

3. El espejo plano diagonal

Espejo o prisma; cualidades exigidas

Para hacer accesible el plano focal se desvía el haz principal mediante un prisma de reflexión total o un espejo plano inclinado generalmente a 45° con respecto al eje del espejo principal.

Los prismas tienen ventajas nada despreciables: con haces cuya abertura no exceda 1/5 eliminan la conservación de una superficie metalizada particularmente expuesta al depósito de rocío. Son además piezas comunes relativamente fáciles de hallar. Desgraciadamente la calidad exigida en la aplicación que encaramos es difícilmente lograda por los prismas ordinarios destinados corrientemente a inversores de imágenes en los aparatos de poco aumento. Las exigencias para el plano de la cara hipotenusa de un prisma son casi las mismas que las correspondientes a un espejo plano; lo que complica aun más la cuestión en el caso de un prisma es que los defectos pueden acumularse con los de las caras de entrada y de salida, con los errores de inclinación de las caras entre sí y con los defectos internos del vidrio. Por lo tanto un buen prisma de más de 40 mm de arista en el ángulo recto es un objeto muy raro. En todos los casos el prisma actúa como una lámina de caras paralelas de un espesor igual a su lado menor; introduce entonces una sobrecorrección esférica y cromática de ningún modo despreciable para una travesía de unos 40 mm de vidrio con un haz de abertura de 1/6 o más. Por el contrario, un espejo plano no introduce ninguna aberración. En razón de la relativa proximidad de la imagen, del orden de un décimo de la longitud focal del espejo principal, en principio pueden tolerarse errores de pendiente 10 veces más grandes que sobre aquél, debiendo prestarse especial atención a la condición relativa de los apartamientos de tautocronismo. Para satisfacer la regla de Rayleigh, teniendo en cuenta los defectos del vidrio y la incidencia a 45°, consideramos tolerable una anomalía de $\lambda/12$ aproximadamente. Pero en razón de la incidencia a 45° no existe la posibilidad de elegir como en el caso del espejo principal, entre muchas superficies de referencia de curvaturas poco diferentes; es necesario que la curvatura sea nula pues de otro modo el haz reflejado es astigmático. Si admitimos para este último defecto una tolerancia de $\lambda/5,5$ sobre la onda¹ vemos que sobre el vidrio, no podremos tolerar una curvatura regular cóncava o convexa si excede de $\lambda/8$.

Muy pocos telescopios en servicio poseen un plano de esta calidad. Son frecuentes los defectos de una franja entera y hemos tenido ocasión de comprobar en el plano de un buen telescopio de 30 cm un convexidad de 9 franjas. No es dudoso que parte de la mala reputación de los reflectores newtonianos de la industria provenga de tales negligencias.

Forma y dimensiones del espejo plano

Si se proyecta el haz en ángulo recto, la superficie de obstrucción mínima se obtiene cortando una lámina de vidrio con un cilindro cuyas generatrices forman un ángulo de 45° con el plano del vidrio. El contorno de esta superficie es pues, una elipse (figura 46A) cuyos ejes son a y $a\sqrt{2}$.

Esta “rodaja de salchichón” no es fácil de lograr en la práctica y la forma óptica de semejante espejo raramente resultará tan buena como la de un vidrio de espesor uniforme. Casi siempre, el aficionado se contentará con un espejo cuyos bordes estén a escuadra con sus caras.

Conforme al modo de fabricación adoptado, el cuerpo más fácil o más ventajoso, tendrá el contorno hexagonal (figura 46B), rectangular (figura 46C) o circular (figura 46D). Aun en este último caso, la obstrucción suplementaria en el haz incidente es un argumento de poco peso frente a la posibilidad de obtener una superficie de mejor calidad.

Para determinar el valor de a del eje menor de la elipse útil (figura 46), es necesario conocer cuatro datos (figura 47):

¹ A. Couder (tesis), Recherche sur les déformations des grands miroirs employés aux observations astronomiques (Investigación sobre las deformaciones de los grandes espejos utilizados en las observaciones astronómicas), pág. 10.

