

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS. CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

APLICACIONES METRICAS

DE LA

ESTEREOSCOPIA

INTRODUCCIÓN

Diez y seis años tan sólo hace que Héc tor de Grousilliers concibió la posibilidad de aplicar la visión estereoscópica á la medición de distancias, sin intentar siquiera la manera práctica de realizarlo; diez que la casa Zeiss, de Jena, construyó los primeros telémetros estereoscópicos, y ocho que el Dr. Pulfrich comenzó á realizar su estereocomparador; y, á pesar de lo reciente de estas fechas, el desarrollo de las aplicaciones métricas de la Estereoscopia es hoy tan portentoso que su influjo se ha hecho sentir notablemente en la Astronomía, en la Topografía, en la reproducción de obras de arte, en la Arqueología, Física, Arte de la guerra, Medicina, Antropometría y, en general, en todos los órdenes de las Ciencias y de las Artes, que recibieron poderoso impulso con el descubrimiento de la fotografía ordinaria, en la que constituye la Estereoscopia un perfeccionamiento de transcendencia indudable.

Lo rápido de este desarrollo no deja lugar á duda respecto de la bondad del método, si bien no cabe desconocer ésta considerando que, mediante sencillas construcciones, puede efectuarse cómodamente toda clase de medidas en un modelo de relieve aparente que del objeto en cuestión tenemos ante nuestra vista todo el tiempo que juzguemos necesario.

Mas sucede con este asunto lo que con otros muchos de los suscitados en los últimos años en el mundo científico: nacidos en países de razas distintas de la nuestra, y estudiados y dados á conocer casi exclusivamente en lenguas poco conocidas en España, llegan á nuestra Patria con lamentable retraso y rara vez sin mutilaciones y falseamientos de más ó menos importancia.

Todas estas consideraciones nos han movido á reunir en estas páginas algo de lo que juzgamos más interesante en la materia que nos hemos propuesto, entresacándolo, en su mayor parte, de las Memorias originales.

Comenzaremos por dar una idea de los estereoscopios de Wheatstone y de Brewster, del modo de determinar la po-

sición de un punto cualquiera deducida de una vista estereoscópica, y de un aparato para medir la aptitud de una persona para las aplicaciones métricas en que nos estamos ocupando.

Después daremos una idea del telestereoscopio de Helmholtz del estereoscopio de Cazes y del telémetro de Pulfrich-Zeiss, con indicación de la exactitud que este aparato garantiza en las mediciones realizadas con su auxilio.

Pasaremos luego á estudiar los aparatos destinados á la medida de los paralajes y la aplicación de la Estereoscopia á la Topografía, con una descripción somera de los aparatos de Deville y Pulfrich y breves indicaciones sobre su empleo.

Finalmente, pasaremos revista á las demás aplicaciones interesantes del método estereoscópico de medida y á los resultados obtenidos con él en diferentes países.

Para facilitar el trabajo al que desee ampliar las someras noticias que en estas páginas consignamos, terminaremos nuestro Trabajo con una Nota bibliográfica.

CAPÍTULO PRIMERO

Aparatos y construcciones fundamentales.

I

Diversos sistemas de estereoscopios ordinarios.—Su teoría y diversos tipos.

Al observar con la visión ordinaria ó binocular un objeto de tres dimensiones, nos damos perfecta cuenta de la distancia á que se halla de nosotros cada una de sus partes y de la posición relativa de éstas; si, por el contrario, empleamos sólo la visión monocular, el efecto de relieve habrá desaparecido, y sólo por la costumbre de ver cuerpos semejantes al que miramos podremos formarnos una idea, aunque imperfecta, de la posición y forma del objeto en cuestión. Fácil es, por otra parte, notar que las dos imágenes que de éste percibimos en cada ojo, en el primer caso, son notablemente diferentes y pueden determinarse fácilmente por los procedimientos de la Geometría descriptiva, como proyecciones cónicas de la parte visible de la superficie del objeto desde el centro óptico de la lente de cada ojo sobre la superficie de la respectiva retina.

Inmediatamente se ocurre la operación inversa: colocar delante de nuestra vista, y en posición conveniente, las dos

imágenes así obtenidas para recibir la impresión óptica del perfecto relieve. Para la realización de esta idea se han construido los aparatos, tan conocidos en Física, que reciben el nombre de «estereoscopios» (de dos voces griegas στερεος y σκοπεος, que significan respectivamente «sólido» y «mirar»).

La primera idea para la realización de la visión artificial del relieve se debe al célebre físico inglés Wheatstone, que la publicó en 1832. El primer modelo de este estereoscopio

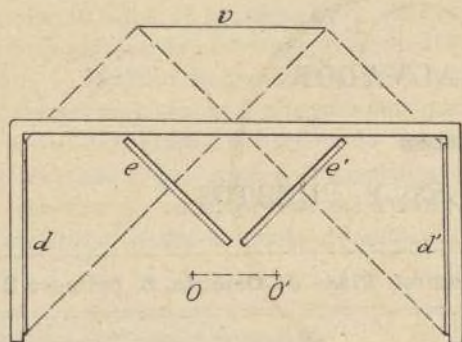


Fig. 1.ª

se ha representado en la figura 1.ª, y consta sólo de dos espejos metálicos e y e' , en los cuales se reflejan dos vistas ó dibujos, situados en d y d' . Colocando los ojos en O y O' , cada uno de ellos percibe la reflexión de la imagen colocada al mismo lado que él, y resulta el efecto de relieve, siempre que se haya tenido en cuenta que las imágenes se invierten al reflejarse y que por ello los dibujos d y d' han de ejecutarse previamente invertidos.

Esta inversión previa constituía una dificultad en tiempo de Wheatstone, y lo fué mucho más al descubrirse la fotografía que, por otra parte, permitía construir con gran exactitud y creciente facilidad imágenes ó perspectivas cónicas de toda clase de objetos. Para corregir estos inconvenientes ideó Brewster el estereoscopio de su nombre, sustituyendo por semilentes los espejos que en el anterior se empleaban para producir la superposición de las dos imágenes

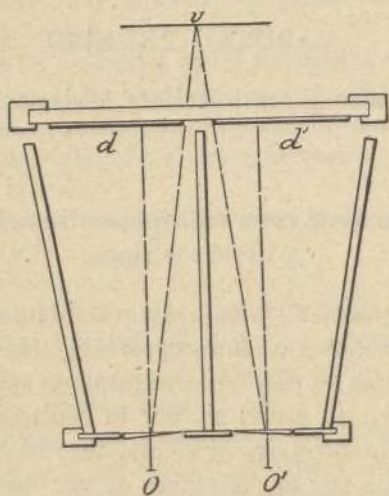


Fig. 2.ª

que en el plano de la visión distinta habían de producir el efecto de relieve. El estereoscopio de Brewster es el que, con las mejoras y modificaciones que cada constructor ha creído convenientes, se emplea corrientemente para observar las fotografías estereoscópicas producidas por las modernas cámaras. Según puede verse en la figura 2.ª, en que hemos representado este aparato en sus elementos esenciales, los haces de rayos luminosos que parten de las vistas d y d' se refractan al pasar por las semilentes y producen una imagen

virtual v en el plano paralelo á aquéllas y situado á la distancia de la visión distinta de los ojos del observador colocados en O y O' . La distancia entre los centros de las lentes es igual á la separación media que existe entre los de los dos ojos de una persona (1).

Uno de los tipos más modernos y perfectos de estereoscopios es el «universal», debido al profesor Schell, de Viena. Sobre dos cremalleras metálicas de que va provista una plataforma apoyada en tres pies fijos, deslizan, por un extremo el porta-placas, y por el otro una caja que lleva los sistemas ópticos. Cada uno de éstos va montado en un tubo, y en el interior de cada uno de ellos la lente convexa puede aproximarse ó alejarse de la cóncava fija, según la vista del observador. La separación entre los dos tubos puede también variarse según convenga. Para estudiar con detalle este aparato y su manejo, consúltese el folleto *Das Universalstereoskop*, von Dr. Ant. Schell.—Actas de la Academia de Ciencias de Viena, sección de Matemáticas y Naturales, tomo CXII, parte 2.ª, Julio, 1903.

II

Aptitud para la visión estereoscópica: «Prüfungstafel», del Dr. Pulfrich.

Es muy considerable el número de las personas que por defectos fisiológicos, en cuyo estudio no hemos de entrar, no perciben, ó perciben de una manera muy imperfecta, el efecto de relieve producido por los estereoscopios, y son, por tanto, completamente inútiles ó al menos poco indicados para el empleo de todas las aplicaciones de la Estereoscopia, por lo que es de gran interés el poder efectuar un examen previo de esta aptitud. Con el fin de facilitar este examen, el Dr. Pulfrich (de la casa «Carlos Zeiss», de Jena, Alemania) ha ideado y realizado un medio muy sencillo é ingenioso que llama «Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen» (lámina de prueba para la visión estereoscópica), y consiste (fig. 3.ª) en un doble dibujo de varios elementos geométricos, puntos y rectas aisladas, polígonos, circunferencias, siluetas y una vista de Saturno con sus satélites y anillos y las estrellas fijas que en sus proximidades se encuentran. Por el modo de estar dibujados todos estos elementos, con simples trazos, sin sombras propias ni arrojadas ni detalle alguno que pueda indicar á simple vista el relieve de cada uno ni las distancias relativas á que se hallan colocados, sirven perfectamente para experimentar la aptitud fisiológica de la vista de cada individuo para las aplicaciones métricas del estereoscopio. Las letras que en el centro de cada dibujo indican el nombre del aparato y el de la casa constructora, están dibujadas igualmente de modo que aparezcan á diversas distancias. La lámina original fué hecha con mucha precisión á grande escala y reproducida después fotográficamente para reducir la base estereoscópica á los 0^m,055, que es, como ya hemos dicho, la normal de la vista humana, y la precisión de las distancias en esta fotografía es de $\pm 0^{\text{mm}}$,015, que corresponde á una paralaje de $\pm 20''$, inferior al límite de percepción para los mejores observadores. El problema de la construcción de los dibujos

(1) Para los adultos varía esta distancia entre 0^m,058 y 0^m,072 (y para los niños entre 0^m,045 y 0^m,060); en los estereoscopios descritos suelen tener los dos sistemas ópticos una separación de 0^m,065, como media de los valores que acabamos de consignar.

se resuelve en Geometría descriptiva y no entraremos en su detalle.

