

MF/B/BT-4

ERNESTO SABATO

COMO CONSTRUI
UN TELESCOPIO
DE 8 PULGADAS
DE ABERTURA

EDICION ILUSTRADA
Y
PUBLICADA POR LA



ORGANO BIMESTRAL DE LA

ASOCIACION ARGENTINA "AMIGOS DE LA ASTRONOMIA"

BUENOS AIRES

Precio \$ 1.-

ERNESTO SABATO *u Roberto*

Di rimembranza, affettuosamente

COMO CONSTRUI
UN TELESCOPIO
DE 8 PULGADAS
DE ABERTURA

CON UN PROLOGO
DEL
Dr. ENRIQUE GAVIOLA

●
EDICION ILUSTRADA
Y
PUBLICADA POR LA



ORGANO BIMESTRAL DE LA

ASOCIACION ARGENTINA "AMIGOS DE LA ASTRONOMIA"

BUENOS AIRES



ORGANO BIMESTRAL DE LA
ASOCIACION ARGENTINA
"AMIGOS DE LA ASTRONOMIA"

HECHO EL REGISTRO DE PROPIEDAD
INTELLECTUAL. LEY 11.723
RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

CASA IMPRESORA
CORLETTA & CASTRO
PARAGUAY 563
Bs. As

A MANERA DE PROLOGO
Una carta del Dr. Enrique Gaviola

Sr. D. Angel Pegoraro,

Director de la REVISTA ASTRONÓMICA.

Estimado amigo:

El problema de escribir el contenido de la conferencia que sobre el tema: "La construcción de telescopios por el aficionado" tuviera el placer de pronunciar el 29 de diciembre último, para los "Amigos de la Astronomía", o, por lo menos, un resumen de la misma, es de difícil solución. En la conferencia, a pesar de que abusé de la paciencia del auditorio, no pude sino tocar algunos aspectos del tema. Si tratara de redactarla "in extenso", tendría que llenar muchas lagunas, y el resultado sería un libro sobre la materia. Tengo el deseo y la intención de escribirlo, pero más adelante. Aún no tengo suficiente experiencia personal sobre el arte — o la técnica — de hacer telescopios. En lo que va desde la conferencia hasta ahora, mis amigos el Dr. Ernesto Sabato, y los estudiantes señores Adolfo Iglesias y Ricardo Platzek han terminado sendos espejos parabólicos de 20 centímetros de diámetro. Los dos primeros han construido ya sus respectivos montajes ecuatoriales, plateado los espejos y observado cuerpos celestes y terrestres. Yo he refigurado mi espejo parabólico de Pyrex de 15 cm. y acabo de terminar uno de 20 cm., parabólico, bueno al centésimo de longitud de onda. Aunque suene a cosa difícil, es fácil hacerlo: lo fundamental e indispensable es un aparato de Foucault con una fuente de luz ("estrella artificial") suficientemente intensa y concentrada; una ranura, paralela a la cuchilla, de algo así como 1 mm. de altura y menos de 0,1 mm. de ancho, y un tornillo que permita medir las diferencias entre los radios de curvatura de las diferentes zonas con

una precisión de no más de 3 ó 4 centésimas de milímetro. Si el espejo ha de terminarse "sólo" al décimo de longitud de onda, la ranura puede tener 0,1 mm., o algo más, de ancho, y las diferencias de radios de curvatura zonales no necesitan ser medidas con precisión mayor de 0,1 mm. Pero el aparato de Foucault me ha hecho perder el hilo de mi discurso: se trataba de justificar, amigo Pegoraro, el que, siguiendo la línea de menor resistencia, yo le haya pedido al colega Sabato que escriba una descripción de cómo él construyó su telescopio, descripción que le ruego a usted acepte en lugar del prometido resumen de mi conferencia. Los "Amigos de la Astronomía" saldrán ganando con el cambio: en lugar de una disquisición abstracta sobre métodos de esmerilar, pulir, figurar, etc., tendrán así una descripción concreta de cómo un aficionado construyó su primer telescopio reflector. La exposición del colega Sabato es lo suficientemente amplia para que, siguiéndola, otros "Amigos" puedan hacer sus anteojos sin tropiezos. Si los tuvieran, yo tendría placer en recibir consultas al respecto y contestarlas. Eso sí, las consultas deben ser de aficionados que, por lo menos, ya hayan empezado a rascar el vidrio con Carborundum N° 40, y sobre puntos concretos.

Permítaseme que agregue un consejo final para los numerosos "Amigos" que empezarán a construirse sus telescopios en cuanto lean este número de la REVISTA: *No intenten parabolizar el espejo si no tienen un aparato de Foucault que les permita medir las diferencias de radios de curvatura con una exactitud siquiera de medio milímetro; déjenlos esféricos y úsenlos esféricos en el telescopio; olvídense de la parábola, hasta disponer del aparato de Foucault adecuado.* Si la distancia focal elegida no es muy corta, no notarán diferencias en el trabajo, o placer de observación.

Cordialmente

Enrique Gaviola.

La Plata. mayo 8 de 1937.

PROLOGO DEL AUTOR

La dirección de la REVISTA ASTRONÓMICA ha querido reunir, en un pequeño folleto, las dos partes del artículo que escribiera para la misma, sobre la construcción de un telescopio reflector.

Nada esencial tengo que agregar a lo ya hecho. Solamente deseo hacer destacar que la fabricación de un telescopio a espejos, puede ser realizada aún por personas que desconocen en absoluto las matemáticas, la física y la astronomía. En ese caso, puede suprimirse totalmente el trabajo de parabolizado, contentándose con dejar al espejo grande en la forma esférica; se ahorrarán con ello todas las fórmulas que aparecen en la Segunda Parte, amén de la construcción de un aparato de Foucault. Asimismo, en lo que atañe al espejuelo plano o diagonal, bastará que lo recorten de un pedazo cualquiera de parabrisas de automóvil, sin someterlo a ninguna clase de control. Por último, el montaje que muestra la figura 32, se construye con unas cuantas maderas y algunos tornillos. De esta manera, cualquier persona puede llegar a poseer un telescopio que, aún no siendo ópticamente perfecto, le permitirá observar la Luna, el Sol y las nebulosas más notables del cielo, en forma verdaderamente espléndida, sirviéndole además como un excelente largavista para objetos terrestres.

E. S.

La Plata, septiembre de 1937.

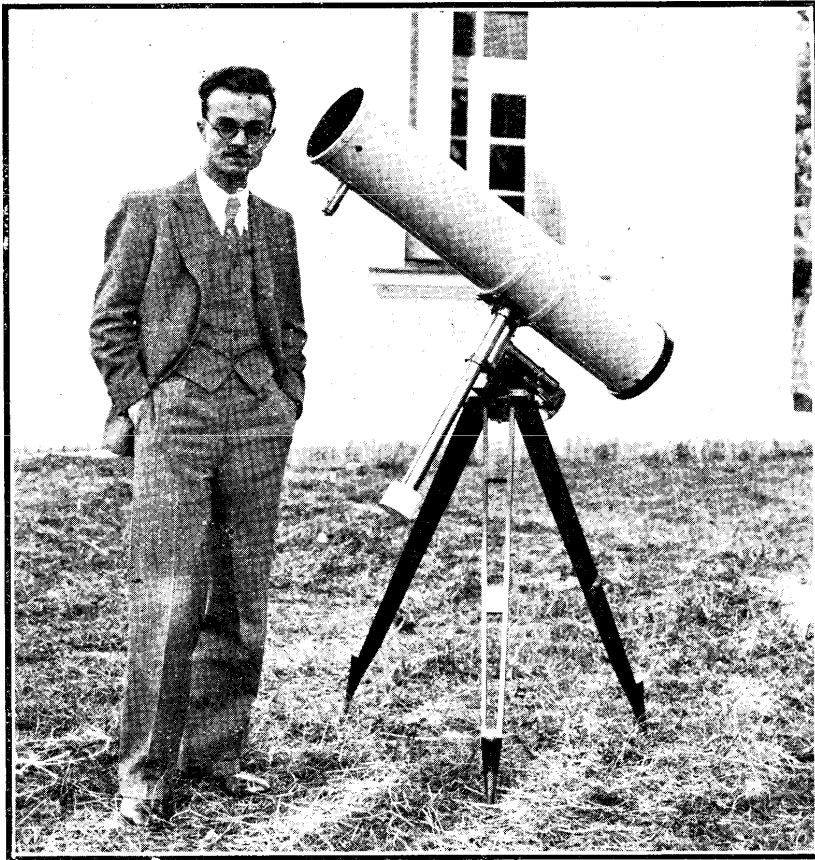


Fig. 1.—El autor junto a su telescopio.

PRIMERA PARTE

Esmerilado y pulido del espejo

INSTALACION. — Antes que nada adquirí en una ferretería naval dos discos de vidrio, conocidos comunmente bajo el nombre de “ojos de bucy” de 20 centímetros de diámetro; uno de ellos era el destinado a futuro espejo y tenía de espesor $1/8$ de su diámetro, a fin de que no sufriera fáciles deformaciones, una vez en uso. El otro de 1 centímetro de espesor sería el destinado a “herramienta”.

Luego torneé un bloque circular de madera de 20 centímetros de diámetro y 1 pulgada de espesor; encima de él coloqué un disco del mismo diámetro de goma esponja, para lograr así un asiento uniforme de la herramienta; la goma esponja iba recubierta por un disco de hule de unos 25 centímetros de diámetro, disco que fijé fuertemente con un piolín sobre el canto del bloque de madera. Pi-

nalmente, encima de todo puse el disco de vidrio destinado a herramienta y a los efectos de que durante el trabajo no sufriese desplazamientos laterales coloqué unos topes, fijos al disco de madera. En la figura 2 puede observarse la disposición de estos elementos. Co-

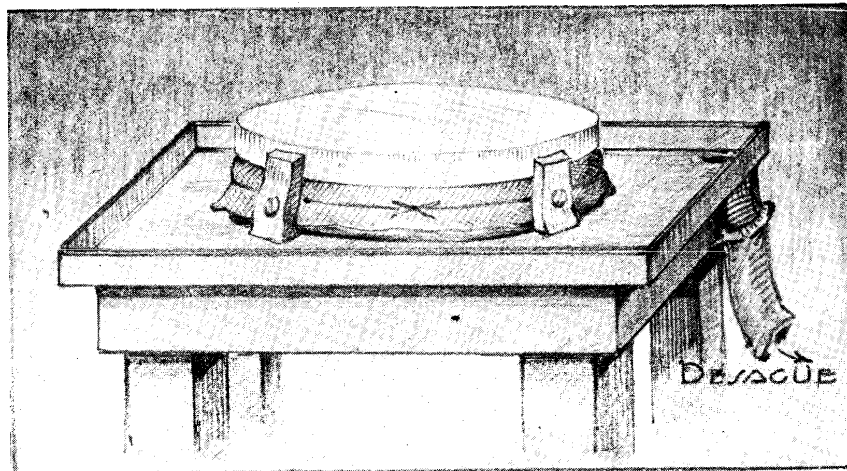


Fig. 2.—La herramienta para esmerilar, su soporte y la mesa de trabajo.

mo puede verse, el todo iba colocado encima de una asadera, de borde bajo, con desagüe, lo cual permitía hacer rápidos y cómodos lavajes. La mesita, que servía de base, era del tamaño aproximado de una mesita de luz, con el objeto de que pudieran realizarse libremente los movimientos que detallaré más adelante. Para poder trabajar con el espejo en forma cómoda y conveniente, por muchos

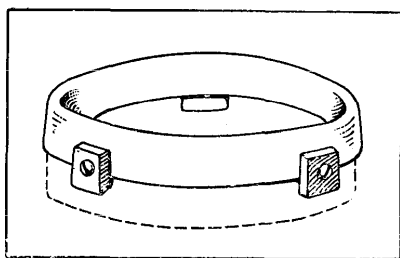


Fig. 3.—La manija para guiar el espejo.

conceptos, usaba para manejar el espejo una manija de madera, circular, con unos topes que permitían guiar el bloque de vidrio (figura 3).

