

Tendremos, pues

$$(A) \begin{cases} x = \frac{v_0 \cos \theta_0}{HB} [1 - e^{-HBt}] \\ \frac{dx}{dt} = v_0 \cos \theta_0 e^{-HBt} \\ y = \frac{1}{HB} \left[v_0 \sin \theta_0 + \frac{g}{HB} \right] [1 - e^{-HBt}] - \frac{g}{HB} t \\ \frac{dy}{dt} = \left[v_0 \sin \theta_0 + \frac{g}{HB} \right] e^{-HBt} - \frac{g}{HB} \end{cases}$$

El presente trabajo tiene por objeto hallar la influencia de la presión en el empleo del alza de los cañones, a fin de poder aplicar las tablas de tiro en los países montañosos, como el nuestro, en donde la artillería funciona en condiciones muy diferentes de aquellos en los cuales han sido determinadas las constantes de cada cañón.

La resistencia que el aire opone al movimiento de los cuerpos ha sido objeto de gran número de experimentos, pero las fórmulas halladas son todas empíricas, y, por consiguiente, aplicables sólo en las mismas condiciones experimentadas, por lo que no podrían servirnos para el estudio en cuestión. De ahí la necesidad de estudiar el problema partiendo de alguna hipótesis racional.

Elegimos para este efecto aquella sobre la cual se funda la teoría cinética de los gases; pero como dicha hipótesis presume que las moléculas del aire no choquen unas contra otras, o por lo menos que el número de choques sea muy pequeño, lo cual no es probable, por razones que no sería posible expresar aquí, el coeficiente de la resistencia debe ser afectado de un factor desconocido, que la experiencia podría indicar y que lo hemos representado por H . La resistencia presenta un término proporcional a la velocidad y otro al cuadrado de ésta; pero este último, en las condiciones del proyectil, tiene un valor pequeño respecto del primero. Al despreciarlo, la fórmula no quedará evidentemente rigurosa, pero tiene la enorme ventaja de hacer integrables las ecuaciones de movimiento, y, por tanto, de servir, no sólo como una primera aproximación, sobre la cual se pueden fundar experimentos y estudios, sino que la creemos suficiente en la práctica.



EL BITELESCOPIO DE REFLEXION

JORGE ALVAREZ LLERAS
Director del Observatorio Astronómico Nacional.

ADVERTENCIA PRELIMINAR.—Este instrumento, ideado por la Dirección del Observatorio de Bogotá, con la mira de obtener a poco costo, relativamente, un elemento instrumental de altísima precisión para la determinación periódica, con el método de Talcott, de valores de la latitud, ha sido aceptado, después de maduro estudio, por Casas constructoras de primer orden, como "La Filotécnica", de Milán; la "Casa Zeiss", de Jena, y la "Askania Werke", de Berlín, las cuales se han comprometido a construirlo. Esta última Casa (la Askania Werke) lo ha diseñado con el nombre: Doppelreflektionsfernrohr, modificando un poco el aparato de los espejos, que proyecta circulares, y no elípticos, para asegurar su rigidez, y, por tanto, la claridad de las imágenes.

La circunstancia de haber sido aceptado por varios constructores el "bitelescopio de reflexión" como aparato construible, que ellos conceptúan absolutamente nuevo, nos ha movido a insertar en seguida, en esta Revista, su descripción detallada, haciendo notar, de paso, que tiende él a sustituir, en las altas operaciones de latitud, con ventaja, a los grandes instrumentos, como el "zenith telescope", flotante en mercurio, del Observatorio de Greenwich.

El bitelescopio colimador de reflexión, instrumento de que hemos hablado en el número anterior de esta Revista, es un aparato cuya construcción se funda en los siguientes principios ópticos y de Física general:

a) Los rayos luminosos de una figura situada en el plano de las imágenes reales de un objetivo astronómico corregido de aberración esférica y de refrangibilidad (aberración cromática), salen de ese objetivo según un haz de rayos rigurosamente paralelos.

b) Un espejo rigurosamente plano refleja la luz absorbiendo una cantidad de ella que depende de la calidad y grado de pulimento de su superficie. En este espejo el ángulo que el rayo incidente hace con la normal a la superficie, es igual al ángulo del rayo reflejado con esa misma normal, en el punto de incidencia, y tanto el rayo incidente como el reflejado, se contienen en el mismo plano que pasa por la normal dicha. De esto se deduce que un haz de rayos paralelos que llega a un espejo plano rigurosamente se refleja según un haz de rayos también paralelos.

c) Si un rayo incidente sobre un espejo plano es normal a la superficie del espejo, el rayo reflejado se confunde con él, o sea, recorre el mismo camino.

d) La superficie libre de un líquido, como el mercurio, en el recipiente que lo contiene, es absolutamente plana y horizontal. De esta suerte, en cualquier punto de esa superficie, que constituye un espejo plano, la normal es la vertical misma.

De acuerdo con estos principios, si dos anteojos refractores se ponen frente uno de otro por el extremo de los objetivos, de manera que coincidan aproximadamente sus ejes de figura en su prolongación, los ejes de colimación quedan rigurosamente en lí-

nea recta (moviendo los tornillos de los retículos) cuando la imagen de los hilos del retículo de uno de ellos coincide con la del retículo del otro, previamente iluminado por medio de un ocular Ramsden provisto de un espejo plano transparente y que hace un ángulo de 45° con el eje óptico del sistema.

Estos dos anteojos son, pues, recíprocamente colimadores; siendo el eje de colimación uno mismo para ambos. Examinando la marcha de un rayo luminoso que llega al espejillo del ocular (en un ángulo de 45° con el eje dicho), se ve que este rayo se refleja siguiendo aproximadamente la dirección del eje, hasta llegar a un punto del retículo que está en el plano en que se forman las imágenes reales del objetivo. Según principios conocidos de Óptica, el rayo luminoso que sale de este punto pasa por el foco, llega a la superficie interna del objetivo y sale fuera del anteojo, después de atravesar ese objetivo, conservándose paralelamente al eje óptico del mismo.

Así, para el segundo anteojo, los rayos luminosos que provienen de diversos puntos del retículo del primero, llegan como si vinieran del infinito. Constituyen ellos un haz de rayos rigurosamente paralelos, que al atravesar el otro objetivo forman su imagen real en el plano del retículo del segundo anteojo.

Igual camino recorrerían los rayos que incidieran en el objetivo de éste y que formarían la imagen de su retículo en el plano de los hilos del primero.