Las positivas se han hecho en vidrio para ser observadas por transparencia, pues la visión estereoscópica es mucho más perfecta de este modo que empleando positivas en papel, que han de iluminarse por reflexión.

En el artículo en que el Dr. Pulfrich describe detallada-

aquellos con el plano perpendicular á él trazado por OO' , que será la recta de horizonte de las imágenes, puesto que los puntos O y O' están sobre una misma horizontal.

Para obtener las imágenes de un punto cualquiera M , bastará determinar las trazas m y m' de p y de p' , respectivamente, con las rectas OM y $O'M$; y por hallarse éstas en planos que pasan por OO' , aquellas imágenes estarán á al-

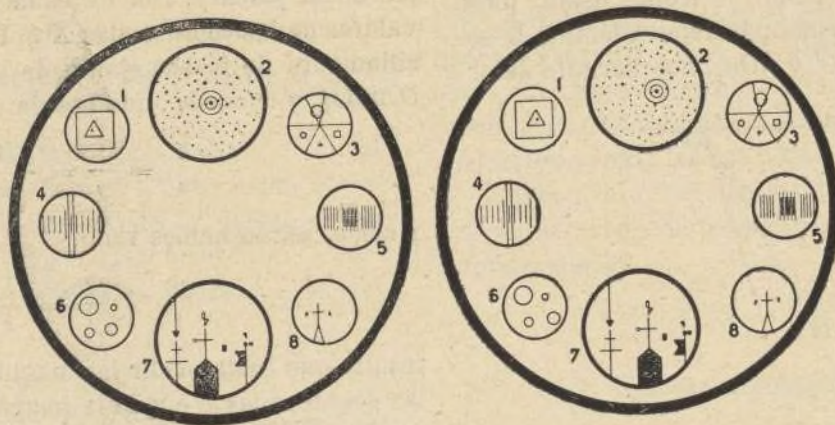


Fig. 3.ª

mente su lámina (1), inserta una serie de cuadros, uno para cada uno de los grupos de figuras que van encerrados en sendos círculos; para cada figura contiene el cuadro correspondiente la distancia á que se forma su relieve, la separación entre las dos componentes que constituyen su representación estereoscópica y las paralajes ó diferencias entre las separaciones correspondientes á cada par de figuras consecutivas. Reproduciremos, como ejemplo, el cuadro referente al primer grupo, para que pueda comprobarse en el Prüfungstafel que acompaña:

D.	FIGURAS	S.	PARALAJES
m.		mm.	mm.
5,52	Punto.....	58,37	0,40 = 9' 10"
4,43	Triángulo.....	57,97	0,43 = 9' 51"
3,66	Cuadrado....	57,54	0,38 = 8' 42"
3,17	Círculo.....	57,16	

Fácilmente se comprende, con lo que ya hemos dicho, el modo de usar la lámina del Dr. Pulfrich para el examen de la aptitud de una persona cualquiera para la visión estereoscópica: para más detalles, consúltese el folleto citado.

III

Determinación de la posición de un punto del espacio por su paralaje.

a) Caso en que los centros de estación están en una horizontal.—Sean, en este supuesto, p y p' (fig. 4.ª) los cuadros que han de contener los dos dibujos ó las dos fotografías, O y O' los ojos del observador (2), y oo' la traza del plano de

turas iguales sobre las respectivas rectas de horizonte, cualquiera que sea la posición del punto M .

Si el punto elegido es el del infinito en dirección perpendicular al plano de p y p' , sus imágenes serán los puntos centrales o y o' .

Consideremos ahora un punto N del plano de horizonte: sus imágenes n y n' estarán en las rectas de horizonte, y

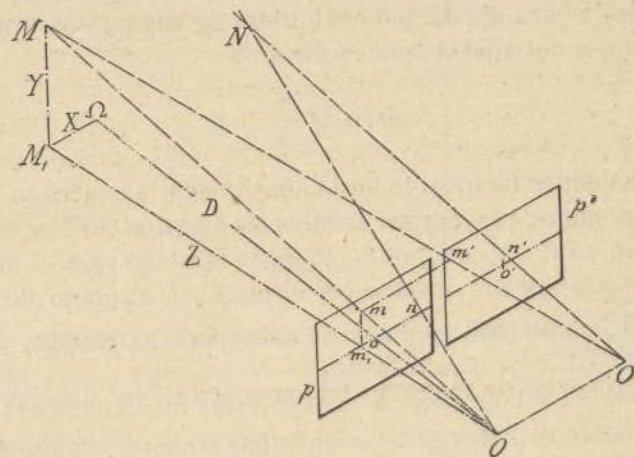


Fig. 4.ª

podremos fácilmente determinar la separación nn' de éstas, conociendo la distancia D de aquél á la vista del observador con sólo comparar los triángulos semejantes ONO' y nNn' (figura 5.ª), en los que se conocen la distancia D , la separación b entre los puntos O y O' y la distancia f de la visión distinta. En efecto: de la proporción

$$\frac{D}{b} = \frac{D-f}{nn'}$$

deducimos

$$nn' = b \frac{D-f}{D}.$$

Pero notemos que si trazamos por O una paralela á $O'N$, la distancia nn' es igual á b , y la diferencia entre la separación nn' correspondiente á cada punto y esta magnitud constante b es la magnitud n_n , que recibe el nombre de paralaje y designaremos por π . Si el punto N se mueve en un plano que, pasando por su primitiva posición, es paralelo al

(1) «Ueber eine Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen», von Doctor C. Pulfrich in Jena. (Zeitschrift für Instrumentenkunde, Berlin, cuaderno IX, Septiembre de 1901.)

(2) Situados sobre las perpendiculares trazadas á éstos por sus puntos centrales o y o' , á distancias iguales de éstos.

de p y p' , la razón $\frac{D-f}{D}$ de semejanza entre los dos triángulos citados, se conserva constante (por ser de segmentos de rectas de un haz cortadas por dos planos paralelos) y son, por tanto, también constantes la magnitud nn' y la paralaje

$$\pi = n_1 n_2.$$

Los puntos todos de cada plano de frente están, pues, caracterizados por tener la misma paralaje. Además, la semejanza de los triángulos ONO' y nOn_1 , nos permite deter-

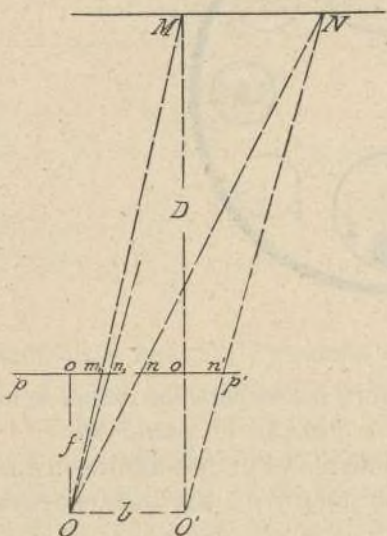


Fig. 5.ª

minar inmediatamente la distancia D de este plano en función de la paralaje de uno cualquiera de sus puntos y de las constantes del aparato por la fórmula

$$D = bf \frac{1}{\pi},$$

que se deduce fácilmente de la consignada más arriba.

Si notamos que, por ser iguales los ángulos ONO' y nOn_1 , para un punto N cualquiera, lo serán también para el pie M de la perpendicular trazada por el punto O' al plano de paralaje π , y que para esta posición especial las razones $\frac{b}{D}$ y $\frac{\pi}{f}$ representan la tangente trigonométrica del ángulo correspondiente $O'MO$ (1) ó de su igual oOm_1 , y, finalmente, que podemos hacer $f = 1$ tomando el plano de las imágenes estereoscópicas á distancia unidad de los centros O y O' , en cuyo caso aquella tangente viene representada por la paralaje lineal π , ya definida, podremos fácilmente darnos cuenta de la equivalencia que existe entre ésta y la paralaje angular de que se sirven los astrónomos para determinar las distancias á que de nosotros se encuentran algunos astros. Defínese esta paralaje para cada astro como ángulo bajo el cual se vería desde su centro un diámetro de la Tierra ó el eje mayor de la órbita elíptica que ésta describe. Los extremos de una ú otra de estas magnitudes son, respectivamente, los extremos de la base OO' que se elige para la observación estereoscópica de aquellos astros en la revolución diurna ó en la anua de nuestro planeta. Y como en Astronomía los valores de esta paralaje angular son casi siempre muy pe-

(1) Es evidente que este ángulo no se conserva constante para todos los puntos de un plano de frente, pues el lugar geométrico de los puntos del espacio que gozan de aquella propiedad es una superficie tórica cuya meridiana es el conjunto de los dos arcos capaces del ángulo elegido sobre el segmento OO' .

queños, podemos sustituirlos por las respectivas tangentes trigonométricas ó paralajes lineales

Conocida ya, por los anteriores razonamientos, la distancia á que el plano de frente que pasa por el punto en cuestión M se encuentra de los puntos de estación, podemos determinar la posición de éste en aquel plano referida á las trazas que en él producen los planos de horizonte y principal de la placa p , como ejes de abscisas y ordenadas. Los valores de las coordenadas X é Y del punto M resultan sencillamente de la semejanza de las pirámides triangulares $O.OMM_1$ y $O.om_1$, que nos da

$$\frac{X}{x} = \frac{Y}{y} = \frac{OM}{Om} = \frac{D}{f},$$

y como, según hemos visto,

$$\frac{D}{f} = \frac{b}{\pi},$$

resulta que basta medir las magnitudes b y f , y en la placa p las coordenadas x é y de la imagen m para tener completamente conocida la posición del punto en cuestión M .

b) *Caso general en que los dos centros de estación están á distinta altura.*—En este caso, las paralajes de los diferentes puntos del espacio no pueden ya ser medidas, como el anterior, en paralelas á la recta del horizonte común á las dos vistas. Sus inclinaciones varían con la posición relativa de los centros de estación y con el ángulo que los ejes ópticos de las cámaras fotográficas, que son siempre paralelos entre sí y perpendiculares á la base, formen con un plano horizontal.