ESMERILADO. — En estas condiciones comencé el trabajo de esmerilado procediendo en la siguiente forma: sobre la herramienta eché una cucharadita de carborundo N° 40 (*), agregué un poco de agua, coloqué encima el bloque de vidrio destinado a espejo, en la forma que indica la figu-

(*) Los abrasivos Carborundum se consiguen en la "Carborundum Company" Belgrano 964, Bs. As., en paquetes de 1 libra a \$ 1.— c/u. o en cantidades de 10 libras a \$ 0.80 la libra. Con una libra de cada grado (40, 120, 280, F, FF y FFF) hay suficiente para varios espejos.

ra 4 ("centro casi sobre borde") e inicié un triple movimiento de este tipo:

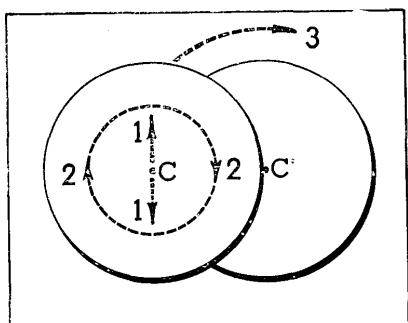


Fig. 4.—Los tres movimientos fundamentales al empezar a esmerilar.

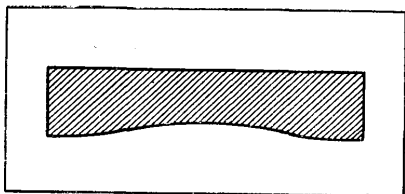


Fig. 5.—Como se desgasta el espejo con los movimientos de la figura anterior.

- 1º Un movimiento oscilatorio (flechas 1),
- 2º Un lento movimiento de rotación alrededor del centro C del espejo (flechas 2),
- 3º Un lento movimiento de todo el espejo alrededor de C' (flecha 3), para lo cual era necesario ir caminando alrededor de la mesita.

Los movimientos 2 y 3, si no son efectuados con velocidades angulares muy diferentes, es necesario que sean hechos en el mismo sentido.

Estos tres movimientos eran simultáneos, lo que no es tan difícil de lograr como parece, pues ellos terminan por hacerse en forma completamente mecánica. Estos desplazamientos hacen que el espejo vaya gastándose preferentemente en la parte central y la

herramienta en los bordes, de manera que existe la tendencia a formar en el espejo una superficie del tipo que indica la figura 5.

Proseguí este movimiento durante unos cinco minutos, lapso que se denomina en la jerga del ramo "una mojada". Al cabo de este tiempo el grano de carborundo está completamente molido y es inútil seguir trabajando. Una vez concluída la mojada saqué el espejo, coloqué otra cucharadita de carborundo N° 40 y repetí el triple movimiento pero con la siguiente variante: en vez de colocar el centro C del espejo sobre el borde de la herramienta lo puse sobre el centro C' de la misma (lo que se llama "carrera centro sobre centro" o "carrera normal", en contraposición de la anterior que se denomina "carrera con desplazamiento"). Debo agregar que la amplitud total (de extremo a extremo) del movimiento que indican las flechas 1 era de unos siete centímetros, es decir de $1/3$ del diámetro.

En contra de lo que pasa con la carrera desplazada, la carrera

normal tiende a formar una superficie esférica convexa en la herramienta y otra cóncava y del mismo radio en el espejo, ya que solamente dos superficies esféricas del mismo radio son capaces de mantener el contacto en todos sus puntos cuando se realiza el triple movimiento que caracteriza a la carrera normal.

Después de haber completado una mojada en estas condiciones, realicé nuevamente otra con desplazamiento y así alternativamente hasta obtener la curvatura deseada.

La razón de usar dos tipos distintos de carrera es la siguiente: con el primero se obtiene rápidos avances, pero en cambio la superficie no es esférica, como es necesario; con el segundo, se obtienen superficies esféricas, pero en cambio se progresa lentamente. Una combinación de ambos es entonces lo recomendable, aunque, por supuesto, podría utilizarse únicamente el segundo tipo si no se tuviera apremio.

Proseguí con este trabajo durante una hora, al cabo de la cual decidí ver si ya tenía la curvatura deseada que correspondía a un radio de 240 centímetros (*). Para ello coloqué el espejo de canto sobre una mesa, lo mojé bien para que la superficie esmerilada pudiese reflejar la luz y me situé enfrente de su cara cóncava, a unos 3 metros de distancia, provisto de una linterna encendida que coloqué a la misma altura del espejo y al lado del ojo. Si moviendo la linterna hacia la derecha la imagen se desplaza en el mismo sentido, entonces estamos dentro del centro de curvatura O del espejo (fig. 6); si en cambio la imagen se mueve hacia la izquierda, esta-

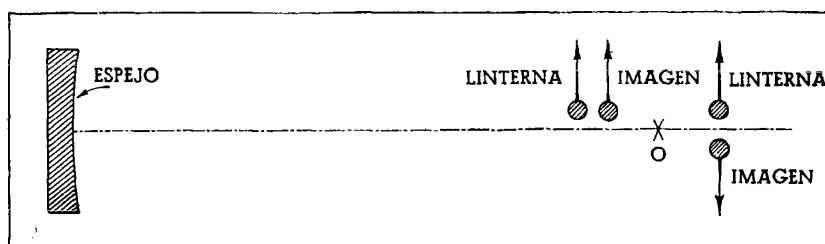


Fig. 6.—Determinación del centro de curvatura del espejo esmerilado, mojando su cara.

mos fuera del centro de curvatura. De esta manera podemos definir con suficiente aproximación la posición del mismo. Constaté así de que todavía me faltaba algo para lograr mi objetivo: el radio era

(*) En ese caso la distancia focal es, como se sabe, 120 centímetros, o sea 6 veces el diámetro del espejo. Un espejo de estas características se denomina $f/6$.

superior a 240 centímetros. Después de una hora y media de trabajo con el 40, obtuve un radio de aproximadamente 230 centímetros. Con esto cesó la labor con el 40, pues el carborundo más grueso tiene por objeto dar la curvatura deseada; los otros números no varían sensiblemente la misma y sólo cumplen con el cometido de ir borrando los surcos dejados por los anteriores.

Antes de pasar al segundo carborundo (Nº 120) hice un cuidadoso lavado con manguera de todas las partes de la instalación, con el fin de que no quedase algún grano del 40, que pudiera dar un disgusto en las operaciones ulteriores. Este lavado, por otra parte, lo hice al terminar con cada número de carborundo.

Una vez hecho el lavado comencé el trabajo con el Nº 120, procediendo siempre por mojadadas de unos cinco minutos. La carrera ahora era siempre normal, es decir, centro sobre centro y con movimientos de un tercio, ya que ahora no hay que cambiar la forma del espejo sino simplemente alisarlo. Después de trabajar una hora con el 120, lavé nuevamente y pasé al 220, F, FF, FFF, una hora con cada uno.

Es oportuno decir que mantuve siempre los bordes del espejo y de la herramienta con un pequeño bisel, que hacía con una piedra de esmeril a mano, con el objeto de evitar la rotura de pequeños trozos de vidrio de los bordes, que pudieran deslizarse en la superficie de frotación y provocar rayas considerables.

ESMERILADO FINO. — El esmerilado con el carborundo FFF no ofrece aún una superficie suficientemente fina como para empezar a pulir. Es necesario trabajarla todavía con polvos de esmeril. Yo lo hice durante una hora con el 302 y durante otra con el 303½ de la "American Optical Co." (Viamonte 758, Bs. Aires).

Los polvos de esmeril no se usan tales como vienen de fábrica, sino que es necesario prepararlos de la siguiente manera: se echan unas cuantas cucharadas en un frasco de ¼ litro que se llena de agua; se agita bien, se deja descansar unos diez segundos y se vierte el líquido con el esmeril en suspensión (cuidando de no perturbar el sedimento de esmeril grueso y sustancias extrañas que quedan en el fondo) en otro frasco de boca ancha. Esta mezcla es la que debe usarse, pero con el fin de que sea un poco más espesa se deja descansar durante una hora y se tira luego la mayor parte del agua que resta, dejando una suspensión tan espesa como leche condensada.

Con los esmeriles procedí, por lo demás en general, exactamente igual que con los carborundos.

Después de trabajar una hora con cada esmeril tuve la seguridad de que la superficie estaba en condiciones de pulido. Una regla empírica que permite discernir si el espejo está realmente en condiciones de ser pulido, es la siguiente: se coloca un diario en la mesa y se lo observa a través del espejo; si es posible observar a una pulgada de distancia letras relativamente grandes, entonces el espejo está suficientemente preparado. Se entiende que no es el caso de contentarse con algún titular de los modernos diarios vespertinos, es necesario ver letras de un tamaño decente, p. ej., cuerpo 18.

Como el borde del espejo, en general, se come menos que el centro, resulta que mientras la parte central está ya apta para ser pulida, el borde puede estar considerablemente retrasado. Para evitar esto en las últimas etapas de esmeril fino hacia una mojada con la herramienta abajo y otra con la herramienta arriba, alternativamente.

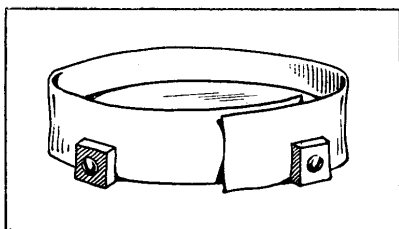


Fig. 7.—La herramienta preparada para recibir la brea y transformarse en herramienta de pulir.

derretida hasta formar una capa de unos tres milímetros (*); cuando ya se había endurecido un poco, mojé bien el espejo (la brea no se pega en vidrio húmedo) y lo puse encima de la herramienta apretando con fuerza para que la capa de brea adquiriese la forma del vidrio.

Luego determiné el centro de la

PULIDO. — Después de hacer una cuidadosa limpieza, sequé bien la herramienta y la rodeé con una cinta de papel dejando un reborde de un centímetro (fig. 7). Inmediatamente vertí brea

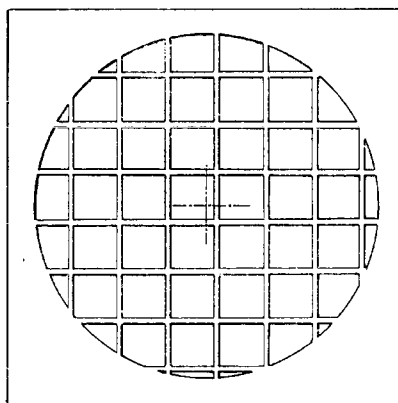


Fig. 8.—La herramienta de pulir terminada, con la brea cortada en pancitos.