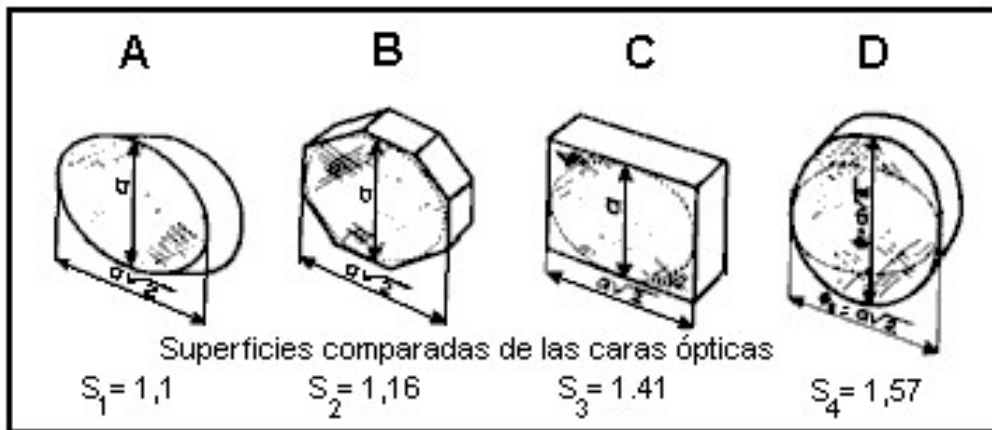


Fig 46. Diversas formas para el espejo secundario

- El diámetro óptico D del espejo principal
- La longitud focal f del espejo principal
- La distancia l entre la intersección del eje con la superficie del espejo plano y el plano focal
- El diámetro d del campo que se desee cubrir en plena iluminación.

La distancia l es igual al radio exterior del tubo previsto para el telescopio (o la mitad del lado si este es un cuadrado), más la longitud del portaocular completo cuando está hundido al máximo, mas cierta distancia libre entre el plano focal y la base del portaocular; en la actualidad el plano focal se hace casi siempre exteriormente accesible. Es pues necesario que este plano emerja del instrumento cuando el portaocular está hundido a fondo. Si se piensa solo en observaciones visuales, basta permitir el enfoque con los mas fuertes oculares negativos; con las actuales monturas de doble penetración es suficiente un espacio libre del orden de 1 cm. Pero si se prevé realizar fotografías en el foco, la distancia libre debe aumentarse en el espesor de la cámara; en general, la interposición de todo aparato o accesorio que tienda a acortar el tubo, impone más grandes distancias libres y como consecuencia, espejos planos secundarios más grandes. Es conveniente no tratar de interponer un helioscopio polarizador o un inversor a prismas si estos accesorios no cuentan con una lente divergente destinada a alejar el foco en la cantidad deseada.

Falta determinar el diámetro d del campo que se desee cubrir en plena iluminación. Para la mayor parte de las observaciones visuales puede uno contentarse con el diámetro de la luna que vale angularmente 31', equivalente en el plano focal a un diámetro lineal de 9 milésimos de la longitud focal¹ (11 mm en el foco de un telescopio de 1,2 m de distancia focal). Si se desean tomar fotografías en el foco con un campo lo más extenso posible, el límite razonable lo fijará la importancia de las aberraciones extraaxiales del espejo parabólico, recordando que las grandes nebulosas desbordan el campo usual de un telescopio de mediana potencia. El diámetro de las más pequeñas estrellas que pueden registrarse fotográficamente en el foco de un telescopio de mediana potencia, es aproximadamente de 35 μm. Debemos ser menos exigentes en el borde del campo; fijemos como límite tolerable para la longitud radial del penacho debido a la coma y al astigmatismo, el valor de 10 μm. La tabla siguiente, calculada con este dato, indica el diámetro d del campo en minutos de arco y en milímetros en el plano focal, para distintos espejos de aficionados.

D= f/D=	5		6		7		8	
150 mm	103'	22,5 mm	116'	30,4 mm	130'	39,7 mm	138'	48,2 mm
200 mm	80'	23,3 mm	92'	32,1 mm	102'	41,5 mm	110'	51,1 mm
150 mm	66'	24,0 mm	76'	33,2 mm	86'	43,8 mm	92'	53,5 mm
300 mm	55'	24,0 mm	64'	33,5 mm	73'	44,6 mm	80'	55,9 mm

¹ 9,02 (ángulo en radianes).

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

En el caso de un pequeño espejo poco abierto, la adopción de un campo semejante puede conducir a una obstrucción central prohibitiva. Si deseamos hacer observaciones visuales, recomendamos un dispositivo que permita el reemplazo del espejo secundario empleado en fotografía, por otro más pequeño.

En conocimiento de los cuatro datos necesarios, podemos dibujar el plano del telescopio a escala de $\frac{1}{2}$ por ejemplo, trazando los rayos emergentes que limitan el campo útil (figura 47); basta medir el diámetro del haz a la distancia l del plano focal para tener el eje menor de la elipse del espejo plano; el eje mayor recordemos, vale 1,4142 veces el menor.