Vamos á ver el modo de determinar en este caso más general la posición de un punto cualquiera, dadas las imágenes correspondientes y conocidas las constantes que definen las posiciones de las cámaras al producir estas imágenes.

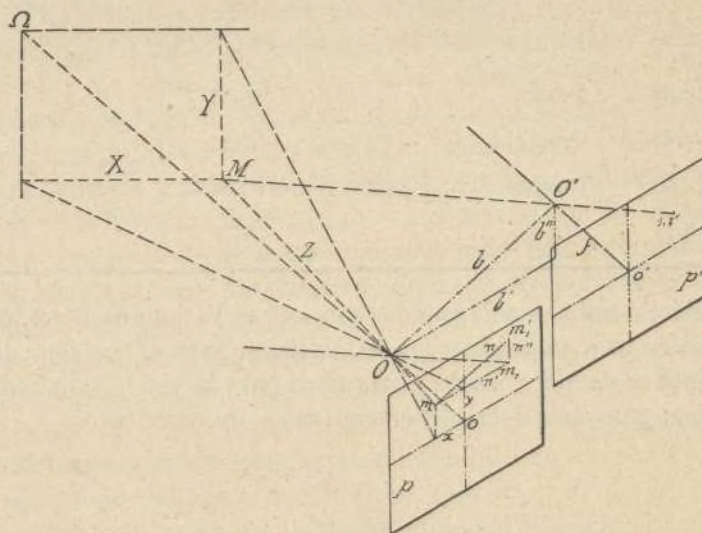


Fig. 6.ª

Tomemos como ejes coordenados de referencia el eje óptico de la cámara en una de sus posiciones, Oo , por ejemplo, para las coordenadas z , y las paralelas trazadas por O á las rectas de horizonte y principal de la vista p para las coordenadas x é y , respectivamente (1) (fig. 6.ª). Designe-

(1) Podrá extrañar que en el primer caso hayamos colocado los planos de las vistas del mismo lado que los objetos que hemos de representar respecto de los centros de estación, y en el segundo en la posición contraria; esta variación, que en nada empece á la exactitud de los razonamientos, se debe á que aquél corresponde, en general, á la observación de las vistas con el estereoscopio y éste á la obtención de las mismas con los fototeodolitos de que más adelante nos ocuparemos.

mos por i la inclinación del eje óptico sobre el horizonte en las dos estaciones, α el ángulo de la base b con las rectas de horizonte de las placas y β la inclinación de la misma.

Tomemos un punto cualquiera M , y sean m y m' sus dos imágenes. La semejanza de los triángulos mOm' y OMO' nos da, como en el caso anteriormente estudiado,

$$\frac{\pi}{b} = \frac{f}{D},$$

de donde deducimos la distancia D ó coordenada z del punto M .

Pero en la práctica resulta más cómodo sustituir la medida de la paralaje π por la de sus proyecciones π' y π'' sobre la horizontal y sobre la vertical de la placa; en este caso hay que conocer las proyecciones horizontal y vertical b' y b'' de la base b , y entonces podremos escribir, como en el caso anterior

$$\begin{aligned} X=x \\ Y=y \\ Z=f \end{aligned} \left\{ \times \frac{b'}{\pi'} = \frac{x}{f} \right\} \times \frac{b''}{\pi''}$$

Podrán obtenerse por medición directa los valores de b' y b'' si se han relacionado planimétrica y altimétricamente las posiciones de los dos puntos de estación O y O' . Pero en el caso frecuente en que la posición de O' se ha determinado por coordenadas polares referidas al punto O , lo que conoceremos directamente es el valor de la base b y de él haremos de deducir los de b' y b'' , que son

$$b \sin \alpha \text{ y } b \cos \alpha,$$

siendo α el ángulo que la base b forma con las horizontales de las dos placas. Este ángulo no puede medirse directamente, pero en el triedro formado con vértice en O por la base, la horizontal del plano vertical que pasa por ésta y la paralela á las rectas de horizonte de las placas, es fácil determinar los valores de $\sin \alpha$ y $\cos \alpha$ en función de los senos y los cosenos de los otros dos ángulos planos.

CAPÍTULO II

Estereoscopios de efecto intencionalmente exagerado.

I

Su objeto.

La distancia á la cual desaparece la sensación de relieve y dejan de ser sensibles las diferencias de distancia á que de nosotros se encuentran los objetos que percibimos por la visión estereoscópica, corresponde, según recientes experiencias, á una paralaje angular de 30 segundos sexagesimales para una vista normal, y llega este ángulo á reducirse á 10 segundos para algunas vistas privilegiadas (1). Tomando 30 segundos y la separación normal de 0,065 metros entre los ojos del observador, podemos calcular el valor de la distancia D á que los objetos comienzan á aparecer todos en un mismo plano de frente. La pequeñez del ángulo de paralaje nos permite poner

$$e = 0,065^{\text{mm}} = D \times 30'' = D \times 30 \times \frac{1}{206265},$$

(1) Estos datos, obtenidos como resultado de experimentos repetidos, hechos en la casa Zeiss, han venido á rectificar el valor de un minuto, propuesto por Helmholtz y corrientemente adoptado por muchos autores.

de donde

$$D = \frac{0,065^{\text{mm}}}{30} \times 206265 = 446^{\text{m}},91;$$

podemos, en números redondos, tomar 450^m.

Vemos, pues, que no es posible con los estereoscopios ordinarios efectuar medida alguna á distancias mayores que la que acabamos de determinar. Esta limitación hizo ya concebir á Helmholtz la idea de representar los paisajes en que aparecen términos muy lejanos por pares de vistas obtenidas con una cámara fotográfica situada en dos puntos suficientemente distantes uno de otro, aunque conservando siempre el paralelismo entre las dos posiciones de su eje óptico.

Vamos á describir tres de los aparatos que, por medios diferentes, producen la ampliación de la base para la visión estereoscópica.

II

Telestereoscopio de Helmholtz.

Este mismo físico eminente consiguió aquel resultado por una sencilla combinación de espejos que puede verse en esquema en la figura 7.^a

Los dos espejos E y E' , colocados formando ángulo recto, reflejan los rayos Mm y $M'm'$, que sufren en los espejos e y e' (paralelos á los anteriores) una nueva reflexión en ángulo

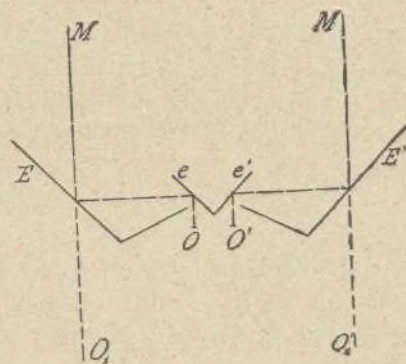


Fig. 7.^a

recto, para salir finalmente en dirección paralela á la de llegada, pero reduciendo á la normal de los ojos del observador la distancia á que llegaban al aparato los rayos incidentes. El efecto es el mismo que nos produciría el examen de las dos vistas colocando nuestros ojos en O_1 y O'_1 ; es decir, que hemos amplificado la base de la visión estereoscópica y, en su consecuencia, la distancia máxima de percepción de relieve en la relación de $\frac{O_1 O'_1}{OO'}$.

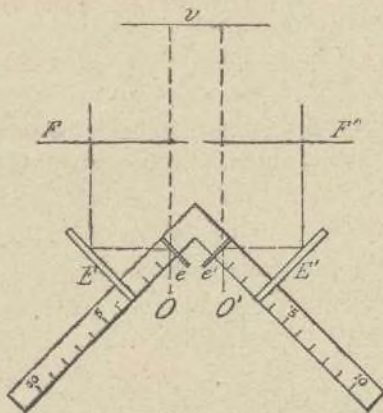
El aparato que acabamos de describir resuelve, en principio, la dificultad que en el párrafo anterior exponíamos; pero la ampliación que proporciona tiene un valor fijo é invariable, sujeción que en multitud de casos convendría hacer desaparecer.

III

Estereoscopio de Cazes.

Este aparato viene á cumplir la condición que acabamos de anunciar como muy ventajosa, y, además, permite medir exactamente la ampliación de base que produce el aparato en cada una de sus posiciones. Para ello cada uno de los espejos mayores (que por otra parte conservan la posición del telestereoscopio de Helmholtz) va montado sobre una regla

graduada por la que puede deslizar (fig. 8.^a), marcando en ésta una división cuyo origen se cuenta á partir de la posición fija del espejo pequeño correspondiente. Las dos fotografías se colocan en F' y F'' en un mismo plano á distancia conveniente, y la imagen virtual se forma en v . Á un corrimiento de los espejos grandes igual á 1, corresponde otro

Fig. 8.^a

lateral de las imágenes virtuales, respecto de las vistas, igual á $\sqrt{2}$; para tener en cuenta esta relación, la graduación de las escalas es de 0^{cm},705 por cada 0^{cm},5. Además del movimiento ya indicado, el plano donde se colocan las vistas puede deslizar paralelamente á sí mismo por una varilla perpendicular á él (1).

IV

Telémetro estereoscópico.

El Ingeniero de Carlotenburgo, Héctor de Grousilliers, comunicó á principios de 1893 á la casa Carlos Zeiss, conocido constructor de aparatos de óptica, en Jena (Alemania), la idea de una combinación de lentes que aumentara artificialmente la magnitud de la base para la visión estereoscópica.

Seis años más tarde, el 19 de Septiembre de 1899, el colaborador científico de esta casa, Dr. C. Pulfrich, dada cuenta á la Naturforscherversammlung, de Munich, del modo práctico de realizar aquella idea por medio de sus *telémetros estereoscópicos*, de los que presentaba varios modelos que construía corrientemente y estaban ya en uso en el ejército imperial.

La amplificación de la base para la visión estereoscópica no se obtiene en estos aparatos como en los de Helmholtz y Cazes, por el empleo exclusivo de espejos, sino que además de los prismas de reflexión total que sustituyen á éstos, van provistos de sistemas ópticos que contribuyen á aumentarla. Estos sistemas ópticos presentan la particularidad de no tener los ejes ópticos del ocular y del objetivo en línea recta, sino en direcciones perpendiculares (fig. 9.^a) determinadas por los rayos incidente y emergente del primer sistema de prismas; la razón entre la separación de los objetivos y la de los oculares es lo que se llama «amplificación estereoscópica» del sistema. Recibe el nombre de «efecto total de relieve» el producto $\frac{B \times A}{b}$ en que B representa la distancia entre los centros de los dos objetivos, b el mismo dato para los oculares y A la potencia del sistema de lentes.