(*) La brea no debe ser cuando está fría, ni demasiado dura ni demasiado blanda; apenas debe podérsela rayar con las uñas. Si es excesivamente blanda, puede endurecérsela hirviéndola hasta que, enfriada, tenga la consistencia deseada. Conviene hervir al aire libre, pues los vapores que se desprenden son tóxicos. Si es excesivamente dura (lo cual será raro) puede ablandársela agregando 5 a 10 % de cera de abejas o una cucharadita de aguarrás.

herramienta y tracé un cuadrículado de unos tres centímetros de lado en la forma que indica la fig. 8, cuidando de que el centro no coincidiese ni con un cruce de líneas ni con el punto central de uno de los cuadritos. Inmediatamente,

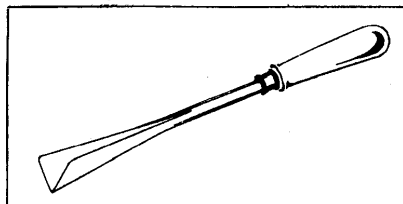


Fig. 9.—El “arado” para abrir los zurcos de la herramienta de brea.

provisto del instrumento que muestra la fig. 9, (que el doctor Gaviola ha bautizado con el nombre de “arado”) y siguiendo el trazado de las líneas construí canales que hacía llegar hasta el vidrio. El objeto de estos canales es el siguiente:

1º Permitir un contacto más perfecto entre espejo y herramienta, facilitando el achatamiento de aquellas zonas que eventualmente pudieran estar levantadas respecto a las restantes.

2º Facilitar la libre circulación del “rouge” en toda la herramienta, lo que asegura un pulido más uniforme.

La razón de que el centro de la herramienta no deba caer en una esquina ni en el centro de uno de los pancitos de brea, es evitar que durante el pulido se produzca en el centro del espejo una zona menos pulida (y por lo tanto levantada) o más pulida (y por lo tanto deprimida), y otras zonas circulares en el resto de la superficie.

Una vez hechos los canales, calenté la herramienta en bañomaría hasta unos 60 grados, para que la brea se ablandase un poco, la puse nuevamente en su lugar y, colocando el espejo encima, apreté enérgicamente para que los pancitos se adaptasen perfectamente a la forma de aquél. Esta operación la repetí hasta lograr un contacto perfecto, rehaciendo los canales cada vez que se habían estrechado demasiado. Finalmente, una vez bien logrado el contacto y enfriada la brea, la mojé bien y dejé descansar sobre ella el espejo en frío. Para darle tiempo a lograr un buen asiento me fuí a tomar el té y luego de una hora volví con fuerzas y ánimo como para liquidar el pulido antes de la cena.

Para que el contacto entre espejo y herramienta de brea sea perfecto — condición fundamental para un buen terminado de la superficie — es necesario, cada vez que se reasume el pulido o parabolizado, dejar asentar el espejo sobre la brea en frío, durante una o varias horas. Se evita que el vidrio se adhiera a la brea, mojando bien ésta y cubriéndola con una buena capa de “rouge”. Si se deja

el espejo encima de la herramienta más de cuatro o cinco horas, es prudente substituir el agua por glicerina y agua (50-50) o por agua con jabón.

Después de haber cumplido con estos requisitos comencé el pulido. Usé para ello el "rouge" o "rojo de joyero" que preparé por decantación en la misma forma que los esmeriles, pero dejando descansar 20 segundos en vez de 10. Procedí por mojadadas de cinco minutos y carrera normal de un tercio. Después de seis horas de pulido verifiqué por medio de una lupa que la superficie ofrecía un aspecto satisfactorio. Solamente se veían dos pequeñas rayas muy poco profundas cercanas al borde, que seguramente fueron causadas por algún trozo de vidrio desprendido del borde.

Antes de finalizar esta primera parte, me parece conveniente decir dos palabras sobre lo que se llama "borde rebajado"; posiblemente se deba fundamentalmente a las dos razones siguientes:

- 1º Capa de brea demasiado gruesa y
- 2º Demasiado blanda.

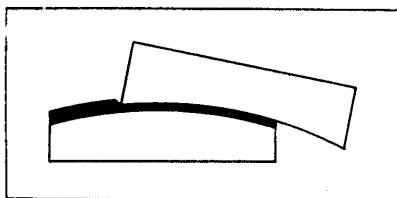


Fig. 10.—Origen del borde rebajado, el "cuco" de los antiguos hacedores de espejos.

En esas condiciones, al hacer la carrera, se produce el fenómeno que muestra la fig. 10 en forma exagerada: la brea levantada delante del espejo tiende a comer el borde del mismo. Es por ello que no es recomendable el uso de una capa gruesa y blanda de brea. En mi caso, no he sufrido en ningún momento el fenómeno del borde

rebajado, lo que atribuyo a que era suficientemente dura y a que no tenía mucho más de un milímetro de espesor, después de haber sufrido las compresiones a que hice referencia.

SEGUNDA PARTE

Parabolizado

EXAMEN DEL ESPEJO ESFERICO. — Una vez finalizada la operación de pulido es necesario comprobar si el espejo es realmente esférico. Para ello me he valido del conocido método de Foucault, del cual haré una breve reseña (*).

Sea O el centro de curvatura del espejo (fig. 11 a). Si a la derecha del eje óptico OC existe una fuente puntual de luz que puede ser dada por una lámpara y una rendija R , el espejo forma-

(*) Ver, por ejemplo, Ronchi: "La prova dei sistemi ottici".

rá su imagen en un cierto punto R' . Si coloco el ojo poco detrás del punto R' , veré todo el disco del espejo uniformemente iluminado. Si

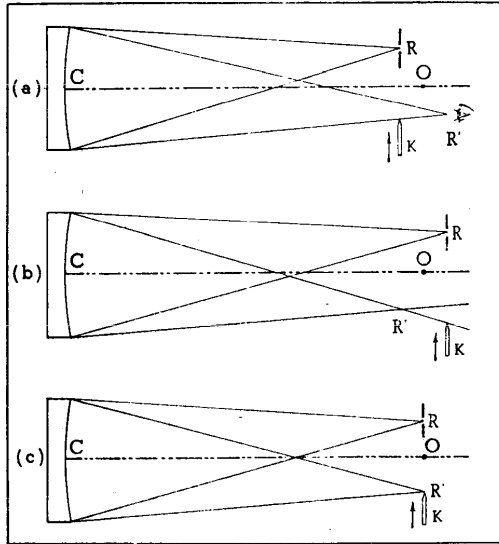


Fig. 11.—Explicación de las sombras que se ven con el aparato de Foucault.

ahora hago avanzar de izquierda a derecha una cuchilla K , que esté en el plano de la rendija, hasta cortar el cono de luz reflejada, pueden suceder tres casos:

1º Si la rendija está en una posición tal como indica la figura 11 a, es decir, más adentro que el centro de curvatura O , entonces, mientras la cuchilla avanza de izquierda a derecha, el ojo percibirá una sombra que va cubriendo la superficie iluminada del espejo,

también de izquierda a derecha.

2º Si, en cambio, la rendija está fuera del centro de curvatura (fig. 11 b), la sombra avanzará de derecha a izquierda, debido a que la cuchilla corta ahora el cono de luz después del entrecruzamiento de los rayos.

3º Si, por último, la rendija está en el mismo plano O (fig. 11 c), entonces, al avanzar la cuchilla, la luz de la superficie observada se extinguirá simultánea y uniformemente en todos los puntos, si el espejo es rigurosamente esférico.

Supongamos, en cambio, que el espejo no tiene completamente esa forma, sino que presenta una zona anular levantada, tal como lo muestra en corte la figura 12. En tal caso, mientras la parte esférica del espejo da una imagen de la rendija R en R' , resulta que rayos tales como los punteados dan una imagen en R'' .

¿Qué consecuencia trae eso? Es evidente que cuando la cuchilla lle-

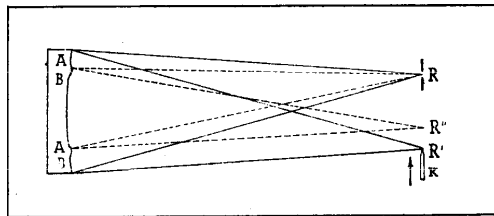


Fig. 12.—Por qué una zona levantada aparece como en la figura 13.

que al punto R' provocará el obscurecimiento de todo el disco, con excepción de los bordes AA del anillo que miran hacia la derecha,

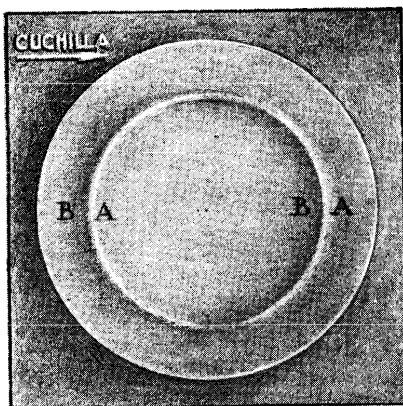


Fig. 13.—Aspecto de una zona levantada, observada por el método de Foucault.

debido a que la luz que incide en esos puntos se concentra en R'' , punto que no es alcanzado aún por la cuchilla. Por análogas razones, los puntos BB aparecerán más oscuros que el resto del disco. En suma, el aspecto que presentará éste es el que ofrece la figura 13.

Para hacer esta clase de observaciones yo he usado el aparato que muestra la fotografía fig. 14 y que ha sido construido en el Observatorio Astronómico de La Plata, por el señor Gregorio Plotnikoff, según indicaciones del Dr. Gaviola. El tornillo T_1 permite los movimientos laterales de la cuchilla y el T_2 los longitudinales. Puede observarse también que la lámpara no está detrás mismo de la rendija, sino que, para evitar diversos inconvenientes, se halla a un costado, a unos quince centímetros de ella, siendo su luz reconducida a la rendija por un sistema óptico adecuado. Es evidente que la sensibilidad del método se hace tanto mayor cuanto más angosta sea la rendija; pero por otro lado, si la rendija es circular, eso trae como consecuencia la disminución de la intensidad luminosa. Para evitar este inconveniente, se la ha hecho en forma rectangular dándole 0.04 milímetros de ancho y una altura de 1 milímetro; la altura contribuye a aumentar la intensidad, mientras que el pequeño ancho asegura una gran sensibilidad.

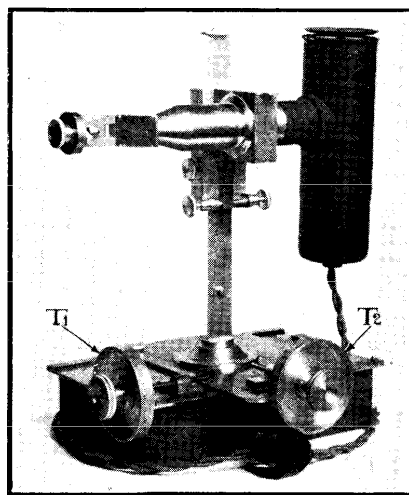


Fig. 14.—Aparato para aplicar el método de Foucault.

El examen de mi espejo reveló que era rigurosamente esférico y con un radio de curvatura de 225 centímetros.

ESFERA Y PARABOLOIDE. — Es sabido que si sobre un espejo esférico inciden rayos paralelos al eje *OC* (por ejemplo,

los que provienen de una estrella) no se encuentran en un punto, sino que hay toda una zona focal (fig. 15 a). Este fenómeno, que es lo que se denomina “aberración esférica”, es causa de una imagen defectuosa.

En cambio, un espejo parabólico está exento de aberración (fig. 15 b), por lo cual es preferible al esférico.