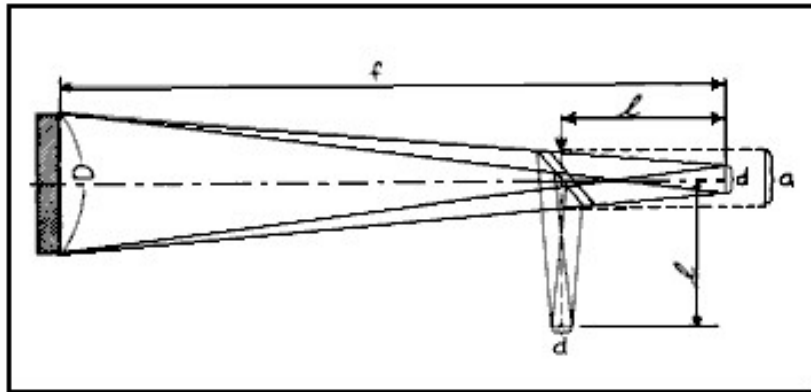


Fig 47. Dimensiones del espejo secundario

También puede obtenerse el valor de a del eje menor por la fórmula:

$$a = \frac{(D - d)l}{f} + d$$

Ejemplo. Se desea conocer el valor del eje menor del espejo plano del telescopio estándar $f/D = 6$ para el cual se tiene $D = 200$ mm, $f = 1200$ mm, $l = 160$ mm; de acuerdo con el tubo estándar y para las observaciones visuales comunes, $d = 11$ mm, equivale al diámetro de la Luna en el plano focal y se tendrá entonces:

$$a = \frac{(200 - 11) \times 160}{1200} + 11 = 36,2 \text{ mm}$$

Otro ejemplo. La misma pregunta con un telescopio de 300 mm a $f/D = 7$ que se desea emplear para fotografías de larga exposición en el foco, sabiendo que el diámetro exterior del tubo del telescopio mide 350 mm, que la montura de enfoque entrada a fondo mide 50 mm, y que la cámara que se instala tiene 40 mm de espesor. Si se desea un espacio libre suplementario de 10 mm, se tendrá:

$$l = 175 + 50 + 40 + 10 = 275 \text{ mm.}$$

La tabla anterior nos da: $d = 45$ mm. Se tiene pues:

$$a = \frac{(300 - 45)275}{2100} + 45 = 78,4 \text{ mm.}$$

Control interferencial de los espejos planos

Sea Una lámina de aire de espesor e (figura 48A) comprendida entre dos superficies ópticas. Un rayo luminoso de incidencia I tal como el S, al llegar sobre la lámina de aire sufre una primera reflexión parcial en A en el pasaje del vidrio al aire, dando origen al rayo reflejado R; luego, una segunda reflexión en B en el pasaje del aire al vidrio, dando origen al rayo reflejado R'. Estos dos rayos R y R' pueden interferir; por ser las reflexiones en A y B de naturaleza diferente, resulta una diferencia de fase de $\lambda/2$, a la cual debe agregarse el camino suplementario: $2e \cos i$ recorrido por el rayo R'. Para una diferencia de

marcha de $\lambda/2$ o un número impar de $\lambda/2$, la interferencia es total; si la lámina de aire tiene un espesor variable, los puntos de espesor apropiado aparecerán oscuros y se verán franjas localizadas en la lámina de aire.