(1) La descripción completa del aparato se halla en la obra *Stereoscopic de precision. Theorie et pratique*, par L. Cazes.—Paris, 1895.

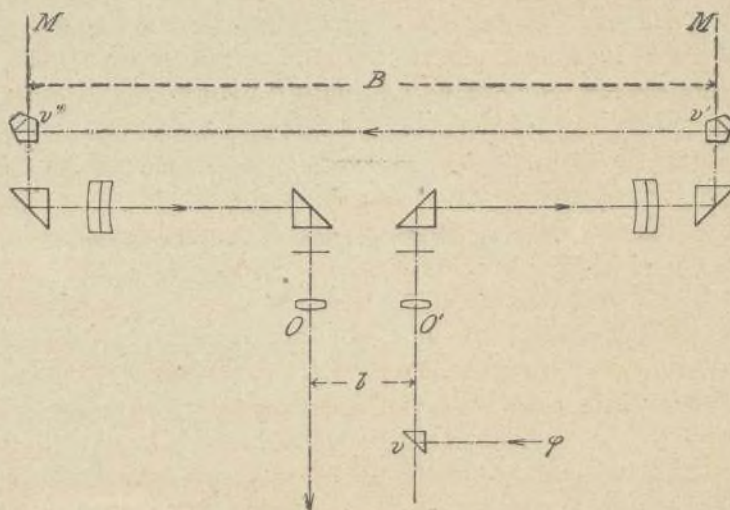
Los oculares pueden aproximarse ó separarse entre sí para que sus ejes queden á la distancia entre los dos ojos de cada observador; esta separación oscila entre 58 y 72 mm., que son los límites que más arriba hemos indicado para adultos. Además pueden adaptarse á la vista de cada observador por medio de unos tornillos, que permiten verificar esta operación por separado para cada ocular, para el caso en que los dos ojos no sean iguales.

Los ejes ópticos de los objetivos, por el contrario, se hallan á una distancia invariable, que es diferente según el tipo á que el aparato pertenece.

Las disposiciones que hemos explicado hacen ver el modo cómo este telémetro produce la amplificación de la base estereoscópica. Pero lo más característico del aparato es el modo de medir con él, de un modo rápido y seguro, sin necesidad de cálculo ni construcción alguna, la distancia á que del observador se hallan colocados los objetos que percibe á través del instrumento.

Dos son los procedimientos que para esta medida se emplean y que vamos á describir.

Supongamos frente al aparato un inmenso plano ligeramente inclinado, en él una serie de señales dispuestas regularmente en zig-zag desarrollado en la dirección de los ejes ópticos del telémetro, y á distancia de éste iguales á 100, 200, ..., 1.000, 2.000 ... metros; colocando en los planos focales dos placas sensibles, éstas nos darán dos fotografías de aquel conjunto de señales, y si al lado de cada una de éstas hemos colocado un número que nos indique la distancia á que estaba de nosotros al producirse las imágenes, claro es que dirigiendo el telémetro á un paisaje cualquiera, á través de unas pruebas transparentes de aquellas fotografías, nos será fácil averiguar la distancia de un punto cualquiera con sólo ver con cuál de las señales coincide en la visión estereoscópica. Cuando un punto no pueda hacerse coincidir

Fig. 9.^a

con ninguna de las señales, se determina fácilmente su distancia por interpolación entre los números que corresponden á las dos que lo comprenden.

Estas señales tienen la forma de un triángulo rectángulo con el cateto menor horizontal y colocado en la parte superior; se han dibujado las dos vistas estereoscópicas de la escala en gran tamaño por los procedimientos de la Geometría descriptiva (1), y luego se han reducido fotográficamente en los mismos cristales.

(1) Pudieran haberse calculado las paralajes por las fórmulas indicadas en la primera parte de este Trabajo.

Además de la escala de distancias, llevan estos vidrios una escala ordinaria dividida en veinte partes iguales y que con la visión estereoscópica aparece en el infinito. Está destinada á medir alturas y anchos de frente de los objetos cuya distancia al observador se haya leído previamente en la escala aérea antes descrita; cada división corresponde á un ángulo de $\frac{1^\circ}{16}$, de modo que el intervalo de frente que comprende es de 1^m á la distancia de 1.000^m , y, en general, á la distancia D , comprende $\frac{D^m}{1.000}$.

También ha ideado y hecho construir el Dr. Pulfrich otro género de telémetros en los que, en lugar de la escala aérea en zig-zag para la medida de distancias, se realiza ésta midiendo directamente las paralajes correspondientes. Fácilmente se comprende que si colocamos en uno de los vidrios focales un índice fijo y en el otro vidrio otro índice móvil por medio de un tornillo micrométrico, será fácil obtener la paralaje de un objeto cualquiera sin más que leer en el tambor de éste el número correspondiente en una escala convenientemente graduada y cuyo cero corresponde á la posición en que el índice de relieve que entre los de los dos vidrios representan se halle situado en el infinito.

El sistema de la escala aérea es preferible para observaciones rápidas, sobre todo de objetos en movimiento; el del índice móvil permite obtener una seguridad mucho mayor, porque puede la medida repetirse gran número de veces y tomarse la media de todas ellas.

En algunas ocasiones el estado de la atmósfera produce cierta especie de vibración en las imágenes de los objetos muy alejados; como este efecto será, en general, el mismo para los dos sistemas ópticos, no presenta dificultad alguna para la exactitud de las medidas. Puede, no obstante, suceder que no sea así, y el efecto en la visión estereoscópica será entonces de que el objeto oscila acercándose y alejándose del observador; en este caso basta tomar como verdadera la media de todas posiciones.

Frecuentemente convendría medir la distancia á que del observador se encuentra un faro ú otra luz cualquiera que aparece de noche sobre un fondo completamente oscuro; para esto es preciso iluminar convenientemente las escalas de los vidrios focales. Tal efecto se consigue en algunos telémetros de los que describimos, por medio de la luz que, partiendo del foco φ colocado á la derecha del aparato (fig. 9.^a), se refleja en un prisma especial v que con este objeto puede montarse en el ocular de la derecha, recorre luego el sistema óptico de este mismo lado, sufre en los prismas pentagonales v' y v'' dos reflexiones totales y sale por el ocular de la izquierda, después de haber atravesado el otro sistema óptico, y, por consiguiente, las dos placas focales que contienen las escalas, iluminándolas lo suficiente para que puedan verse claramente sus posiciones y su graduación. Los tres prismas v , v' y v'' se retiran para la observación ordinaria durante el día.

Los telémetros estereoscópicos que fabrica la casa Zeiss son de tres tipos diferentes.

Titúlase el primero «telémetro de caza», y sirve para turistas, topógrafos y, en general, para todos aquellos que no necesiten medir distancias muy grandes y deseen aparatos ligeros y de cómodo manejo. La base (separación entre objetivos) de este modelo es de 32 centímetros, la amplificación estereoscópica (relación entre la separación de los objetivos y la de los oculares) de 4, y la escala aérea da dis-

tancias comprendidas entre 20 y 500 metros. Los objetos situados á más de 8.000 metros aparecen ya en un plano. El peso total del aparato es sólo de 2,5 kilogramos.

El segundo tipo es el «telémetro de infantería»; tiene una base de 51 centímetros, una amplificación de 8 y la escala aérea comprende de 90 á 3.000 metros. El efecto de relieve se aprecia hasta la distancia de 28 kilómetros. Su peso es de 3,5 kilogramos.

Finalmente, el tipo mayor, «telémetro de estación», debe este nombre á la circunstancia de que su peso ya considerable, 15,5 kilogramos, hace precisa para emplearlo su colocación en un trípode. La base estereoscópica es de 1,44 metros, la amplificación de 23 y la escala mide distancias comprendidas entre 500 y 8.000 metros; el relieve se percibe hasta la distancia de 230 kilómetros.

Exactitud en la determinación de distancias por la paralaje medida con el telémetro estereoscópico.—La expresión que nos da el valor de la distancia de un punto por su paralaje es, como ya hemos visto (pág. 400)

$$D = f \times B \times \frac{1}{\pi} \quad (1)$$

en que f representa la distancia focal, B la separación entre los ejes ópticos de los objetivos del aparato y π la paralaje lineal medida en el plano focal de los oculares.

Como f y B son constantes para cada aparato, podemos escribir

$$dD = - \frac{D}{\pi} d\pi,$$

y sustituyendo en lugar de π su valor, sacado de la fórmula (1), resulta

$$dD = - \frac{D^2}{B \times f} d\pi.$$

El error de la paralaje lineal π es directamente proporcional á la distancia focal y á la paralaje angular, que designaremos por ω , é inversamente á la amplificación A ; es decir, que

$$d\pi = \frac{f \times \omega}{A},$$

de donde

$$f = \frac{A \times d\pi}{\omega},$$

y sustituyendo este valor de f en la expresión (1), tendremos

$$dD = - \frac{D^2}{B \times A} \times \omega. \quad (2)$$

Sea δ la distancia á que se ha de encontrar un punto para verse bajo el ángulo ω desde la base b de la visión natural ($= 58$ á 72^m), podemos escribir

$$\delta = \frac{b}{\omega}.$$

Llamando Δ la misma distancia cuando la base b se ha amplificado por el «efecto total de relieve», tendremos

$$\Delta = \delta \times \frac{B}{b} \times A = \frac{B \times A}{\omega},$$

y de ésta y la (2)

$$dD = - \frac{D^2}{\Delta},$$

que es la fórmula definitiva.