De acuerdo con esto, el espejo obtenido en las operaciones preliminares, debe ser sometido al trabajo

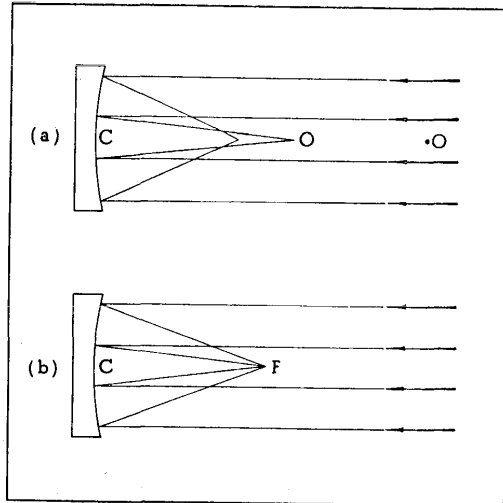


Fig. 15.—a) Aberración de un espejo esférico (exagerado). b) Espejo parabólico.

de “parabolizado” que es, fuera de toda duda, la parte más difícil de todas. Para ello es necesario “cavar” el espejo hasta pasar de la curva esférica *E* a la de una parábola tal como la *P* (fig. 16); para hacerse una idea de lo delicado de esta operación, hay que tener en cuenta que el espesor que hay que cavar en el centro del espejo es:

$$\tau = \frac{d^4}{1024 f^3}$$

en la que *d* es igual al diámetro del espejo y *f* es igual a la distancia focal.

En el caso de nuestro espejo, siendo *f* = 112,5 centímetros y *d* = 20 cm. resulta como valor aproximado de τ , 1 micrón (*) (cerca de dos longitudes de onda).

Esto, en lo atinente a las diferencias altimétricas de las dos curvas.

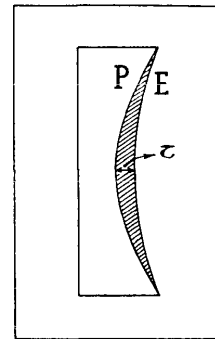
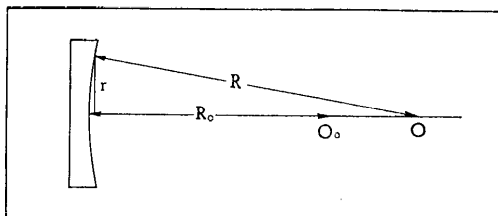


Fig. 16. — Lo que hay que rebajar para pasar del esférico al parabolide (fuertemente exagerado).

(*) Ver. por ejemplo, Bouasse: Appareils de mesure et d'observation, pág. 235.

En cuanto a los radios de curvatura, sabemos que, mientras en la esfera ese radio es igual para todas las zonas, en la parábola tiene el valor R_0 en el centro y un valor R creciente a medida que nos alejamos del mismo. La teoría enseña que el valor del radio R , para un punto del espejo que está a una distancia r del centro, es



$$R = R_0 + \frac{r^2}{2 R_0}$$

o también

$$\Delta R = R - R_0 = \frac{r^2}{2 R_0} \quad (1)$$

Fig. 17.—Explicación gráfica de las magnitudes de la fórmula (1) para calcular los radios de curvatura de diversas zonas.

PARABOLIZACION DEL ESPEJO. — De acuerdo con todo esto, es necesario realizar en el espejo un trabajo tal que se obtenga, lo más aproximadamente posible, el paraboloide teórico. La cantidad de vidrio a sacar es tan pequeña, según se ha visto, que esa operación se hace simplemente con un pulido adecuado. Yo he procedido en la siguiente forma: ponía al espejo centro casi sobre borde (figura 18) e iniciaba un movimiento en la forma que indica la flecha quebrada 1, realizando al mismo tiempo los otros dos movimientos conocidos 2 y 3. En esta forma, el espejo se va comiendo mucho en el centro y menos a medida que nos acercamos al borde.

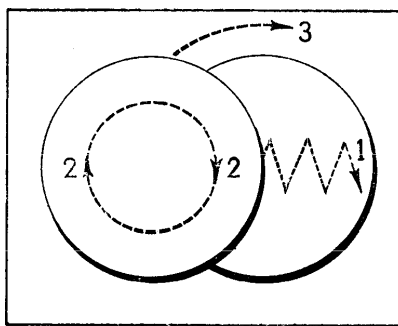


Fig. 18.—Movimientos usados para pasar de la esfera al paraboloide.

Esta operación es tan delicada, que es necesario observar la marcha del trabajo cada cinco minutos al comienzo, cada minuto o medio minuto, al final, para saber cómo y cuánto nos hemos acercado a la superficie teórica. Para decidir sobre esto se usa nuevamente el método de Foucault, pero en una forma modificada por Ritchey. Este método consiste en dividir el espejo en un cierto número de anillos concéntricos de poco ancho, por medio de un diafragma adecuado, y considerar cada uno de los anillos como perteneciente a una superficie esférica, lo que es prácticamente cierto, dado el pequeño ancho de las zonas en estas condiciones. Se mide, mediante el método

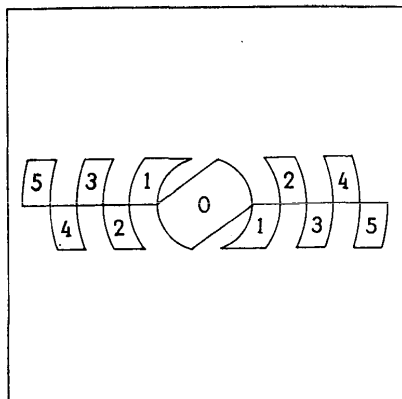


Fig. 19. — Forma conveniente de diafragma para separar las diversas zonas.

de Foucault, el radio de curvatura de cada zona y luego se los compara con los valores teóricos, calculados mediante la fórmula (1).

Yo he procedido en la forma siguiente: hice un diafragma (figura 19) que tenía seis zonas concéntricas; el ancho de la del centro era de cinco centímetros y de uno y medio centímetros el de las otras. El radio medio de cada una de ellas y las diferencias ΔR calculadas eran las que figuran en el siguiente cuadro:

Zona	0	1	2	3	4	5
r cm.	0	3.25	4.75	6.25	7.75	9.25
$\Delta R_{\text{cal.}}$ mm.	0	0.24	0.50	0.87	1.33	1.90

Después de haber trabajado diez minutos en la forma indicada, coloqué el espejo delante del aparato de Foucault, a la distancia necesaria para que la imagen de la rendija cayese sobre la cuchilla (unos 225 cms.), puse el diafragma y procedí a determinar exactamente el radio de curvatura de la zona central; para ello, haciendo completa abstracción de las demás, giré el tambor T_2 hasta que la zona central se obscureciese uniformemente cuando el cono de luz era cortado por la cuchilla (desplazada lateralmente mediante el T_1). Una vez logrado eso leí, en el tambor, 0.52 mm. Esta operación conviene hacerla numerosas veces (por lo menos tres) para disminuir el error medio. Así obtuve para el centro el valor 0.58 mm. Luego hice lo mismo para las demás zonas haciendo las siguientes lecturas: 2.03, 1.21, 1.23, 1.29 y 1.38. Restando 0.58 de cada una de ellas obtuve los valores $\Delta R_{\text{obs.}}$. Construí así el siguiente cuadro de valores:

Zona	r	$\Delta R_{\text{teor.}}$	$\Delta R_{\text{obs.}}$
0	0	0	0
1	3.25	0.24	1.45
2	4.75	0.50	0.63
3	6.25	0.87	0.65
4	7.75	1.33	0.71
5	9.25	1.90	0.80

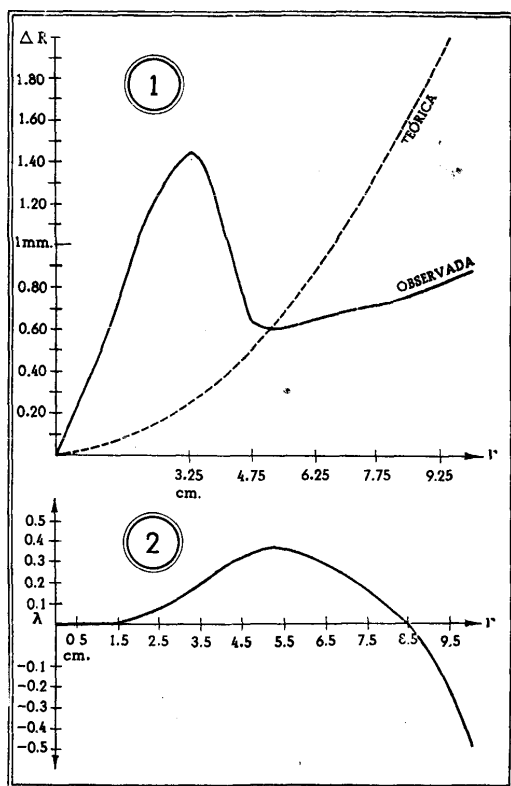


Fig. 20.—Gráficos 1 y 2.

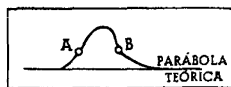
El gráfico 1 representa las curvas correspondientes a los valores teóricos y a los observados.

La primera medida del espejo revelaba que estábamos aún lejos del alcanzar los valores teóricos. Era necesario seguir puliendo. Pero con qué criterio? ¿En qué zonas debía insistir más, es decir, sacar más vidrio? El gráfico 1 poco o nada sirve a estos efectos, pues si bien da una indicación sobre los errores en los radios de curvatura, nada dicen sobre los errores en la altimetría, vale decir, no indica cuánto falta cavar en cada punto para llegar al paraboloide teórico.

Para esto es necesario construir, a partir de los datos contenidos en el gráfico 1, la curva del espejo (*).

Con este fin consideré nuevamente dividido el espejo en zonas anulares, pero ahora de un ancho a más pequeño que antes (recuérdese la necesidad de tomar zonas angostas en la integración gráfica de funciones); yo tomé para a el valor de 1 centímetro. Si llamamos r_1 al radio medio de la zona, R al radio de curvatura medio y b_1 a la diferencia $\Delta R_{obs.} - \Delta R_{teor.}$ correspondiente a la misma (que

(*) En el libro "Amateur Telescope Making" tomo I, el único artículo que hay sobre estas cuestiones es el de F. B. Wright, el cual comete un grosero error cuando dice que si se ha cavado el 44 % por ejemplo, del valor calculado, los radios de curvatura del espejo tienen un valor igual al 44 % de los teóricos calculados para el paraboloide. Naturalmente, esto es absolutamente falso. Basta pensar en una superficie como la que muestra la figura adjunta, para darse cuenta que puntos como A y B que distan igualmente del paraboloide, corresponden a trozos de curva de distinta curvatura. Es lamentable que en el segundo tomo (Advanced) se incurra en el mismo error (ver artículo de Everest) (N. d. A.)



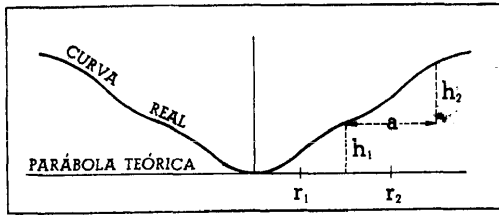


Fig. 21.—Explicación de las magnitudes que aparecen en la fórmula (2).

medimos directamente en el gráfico) se puede demostrar que es

$$h_1 = a b_1 \frac{r_1}{R^2} \quad (2)$$

el apartamiento del borde exterior de la primera zona de ancho a de la superficie real, respecto del

paraboloide en ese punto.