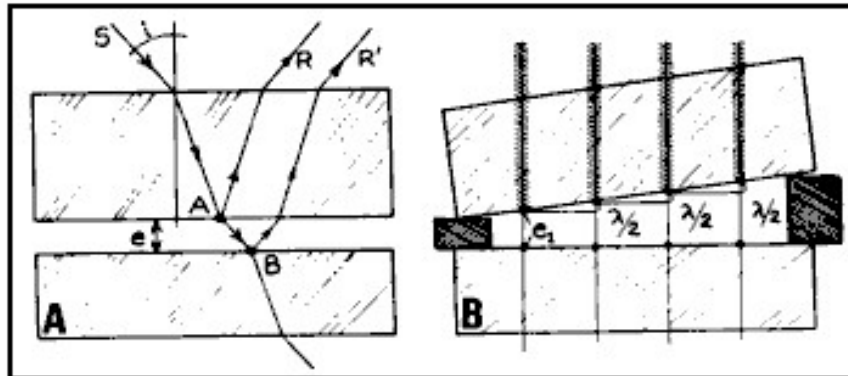


Fig 48. Interferencia producida en un espacio de aire

Un caso particular importante que nos interesa directamente es aquel en el cual las caras de la lámina de aire son planas y forman entre ellas un ángulo muy pequeño; se tiene entonces una cuña de aire (figura 48B). Si la incidencia es normal, cada vez que el espesor de la cuña aumenta en $\lambda/2$ a partir de cierto espesor e_1 para el cual la interferencia es completa, se verá una nueva franja, puesto que el retardo se ha aumentado en λ . Esta franja es evidentemente una recta paralela a la arista de la cuña, puesto que este es el lugar geométrico de los puntos de igual espesor. Entre dos puntos del vidrio donde se cuentan K franjas, puede decirse que el espesor ha variado en $k\lambda/2$. Si estamos seguros de la planicidad de una de las caras de la cuña (calibrador patrón controlado por otro método), podemos interpretar directamente las alteraciones de las franjas de igual espesor con relación a la línea recta, como defectos de planicidad de la segunda cara de la cuña; las franjas nos darán un medio preciso para controlar la planicidad de una superficie óptica, con la única condición de que dispongamos de un calibrador de referencia.

Práctica del control interferencial de los espejos planos

En los talleres industriales se practica el control interferencial simplemente a la luz del día; en estas condiciones las franjas no son visibles sino para muy pequeños espesores de la cuña y presentan vivas coloraciones del espectro de Newton.

Las superficies deben estar perfectamente limpias y aplicadas con el mayor cuidado directamente la una sobre la otra sin desplazamiento lateral; aun una mano experta no está jamás segura de no haber cometido deslizamientos, cuando el diámetro del vidrio alcanza 5 cm. Además existen generalmente, para débiles espesores de aire, fenómenos de adherencia, muy perjudiciales por las contracciones mecánicas que infligen a las piezas. Si se agrega que es raro el taller que se opera con incidencia normal y tiempos de enfriamiento suficientes después de las manipulaciones del calibrador y del espejo todavía sobre el bloque, se comprenderá que a ésta técnica puede pedírsele apenas una precisión de $\lambda/2$.

Un método más correcto, consiste en utilizar una fuente extensa de luz monocromática, por ejemplo un tubo de descarga vapor de mercurio, de manera tal que la incidencia sea normal. Aun sin aislar la raya verde, es posible ver las franjas se la cuña interponiendo calzas de papel entre las superficies.

Es mejor y a la vez más económico, recurrir a una lamparita de neón, fácil de encontrar en los comercios de electricidad, asociada a un dispositivo imaginado por Fizeau. Tomados la mayor parte de los talleres prácticos siguientes de A. Couder. La lamparita N está colocada en el foco de un lente ordinario plano convexo L (figura 49); la cara plana está vuelta hacia la fuente y la longitud focal no debe ser muy pequeña (40 ó 50 cm para un diámetro de 10 cm).

Si la lamparita es muy voluminosa, puede ponérsela sobre el costado por medio de un prisma cualquiera; en todo caso el pincel incidente debe estar un poco fuera del eje para que el haz de retorno, después de la reflexión sobre el plano, sea directamente accesible. Es cómodo poder ajustar por medio de tornillos

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

calantes o de tacos, la orientación del aparato o de las superficies examinadas, de manera de realizar la autocolimación sobre el plano.