Si los dos objetivos de los dos anteojos tienen igual distancia focal y los retículos son geoméricamente iguales, se puede lograr, al colimar recíprocamente, que en el campo visual de cada uno coincidan las imágenes de los hilos con los mismos hilos y viceversa.

Si entre los dos anteojos considerados se interpo-

ne un espejo que se coloque rigurosamente en un plano normal a dicho eje, la imagen reflejada en ese espejo del respectivo retículo, se confundirá con los hilos reales del mismo, porque los rayos paralelos, al salir del objetivo, se reflejan normalmente en el espejo y recorren el mismo camino para volver reflejados al dicho objetivo, como si vinieran del infinito. Evidentemente, sólo en el caso en que la normal a la superficie plana del espejo se confunda con el eje de colimación, es posible lograr la coincidencia óptica apuntada.

Supongamos ahora, que ese espejo haga un ángulo de 45° con su posición primitiva, y que en frente del haz de rayos paralelos reflejados en él se coloque la superficie horizontal de un baño de mercurio. Evidentemente sucederá entonces que si los rayos reflejados por el espejo son verticales y llegan así normalmente a la superficie del mercurio, se reflejarán sobre esta superficie normalmente también, y llegarán al mismo espejo, recorriendo los mismos caminos verticales, para tocar de nuevo en los mismos puntos geométricos de donde procedieron.

Como el espejo hace un ángulo de 45° con el eje de colimación, según se supuso, los rayos que sufrieron una segunda reflexión en el mercurio se reflejan en el espejo, en una tercera reflexión, para llegar al objetivo del anteojo colimador según rectas rigurosamente paralelas a dicho eje. Entonces en el anteojo los hilos coincidirán con su propia imagen reflejada en el mercurio.

Pero esto no puede suceder sino en el caso en que el eje de colimación de los dos anteojos sea horizontal.

Tenemos, pues, que si se ha logrado que el eje común de colimación de los dos anteojos sea horizontal, cada vez que el espejo interpuesto entre ellos se coloca en un plano que está inclinado 45° con relación a la vertical (plano cuya intersección con el plano horizontal que pasa por dicho eje de colimación es horizontal) se logrará que la imagen de los hilos reflejada en un baño de mercurio, colocada debajo del espejo, se confunda con los mismos hilos.

Ahora, evidentemente esta coincidencia será tanto más perfecta cuanto mayor sea el poder óptico del ocular del anteojo (es decir, cuanto menor sea su distancia focal) y cuanto más grande sea la distancia focal de su objetivo.

Pero como el poder de un anteojo refractor es igual al cociente de la distancia focal de su objetivo, dividida por la distancia focal de su ocular ($m = \frac{F}{f}$) resulta que la posición del espejo en el aparato que describimos, y que hace un ángulo de 45° con la vertical, se determina tanto más perfectamente cuanto mayor sea el poder de aumento, en diámetros, del anteojo colimador.

Ahora bien: este aumento, en el caso general, tratándose de un instrumento común, crece con las dimensiones y el peso del anteojo en forma tal que se puede decir que, prácticamente, el peso del dicho anteojo crece como el cubo de m . Y esto por razón de

la resistencia de sus piezas, que para evitar flexiones y torsiones tienen que crecer en espesor al aumentar los brazos de palanca y el peso de sus diversas partes.

Pero como, en nuestro caso, el anteojo colimador se empotra en un bloque de concreto, su poder óptico, en diámetros de aumento, sólo está limitado por los valores F y f o sea, especialmente, por las condiciones de su objetivo, cuyo poder separador crece proporcionalmente con su diámetro, según la fórmula práctica de Dawes.

Naturalmente ese poder separador también influye en el grado de precisión con que se determine la coincidencia descrita atrás. Y así podemos decir que la precisión con que se nivelen el eje óptico colimador y el espejo, depende directamente del objetivo usado, por lo que toca a su distancia focal y a su poder de separación, cosas que en nuestro caso pueden crecer casi indefinidamente, como se comprende a primera vista sin dificultad.

Está claro que si este espejo puede girar 180° alrededor de su eje vertical de rotación, lo que llevamos dicho para el primer anteojo tendrá cumplida realización también para el segundo, cuando el espejo haga entonces un ángulo de 45° con la vertical. Logrando, pues, que en cada anteojo colimador la imagen de sus hilos, reflejada en el mercurio, coincida con ellos, se obtiene que el eje vertical de rotación del espejo quede rigurosamente vertical.