Análogamente, para la segunda zona, se tiene que

$$h_2 = a b_2 \frac{r_2}{R^2}$$

es la diferencia de altura del borde exterior de la segunda zona con respecto al borde exterior de la primera de la superficie real; de manera que $h_1 + h_2$, es el apartamiento total del borde exterior de la segunda zona, respecto del paraboloide que toca a la superficie real del centro. De este modo, hemos construido la curva total (gráfico 2) mediante el siguiente cuadro de valores:

r	b	h	Sumas	Sumas en λ
0.5 cm.	+ 0.018 cm.	+0.0x10 ⁻⁵ cm.	0.0	—
1.5	+ 0.065	+0.2	+0.2x10 ⁻⁵ cm.	+ 0.04
2.5	+ 0.110	+0.5	+0.7	+ 0.13
3.5	+ 0.112	+0.8	+1.5	+ 0.27
4.5	+ 0.032	+0.3	+1.8	+ 0.32
5.5	— 0.007	—0.1	+1.7	+ 0.30
6.5	— 0.028	—0.4	+1.3	+ 0.23
7.5	— 0.055	—0.8	+0.5	+ 0.10
8.5	— 0.086	—1.4	—0.9	— 0.16
9.5	— 0.117	—2.2	—3.1	— 0.55

En la gráfica, en vez de tomar los apartamientos en 10⁻⁵ cm. los he tomado en "longitudes de onda". Se define como unidad λ o "longitud de onda" al valor 5.6 x 10⁻⁵ cm. El uso de esta unidad reporta muchas ventajas.

El gráfico 2 muestra que después de los diez minutos de trabajo, el espejo estaba aún bastante lejos del paraboloide teórico.

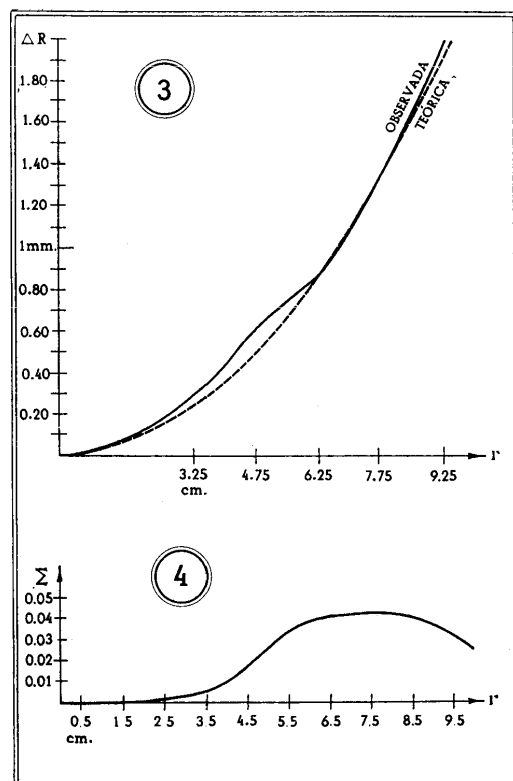


Fig. 22.—Gráficos 3 y 4.

Y digamos dos palabras respecto a las mismas, ya que en el libro de los amateurs hay bastante confusión, debido a la razón apuntada más arriba. Hay dos factores que provocan la deformación y el debilitamiento de una imagen óptica:

1º Valores de ΔR muy distintos a los teóricos, es decir, valores muy grandes de b ; pues entonces en vez de estar la luz concentrada en un punto como foco hay toda una zona, más o menos extensa, iluminada.

2º Apartamientos muy grandes de la superficie real con respecto al paraboloide, pues eso trae como consecuencia una diferencia de marcha en los rayos que inciden en los distintos puntos del espejo y las consiguientes interferencias, que agrandan y deforman la imagen.

Era necesario seguir trabajando, de manera de disminuir esa diferencia; para ello, había que insistir más en la zona intermedia y menos en el centro, toda vez que en éste se había formado un pequeño "hoyo".

Operando en esta forma y haciendo medidas a intervalos cortos (al principio de unos cinco minutos y de quince segundos al final), llegué a obtener las curvas que muestran los gráficos 3 y 4. En ese estado el espejo estaba ya, con exceso, dentro de las tolerancias.

Y digamos dos palabras respecto a las mismas, ya que en el libro de los amateurs hay bastante confusión, debido a la razón apuntada más arriba.

Un buen espejo debe estar exento de grandes errores del primer tipo como del segundo. Con respecto al primero, la llamada "constante técnica"

$$T = \frac{200.000}{f_0^2} \frac{\sum r^2 |f - f_0|}{\sum r}$$

donde f_0 es la distancia focal del centro del espejo, o zona O , f la correspondiente distancia focal de una zona circular de radio medio r , $|f - f_0|$ es el valor absoluto (tomado siempre con signo positivo) de la diferencia de estas distancias y $\sum r^2 |f - f_0|$ la suma de cada una de estas diferencias multiplicadas por el cuadrado del radio medio de la zona correspondiente. $\sum r$ es la suma de los radios medios de todas las zonas.

Esta fórmula ofrece un criterio de tolerancia (*). Si T es inferior a 1.5 el espejo es bueno. Teniendo en cuenta que en el mío

es $f_0 = 112.5$ y que $|f - f_0| = \frac{|b|}{2}$ se obtiene

$$T = 0.16$$

Con respecto al segundo, Lord Rayleigh demostró (**) que cualquier deformación de la onda inferior a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda no altera sensiblemente la imagen. En el caso de un espejo debe tomarse $\frac{1}{8}$, ya que un octavo de ida y uno de vuelta dan una diferencia de marcha de $\frac{1}{4}$. En nuestro espejo el error máximo es de

$$0.04 \lambda$$

Por último, Väisälä (***) ha introducido la constante

$$Z = 1 - \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \epsilon^2$$

donde ϵ es el apartamiento medio de las dos superficies y λ es la longitud de onda usada, por ejemplo $\lambda = 5.5 \times 10^{-5}$ cm. Esta cons-

(*) Handbuch der Astrophysik, tomo I, pág. 201.

(**) Phil. Mag., VIII, 403, 1879. (Citado por Ronchi).

(***) Handbuch der Astrophysik, tomo I, pág. 202.

tante, cuyo valor óptimo es evidentemente 1, tiene que ver directamente con la bondad de la imagen, lo que, hasta cierto punto y para superficies "lisas", ofrece un criterio único para juzgar la bondad del espejo. En el mío es $\epsilon = 0.019$ y por lo tanto

$$Z = 0.98$$

TERCERA PARTE

El espejo plano o diagonal.

NECESIDAD DE UN ESPEJO PLANO. — El parabolizado del espejo grande de 8 pulgadas no señala el fin de la óptica casera; es preciso construirse un pequeño espejo plano de unas dos pulgadas de diámetro. El esquema adjunto nos ilustra suficientemente sobre el objeto del mismo.

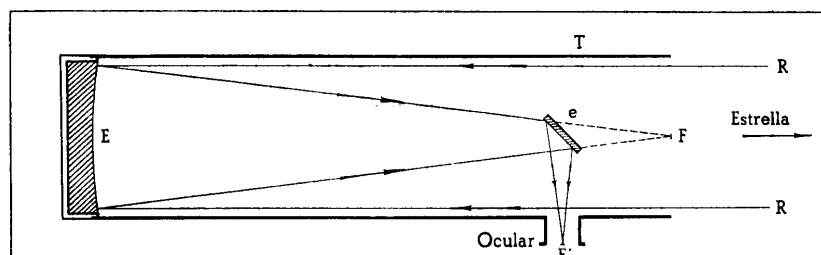


Fig. 23.—Esquema que muestra la necesidad de usar un pequeño espejo diagonal.

El espejo parabólico E ha sido colocado en el fondo de un tubo T y el eje del tubo ha sido dirigido a un objeto celeste cualquiera, por ejemplo a una estrella. Los rayos luminosos que salen de la estrella y que entran por la boca del tubo, serán rayos tales como RR . Como son paralelos al eje óptico, después de incidir sobre el espejo E , se juntarán todos en el foco F dando allí la imagen de la estrella. Ahora bien: es imposible observar la imagen en esa posición porque sería necesario para ello colocar la cabeza delante de la boca del tubo, con lo cual impediríamos la entrada de los rayos luminosos RR . Para subsanar ese inconveniente se ha pensado en poner un espejuelo e plano, a 45° de inclinación, de manera que los

rayos no concurren al punto F sino al F' (*). En esas condiciones, para observar la imagen, ya sea a simple vista, con lupa o con ocular, bastará practicar en el tubo T un agujero de diámetro conveniente.

Este tipo de montaje de antejo reflector, es conocido con el nombre de "Newtoniano".

TAMAÑO DEL ESPEJO DIAGONAL. — Hemos dicho que la forma óptima para el espejo plano es elíptica. ¿Cuál debe ser la magnitud de los ejes a y b ? Si para calcularla reflexionáramos sobre el esquema de la figura 25, resultará evidentemente que (por semejanza de triángulos):

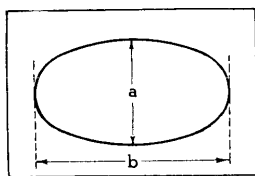


Fig. 24.—Forma del espejo diagonal.

$$\frac{a}{A} = \frac{d}{F}$$

o sea que el eje menor debiera valer

$$(1) \quad a = \frac{d}{F} A$$

Sin embargo, si quiere tenerse un mejor aprovechamiento del telescopio para el caso de observarse objetos celestes con diámetro aparente relativamente grande (como la Luna, el Sol, etc.) conviene:

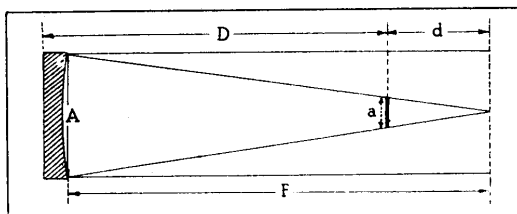


Fig. 25.—Esquema que no debe adoptarse para calcular las dimensiones del espejo plano.

1º) Hacer el tubo T de un diámetro un poco mayor que A . Yo lo hice de 22 cm., siendo $A = 20$ cm.

2º) Calcular a no mediante la fórmula (1), sino mediante la fórmula siguiente:

$$(2) \quad a = \frac{d A + D e}{F}$$

si es e la abertura de la primera lente del ocular de menos aumento

(*) Como e está inclinado, la forma más práctica y económica es la elíptica, si se quiere reflejar todo el cono de luz con el mínimo de superficie (y esto último interesa mucho, pues cuanto menor superficie tenga e tanto más luz llega al espejo parabólico, es decir, tanto más luminoso es el telescopio).

que vaya a usarse (*). La fórmula (2) da, evidentemente, un valor para a un poco más grande que el que se obtiene mediante la fórmula (1). En cuanto al valor de b , se lo obtiene aproximadamente mediante la fórmula siguiente:

$$(3) \quad b = 1.4 a$$

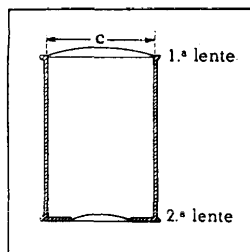


Fig. 26.—Esquema de un ocular de Huyghens para demostrar el significado de la letra c .

En el caso de mi telescopio, como tenía un tubo de 22 cm. de diámetro o sea de 11 cm. como radio, tuve que tomar $d = 13$ cm. a fin de que F' , (véase fig. 23) cayera fuera del tubo, como es conveniente. Siendo por otra parte el diámetro de mi ocular de menor aumento (un ocular viejo de microscopio, Zeiss N° 2) $c = 2$ cm., reemplazando valores en la fórmula (2) obtuve:

$$a = 4,1 \text{ cm.}$$

y por lo tanto

$$b = 1.4 \times 4,1 = 5,7 \text{ cm.}$$

OBTENCION SENCILLA. --- La forma más sencilla de conseguir un espejo plano suficientemente bueno para diagonal, consiste en cortar trozos de vidrio del tipo de parabrisa de automóvil (espesor de 5 a 8 mm.) y controlar la calidad de la superficie de los mismos. Tratándose de trozos pequeños es más fácil encontrar uno bueno que hacerlo.