Para hallar el error probable que se comete en la determinación de una cierta distancia, con uno de los tres tipos de telémetro, basta sustituir en lugar de cada una de las letras que en esta expresión figuran por sus correspondientes valores. Así se forma el siguiente cuadro:

DISTANCIA = D en metros.	ERROR PROBABLE EN METROS EN EL		
	Telémetro de caza.	Telémetro medio.	Telémetro de estación.
	Base = 32 cm. Amplificación = 4.	Base = 51 cm. Amplificación = 8.	Base = 1,44 m. Amplificación = 23.
20	0.05	—	—
30	0.11	—	—
40	0.20	—	—
50	0.31	—	—
75	0.70	—	—
90	—	0.3	—
100	1.25	0.3	—
125	—	0.5	—
150	2.8	0.8	—
175	—	1.1	—
200	5.0	1.4	—
300	11.3	3.2	—
400	20.0	6	—
500	31.3	9	2.5
600	—	13	2.8
700	Los objetos distantes más de 8 kilómetros aparecen en el infinito.	17	3.6
750		—	4.4
800		23	6.7
900		29	9.9
1.000		35	13
1.250	—	55	18
1.500	—	80	22
1.750	—	109	27
2.000	—	140	33
2.250	—	181	39
2.500	—	223	54
2.750	—	270	70
3.000	—	320	110
3.500	—	Los objetos distantes más de 28 kilómetros aparecen en el infinito.	156
4.000	—		215
5.000	—		278
6.000	—	—	352
7.000	—	—	440
8.000	—	—	Los objetos distantes más de 230 kilómetros aparecen en el infinito.
9.000	—	—	
10.000	—	—	

CAPÍTULO III

Aparatos para medición de paralajes.

I

Estereocomparador.

En los párrafos anteriores nos hemos ocupado de un aparato, el telémetro estereoscópico, que nos permite conocer, por una simple lectura, la distancia á que de nosotros se encuentra un objeto real, que estamos observando á través de un sistema óptico binocular.

Pronto se ocurre la conveniencia de poder efectuar esa operación sobre una fotografía estereoscópica obtenida con una base igual á la amplificada del telémetro, pues así no nos sería preciso estar en el mismo terreno para realizar las medidas, y podríamos además comprobar y rectificar éstas cuantas veces lo juzgáramos necesario. Á esta ventaja se añade también la de la mayor firmeza y exactitud en la medida de las paralajes, toda vez que podremos emplear un aparato perfectamente estable y adoptar el método del índice móvil para conocer directamente las distancias á que del aparato se halla un punto cualquiera, sin acudir á la interpolación—siempre poco exacta—entre los puntos fijos de la escala de

que iban provistos los telémetros primitivos. Finalmente: si proveemos al aparato que estamos proyectando de disposición adecuada para dar á una de las fotografías dos movimientos—vertical y horizontal—respecto de la otra y de medir exactamente estos movimientos, podremos, además de las distancias *Z*, conocer las otras dos coordenadas *X* é *Y* de cada punto, y, por tanto, determinar por completo la posición que en el espacio ocupan los puntos representados en las fotografías estereoscópicas de que hemos partido.

El aparato que satisface á todas las condiciones que acabamos de enumerar y que constituye la realización mecánica de las construcciones de la página 400 y siguientes, ha sido construido, como el telémetro estereoscópico, por la casa Zeiss, de Jena, bajo la dirección del Dr. C. Pulfrich, con el nombre de «estereocomparador» (1).

Descripción de un modelo del estereocomparador.—En este aparato pueden distinguirse dos partes principales, á saber: 1.ª El soporte de las placas. 2.ª El microscopio binocular. (Algunos modelos llevan además un estereoscopio de espejos para percibir el efecto de relieve.)

Primeramente se construyó un modelo de ensayo, el cual, por modificaciones sucesivas efectuadas para diversos géneros de investigaciones, ha dado lugar á los cinco tipos designados con las letras *A*, *B*, *C*, *D* y *E*. Describiremos con algún detalle el tipo *E*, destinado á los levantamientos de planos topográficos, toda vez que las diferencias que respecto de éste presentan los otros cuatro no afectan á la esencia del aparato.

La figura 10 (2) da clara idea del aparato, con las indicaciones siguientes:

A. Primer carretón principal, que lleva las dos placas *P*₁ y *P*₂, y se mueve transversalmente por medio de la manivela *H*.

B. Segundo carretón principal, móvil en dirección perpendicular á la anterior, que lleva el estereomicroscopio y se mueve por medio de la manivela *V*.

C. Tornillo de ajuste para igualar las diferencias de alturas entre los centros de las dos placas, procedentes de una diferencia de nivel entre los dos puntos de estación de las dos vistas fotográficas.

*D*₁ y *D*₂. Tornillos que permiten un pequeño giro de las placas en su plano.

(1) Por la misma época que se construyó este aparato en Alemania, publicaba un Ingeniero del Servicio Forestal del Cabo de Buena Esperanza, Mr. H. G. Fourcade, una noticia titulada: «A Stereoscopic method of photographic surveying. A paper read on october 2, 1901 before the South Africa Philosophical Society, by Mr. H. G. Fourcade. Forest Department, Capetown. Abstract from Nature, June 5, 1902. London», en la cual exponía un método estereoscópico para el levantamiento de planos topográficos, por completo análogo al del Dr. C. Pulfrich, y que había de realizarse prácticamente con un «aparato estereoscópico medidor», de cuya construcción encargó á la casa Zeiss. Ésta le contestó que otro aparato casi idéntico al que pedía estaba ya en construcción, según los planos del Dr. C. Pulfrich, quien no duda se trata de una coincidencia curiosa, pero que nada tiene de sorprendente cuando una cuestión nueva se impone á la atención pública y hay un medio natural de llevarla fácilmente á la práctica.

Más tarde envió Fourcade los planos para la construcción de su aparato á la casa Troughton y Simms, de Londres, la cual no pudo proporcionárnoslos cuando se los pedimos por no haber conservado copia de ellos.

(2) El cliché de esta figura, como los de las 15, 16 y 18, han sido cedidos atentamente por la casa Zeiss para la impresión de este trabajo, por lo que nos complacemos en hacerle constar desde aquí nuestro agradecimiento.

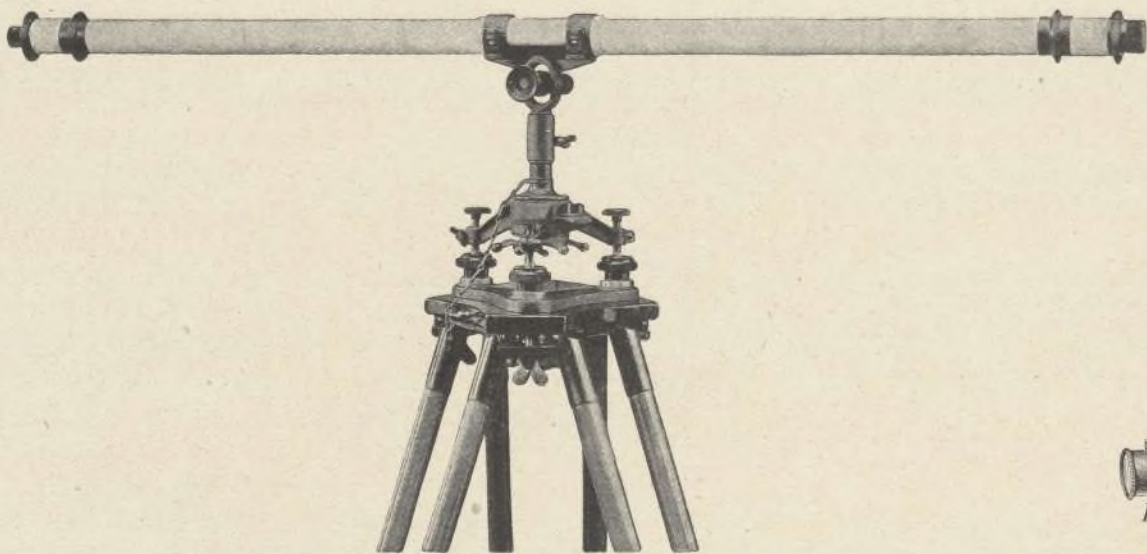


Fig. 18.

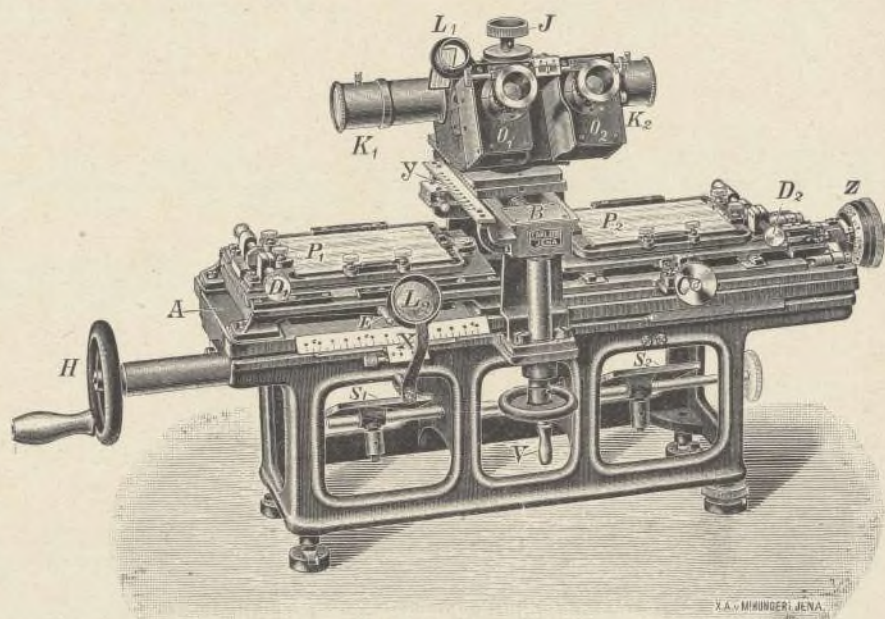


Fig. 10.