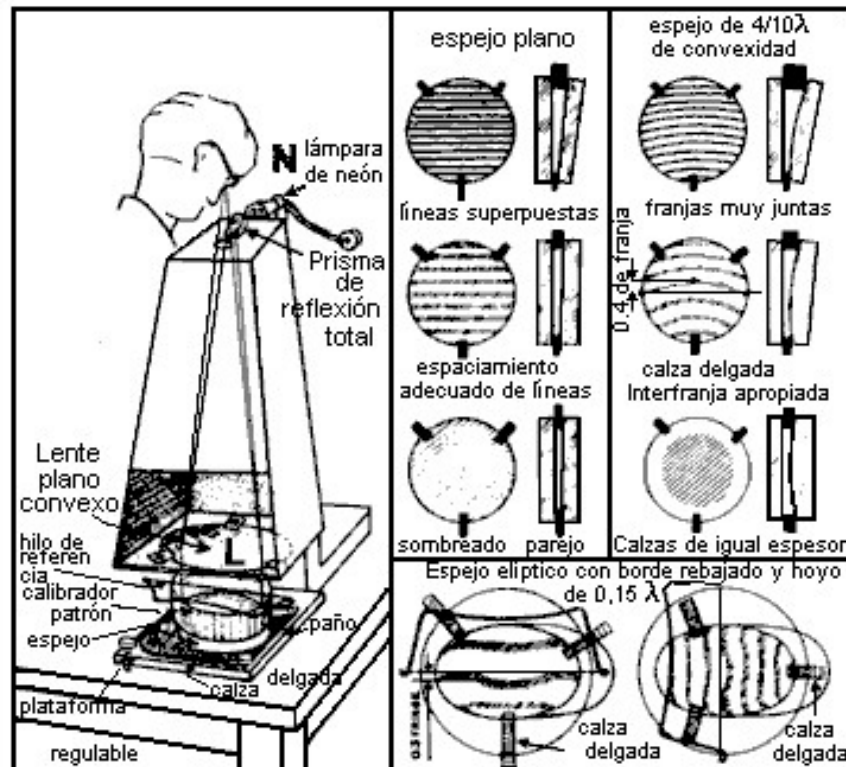


Fig 49. Control interferencial de planos con el montaje de Fizeau

Las calzas de separación están cortadas de la misma hoja de papel de 1 ó 2 décimos de mm de espesor y su ancho puede ser de 5 a 10 mm. El papel periódico que es relativamente compresible, resulta práctico. Primero se apoya el calibrador sobre una calza, luego se balancea sobre las otras dos sin tocar directamente el espejo. En general, al comienzo se ve un gran número de franjas, lo que indica que la pendiente de la cuña es grande y en consecuencia las calzas son muy diferentes; tirando del espesor grueso o comprimiéndolo, las franjas se ensanchan; cuando sobre el vidrio no hay más que una decena, no hay ventaja en igualar el espesor de las calzas; generalmente las franjas se extenderán en un “matiz uniforme” aun subsistiendo defectos de 1/10 ó 2/10 de franja, mientras que con una interfranja¹ de aproximadamente 10 mm es visible una curvatura o un accidente de ½ mm. Esto representa 1/20 de franja o $\lambda/40$ sobre el vidrio. Más corriente es que existan defectos zonales o una curvatura de conjunto; para evitar errores de interpretación, se comienza por localizar la calza delgada (que es aquella que, comprimida por una ligera presión del dedo sobre el vidrio a plomo, muestra las franjas aproximándose entre sí, puesto que la pendiente de la cuña de aire aumenta) y se la gira frente al operador (figuras 49 y 50); entonces, la franja central representa el corte de la pieza controlada, tal como podría vérsela si sus accidentes fueran aumentados a razón de 0,3 μm aproximadamente ($\lambda/2$ eficaz del neón) para una interfranja (33333 a 1).

Las figuras 49 y 50 presentan ejemplos de aplicación de esta regla. Los accidentes se miden comparando la curvatura de las franjas con el valor de la interfranja, gracias a un hilo que materializa una línea recta, tendido en un arco de alambre de hierro. Cuando el defecto no es de revolución, la interpretación de las franjas no siempre es fácil; es necesario cambiar la dirección de la pendiente mayor de la cuña de aire, cambiando por ejemplo dos calzas entre sí de modo de estudiar otros diámetros. Esto resulta particularmente útil con un vidrio que no es circular (figura 49).

¹ Distancia entre franjas.

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

Desde luego, son indispensables las precauciones para el equilibrio térmico de los vidrios y para evitar su calentamiento durante el transcurso mismo de la prueba. Por lo común es necesario una espera de varias horas después de la manipulación del calibrador y del espejo; lo mejor es dejar reposar los vidrios durante una noche y no inclinarse delante del aparato más que durante el tiempo necesario; hasta es conveniente proteger los vidrios del calor del cuerpo por medio de una envoltura de papel ondulado formando una camisa hasta el lente del aparato de Fizeau.

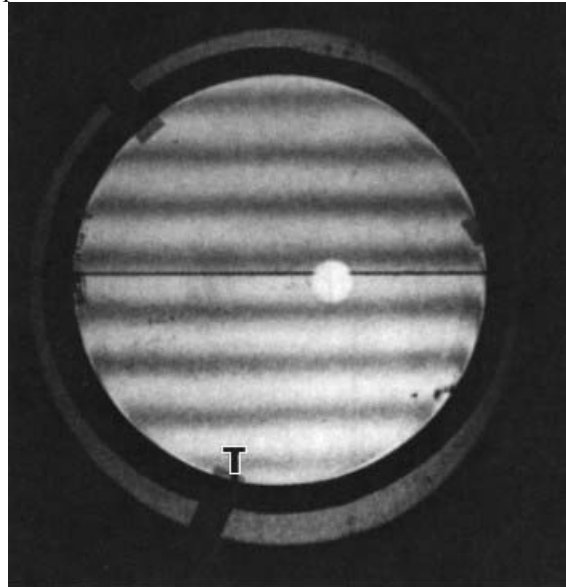


Fig 50. Control interferencial de un espejo plano. Observar el hilo rectilíneo de referencia cerca de la franja central. La mancha blanca es el reflejo de la lámpara de neón. La calza delgada está marcada T. El borde extremo está rebajado.