El control es bastante fácil, si se posee un buen plano, lo que en general el aficionado no tiene, por lo cual explicaré más adelante un método que no requiere plano patrón.

El control se hace por interferencia. Se coloca el trozo de vidrio sobre el plano patrón y se ilumina con luz monocromática, que se obtiene en forma sencilla con una lámpara de alcohol, o mechero de gas, en cuya llama se coloca un trozo de amianto eupapado en agua salada.

Buscando la posición conveniente de la lámpara se puede apreciar, sobre la superficie de separación, una sucesión de franjas de interferencia (oscurecidas y claras). A lo largo de una franja la distancia entre las dos superficies es la misma. Al pasar de una franja a otra contigua aumenta o disminuye la diferencia de nivel en $\frac{1}{2}$

(*) Para más detalles recomiendo leer el primer tomo del libro de los amateurs norteamericanos, "Amateur Telescope Making", páginas 381 y siguientes.

longitud de onda (en nuestro caso la longitud de onda corresponde a la línea amarilla del sodio $\lambda = 5890 \text{ \AA} = 5,89 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$. (unos 6 milésimos de centímetro).

Ahora bien, ¿cómo deben ser las franjas para que el trozo de vidrio sea plano?

Si se usa un plano patrón, las franjas deben ser rectas paralelas equidistantes.

Dado que la diagonal se encuentra cerca del ocular, basta con que el error de la misma no sea mayor de $\frac{1}{4} \lambda$ o sea $\frac{1}{2}$ franja. Para observar con mayor precisión las franjas es conveniente mover el trozo de vidrio hasta obtener el menor número de franjas posible. Aclararé lo dicho mediante unas figuras.

La figura 27 a. representa un espejo bueno. Para verificarlo basta trazar líneas paralelas (punteadas) y equidistantes que se amolden lo mejor posible a las franjas. Estas líneas representan las franjas de un espejo plano perfecto.

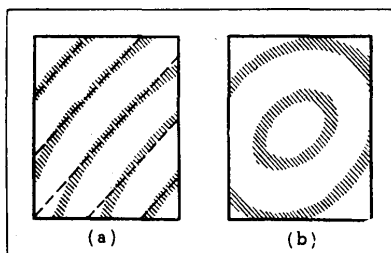


Fig. 27.—a) Un espejo bueno.
b) Un espejo malo.

Si comparamos las franjas observadas con las líneas teóricas, notamos que aquellas se apartan en menos de la mitad de la distancia entre dos franjas teóricas (distancia entre dos líneas de puntos).

La figura 27 b. corresponde a un vidrio curvado, en que la parte central está más o menos separada del plano patrón que el borde. Estará más separado del centro (espejo cóncavo) si al hacer presión en el centro las franjas se desplazan hacia el centro, y estará menos alejado (espejo convexo) si éstas se mueven hacia la periferia.

Con este procedimiento es fácil conseguir un trozo de vidrio excelente para nuestra diagonal. El procedimiento de control usado tiene sin embargo el inconveniente de exigir un plano patrón, como hice notar al principio.

Describiré pues otro método, en que se salva esta dificultad.

Consiste en comparar tres trozos de vidrio y estudiar las franjas de interferencia. Explicaré el método refiriéndome a un caso concreto. Sean *A*, *B* y *C*, los tres vidrios de forma aproximadamente igual.

Al colocar *A* sobre *B*, *B* sobre *C* y *C* sobre *A*, resultan sucesivamente las franjas de interferencia I, II y III de la figura 28.

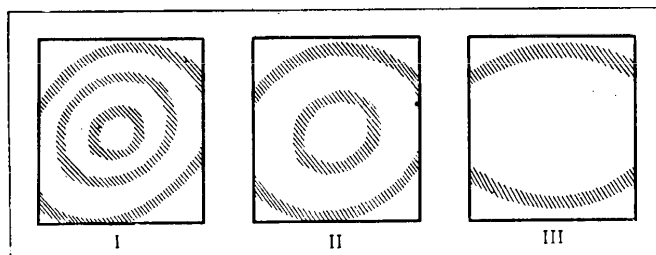


Fig. 28.—Esquemas para ilustrar el método de control simultáneo de tres espejos "planos".

Al presionar sobre I, supongamos que las franjas se mueven hacia la periferia, es decir, los espejos *A* y *B* están más próximos en el centro (convexos); el número de franjas es tres. Decimos que *A* sobre *B* se muestra tres franjas convexo. En cambio II aparece dos franjas cóncavo (las franjas se desplazan hacia el centro) y III una franja convexo.

Si convenimos en atribuir signo más (+) a convexidad y signo menos (—) a concavidad, obtenemos las tres ecuaciones siguientes:

$$\begin{array}{l} \text{I} \quad A + B = + 3 \\ \text{II} \quad B + C = - 2 \\ \text{III} \quad C + A = + 1 \end{array}$$

que corresponden a cada una de las figuras de interferencia. Resolviendo este sistema de tres ecuaciones con las tres incógnitas *A*, *B* y *C*, conoceremos la calidad de cada espejo.

Restando I y II

$$A - C = + 5$$

y sumándole III

$$2 A = + 6 \quad ; \quad A = + 3$$

Es decir, el espejo *A* es tres franjas convexo. Reemplazando el valor de *A* en I y III, resulta:

$$\begin{array}{l} 3 + B = + 3 \quad ; \quad B = 0 \\ C + 3 = + 1 \quad ; \quad C = - 2 \end{array}$$

Por lo tanto *C* es dos franjas cóncavo, en cambio *B* es el espejo que por este método no acusa error, y es el que nos servirá para la diagonal.

Una vez encontrado el trozo de vidrio es necesario darle la forma elíptica. Para ello procedí de la siguiente manera. Primero lo

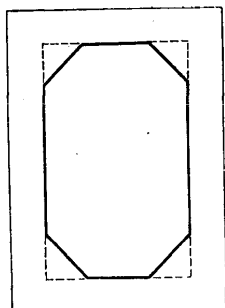


Fig. 29.—Primer paso en la obtención de la forma elíptica para el espejo plano.

recorté según indica la figura 29, dándole dimensiones un poco mayores que las necesarias y que hemos establecido según la fórmula (2). Después hice un trozo de madera de forma cilíndrica de diámetro igual al eje menor de la elipse que corresponde a mi diagonal y lo corté a 45° de modo que la sección tomó la forma elíptica que se requiere para la diagonal (no es necesario por lo tanto calcular el eje mayor de la elipse si se sigue este procedimiento).

Pegué a continuación el trozo de vidrio con breá sobre la madera con la cara buena del vidrio contra la madera para protegerla contra posibles golpes.

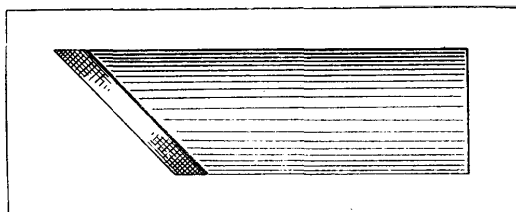


Fig. 30.—El espejo plano pegado con breá a su manija de madera, una vez terminada la operación de darle forma elíptica.

Luego procedí a emparejar el vidrio (según figura 30) con una piedra de esmerilar, circular, (movida a mano) que giré a bastante velocidad. Debe trabajarse con agua y aplicando la pieza a la parte lateral de la piedra, pues de lo contrario la excentricidad, característica de casi todas las piedras, provoca la rotura del vidrio. Sobre todo hay que evitar el recalentamiento excesivo del vidrio, por lo que conviene sumergirlo a menudo en agua. Por más cuidado que se ponga, las piedras de este tipo (Carborundum) hacen saltar trocitos del borde del espejo. Mejor terminación pero más lenta se consigue con las piedras de agua. En caso de no tener a disposición una piedra circular, puede usarse una piedra Carborundum chica, y trabajar a mano. Es evidente que este procedimiento es más lento, pero en pocas horas de labor estará terminado.

FABRICACION DE UN ESPEJO PLANO. — Aún cuando es mucho más fácil encontrar un vidrio plano en la forma indicada, resolví fabricarlo. En realidad es conveniente hacer tres, pues el esmerilado lo requiere así. Usé tres trozos de vidrio y les dí una forma aproximadamente circular y los numeré I, II y III. Luego

procedí a trabajarlos con esmeril fino con carrera de un tercio y centro sobre centro, lo mismo que con el espejo parabólico.

Pegué el I sobre la mesa de trabajo y le dí una mojada (5 minutos) con el II. A continuación dí una mojada con el II abajo y el I arriba. Luego dejé de lado el I y trabajé el II con el III, procediendo exactamente en la misma forma que antes. Prosiguiendo así en forma cíclica se consigue darles la forma plana a los tres vidrios.

Si las superficies son medianamente buenas al iniciar el trabajo es suficiente esmerilarlas durante unas dos horas. Para asegurar buen resultado conviene esmerilar aun más tiempo, pero de ningún modo menos.

Una vez terminado el esmerilado hice la herramienta de pulido, que consiste en una capa de brea (delgada) extendida sobre un trozo de vidrio. La herramienta hay que amoldarla a cada uno de los tres espejos, tratando que su superficie no sea mayor que la del espejo. No hace falta hacer canales, pues se trata de una superficie muy pequeña. Para el pulido ya no se sigue el procedimiento cíclico, sino que se pulen sucesivamente; alternativamente, una mojada con espejo arriba y otra con herramienta arriba. Cada espejito necesitó ocho horas de pulido. Como se dispone de tres espejos es cómodo aplicar el segundo método de control. La corrección de los errores que se encuentren — figurado de plano — se hace por métodos análogos a los indicados previamente para el espejo parabólico.

CUARTA PARTE

Plateado de los espejos.

LAVADO DE LOS ESPEJOS. — El plateado de los espejos es una operación simple pero que requiere gran cuidado y sobre todo una gran dosis de paciencia para no fastidiarse con los tres o cuatro fracasos indispensables para comenzar a obtener resultados buenos.

Quizá la parte más decisiva en este orden de cosas es lo que respecta a la limpieza de las superficies a platear y, sin lugar a dudas, aquí la meticulosidad debe llevarse hasta límites decididamente extremados.

En primer lugar, lavé una docena de veces con agua y jabón, cepillando enérgicamente, o mejor, raspando con una goma dura de borrar, el canto de los espejos, donde había considerable depósito de "rouge", hasta que éste desapareció por completo.

Luego, provisto de guantes de goma para evitar ensuciar los espejos con la grasitud propia de la mano, froté enérgicamente las superficies a platear con algodones empapados en tolueno, (*) a fin de sacar todas las sustancias grasas, en especial los restos de brea que quedaban en muchos puntos. Una vez realizada esta operación un buen número de veces, froté los espejos con algodones empapados en ácido nítrico puro. Algunos recomiendan, sin embargo, completar la limpieza con el uso de potasa cáustica, pero ello no es necesario, si se procede enérgicamente en las operaciones indicadas más arriba.

DISPOSITIVOS PARA EL PLATEADO. — Los numerosos ensayos realizados por el doctor Gaviola, inclusive el plateado del espejo de 80 centímetros del reflector del Observatorio de La Plata, le han convencido que el llamado plateado "cara arriba" es el más conveniente por muchos conceptos, de los cuales la economía no es seguramente el de menor importancia, sobre todo para los aficionados.