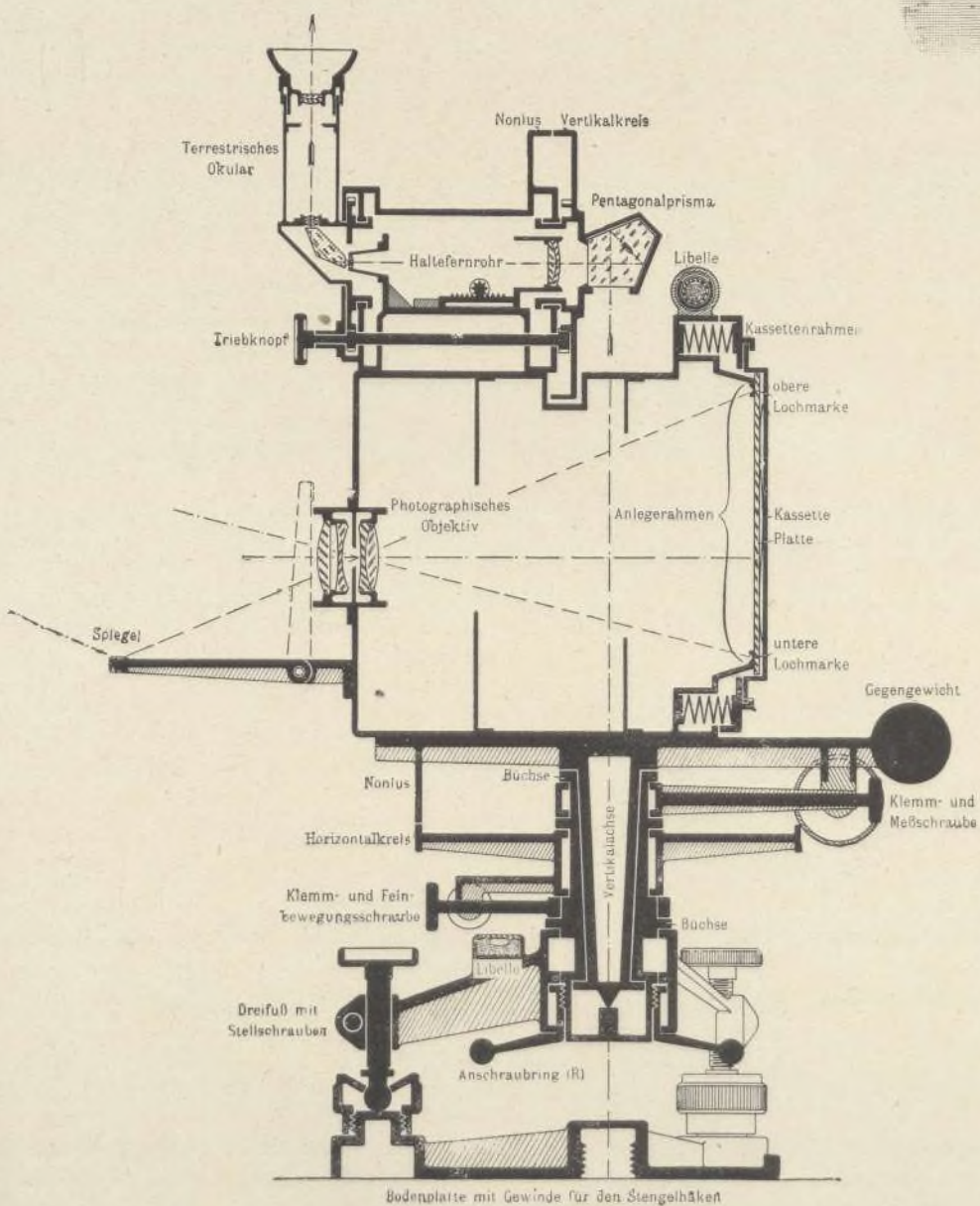


Fig. 16.

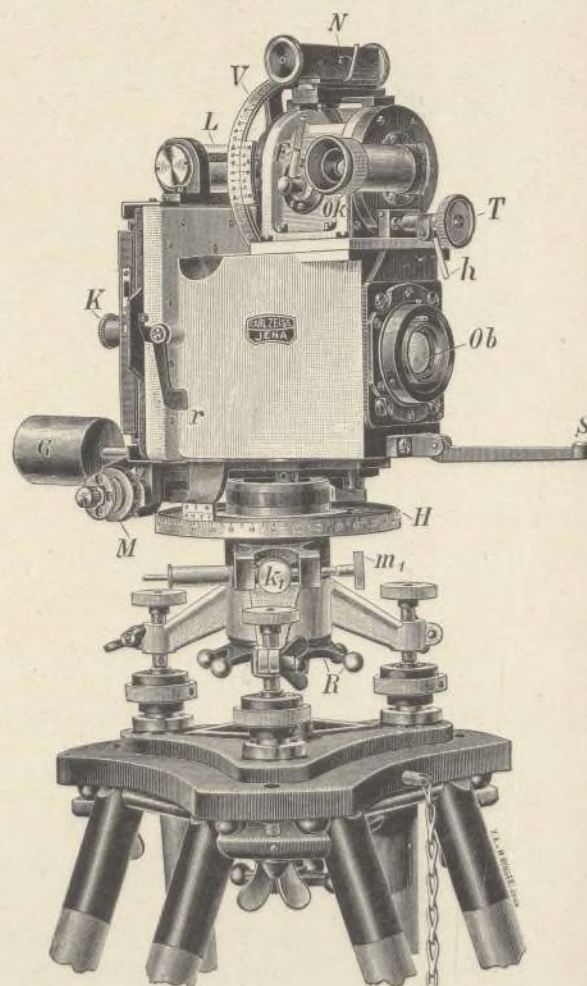


Fig. 15.

E.
direcc
S.
K.
rayos
cilind
F.
L.
x é y
Z.
dida
J.
Para
separ
dos e
C
nero
obse
mina
naci
á su
tón
proc
ó de
el ap
jos s
min
de i
cada
situ
dos

las
nad
dor
el p
con
una
una

del

je
ca
m
en
pi
ve

m

E. Cerrojo que fija el carretón de la placa P_1 , móvil en dirección del carretón A .

S_1 y S_2 . Espejos giratorios alrededor de un eje común.

K_1 y K_2 . Ranuras que dan acceso al microscopio á los rayos procedentes de las fotografías. Pueden taparse con un cilindro giratorio.

F. Tornillo para el arreglo del microscopio.

L_1 y L_2 . Lentes para facilitar la lectura de divisiones de x é y , escalas de abscisas y ordenadas, provistas de nonius.

Z. Tornillo micrométrico, de tambor móvil, para la medida de paralajes.

J. Tornillo que fija el estereomicroscopio al carretón B . Para el transporte del aparato, se afloja este tornillo y se separa el microscopio del carretón, pudiendo embalarsé en dos estuches apropiados.

Como ya dijimos en otra ocasión, convienen para este género de trabajos las positivas obtenidas en cristal, pues la observación de éstas puede hacerse por transparencia, iluminándolas por su cara posterior. Para permitir esta iluminación, las placas se apoyan por una estrecha zona próxima á su borde en dos bastidores huecos practicados en el carretón A , por los que pasa la luz reflejada en los espejos S_1 y S_2 procedente de luces eléctricas convenientemente dispuestas, ó de la luz natural de una ventana, frente á la cual se sitúa el aparato; para que esta luz sea difusa y uniforme, los espejos son deslustrados. Los objetos opacos pueden también iluminarse para su observación por unas lamparitas eléctricas de incandescencia colgadas encima de ellos. La posición de cada placa se fija completamente por medio de cuatro topes situados en los puntos medios de sus lados, y de los cuales dos son fijos y los otros dos tienen una corta carrera.

En lugar del estereomicroscopio, que sirve para efectuar las medidas necesarias para la obtención de las tres coordenadas de cada punto, puede colocarse en el estereocomparador un estereoscopio de espejos, con el cual puede observarse el paisaje con el efecto de relieve, cosa que puede ser muy conveniente, entre otros casos, cuando se trata de hallar en una de las placas la imagen de un punto, correspondiente á una determinada de la otra placa.

Sistemas ópticos del estereocomparador.—Prescindiendo del carretón ó soporte de las placas, que sólo tiene por ob-

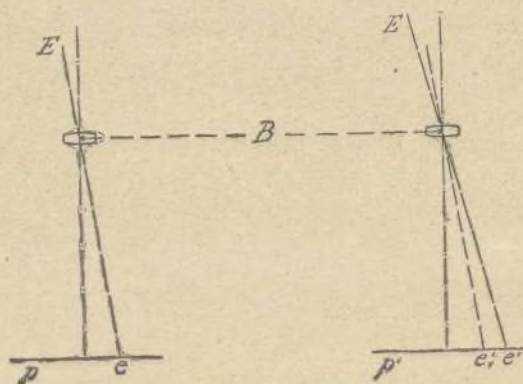


Fig. 11.

jeto la realización de ciertos movimientos y su medida, indicaremos ligeramente la formación de las imágenes en la cámara fotográfica que produce las fotografías estereoscópicas, en el estereoscopio que permite su examen y en el microscopio en que se colocan las placas en la posición relativa conveniente para verificar aquellas medidas:

a) Cámara fotográfica.—La figura 11 da clara idea de la marcha de los rayos sin necesidad de ulterior explicación.

b) Microscopio estereoscópico.—Como se ve en la figura 12, los pares de rayos procedentes de puntos correspondientes de las dos semivistas estereoscópicas colocadas en p y p' , se reflejan dos veces en E y e y en E' y e' y atraviesan el objetivo y el ocular del microscopio correspondiente; lo primero amplifica la base en la relación de 1:6 próxima-mente, y lo segundo en una relación variable con la constitución de los microscopios (cuatro, seis ú ocho veces, según el tipo del aparato). Las imágenes no aparecen invertidas, sino en su verdadera posición.

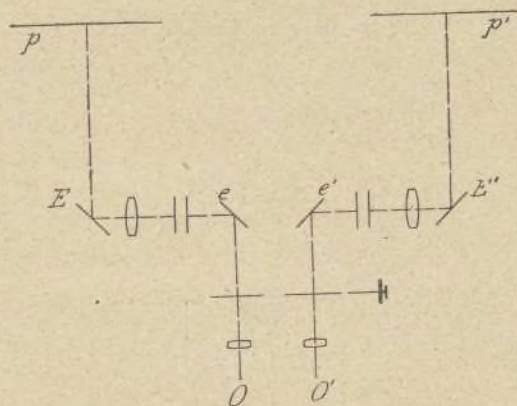


Fig. 12.

c) Estereoscopio de espejos.—Es, como puede verse en la figura 13, una combinación de los estereoscopios de Helmholtz y de Brewster, toda vez que al sistema de espejos que caracteriza el primero, añade una lente en el camino de cada rayo, permitiendo así una amplificación mayor que la que sin este aditamento hubiera podido obtenerse. La imagen estereoscópica virtual se forma en el plano y reproduce con gran exactitud detalles muy lejanos.