El método interferencial es de fácil aplicación y de interpretación inmediata, sin cálculos; supone únicamente que se posee un calibrador patrón al menos tan grande como la pieza a controlar y cuya calidad esté fuera de dudas. Uno de los primeros deberes de un grupo de aficionados es poseer un plano patrón y también poder controlar las piezas montadas por sus miembros. El aficionado aislado en provincias puede en rigor, evitar los grandes defectos controlando 3 espejos de dos en dos, con sus dorsos pulidos; obtendrá un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas de resolución inmediata que le dará las indicaciones sobre la curvatura en importancia y signo de los tres vidrios¹. Desgraciadamente si los defectos son complicados, este método es insuficiente; apenas se le puede aplicar con éxito en el caso de curvaturas regulares. Es preferible el método siguiente.

Control de los espejos planos en combinación con uno esférico

Hay que disponer de un espejo esférico cóncavo auxiliar al menos tan grande como el eje menor del plano a controlar; de hecho, aun para un espejo muy pequeño, no hay interés en descender por debajo de 10 cm de diámetro y 2 m de radio de curvatura. Para el ferviente tallador de espejos, un esférico perfecto bastante grande es una preciosa pieza de referencia; quien no construye más que ocasionalmente un telescopio, no tallará especialmente un espejo esférico; le aconsejamos utilizar su espejo principal, aun cuando ya esté parabolizado, con tal que no tenga un defecto pequeño y neto justamente en el centro. Se verificará, examinando en el aparato de **Foucault** un espejo de 20 cm a $f/D = 8$ ó aún 6, provisto de un diafragma de 50 mm, que en su parte central puede ser asimilado a un espejo esférico.

Retomemos el dispositivo descrito en “Defectos que no son de revolución” (atrás), a propósito del estudio del astigmatismo del espejo principal y apliquémoslo al examen del espejo diafragmado para verificar que el astigmatismo del montaje es insensible con un fuerte ocular.

¹ Una detallada explicación de este método se halla en “Revista Astronómica” tomo IX, número IV, página 232.

Para la interposición del espejo plano dentro del haz, es necesario un soporte especial. La figura 51 muestra un ejemplo realizado con tres tablas, de las cuales la primera sirve de zócalo y está apoyada sobre tres cabezas de clavos y las otras dos forman un diedro, por ejemplo¹ de 45°, que tiene sus planos materializados por cabezas de clavos que sirven de apoyo al dorso de los espejos cuyo deslizamiento vertical se impide con grandes clavos que los sostienen por el borde. El centro del espejo esférico debe proyectarse evidentemente sobre el centro del vidrio plano.