Para llevar a cabo el plateado cara arriba procedí en la siguiente forma. Corté una faja de papel satinado grueso de unos 7 centímetros de ancho por un metro de largo aproximadamente y lo bañé en parafina caliente, a fin de hacerlo impermeable. Una vez seco,

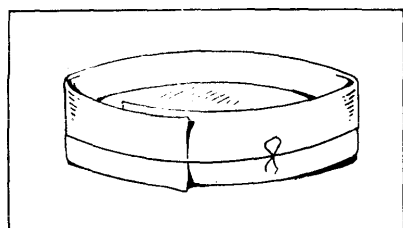


Fig. 31.—Disposición del papel parafinado en torno del espejo.

rodeé con él el espejo grande, de manera que quedase la cara parabólica hacia arriba y lo até fuertemente sobre el canto con un piolín (figura 31).

Como en esta operación caen generalmente pequeñas partículas de parafina sobre el espejo, conviene hacer una nueva limpieza; a tal fin pasé nuevamente un algodón con tolueno y luego limpié repe-

tidas veces con ácido nítrico, enjuagando finalmente con agua destilada. Al terminar este lavado y *sin dejar que en ningún momento se secase el espejo*, (esto es muy importante), vertí en el depósito formado por el espejo y el papel parafinado, agua destilada, hasta cubrir una altura de un centímetro, más o menos. En el plateado comercial se usa frecuentemente, después de esta limpieza, dar al espejo un baño con una solución de $\text{Cl}_2 \text{S}_n$ (cloruro estañoso), baño

(*) Podrá usarse también alcohol, éter o acetona.

que parece favorecer enormemente un buen depósito de plata. A tal fin preparé directamente en un frasco el cloruro, poniendo en unos dos o tres centímetros cúbicos de ácido clorhídrico concentrado unas hojuelas de papel de estaño; la solución de cloruro estañoso debe ser bien saturada, para lo cual agregué hojas de estaño hasta que quedó un residuo de estaño sin atacar por el ácido. (*) Logrado esto, eché unas cuantas gotas de la solución a través de un papel de filtro, en el agua destilada que estaba encima del espejo y moví éste a fin de que se agitase la mezcla. Después de unos dos minutos, tiré el contenido y lavé repetidas veces, con agua destilada, cuidando nuevamente de que no se secase el espejo, dejándolo luego con agua destilada hasta una altura de un centímetro.

PUREZA DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS. — Todo los compuestos químicos empleados en el proceso de plateado deben ser de la más grande pureza. El agua destilada debe ser de la mejor; la de comercio es bastante mala; yo usé agua destilada cedida por Y. P. F. En último caso es preferible para los aficionados el uso de agua de lluvia recogida en recipientes adecuados.

EL PLATEADO. — He usado el proceso llamado de Brashear, que probablemente es el más conveniente para espejos de telescopios reflectores. La cantidad de nitrato de plata que recomienda el Bureau of Standards, para obtener un film más bien grueso, está dada por la siguiente relación:

$$\frac{\text{número de gramos de nitrato de plata}}{\text{número de cm}^2 \text{ de superficie a platear}} = \frac{314}{27}$$

de manera que en mi espejo se requerían

$$\frac{314}{27} = 12 \text{ gramos aproximadamente.}$$

Sin embargo, numerosos ensayos realizados por el doctor Gaviola usando proporciones unas diez veces menores, dieron excelente resultados. Si se desean films gruesos, es preferible dar dos baños sucesivos con soluciones diluídas, que uno solo con soluciones concentradas.

En frascos de tamaños adecuados y tapa de vidrio esmerilada, previamente limpiados con agua y jabón y ácido nítrico (sirvién-

(*) La solución de cloruro estañoso no conviene que envejezca; debe ser siempre preparada horas antes del plateado.

CÓMO CONSTRUÍ UN TELESCOPIO DE 8 PULGADAS DE ABERTURA

dome de un hisopo) preparé las siguientes soluciones para el plateado:

Frasco A	{	Agua destilada	200 cm ³ .
	{	Nitrato de plata	2 gr.
Frasco B	{	Agua destilada	100 cm ³ .
	{	Potasa cáu tica	1 gr.
Frasco C	{	Agua destilada	20 cm ³ .
(1/10 de A)	{	Nitrato de plata	0,2 gr.

En un frasco grande preparé la solución reductora, con varios días de anticipación, ya que actúa tanto mejor cuanto más antigua es. La composición de la misma es la siguiente:

Sacarosa (azúcar en pancitos o azúcar "candy")	80 gr.
Acido nítrico (densidad 1,40)	2 cm ³ .
Alcohol (96°)	175 cm ³ .
Agua destilada	800 cm ³ .

En la solución A añadí amoníaco concentrado, gota a gota, con una pipeta, y agitando, sin cesar, el frasco que contenía la solución; ésta toma primero un color marrón muy obscuro. Seguí echando gradualmente amoníaco hasta que la solución se aclaró. Para ello se requiere, aproximadamente, 1 cm. de amoníaco concentrado (24° Bé) por cada gramo de nitrato de plata.

Luego eché gradualmente el contenido de B, siempre agitando; la mezcla se vuelve así nuevamente de un color marrón muy obscuro, casi negro. Añadí nuevamente amoníaco, por gotas, al par que agitando la mezcla enérgicamente. Se llega así a obtener un líquido color amarillo transparente o rojizo casi claro. Esta vez se requiere un poco menos amoníaco que la vez anterior. Se agrega entonces, la solución C hasta que empiece a enturbiarse francamente.

Inmediatamente agregué unos 12 cm³. de solución reductora (6 cm³. por cada gramo de nitrato). Sin perder tiempo saqué del espejo el agua destilada que había dejado (a fin de que aquél no se secase) y eché en su lugar la solución de plateado así preparada.

Con guantes de goma comencé después de unos 2 minutos a pasar un algodón *muy suavemente* por todo el espejo para impedir el depósito de "barro" que puede malograr el plateado. Después de unos quince minutos la operación había terminado. Tiré el resto de la solución a la piletta y lavé el espejo repetidas veces con agua

común, y luego con agua destilada, frotándolo de nuevo suavemente con un algodón limpio, sumergido en agua destilada. Saqué el aro de papel parafinado y coloqué el espejo de canto contra la pared a fin de que se secase.

Es inútil decir que el espejuelo plano fué plateado al mismo tiempo; claro está que para él no usé el dispositivo indicado en la figura 31, sino que simplemente lo puse en un pequeño vaso de precipitación.

PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE EN EL PROCESO DE PLATEADO. — Para obtener un plateado rápido y seguro no conviene que la temperatura del laboratorio sea inferior a 15°. Tampoco conviene que sea muy elevada, por ejemplo mayor de 25°, porque a altas temperaturas existe el peligro de que se formen pequeñas cantidades de fulminato de plata, que es muy explosivo. No hay que tener temor, sin embargo, de catástrofes terribles, porque dada la concentración pequeñísima que se usa es mucho más probable morir en manos de un colectivero que bajo la acción del fulminato de plata. En todo caso existirá realmente peligro si el frasco A donde se ha hecho la mezela se dejase secar sin lavado previo, pues, como es natural, los restos de solución que quedasen irían aumentando de concentración a medida que el agua se evaporase. Pero lavándolos de inmediato el peligro desaparece por completo. Por la misma razón hay que tirar a la pileta la solución que queda después del plateado y echar agua a continuación.

BRUÑIDO. — Habiendo quedado el plateado de un color un poco blancuzco, es decir, poco brillante, una vez bien seco (después de unas 24 horas), procedí a bruñirlo, valiéndome para ello de uno de esos "polissoirs" de gamuza que usan las mujeres para lustrarse las uñas. Si el film es bueno y grueso, como debe ser, puede frotarse enérgicamente hasta que la superficie adquiriera un brillo realmente metálico. De esa manera aumenta notablemente el poder reflectante del espejo.

QUINTA PARTE

Montaje del telescopio.

ADVERTENCIA. — Antes de pasar a describir en detalle el montaje ya relativamente complicado que hicimos a mi reflector, considero conveniente que los aficionados conozcan un montaje extremadamente simple, barato y que puede realizarse con las herramientas caseras. Damos un esquema del mismo en la figura 32, que

CÓMO CONSTRUI UN TELESCOPIO DE 8 PULGADAS DE ABERTURA

es suficientemente clara como para que no sea necesario agregar más explicaciones.

Se puede observar que en la figura hemos puesto un prisma a reflexión total en vez del espejuelo plano; naturalmente si se pusiese este último sería necesario variar un poco la forma de la pieza *C*, cosa que cada aficionado puede resolver fácilmente.

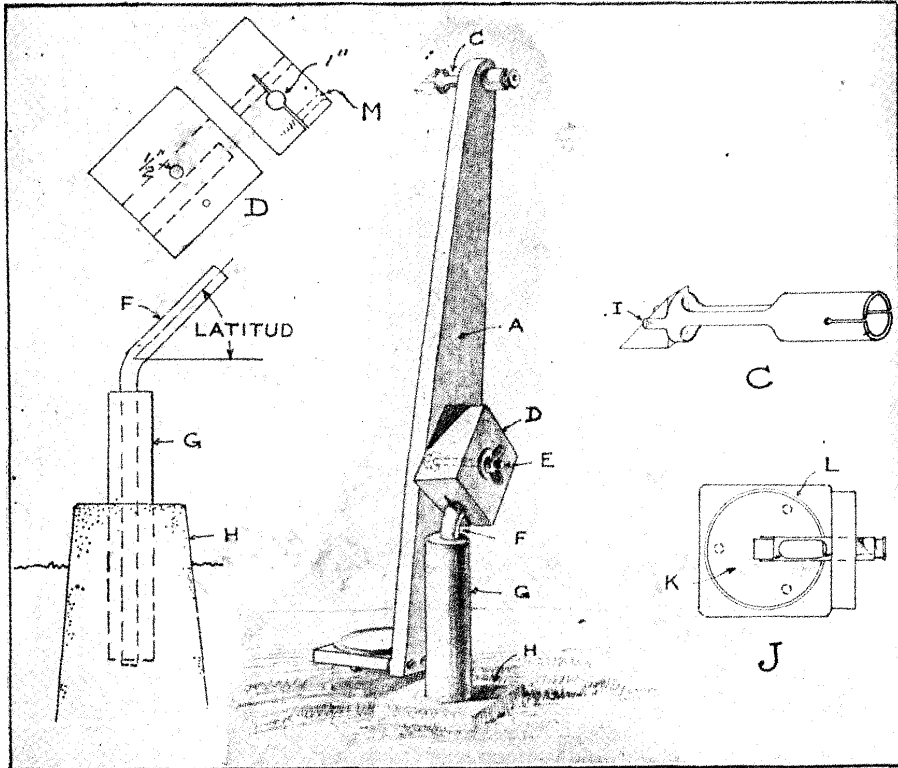


Fig. 32.—Montaje "ecuatorial" extremadamente simple y al alcance de cualquier aficionado.

En cuanto al sistema de montaje, se puede observar que se trata de un montaje de los llamados "ecuatoriales". La característica de éstos es que tienen un eje *F* acodado de manera que forme con el plano horizontal un ángulo igual a la latitud del lugar de observación; este eje se coloca paralelamente al "eje de la Tierra", es decir que la punta superior de *F* debe mirar hacia el polo Sud. Supongamos ahora que queremos ver una estrella cualquiera, por ejemplo Antares, con nuestro telescopio. Para ello lo giramos convenientemente alrededor de sus dos ejes, el eje polar *F* y el eje de la "declinación" *E*, hasta que veamos Antares al través de nuestro ocular; una vez encontrada Antares, apretamos la manija de *E*, de manera que el telescopio no se pueda mover más

en declinación. Entonces bastará ir girando de E. a O. muy lentamente (15 minutos de arco por cada minuto de tiempo) para seguir el movimiento de la bóveda celeste, de manera que en ningún momento perderemos de vista a nuestra estrella. Esta es la gran ventaja que tiene el montaje ecuatorial; permite seguir el movimiento aparente de los astros con un solo movimiento.