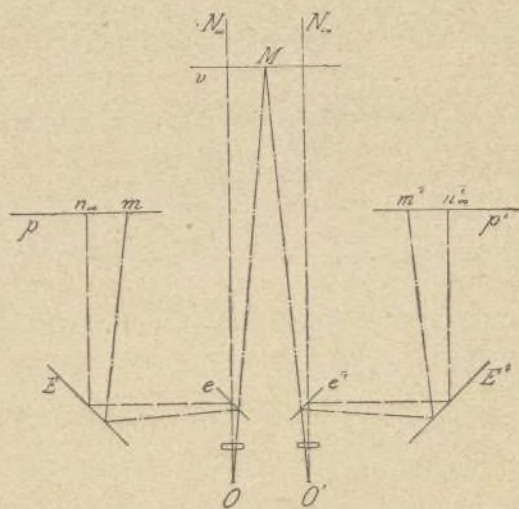


Fig. 13.

Empleo del estereocomparador.—Colocadas en los respectivos soportes las dos positivas, y corregida, si existe, la diferencia de altura de las dos estaciones que sirvieron para obtenerlas, subiendo ó bajando la placa de la derecha con el tornillo C , se comprueba la exacta posición de las líneas de horizonte y de los puntos centrales; la imagen virtual de éstos (como proyecciones de un punto real del terreno) debe aparecer en el infinito. Cada microscopio puede ajustarse independientemente á la vista del observador, moviendo convenientemente el tornillo F ; esta adaptación se hace para el índice de medida y para la separación de los ojos del observador. También pueden moverse los objetivos en dirección

del eje óptico, produciendo ampliaciones de 4 á 8 diámetros.

El estereoscopio de espejos puede igualmente adaptarse á la separación entre los dos ojos del observador, corriendo lateralmente una de las lentes.

Para medir la paralaje de un punto cualquiera, hay que empezar por colocar los índices de los dos microscopios á una distancia igual á la separación entre los ejes de éstos, es decir, de modo que su imagen virtual aparezca en el infinito y su paralaje sea, por consiguiente, nula. Preparado así el aparato, basta mover lateralmente la placa de la derecha con el tornillo *Z* y medir en el tambor y el nonius el corrimiento necesario para que el índice de la derecha llegue á coincidir con la imagen derecha del punto, mientras el índice de la izquierda se conserva constantemente en coincidencia con la otra imagen del punto. El nonius aprecia directamente 0,02 milímetros, pero pueden obtenerse estas medidas con error menor de 0,01 milímetro.

Las otras dos magnitudes, *x* é *y*, se miden inmediatamente en las escalas correspondientes, provistas también de sus respectivos nonius.

Las distancias horizontales y verticales pueden también medirse en unas escalas grabadas en los vidrios del microscopio.

II

Estereómetro.

El estereocomparador que acabamos de describir nos da con gran exactitud la medida de las tres coordenadas de puntos situados á distancias que pueden ser muy considerables gracias á la ampliación de la base estereoscópica; es muy frecuente, sin embargo, tener que efectuar aquellas medidas en objetos situados á distancias reducidas, y para este caso, el relieve que el microscopio del estereocomparador produce sería evidentemente exagerado.

El mismo Dr. C. Pulfrich ha ideado un aparato, el estereómetro, que satisface por completo á las condiciones del nuevo problema.

Para dar una idea de la precisión alcanzada en las medidas hechas con este aparato, recordaremos tan sólo la experiencia que recientemente hizo en Berlín el topógrafo del Catastro Herr Selinger. Fotografió un busto en yeso del general Conde de Moltke con una máquina fotográfica de 500 milímetros de distancia focal, situada á 3 metros de distancia en los extremos de una base de 20 centímetros, y de las fotografías así obtenidas dedujo un plano por curvas de nivel, separadas por distancias de 10 milímetros. El efecto del retrato así obtenido era aún más perfecto, en cuanto al relieve, que el del busto primitivo, y á pesar de ser éste de yeso blanco, las medidas hechas en el dibujo difirieron en menos de un milímetro de las deducidas del objeto original. El resultado de esta experiencia, verificada en las condiciones más desfavorables, por la dificultad de reconocer los puntos correspondientes en fotografías de un objeto de color uniforme y que carecía de las pequeñas manchas, granos, pelos y desigualdades de otro cualquiera, demuestra palpablemente hasta dónde llegará la exactitud en las medidas estereoscópicas deducidas en condiciones ordinarias.

El estereómetro presenta sobre el estereocomparador la ventaja de no exigir la separación de las dos mitades de la vista fotográfica, única que en este aparato es indispensable, y de evitar la consiguiente dificultad del ajuste de cada semiplaca en la posición conveniente respecto de la otra.

El estereómetro permite la medida en placas de 13×18 centímetros y distancias focales comprendidas entre 60 y 80 milímetros.

Como este aparato sólo difiere del estereocomparador en que la ampliación de la base es muy inferior á la de éste y se obtiene solamente por los oculares de los microscopios (sin prismas de reflexión total) y en algunos detalles de construcción, nos creemos dispensados de dar de él una descripción detallada, remitiendo al que la desee al precioso estudio que con el título «Über ein neues Verfahren der Körpervermessung» ha publicado el Dr. C. Pulfrich en el *Archiv für Optik*, tomo I, pág. 42.

III

Microscopio comparador monocular (microscopio de eclipse).

Colocado este aparato en lugar del microscopio binocular en el estereocomparador, permite apreciar inmediatamente la menor diferencia que exista entre dos imágenes fotográficas de un objeto, lo cual es de excepcional importancia para gran número de cuestiones, como investigación de estrellas variables, comparación de billetes de Banco ó de sellos ó documentos estampados falsificables, deformaciones en la superficie del sol ó de la luna, de los heleros, y otras muchas que más adelante indicaremos.

El fundamento científico del aparato estriba en el empleo de dos microscopios del mismo aumento, provistos de un sistema de prismas que hacen que las imágenes de las dos placas colocadas en el estereocomparador se formen en el ocular común á los dos microscopios, como puede verse en la figura 14.

El mecanismo del aparato permite, á voluntad, superponer las dos imágenes en el plano focal ó hacerlas aparecer en éste alternativamente; la primera disposición se empleará cuando se trate de comparar escalas graduadas, espectros y, en general, fotografías de objetos cuyas diferencias hayan de aparecer en puntos determinados; la segunda disposición es á su vez preferible siempre que ignoremos la zona en que las diferencias pueden aparecer, y éstas hayan de destacarse por aparecer más ó menos borrosas, como sucederá en los estudios de astronomía, comparación de billetes de Banco, etcétera.

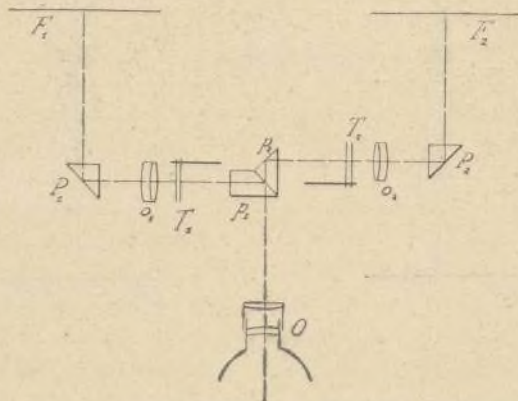


Fig. 14.

El empleo del aparato, en el primer caso, se comprende desde luego por la simple inspección de la figura 14, en la que F_1 y F_2 son las dos placas; P_1 , P_2 y p_1 , tres prismas de reflexión total; p_1 un prisma ligeramente plateado para dejar pasar los rayos procedentes de F_1 con la misma intensidad que se reflejan los de F_2 ; O_1 y O_2 , los objetivos; O , el ocular

único, y, finalmente, T_1 y T_2 los obturadores de tijera que vamos á describir.

Lo más notable del aparato es la disposición especial ideada para hacer aparecer alternativamente una ú otra de las dos fotografías, verificándose el cambio á cortísimos intervalos y sin que la vibración consiguiente moleste la vista del observador. Para obtener este resultado se ha colocado delante de cada uno de los objetivos, en T_1 y T_2 (fig. 14) un obturador; estos obturadores son de tijera, con bordes curvos, y se hallan enlazados de manera que al abrirse uno se cierra el otro, y que la suma de aberturas que en un instante cualquiera dejan en los dos objetivos es constante, resultando, por tanto, uniforme la iluminación del campo del microscopio á pesar del cambio de imágenes.

Gracias á esta disposición, mientras las dos placas que sucesivamente aparecen en el campo del microscopio sean exactamente iguales, el aspecto de la imagen no sufrirá variación alguna, pero tan pronto como exista alguna diferen-

cia entre aquéllas se revelará claramente, ya por cambios súbitos de posición, ya por aparecer y desaparecer rápidamente.

La precisión de este aparato es tal, que inmediatamente se delatan las diferencias de diámetro de las imágenes de estrellas fijas, procedentes de diferencias en los tiempos de exposición y otras variaciones de tan pequeña entidad.

El cambio de las placas puede hacerse á mano cuando se quiere observar alternativamente durante cierto espacio de tiempo una ú otra, pero para producir este efecto automáticamente y con gran rapidez, va provisto el microscopio de un pequeño motor eléctrico que, por medio de un electroimán, mueve una palanca, la cual, á su vez, produce el eclipse que ha dado nombre al aparato.

JOSÉ MARÍA TORROJA.

Doctor en Ciencias exactas.
Alumno de quinto año de la Escuela de Caminos.

(Continuará.)

Revista de las principales publicaciones técnicas.

Disposición que previene la rotura de los conductores eléctricos aéreos.

Se han preconizado numerosas disposiciones contra los accidentes producidos por la rotura de los conductores eléctricos aéreos; pero se puede también proponer el prevenir esta rotura mejor que el buscar paliativos á los efectos, y este método parece preferible, porque las disposiciones de seguridad introducen en la red un elemento de complicación que puede conducir á grandes perturbaciones si su funcionamiento faltara por cualquier causa.