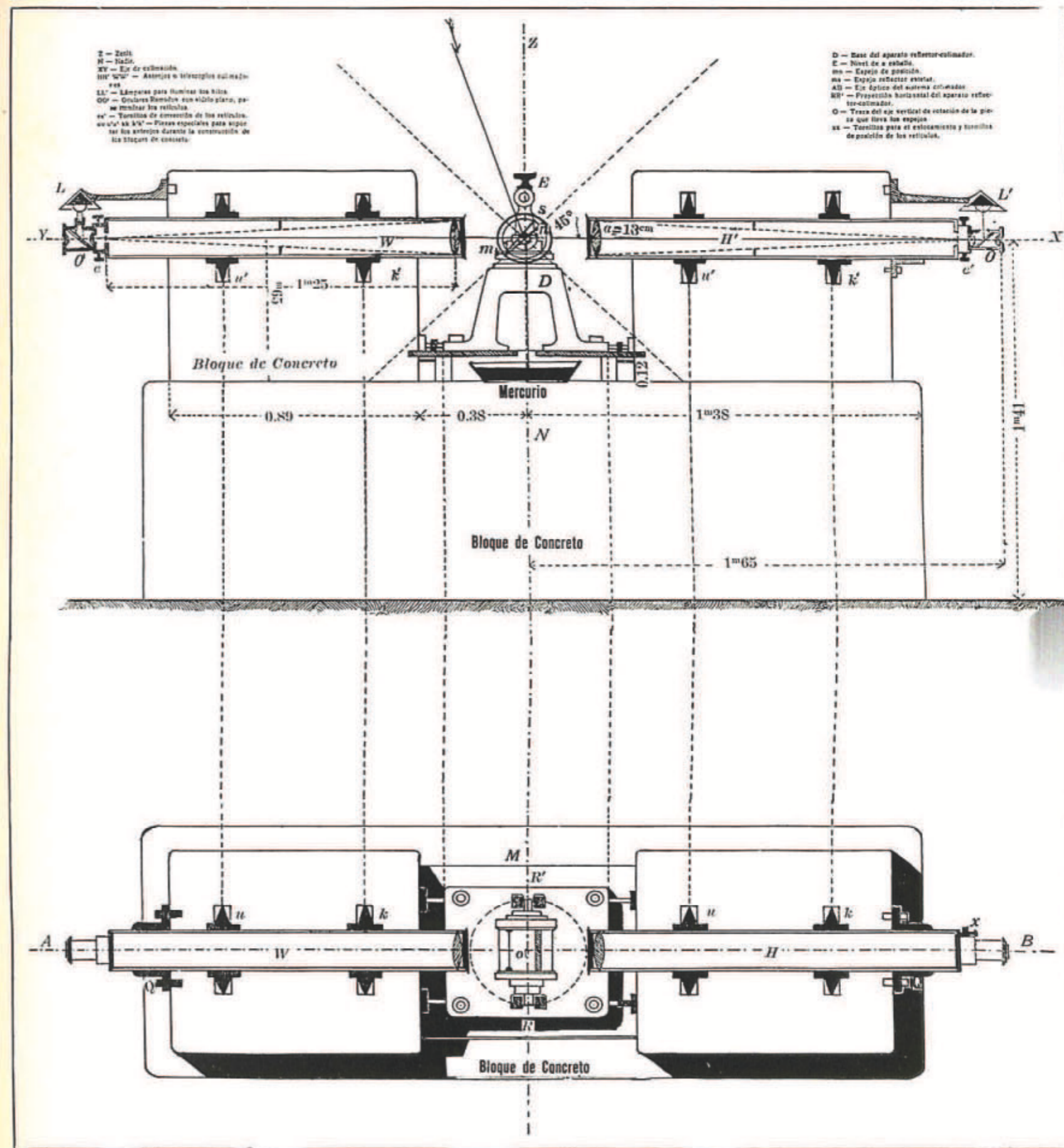
Sobre estos sencillísimos principios se funda el instrumento al cual nos referimos atrás, y que consta simplemente de una pieza cilíndrica hueca que lleva dos espejos planos articulados según un eje paralelo al eje horizontal de rotación del sistema.

Esta pieza termina en los extremos materiales de tal eje, o sea, en los muñones; y por intermedio de éstos descansa sobre dos apoyos fijos, análogos a los de un anteojo de pasos meridianos. Los centros de figura de tales apoyos deben quedar en una recta normal al plano que contenga al eje de colimación de los anteojos colimadores y a la vertical que pasa por ese eje.

Supongamos, para fijar ideas, que tal plano es el plano meridiano del lugar, y que el eje de rotación de la pieza que lleva los espejos es normal a él y tiene sus extremos este y oeste descansando sobre los apoyos dichos.

Evidentemente, si suponemos verificada la horizontalidad de ese eje por medio de un nivel de a caballo corregido, es claro que si el espejo de posición se coloca verticalmente, haciendo girar la pieza que lo sostiene sobre ese mismo eje, resulta que la coincidencia con el hilo horizontal y con su imagen reflejada, sólo indica que la normal al espejo, en el punto en que lo encuentra el eje de colimación, está situada en un plano horizontal.

Bien puede suceder que llenada esta condición no coincida el hilo vertical con su imagen reflejada por no estar el eje geométrico de rotación precisamente de este a oeste, es decir, por haber un error de acimut. Desde luego, se ve que para corregir ese error



El Bitelescopio colimador de reflexión — Aparato para usar en el Observatorio Astronómico Nacional, de Bogota, en los trabajos de precisión relacionados con los cambios de la latitud y determinaciones periódicas de la longitud — Alzada y proyección horizontal — Tanto para el método de Talcott como para la determinación de la hora deberán usarse dos instalaciones como las de la figura: la una en el meridiado; la otra en el primer vertical.

se puede obrar sobre los tornillos laterales que mueven la base del aparato sobre la cual se ajustan los apoyos a que se hizo referencia. Cuando se logre la coincidencia que se busca se tiene que el espejo es perpendicular rigurosamente al eje de colimación y que la normal a él, en el punto del encuentro de su superficie con tal eje, debe describir el plano meridiano, cuando todo el sistema que lleva los espejos gira alrededor del eje geométrico de rotación, rodando sobre sus apoyos.

Evidentemente, si el eje geométrico de rotación es horizontal, al llegar el espejo a formar un ángulo de 45° con la vertical, se presenta en el ocular del anteojo la coincidencia de los hilos del retículo con su imagen reflejada en el mercurio. Si tal coincidencia no ocurriera, querría decir que el eje geométrico de rotación no era horizontal, pues la normal al espejo no habría descrito en la rotación el plano meridiano. Entonces, para corregir ese error, bastará con mover los tornillos de nivelación de los dos apoyos, sin tener en cuenta para nada el nivel de a caballo.

Con lo dicho hasta ahora se ve claro que haciendo la coincidencia del retículo de cada anteojo con su imagen reflejada en el espejo y en el mercurio, e invirtiendo el sistema de los espejos sobre sus apoyos en cada operación, se logra que ese eje material de rotación horizontal sea horizontal y coincida con la línea este-oeste, cuando el eje colimador va precisamente de norte a sur. Ahora bien: para conseguir esto último se actuará sobre los tornillos horizontales de los retículos, observando una mira meridiana lejana, y teniendo en cuenta pasos meridianos de estrellas que culminen al norte y al sur del zenit, tal como se hace para corregir el error de azimut de un anteojo de pasos ordinarios, y procediendo por tanteos sucesivos.

Para poner horizontal el eje de colimación se procedió también por tanteos, al observar la no coincidencia del hilo horizontal del retículo con su imagen reflejada en el mercurio. Es claro que si la mitad del error se corrige con los tornillos verticales del retículo y la otra mitad con el tornillo de movimiento lento de los espejos, se puede llegar, después de cierto número de tanteos, a colocar el eje de colimación rigurosamente horizontal.

Hé aquí, pues, terminadas estas operaciones y sin necesidad de ayuda alguna de niveles de burbuja, corregido el instrumento en su conjunto y colocado así:

1º El eje óptico de colimación (determinado por la coincidencia en cada ocular de los hilos del retículo de cada anteojo con la imagen del retículo del otro) perfectamente horizontal y colocado en el plano meridiano. Desde luego, se advierte que la horizontalidad de ese eje de colimación se puede verificar a cada instante observando la coincidencia de cada retículo con su imagen reflejada en el mercurio.