Ahora que he hecho referencia al montaje más sencillo y más casero posible, voy a pasar a explicar los detalles del montaje realizado en mi reflector.

TUBO. — Hemos visto que puede hacerse un telescopio sin tubo, sin un hermoso tubo! Más, llega a pensarse que el telescopio es el tubo. Recuerdo que de niño, cuando conseguía un largo tubo de cartón, miraba por él y comunicaba a algunos de mis compañeros: "ché, mirá qué telescopio que tengo". De manera que si no se quiere comenzar a revolver las ideas que la gente tiene estereotipadas en la cabeza y, por lo tanto, a hacer peligrar el orden social, es recomendable que no se haga un telescopio sin tubo.

Por otra parte, éste aumenta la rigidez e invariabilidad del sistema óptico.

Mi tubo fué hecho de chapa galvanizada en 0,6 mm. de espesor; tiene 22 cm. de diámetro y 110 cm. de largo. Los aros de hierro que pueden apreciarse en la fotografía de la figura 1 son destinados a dar mayor rigidez.

CELULA PARA EL ESPEJO PARABOLICO. — El espejo grande debe ir colocado en una pieza o célula apropiada que permita los movimientos necesarios para el centraje, como veremos más adelante.

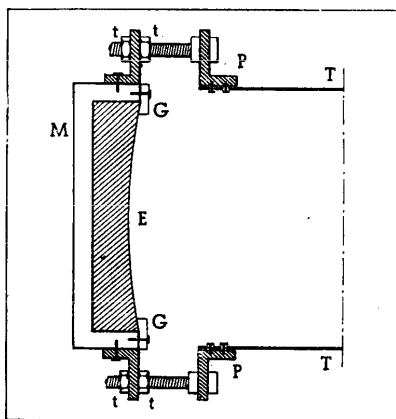


Fig. 33.—Corte diametral de la célula para alojar el espejo parabólico.

La célula que torneé para mi tubo no es de la forma más recomendable, pues hace esa operación un poco más engorrosa. Por ello me permitiré en este punto no referirme a mi propio aparato, sino que describiré una célula de construcción sencilla y de mucho más rendimiento práctico. La figura 33, muestra un corte diametral. *T* es el tubo, *PP* son pestañas de una pulgada que pueden lograrse con un hierro en *L*. *M* es el bloque de madera dura

(por ejemplo quebracho blanco) que se trabaja al torno, de manera que contenga exactamente al espejo *E*; *GG* son grampitas para sostener este último. Finalmente con las dobles tuercas *tt* puede moverse el espejo respecto al tubo, alejándolo, acercándolo o inclinándolo respecto al eje de este último. Bastan tres juegos de estas piezas, dispuestas alrededor del tubo formando ángulos de 120°, para obtener un rápido y perfecto ajuste, necesarios para el centrado.

SOSTEN DE LA DIAGONAL. — Las figuras 34 a y 34 b, muestran los detalles constructivos del sostén del espejuelo plano.

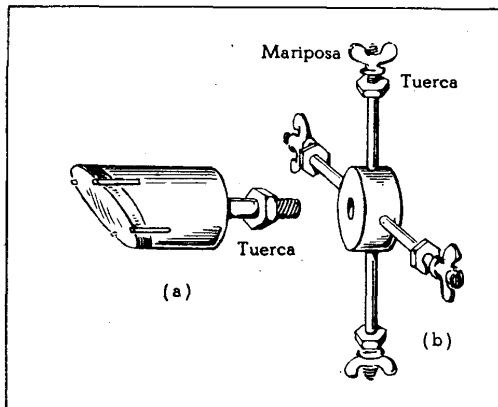


Fig. 34.—Las piezas que sirven de sostén al pequeño espejo diagonal.

de latón soldadas al bronce y dobladas en su extremo sobre la cara de la diagonal. El espejuelo no debe ir pegado, para evitar deformaciones al variar la temperatura.

OTROS DETALLES DEL MONTAJE. — En la fotografía figura 1, en la primera parte de este artículo, puede observarse la disposición del montaje ecuatorial realizado en mi reflector. No insisto sobre él porque su construcción puede hacerse de mil maneras distintas, de acuerdo con las herramientas y taller de que se disponga. Sólo quiero agregar que si se desea tener un reflector sin “temblequeos” —lo que es necesario

La figura 35, muestra el conjunto una vez colocado en el tubo del telescopio. Las ranuras alargadas *R* permiten inclinar el sostén respecto al eje del tubo, cuando las necesidades del centrado lo exijan, como veremos más adelante.

El espejuelo plano fué sujetado firmemente a la pieza de bronce, por medio de cuatro lengüeta

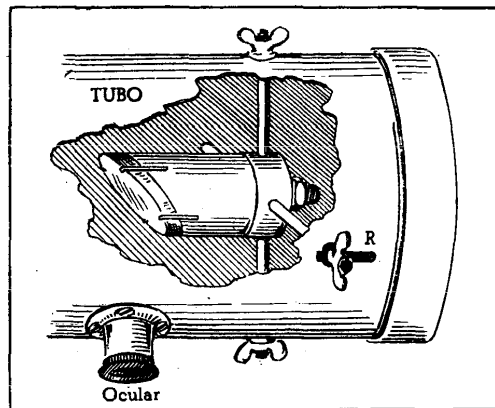


Fig. 35.—Disposición de las piezas que sirven de sostén al pequeño espejo diagonal, en el tubo del telescopio.

y agradable para una buena observación— es absolutamente indispensable hacer un montaje muy sólido con dos buenos ejes.

Debo agradecer aquí a los señores Carozzino y Blotto, quienes me ayudaron gentilmente en toda la parte mecánica del montaje.

OCULARES. — Los oculares empleados en mi reflector pertenecen a viejos microscopios Zeiss; son un número 2 y un número 4. Como se sabe, tales oculares son de los llamados “negativos” o de Huyghens y dan un resultado excelente, sobre todo cuando no se desea mucho aumento.

SEXTA PARTE

Centraje del telescopio.

Llegamos por fin a la última parte de nuestro trabajo, después de la cual el reflector queda listo para la observación. Diremos que el aparato está “centrado”, si el eje x del espejo parabólico inci-

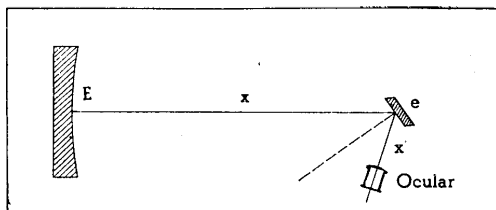


Fig. 36.—Un reflector newtoniano centrado

pendiculares entre sí, pero es cómodo que así sea.

En esas condiciones, la visión es óptima y la imagen de una estrella es un disquito perfectamente circular. En caso contrario, es una especie de cometa con una hermosa colita y es inútil tratar de hacérsela esconder con un mejor enfoque del ocular.

Para lograr el centraje de mi telescopio procedí de la siguiente manera (*): en el centro del espejo E pegué un pequeño papeli- to circular y en el espejuelo pla-

de en el centro del espejo plano y después de “reflejarse” en el mismo, pasa por los centros de las lentes del ocular. La figura 36, muestra un reflector newtoniano centrado. Como se ve no es necesario que x y x' sean

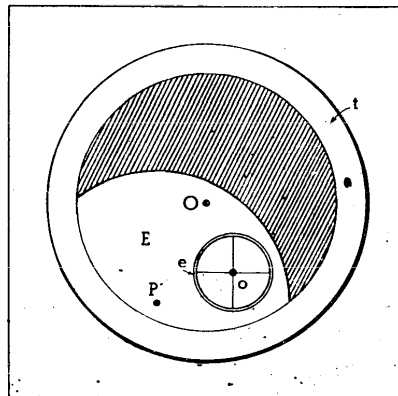


Fig. 37.—Esquema de lo que se ve desde la boca del tubo portaocular, si el telescopio está aún descentrado.

(*) Los que deseen tener una información completa y no reducirse simplemente a la “receta”, pueden leer el libro “Lunettes et Télescopes” de Danjon y Couder. Edición de la “Revue d’Optique Théorique et instrumentale”, páginas 478 y siguientes. Véase también REVISTA ASTRONÓMICA, Tomo VIII, número III, “Descripción y colimación de un telescopio” por Juan Jorge Capurro.

no e pegué dos hilos de seda en forma de cruz de manera que su intersección cayese exactamente en el centro de aquél. Saqué el ocular del tubo y observé por este último. La figura 37, muestra en forma esquemática lo que se alcanzaba a ver en esas condiciones.

t , es el tubo porta-oculares visto en perspectiva desde su boca de entrada, en la cual es conveniente poner un diafragma de cartón con un agujero central de 1 mm. de diámetro;

E , es el espejo grande, visto por reflexión a través del espejito plano;

P , es el papelito pegado en el centro de E ;

e , es la imagen del espejito plano dada por E y visto por reflexión a través del mismo espejito plano.

El centraje queda realizado si se hacen coincidir los tres centros P , O y o , que se ven en la figura. Para ello procedí en la siguiente forma:

1º Moviendo el espejo diagonal por medio de su sistema de tornillos (véase fig. 35) llevé a coincidir P con O ;

2º Moviendo la célula que contiene al espejo parabólico por medio del sistema de dobles tuercas (véase fig. 33) llevé a coincidir el centro o del retículo con O .

Al dar por terminado esta descripción de cómo construí un telescopio de 8 pulgadas de abertura, desco dar las gracias al doctor Enrique Gaviola por los numerosos consejos que me ha dado en el curso de este trabajo; al señor Ricardo Platzek por haberme prestado la bondad de escribir la parte correspondiente al esmerado y control de un espejo plano y al señor Angel Pegoraro por haberme prestado la realización de los dibujos y esquemas ilustrativos.

Los aficionados que se decidan a hacer su propio reflector y tengan deseos de observar personalmente ciertos detalles de la técnica, pueden concurrir a este Observatorio o al taller de óptica del Colegio Nacional de La Plata, donde serán atendidos con el mayor placer.

Observatorio de la Universidad Nacional de La Plata.

Julio de 1937.

ESTA OBRA
SE ACABO DE IMPRIMIR
EN BUENOS AIRES
EN LA CASA CORLETTA & CASTRO
EL DIA 29 DE OCTUBRE
DE 1937

PUBLICACIONES DE LA
ASOCIACION ARGENTINA "AMIGOS DE LA ASTRONOMIA"
BUENOS AIRES

"REVISTA ASTRONOMICA",

Subscripción anual \$ 5.—

Atlas Celeste del Aficionado,

Por Alfredo Völsch con una lista de objetos para
el antejo por Bernhard H. Dawson.

1a. edición (1933)..... Agotada

La Determinación del Azimut,

Con una tabla de estrellas en mayor elongación y
un mapa. por Alfredo Völsch „ 1.—

Mapa de coordenadas celestes en proyección estereográfica,

para 35° de latitud. Precio por 20 hojas „ 1.—

Precio por cada hoja..... „ 0.10

Cómo construí un telescopio de 8 pulgadas de abertura,

Por Ernesto Sabato „ 1.—

Dirigir los pedidos a la Secretaría de la Asociación
OBSERVATORIO ASTRONÓMICO, LA PLATA