En este terreno se ha colocado M. Dusangey al estudiar esta cuestión ante el Congreso de Electricidad de Marsella.

Las roturas de los conductores pueden producirse entre dos soportes, ó en un aislador, ó el conductor puede aún, sin rotura, caer de un soporte y quedar al alcance del público, creando un peligro más ó menos grave, según la tensión de la red.

M. Dusangey pasa revista á todas las causas que pueden provocar uno de estos tres accidentes, y demuestra que la buena calidad de los materiales y el cuidado con el cual está montada la línea deben garantizar la mayoría de aquéllos.

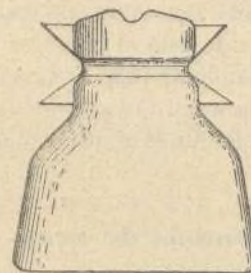
El punto más delicado es la resistencia de los aisladores, que son desgraciadamente la parte más frágil y al mismo tiempo la más expuesta de la línea, puesto que se les pide á la vez una resistencia mecánica y eléctrica elevada, y sabido es que la porcelana no presenta en el grado necesario la resistencia mecánica.

El estudio de la rotura de un hilo en un aislador enseña que dicha rotura es resultante de una disminución de resistencia debida á un recocido que proviene de un arco que se establece entre el hilo y la varilla del aislador y que consume una corriente demasiado pequeña para hacer actuar los aparatos de seguridad de la línea. Este débil gasto de energía no tendría efectos tan perjudiciales, si en vez de obrar en un punto aislado hubiera una disposición que permitiera difundirla, poniendo, por

lo tanto, los hilos al abrigo de esta causa de rotura, la más peligrosa y la más difícil de evitar.

M. Dusangey propone, con este objeto, adaptar (véase la figura) alrededor del cuello del aislador, entre la porcelana y el conductor, un collar en dos piezas (dos hojas de cobre) mantenido por el hilo de la ligadura. Este collar forma radiador é impide el calentamiento del hilo.

Esta disposición, que como se ve es muy sencilla, ha sido sometida á ensayos comparativos en líneas de cobre ó de aluminio y ha dado resultados satisfactorios. No impide, por otra parte, el servicio de inspección de la línea para reconocer los



aisladores defectuosos, porque los resplandores del arco no cesan de ser visibles; pero permite hacer con comodidad la reparación sin temor de rotura del hilo.

Indicador de nivel de agua hidrostático.

Los indicadores ordinarios de nivel de agua en las calderas presentan numerosos inconvenientes, tales como la fragilidad, la falta de visibilidad del agua, etc. M. Jaunin describe en el *Bulletin Technologique des Arts et Metiers*, de Abril, un nuevo

tipo de indicador de nivel, del cual damos á continuación el corte y el modo de instalarlo.

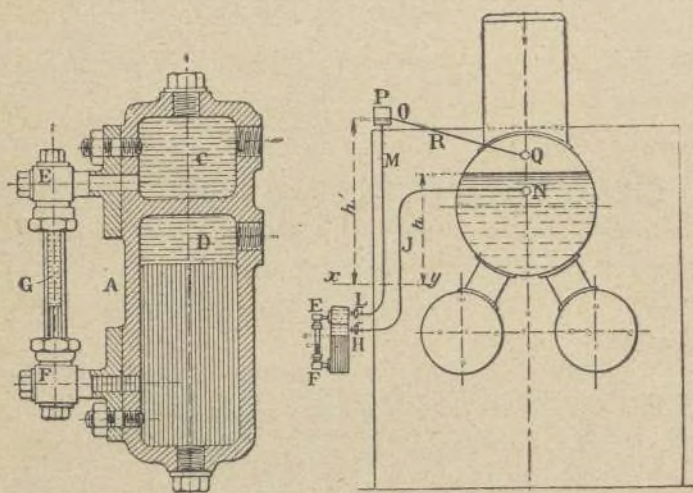
Lo constituye una botella *A*, separada en dos partes, *C* y *D*, por un tabique horizontal lleno; cada una de estas partes va provista de una montura *EF*, sin llave, y un tubo de vidrio *G* enlazado á estas dos monturas.

La capacidad *D*, llena en sus tres cuartos de mercurio, comunica por el grifo *H* y el tubo *J* con un punto *N* de la caldera, situado á 20 centímetros por debajo del nivel de agua mínimo.

La capacidad *C* comunica por la llave *L* y el tubo *M* con la parte inferior de un vaso cilíndrico *P* colocado á 40 centímetros por encima del nivel máximo del agua en la caldera. Además, el vaso *P*, que forma capacidad cerrada, comunica en *O* por un tubo inclinado *R* con el depósito de vapor de la caldera en un punto *Q*, situado á 20 centímetros por encima del nivel de agua máximo.

Los tubos *J* y *M* están siempre llenos de agua y el tubo *R* lleno de vapor.

Si se comparan las presiones en los tubos *J* y *M* sobre un trozo de líquido situado en un mismo plano horizontal *xy*, se ve



que *h'* permanece constante, en tanto que la presión del vapor no varíe notablemente en la caldera, y que *h* varía según el nivel del agua en la caldera. Si se abren las llaves *L* y *H*, la presión en la cavidad *C* siendo más grande que en *D*, el nivel del mercurio baja en el tubo *G* y sus variaciones corresponderán á las del nivel de agua en la caldera.

La densidad elevada del mercurio hace estas variaciones muy débiles, y en vista de esto el inventor ha perfeccionado este primer aparato, inclinando el tubo indicador *G* que enlaza las dos monturas *E* y *F*; la amplitud así obtenida de las variaciones de nivel las hace más fácilmente observables.

Válvulas para bombas de gran velocidad.

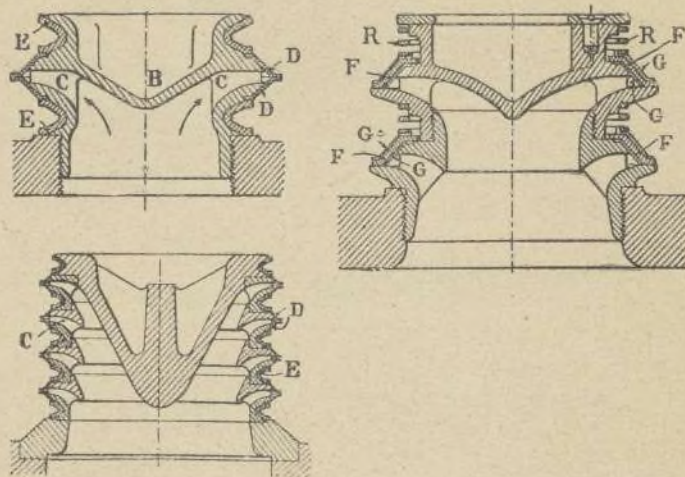
El *Engineering* del 14 de Mayo describe un sistema de válvulas para bombas, construido por MM. Wittins Brothers, de Londres, con objeto de remediar los inconvenientes causados por la inercia en las bombas de gran velocidad.

El líquido sale por orificios dispuestos en un plano perpendicular al eje de la válvula. La parte móvil de esta última está constituida por dos anillos troncocónicos de cobre. El cierre de los orificios *C*, cuya forma está escogida para reducir lo más posible las pérdidas de carga al paso del líquido, se obtiene por la aplicación de los dos anillos, uno sobre otro; sortijas de caucho *E* facilitan el cierre.

Para los líquidos que pueden alterar el caucho se da la presión por medio de resortes. En este caso la parte que trabaja

está formada de un cuero *F*, apretado entre dos sortijas de latón *G*.

La figura da á conocer muchas válvulas de este sistema, superpuestas para dar una sección de paso más grande. La sustitución de las válvulas ordinarias por estas válvulas ha permitido en un caso dado llevar la velocidad de una bomba de 45



vuelatas por minuto á 100 vueltas. El agua puesta en circulación estaba á la temperatura de 65 grados centígrados, y los anillos de caucho, en servicio desde hacía once meses, estaban todavía en buen estado. En otros casos se ha hecho marchar á 125 vueltas una bomba que funcionaba antes á 50 vueltas, siendo la presión del líquido de 7 kilogramos por centímetro cuadrado.

Hundimiento del puente de hormigón armado sobre el Illinois, en Peosía, en los Estados Unidos.

El 1.º de Mayo último, dos pilas de un puente construido en Peosía, sobre el Illinois, se han hundido, arrastrando los tres arcos que descansaban sobre ellas.

La obra, que fué abierta á la circulación algunas semanas antes, tiene una longitud de 275 metros, y comprende seis arcos, de los cuales el segundo es de báscula, como en el puente de la Torre de Londres. En planta no es rectilíneo, forma un ángulo, uno de cuyos lados lo constituyen el arco de la orilla derecha y el tramo oscilante y el otro los otros cuatro arcos.

Según el *Engineering News* del 13 de Mayo, que estudia este accidente con detalle, las dos pilas-estribos del tramo móvil han sido las únicas fundadas sobre la misma roca y las demás sobre pilotes hincados á bastante distancia del sitio en donde habían sido practicados sondeos. Se ha sabido también que los pilotes no habían llegado hasta la roca; el encuentro de una delgada capa de pizarra hizo suponer que la roca había sido alcanzada.

El accidente parece debido á la socavación de los cimientos por la corriente; en el proyecto se incluía la protección permanente de los cimientos de las pilas por medio de una atagüa que no ha sido ejecutada. Se quiso en seguida reparar esta omisión por la colocación de escolleras.

Sin embargo, en Mayo de 1908 se notaron asientos y se manifestaron grietas poco tranquilizadoras en uno de los estribos, haciéndose una reparación que consistió en colocar en las dos extremidades, agua arriba y agua abajo, dos pilares de hormigón que descendían hasta la roca.

Estas medidas tardías fueron insuficientes, y los pilotes de cimentación, insuficientemente hincados, no protegidos contra las socavaciones del terreno que los hacía solidarios, se hundieron, dando lugar al accidente que se temía y que un serio estudio preliminar y una ejecución hecha á conciencia hubieran evitado desde luego.