2º El eje geométrico de rotación de los espejos colocado horizontalmente y perpendicularmente al pla-

no meridiano, es decir, corregidos los errores de nivel y azimut, y

3º Por último, colocado el eje propio de los espejos (su eje de articulación, como quien dice: el eje de la bisagra o charnela que ellos forman) en una posición rigurosamente paralela al eje geométrico de rotación de todo el sistema. Para lograr esto último se practican con el espejo de reflexión de las estrellas las mismas operaciones que se hicieron con el espejo de posición. Y esto formando ángulos distintos entre los dos espejos en cada serie de operaciones.

Entremos ahora a estudiar el funcionamiento del aparato en la determinación de la diferencia de distancias zenitales de dos estrellas, una norte y otra sur, de acuerdo con el método de Talcott para hallar la latitud.

Primeramente construyamos en el sector sostenido por los espejos que se articulan en forma de bisagra, un ángulo igual a la mitad de la media de las distancias zenitales de las dos estrellas, y volvamos los espejos colocándolos de manera que el espejo que va a reflejar la primera estrella quede vuelto hacia ella. En seguida, mirando por el ocular opuesto, movamos toda la pieza giratoria de los espejos hasta que se verifique la coincidencia dicha atrás entre los hilos de ese retículo y su imagen reflejada en el mercurio. Entonces el espejo de posición hará un ángulo exacto de 45° con la vertical, en tanto que el otro espejo hará otro ángulo igual, deduciendo el ángulo que se construyó en el sector que mide el ángulo de los dos espejos.

Por supuesto que estas operaciones se hicieron descansando el eje horizontal de rotación sobre sus apoyos.

Verificado lo anterior se observa por el ocular del anteojo opuesto al que sirvió para colocar el espejo de posición a 45° con la vertical, el paso de la primera estrella, y se coloca el hilo micrométrico de ese ocular de manera que lo recorra y marque exactamente el cruce por el hilo vertical. Una vez que ha pasado la estrella, se levanta la pieza de los espejos sobre sus apoyos, mediante el empleo de una palanca apropiada que la mantiene suficientemente alta para que quede libre la visual por el eje de colimación de los anteojos. En seguida se coloca el hilo micrométrico del otro ocular coincidiendo con la imagen del primero, y se lee el tambor del micrómetro.

Después de esto se hace girar a la pieza de los espejos 180° de manera que quede invertida sobre sus apoyos, y se deja descansar suavemente sobre éstos. Terminada esta operación se logra la colocación del espejo de posición a 45° exactos, observando por el primer ocular la imagen de los hilos del retículo reflejados en el mercurio y haciendo que se cumpla la coincidencia de esa imagen con los hilos, mediante el empleo del tornillo de movimiento lento vertical de la pieza giratoria de los espejos.

Entonces se espera el paso de la segunda estrella. Este paso se observa por el ocular en donde ya se había leído el tambor del micrómetro; de suerte que

es preciso mover ese tornillo micrométrico para que la segunda estrella pase por el hilo micrométrico.

Evidentemente, la diferencia de las dos lecturas micrométricas nos dará la diferencia de distancias zenitales de las dos estrellas; que era el dato que se pedía.

Hagamos ahora una descripción detallada del bitempleo de reflexión. Supongamos que se trate de dos anteojos colimadores con objetivos Zeiss de 3 lentes, de 200^{mm} de abertura y 300^{cm} de distancia focal. Estos objetivos tendrán un poder separador de 0''6, aproximadamente, en tanto que un "Bamberg" de tamaño medio sólo tendrá uno de 2''0 para una abertura de 50^{mm}. Además, para esos objetivos muy bien acromatizados, los errores debidos a aberraciones esféricas o de refrangibilidad, son mucho menores; agregándose la circunstancia favorable de que con una distancia focal del ocular de 15^{mm} (distancia muy conveniente para las condiciones medias favorables de la atmósfera en Bogotá), siendo de 300^{cm} la distancia focal del objetivo, se obtiene un poder de aumento, en diámetros, de 200.

Evidentemente, estas circunstancias tan favorables sólo se podrían obtener con instrumentos meridianos de grandes dimensiones y que pesan varias toneladas; siendo de todo punto insignificante la pérdida de luz en los espejos, pues ella no alcanza a un 15% en las peores condiciones. Con el plateado de los espejos nuevo y recién bruñido, se puede conseguir que en la reflexión no se pierda más de un 5% de la luz que viene de la estrella.

Tal consideración sirve para hacer notar que siendo tan grande el poder luminoso del objetivo, por su gran claridad de definición y su abertura superficial extensa, las condiciones con que se pueden observar en el instrumento estrellas de la 8ª y 9ª magnitud son muy favorables.

Para estos objetivos se deben emplear oculares micrométricos de posición, tales como los que fabrica la Casa Zeiss para sus objetivos de 300^{cm} de distancia focal, y que representan un excelente poder separador unido a una gran precisión en las medidas micrométricas; siendo de notar que los tornillos de posición del retículo deben ser precisos y fuertes para que la colimación perfecta se mantenga constantemente, lo mismo que los tornillos de enfocamiento que deben asegurar una posición segura del sistema ocular con relación al eje de figura del anteojo.

En cuanto a los tubos que llevan los objetivos y los oculares de los anteojos, cabe observar que pueden ser de cualquier material y elaborados de cualquier manera, pues sólo servirán para sostener esas piezas dentro de los bloques de concreto que forman un conjunto permanente y de gran rigidez.

En medio de los anteojos colimadores, así descritos, se coloca el aparato de reflexión, propiamente dicho, que constaría, en el conjunto que se expone como modelo, de dos espejos planos de superficie elíptica (eje mayor de la elipse = 285^{mm}; eje menor = 200^{mm}). Estos espejos tendrían un espesor

probable de 28^{mm} a 30^{mm} según indicaciones de la Casa Zeiss de Jena, que los fabrica, y vendrían a pesar cerca de 3 kilogramos y medio cada uno.

Así, el conjunto de los dos espejos, de vidrio plateado por su cara anterior, según el proceso de Bra-shear o el de Lundin, que garantizan un rendimiento no inferior al 90%, puede pesar cerca de 7 kilos; lo que en ninguna manera es exagerado para la parte mecánica del aparato sustentador.