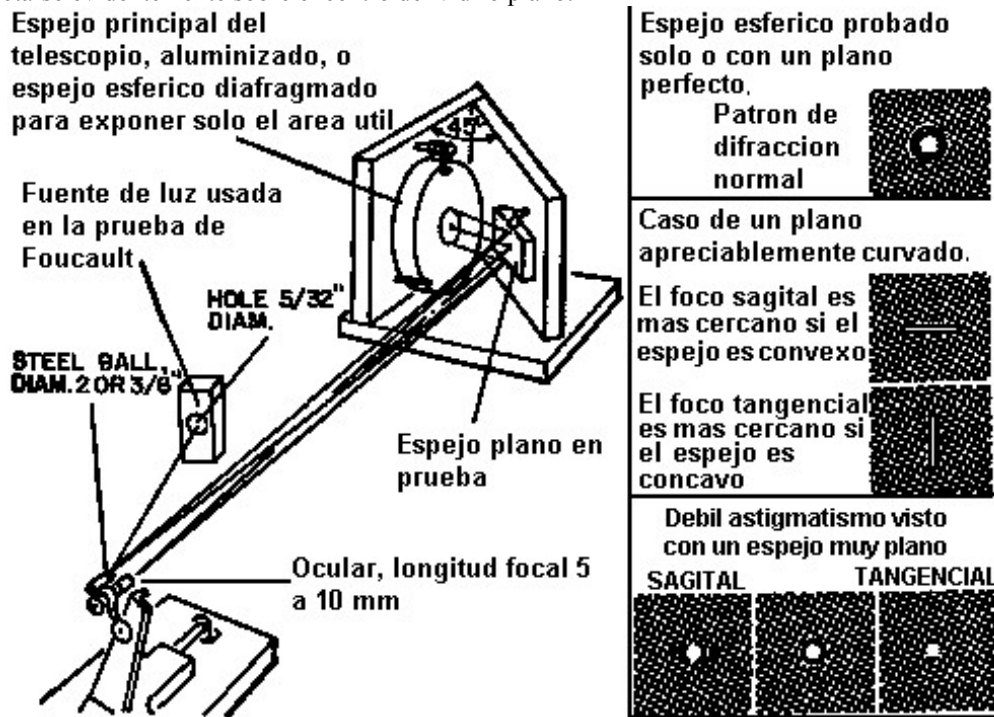


Fig 51. Prueba de una superficie plana con la ayuda de un espejo esférico

Para tener suficiente luz, no obstante las tres reflexiones y como el plano en examen está eventualmente en retoque y generalmente no metalizado, es preciso que lo esté el esférico.

La experiencia de **Foucault** practicada en estas condiciones nos revela los defectos zonales del plano si los hay, pero no puede decirnos si el espejo tiene una débil curvatura esférica cóncava o convexa. En efecto, con nuestro montaje, el plano de incidencia es horizontal y el astigmatismo creado por la no planicidad del espejo diagonal se manifestará cerca de la imagen bajo la forma de rectas focales rectangulares, una de ellas, la focal sagital está contenida dentro del plano de incidencia y es pues horizontal con nuestro montaje, pero la otra, la focal tangencial, ortogonal con respecto a la anterior, es vertical como nuestro cuchillo y si este último hace un corte dentro de su plano, observaremos el matiz uniforme como un haz anastigmático. Sin embargo puede ponerse de manifiesto y medirse el astigmatismo con gran precisión por el método de **Foucault** si el aparato está provisto de un cuchillo y de una fuente que puedan girar en su plano; colocando la arista en posición horizontal, puede hallarse otra posición longitudinal de extinción en matiz uniforme correspondiente al enfoque de la sagital, restando de esta segunda medida el astigmatismo del montaje (posición extraaxial de la fuente); la diferencia que queda entre ambos enfoques mide la longitud l del astigmatismo que permite calcular, con la fórmula indicada más adelante, la curvatura del espejo. Pero podemos evitar la transformación de nuestro aparato de **Foucault** simplemente apuntando las focales con un fuerte ocular; la precisión es un poco menor, pero nos familiarizará con una imagen afectada de astigmatismo puro. Como la bolita está pegada contra el ocular y nuestro montaje tiene escasa abertura angular, puede despreciarse el astigmatismo del montaje y obtener la longitud del astigmatismo, simplemente restando uno del otro los dos enfoques hallados para los planos de enfoque que corresponden a cada focal (figura 51). Si se halla que la focal sagital

¹ El ángulo óptimo para el control de los planos es de 54° 45' (tesis de A. Couder, pág. 9). A menudo se toma también 60°.

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

(horizontal) está más próxima del espejo que la tangencial (vertical), significa que el espejo es convexo; por el contrario, si es más alejada, el espejo es cóncavo.

Tomamos de A. Couder las siguientes fórmulas¹: El radio de curvatura R del espejo casi plano examinado es igual a:

$$R = \frac{4p^2}{l} \left(\frac{1}{\cos i} - \cos i \right)$$

Siendo p la distancia del espejo plano a la imagen vista por el ocular, tomando en cuenta las dos reflexiones y l la longitud del astigmatismo.

Para nuestro montaje, en el cual hemos tomado $i = 45^\circ$, $\cos i = \frac{\sqrt{2}}{2}$ la fórmula se transforma en:

$$R = \frac{2\sqrt{2}p^2}{l}$$

Siempre en el caso de la incidencia a 45° , la flecha ε de curvatura del espejo casi plano está dada por:

$$\varepsilon = \frac{l}{22,6} - \frac{D^2}{p^2}$$

Siendo D el diámetro del haz útil en el plano del espejo examinado.

