamericanos, de aumentar el formato del fotograma al tamaño grande de 30×30 cm.

4. Características de un segundo tipo de cámara granangular, con formato de 30×30 cm ó 24×24 cm (9 pulgadas).

El deseo de sacar pleno provecho de las óptimas cualidades del Topogón condujo a completar el primer tipo de moderna cámara que acabamos de caracterizar por un segundo modelo, más especialmente destinado a levantamientos aéreos a gran escala, con un objetivo Topogón de 20 cm. y un formato de:

30×30 cm, ó

24×24 cm (9 pulgadas)

No obstante estas incómodas dimensiones, tanto para el aparato de toma como del aparato de restitución, este moderno tipo de cámara ha venido conquistando un honroso puesto de preferencia en muchos países del mundo.

Observación final.

Esta breve exposición sobre errores de las imágenes y su corrección, así como sobre las principales características de los modernos objetivos y su aplicación a las modernas cámaras aéreas, revela al lector la imperiosa necesidad de un completo dominio de la materia para así poder apreciar en seguida cualquier novedad que la técnica produzca y poder juzgar su ventajosa aplicación en la práctica de campo y gabinete.

*Acabóse de imprimir este libro en las
Escuelas Gráficas del Colegio León XIII,
Obra de Don Bosco,
Dorrego 2106 - Buenos Aires
el día 31 de Mayo de 1952.*