Este aparato se compone, para el modelo que estamos describiendo, de dos discos de bronce de 35^{cm} de diámetro y 3^{cm} de espesor; que están separados por una distancia de 20^{cm} poco más o menos, y que se unen entre sí por dos piezas diametralmente opuestas, de forma cilíndrica, de bronce, de 3^{cm} de espesor por 4^{cm} de ancho.

El conjunto forma a manera de una jaula cilíndrica terminada por sus extremos por dos muñones de acero que integran, cada uno de ellos, un solo cuerpo con cada uno de los discos dichos.

Entre estos discos van los espejos sostenidos por armaduras también de bronce, que se articulan, como se dijo atrás, en forma de bisagra, según un eje de acero paralelo al eje de rotación de todo el conjunto, y que se apoya por sus extremos sobre dos piezas centrables que van cerca de la periferia de los discos. Una de estas piezas queda fija; la otra se puede mover por medio de cuatro tornillos de posición: dos en el sentido radial de los discos y dos tangencialmente.

Uno de los espejos —el de posición—, se deja fijo por medio de tornillos que aseguran su armadura sobre los discos, en forma tal que su cara posterior quede próximamente en un plano diametral de la jaula cilíndrica ya descrita; el otro, el reflector estelar, se apoya sobre el primero por medio de dos sectores fijos a los discos por un extremo. Uno de estos sectores tiene dientes que engranan en un tornillo sin fin especialmente adaptado para variar a voluntad el ángulo que forman los dos espejos. En este sector va una porción graduada y provista de nonio para poder construir, leyendo al minuto de arco, el ángulo que en cada observación deben formar los espejos, y que en el modelo que se describe no debe ser mayor de 15°.

Comprendida esta disposición no hay necesidad de entrar en más explicaciones para completar la descripción de todo el aparato, pues basta con hacer notar que las piezas sobre las cuales van a descansar los muñones de la caja o jaula cilíndrica ya dicha, los brazos de la palanca y la de fijación, los pies derechos de apoyo, la base general de sustentación, etc., etc., pueden ser exactamente iguales a las diversas piezas que tienen igual disposición en los instrumentos de pasos meridianos portátiles y de anteojo acodado con un prisma de reflexión total sobre el eje de rotación.

Calculando aproximadamente se puede decir que la caja o jaula cilíndrica de los espejos, con sus muñones extremos, o sea, su eje de rotación, y demás elementos dichos, no pesa más de 15 kilogramos;

siendo este peso el peso ordinario de un anteojo acodado, con su nivel Talcott, brazos de fijación, círculo de posición, etc., de un "Bamberg" de tamaño medio.

Una vez descrito, a grandes rasgos, el bitempleo de reflexión que se cree capaz de sustituir con ventaja a los grandes instrumentos meridianos de varias toneladas de peso, vamos a analizar técnicamente sus condiciones ópticas.

Según los tratados de Óptica, la constante separadora para la vista ordinaria es de 2' poco más o menos. Helmholtz llegó a suponer que esta constante o agudeza de la vista, es de 90''; pero autores más prudentes no la hacen bajar mucho del número fijado, cuando se trata de separar objetos brillantes, como dos estrellas vecinas.

De acuerdo con este punto de vista, W. R. Dawes llegó a fijar el poder separador de los objetivos astronómicos según la fórmula práctica $S = \frac{4''56}{A}$ que es el fruto de numerosas experiencias y se traduce diciéndose que S se obtiene en segundos de arco cuando A se expresa en pulgadas. De esta suerte un objetivo de 4 pulgadas 56 de abertura (116^{mm}) tiene un poder separador de 1'' y otro de 200^{mm} (7 pulgadas 87) tendrá uno de 0''58.

Ahora, relacionando el poder separador de un objetivo, que es función de su abertura, con el aumento del anteojo o telescopio en donde se emplea, T. Lewis llegó a fijar, para condiciones límites de excelencia óptica de la atmósfera, el poder de aumento de ese anteojo en 50 unidades por cada pulgada de abertura. Pero como esas condiciones nunca se presentan en un Observatorio, como el de Bogotá, en donde la proximidad de los edificios y las condiciones especiales de humedad del aire lo hacen muy movable, es prudente fijar ese aumento, a lo sumo, en 30 unidades por cada pulgada de abertura, sin aceptar la fórmula general de Lewis:

$$m = 140 \sqrt{A}.$$

Siguiendo estos principios para los objetivos de nuestro caso, de 200^{mm} (7 pulgadas 87) de abertura, se obtendría un poder de aumento de los telescopios (m) de 236 aproximadamente, o sea, en números redondos: $m = 200$, no pasando de 30 unidades por pulgada de abertura.

Con ese dato y sabiendo que estos objetivos se construyen con una distancia focal de $F = 300\text{cm}$ resulta que f la distancia focal del ocular que debe usarse para tener los mejores resultados, no debe ser inferior a 15^{mm}.

Aplicando la fórmula de Lewis se tendría un valor de $m = 392$ y saldría para la distancia focal del ocular: $f = \frac{F}{m} = 8\text{mm}$ 1; siendo de advertir que el ocular de distancia focal más corta que se construye en la práctica es de 5^{mm} (0''20), y que el límite inferior teórico de 1^{mm} (0''039), es para condiciones de luminosidad, de quietud de la atmósfera, de claridad de la imagen, etc., absolutamente irreali-

zables, y sin tener en cuenta los fenómenos de la difracción, etc.

Ahora, si se trata de saber la precisión de la medida angular que va a hacerse con este anteojo, es necesario considerar que ese ángulo está formado por dos visuales que pueden estar erradas, cada una de ellas, en la cantidad $\frac{2'}{m} = \frac{120''}{200}$. O sea que el

error total puede ser de $\frac{240}{200} = 1''2$: el doble del poder separador del objetivo. Luego, al aplicar el método de Talcott, aun empleando grandes objetivos como los de nuestro ejemplo, de 200^{mm} y de 300^{cm} de distancia focal, debe contarse, en el cómputo de la semidiferencia de las distancias zenitales, con un error posible de 0''60.

Evidentemente, lo expuesto sirve para demostrar la necesidad en las determinaciones astronómicas de gran precisión, del empleo de grandes objetivos, de distancias focales enormes, si se comparan con las aceptables para instrumentos como el "Bamberg" o el "Zenith telescope". Por ese motivo sería aconsejable un instrumento, como el bitempleo de reflexión, que permitiera, a poco costo, obtener tal resultado.

Pero la gran ventaja del bitempleo de reflexión, si el tál fuera realizable, consistiría en que en este instrumento se prescindiera totalmente de los niveles de burbuja, para sustituirlos por la reflexión de rayos luminosos sobre una superficie absolutamente horizontal, como es la de un baño u horizonte de mercurio.

Los niveles de burbuja pueden producir errores accidentales que no es dable determinar *a priori*, por las siguientes razones: 1º Porque la natural viscosidad del líquido empleado y su adherencia a las paredes del tubo, producen un retardo que no se tiene en cuenta cuando se calcula el grado de sensibilidad de la burbuja; 2º Porque es extrema la sensibilidad de la misma en lo que mira a las dilataciones irregulares del tubo por causa de diferencias de temperatura inapreciables a primera vista; y 3º Porque el tubo de vidrio que contiene el líquido y su burbuja, está dentro de un estuche metálico que se une por medio de diversas piezas con las horquetas de suspensión, piezas naturalmente dilatables en diverso grado, y que se ponen en contacto con los ejes o sistemas materiales que se va a nivelar, por medio de superficies que no son geométricas y adolecen de irregularidades imposibles de prever.

Todo esto da por resultado que las inclinaciones calculadas por medio de las lecturas de la burbuja en sus posiciones extremas, no siempre dan garantía, sobre todo cuando se trata de determinar valores muy pequeños de tales inclinaciones.

Por ese motivo el astrolabio de prisma de los señores Claude y Driencourt ha tenido tanta aplicación en los trabajos de determinación de la hora por los métodos de alturas iguales.

Evidentemente, la ventaja principal de ese instrumento consiste en el uso del horizonte de mercurio

que da siempre una superficie de referencia óptica constantemente nivelada, y que, en nuestro caso, permite obtener la vertical en dos posiciones opuestas 180° del mismo almicantarat, con el mayor rigor posible.

Estudiemos las piezas micrométricas que deben usarse en el bitemoscopio, de nuestro ejemplo, compuesto por anteojos de 200^{mm} de abertura, cuando se va a emplear en el primer vertical.

Según lo vimos, el poder separador de un objetivo de esa abertura es $S = \frac{4''56}{7 \text{ pulgadas}87} = 0''58$; y como las estrellas ecuatoriales avanzan en el campo del anteojo recorriendo 15'' en un segundo de tiempo, resulta que el tiempo que correspondiera a ese camino (0''58) sería poco diferente de 0''04. No concuerda exactamente este resultado con el que da la fórmula de Faye (1), porque no aceptamos un poder de aumento, para el objetivo del ejemplo, superior a 200, dado que empleamos un ocular de distancia focal bastante más grande que la fijada por la teoría. Así es posible creer que nos colocamos en un grado mucho mayor de precisión visual, y que bien se pudiera aceptar un error de apreciación en los contactos, con el anteojo dicho, comprendido entre 0''04 y 0''07 para cada hilo.

Pero con el micrómetro impersonal se sigue la estrella con el hilo movable que es arrastrado por un tornillo micrométrico, el cual debe recorrer un espacio real, sobre la imagen, de 15'' durante un segundo de tiempo, o sea de $d = \frac{15 \times 3000}{206.265} = 0^{\text{mm}}21$. De manera que en 0''055 media de los valores hallados con las dos apreciaciones distintas que hicimos, el tornillo micrométrico debe avanzar aproximadamente 0''001 para corresponder al poder óptico separador del objetivo, cosa que es posible lograr si se dispone de un paso de tornillo micrométrico suficientemente fino y calibrado igualmente en toda su extensión.

Todas estas consideraciones son aplicables a un bitemoscopio de dimensiones menores, pero que, naturalmente, debe perder en precisión a medida que disminuya la abertura de los objetivos empleados y su distancia focal.

En las Planch. 1ª y 2ª que ilustran esta exposición se presenta un bitemoscopio de las siguientes dimensiones: distancia focal = 1^m25; abertura = 13^{cm}; longitud total del instrumento = 3^m30.

En la plancha 1ª tenemos que *Z* es el zenit del lugar y *N* el nadir. El eje de colimación es *XY*. Los dos anteojos o telescopios colimadores son *HH'WW'*. Las lamparillas eléctricas para iluminar los retículos de los anteojos son *LL'*. Estos retículos se corri-

(1) Véase el folleto del Observatorio Astronómico Nacional: Longitud y Latitud del Observatorio de Bogotá (1935) en la página 72. Esta fórmula, para dar el error probable en tiempo, para cada contacto, en el paso meridiano de una estrella, es:

$$e = \pm \sqrt{(0''07)^2 + \left(\frac{3''2}{m \text{ sen } \delta}\right)^2}$$

En esta fórmula *m* = poder de aumento en diámetros del anteojo usado, y δ = distancia polar de la estrella.

gen con los tornillos *ee'*; y el conjunto óptico de los anteojos colimadores se completa con los oculares nadirales Ramsden: 00'.

En esta misma figura *D* es la base del aparato reflector-colimador. *E* es un nivel de a caballo. El espejo de posición es *mm*; el espejo de reflexión estelar es *ms*. En la proyección horizontal *AB* es el eje óptico del sistema colimador y *RR'* es la proyección del aparato (caja o jaula cilíndrica) del reflector-colimador. *O* es la traza del eje vertical de rotación de la pieza cilíndrica que lleva los espejos. Los tornillos para enfocamiento y posición de los retículos son *xx*. La flecha de la figura indica el rayo luminoso que viene de la estrella.

En la plancha 2ª tenemos que *OO'* es el eje de rotación que lleva las dos piezas cilíndricas *WW*. Estas placas o piezas cilíndricas se tornean juntamente con el eje *OO'* y forman con él una sola pieza giratoria. Tanto el eje de rotación *OO'* como las placas cilíndricas *WW* y las láminas *AA'* y *BB'* forman una sola pieza entera que se retorna ya armada. Las láminas cilíndricas y las placas dichas son de bronce; el eje de rotación es de acero. Las piezas de apoyo del eje de rotación son *VV*. El espejo de reflexión para las imágenes estelares es *M'N'MN* y el de posición es *M'S'MS*. El eje de rotación de los espejos es *m'm* y los tornillos de corrección de ese eje son *ee'*. El sector dentado y el tornillo sin fin para construir, al minuto de arco, el ángulo de posición de los dos espejos, están marcados en la misma figura con las letras *ss*.

Las otras piezas que aparecen en la figura 2ª pertenecen a instrumentos semejantes al bitemoscopio, y son:

R'R'—Cabeza del tornillo sin fin para el movimiento lento de los espejos. Sirve para construir el ángulo de posición.

tt'—Pieza de suspensión.

KK'—Tornillos de suspensión para corregir la nivelación del eje de rotación de la pieza giratoria.

kk'—Ruedas de la pieza *D* que se levanta con la palanca *P*.

F—Brazo para mover, con movimiento lento, la pieza giratoria que lleva los espejos.

E—Pieza cilíndrica hueca que transmite los movimientos de la palanca *P* a la pieza *D*.

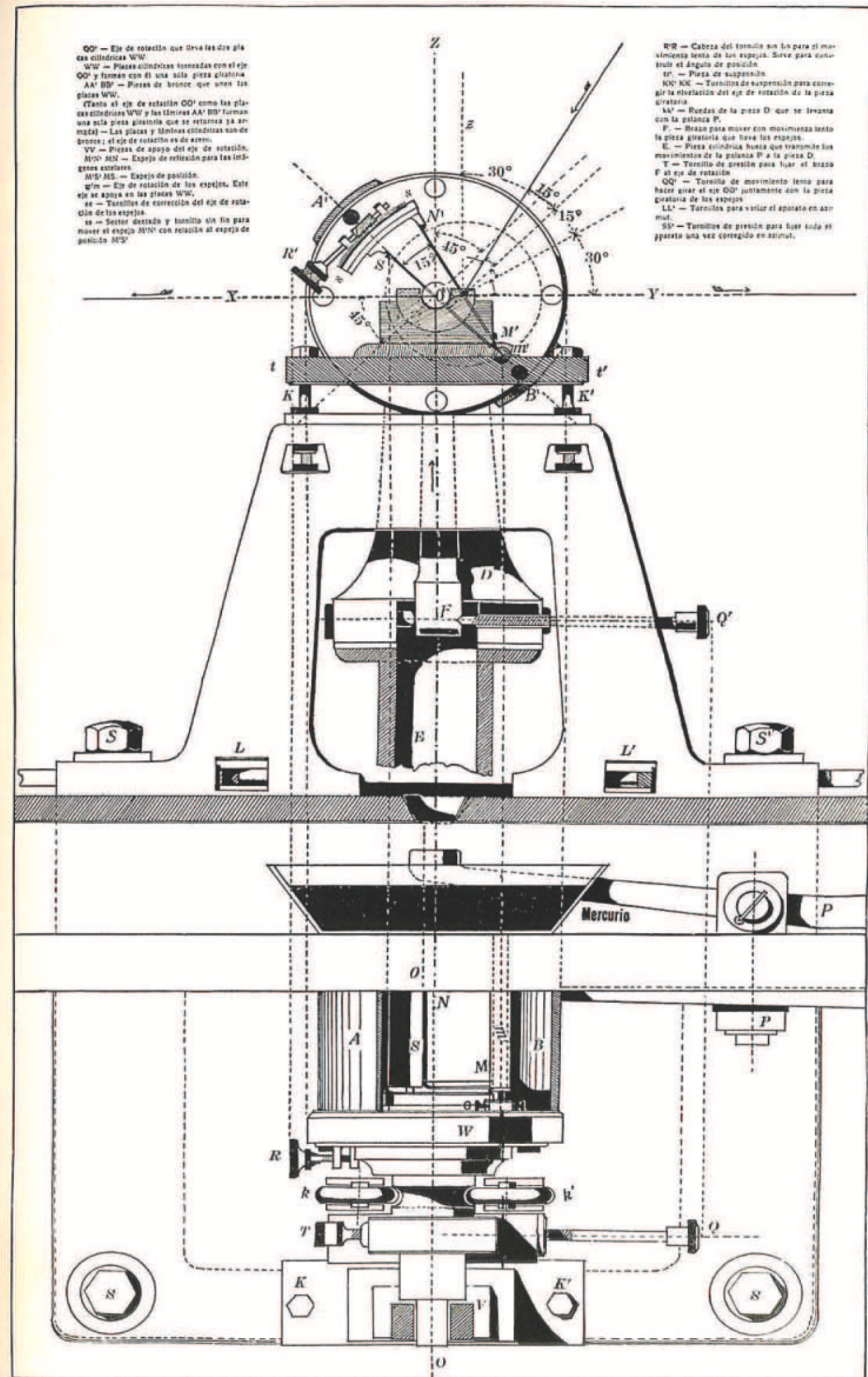
T—Tornillo de presión para fijar el brazo *F* al eje de rotación.

QQ'—Tornillo de movimiento lento para hacer girar el eje *OO'* juntamente con la pieza giratoria de los espejos.

LL'—Tornillo para variar el aparato en azimut.

SS'—Tornillos de presión para fijar todo el aparato, una vez corregido en azimut.

La figura siguiente muestra el detalle de los dos espejos: el de posición y el de reflexión estelar, proyectados para un bitemoscopio de objetivos de 200 mm. de abertura y 300 cm. de distancia focal. Estos espejos elípticos tienen un espesor determinado por los fabricantes en Jena (la Casa Zeiss & Cia.), quienes



OO'—Eje de rotación que lleva las dos piezas cilíndricas WW.
 WW—Placas cilíndricas torneadas con el eje OO' y forman con él una sola pieza giratoria.
 AA' BB'—Piezas de bronce que unen las placas WW.
 (Tanto el eje de rotación OO' como las placas cilíndricas WW y las láminas AA' BB' forman una sola pieza giratoria que se retorna ya armada).
 Las láminas y láminas cilíndricas son de bronce; el eje de rotación es de acero.
 VV—Piezas de apoyo del eje de rotación.
 M'N'MN—Espejo de reflexión para las imágenes estelares.
 M'S'MS—Espejo de posición.
 m'm—Eje de rotación de los espejos. Este eje se apoya en las placas WW.
 ee'—Tornillos de corrección del eje de rotación de los espejos.
 ss—Sector dentado y tornillo sin fin para mover el espejo M'N' con relación al espejo de posición M'S'.

R'R'—Cabeza del tornillo sin fin para el movimiento lento de los espejos. Sirve para construir el ángulo de posición.
 tt'—Pieza de suspensión.
 KK'—Tornillos de suspensión para corregir la nivelación del eje de rotación de la pieza giratoria.
 kk'—Ruedas de la pieza D que se levanta con la palanca P.
 F—Brazo para mover con movimiento lento la pieza giratoria que lleva los espejos.
 E—Pieza cilíndrica hueca que transmite los movimientos de la palanca P a la pieza D.
 T—Tornillo de presión para fijar el brazo F al eje de rotación.
 QQ'—Tornillo de movimiento lento para hacer girar el eje OO' juntamente con la pieza giratoria de los espejos.
 LL'—Tornillos para variar el aparato en azimut.
 SS'—Tornillos de presión para fijar todo el aparato una vez corregido en azimut.

EL BITELESCOPIO COLIMADOR DE REFLEXION

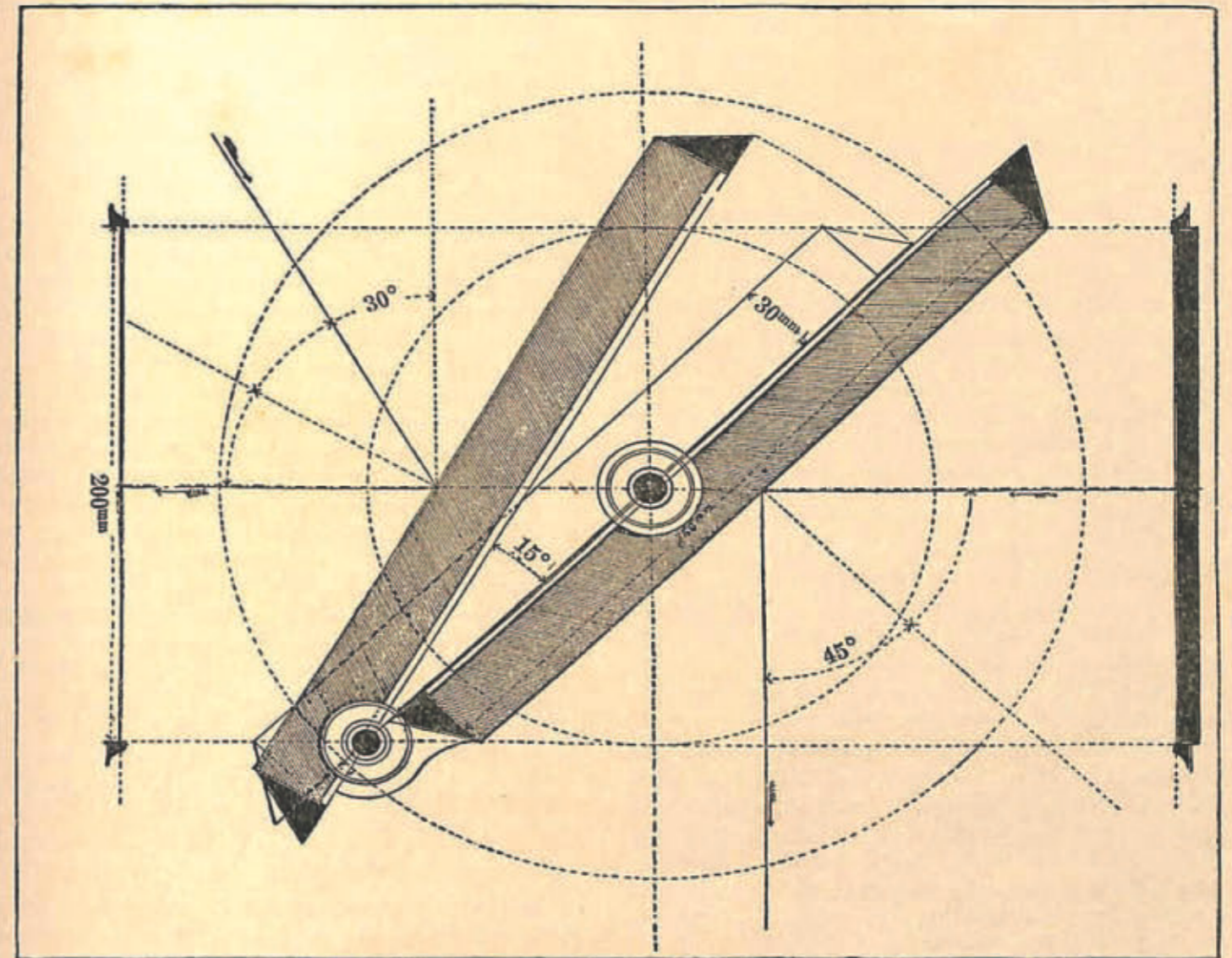
Aparato reversible de los espejos. Este aparato forma parte del conjunto que figura en la Plancha I. En sus partes esenciales este instrumento es especial para el Bitemoscopio; pero en sus órganos generales mecánicos de funcionamiento es semejante a un anteojo de pasos tipo "Bamberg".

los construyen de tales tamaños, para telescopios y refractores acodados, como el clásico de Foucault.

Hé aquí descrito, a grandes rasgos, el bitelescopio colimador de reflexión, que se ha ideado con el propósito de facilitar al Observatorio de Bogotá la adquisición de instrumentos relativamente poco costo-

compromiso de colaborar en esos trabajos mundiales, tal como lo ha hecho implícitamente este Observatorio de Bogotá.

No está por demás advertir que *puede no ser realizable este instrumento*, aquí descrito, y que aun siendo realizable *puede haber sido ya inventado* en



El Bitelescopio colimador de reflexión.—Detalle de la pieza de los espejos, para anteojos de 200 mm. de apertura y 300 cm. de distancia focal. Espejos de posición y de reflexión estelar de: $a = 385$ mm., $b = 200$ mm.—Estos espejos deben tener el espesor indicado en la figura; son de forma ovalada o elíptica y su plateado deberá hacerse con especial esmero.

ros y que sean capaces de ejecutar las operaciones de latitud y longitud con la precisión con que ello puede hacerse en los grandes Observatorios, precisión que la Comisión Internacional de las Longitudes y la Asociación Geodésica y Geofísica Internacional exigen a las entidades que han contraído el

otra parte, pues lo que se ha querido, al idearlo, es presentar una colaboración al Observatorio de Bogotá, de carácter personalmente original y con miras al desarrollo futuro de este Establecimiento; y eso, naturalmente, sin pretensiones de ninguna especie.