Ejemplo: Se ha encontrado una longitud de astigmatismo l de 2 mm entre ambas focales, siendo la focal sagital la más alejada; sabiendo además que $p = 3100$ mm (espejo de 20 cm a f/8 utilizado como esférico) y $D = 50$ mm, concluimos que el espejo ensayado es cóncavo y que su radio de curvatura es igual a:

$$R = \frac{2,83 \times 3.10^2}{2} = 13,6 \times 10^6 \text{ mm} = 13,6 \text{ Km}$$

L flecha de curvatura del eje menor es de:

$$\varepsilon = \frac{2}{22,6} \times \frac{50^2}{3100^2} = 2,3 \times 10^{-5} \text{ mm} \text{ o sea } 0,023 \text{ } \mu\text{m} \text{ ó } \frac{\lambda}{24}$$

El método es muy sensible, puesto que el espejo está alejado de la imagen, (p es aquí 20 veces más grande que en el instrumento en servicio) y que el haz pasa dos veces sobre el plano.

Elemento principal

Vidrio de Saint Gobain²

La planicidad del vidrio es a menudo encomiada en los tratados de física y en aquellos consagrados a los telescopios para aficionados; seguramente ella es notable para un producto industrial tan trivial. Si se dispone de una suficiente cantidad de trozos de vidrio y de un aparato de control interferencial, no será difícil hallar un trozo bastante grande y suficientemente perfecto como para constituir un espejo diagonal

¹ A. Danjon y A. Couder. Lunettes et telescopes (Anteojos y telescopios), pág. 501 y también A. Couder, tesis pág. 9.

² En Colombia "Saint Gobain" es una marca, no un tipo de vidrio. Lo que quiere decir el autor, es el vidrio utilizado en las puertas de los bancos o empresas grandes.

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

de 20 a 30 mm de eje menor. Lo que hay que desechar en absoluto es la práctica muy frecuente entre los aficionados, que consiste en tomar el primer trozo de vidrio hallado, sin controlarlo; ¡se tiene algo así como una probabilidad sobre 100 de obtener de esta manera un buen plano! Existe casi siempre defectos astigmáticos cuya interpretación es a veces difícil y cuya amplitud alcanza fácilmente a 5 ó 10 franjas sobre 50 mm; es indispensable el retoque de la superficie.

En caso extremo puede bastar el vidrio ordinario de 8 mm de espesor para un espejo diagonal de 30 a 40 mm de eje menor; no obstante se preferirá un espesor de 10 a 15 mm especialmente si el eje menor alcanza a 50 ó 60 mm.

Piezas de óptica recuperadas

Citaremos como principal fuente de espejos planos: los filtros fotográficos realizados especialmente por Carl Zeiss Jena¹ y por Goertz para las antiguas cámaras de aviación de grandes dimensiones, que se encuentran generalmente a muy buen precio en el mercado de ocasión. Estos filtros están constituidos por dos láminas de caras planas y paralelas de 150 mm de diámetro y 11 mm de espesor o mejor de 180 y 14 mm respectivamente, pegadas, con la interposición de una gelatina coloreada. Por lo general es necesario aserrar la montura para recuperar las láminas, que pueden luego despegarse dentro de una cacerola puesta a calentar. Las caras interiores tienen generalmente defectos de 2 ó 3 franjas sobre todo el diámetro, pero a menudo las caras exteriores no presentan un defecto de más de una franja y si se estudia detenidamente el plano de recorte, se podrá hallar una región bastante grande como para un espejo exacto a $\lambda/10$. En el taller de la *Commission* hemos logrado obtener 4 espejos planos estándar perfectos de una sola plancha de 150 mm. Quienes no tengan el coraje de hacer una prueba óptica, tendrán esta vez mucha mayor probabilidad de obtener un espejo aceptable recortándolo del centro de la cara externa de una lámina de filtro, que recurriendo al vidrio de Saint Gobain. De todas maneras, el retoque es mucho más fácil que si se trata de un trozo de vidrio de Saint Gobain.

Mencionemos también ciertos espejos de forma rectangular provenientes de telémetros, que son exactos a 1/10 de franja en general. Siempre hay que guardarse bien de generalizar tales comprobaciones sin controlar; las piezas industriales terminadas con esta precisión son muy raras; prácticamente, esta precisión jamás se encuentra en los prismas de reflexión total.

Retoque de la superficie de los espejos planos

Si se ve que la cara de un trozo de vidrio o de un filtro puede utilizarse tal cual, o retocarse en el pulido, hay que cuidarse de despulir la otra cara, lo que tendría por resultado provocar una concavidad de varias franjas en la cara elegida a causa de las fuerzas de compresión del abrasivo (efecto Twyman). Para el caso más general en que es necesario un retoque, puede elegirse entre dos técnicas:

- a) Recortar primero el espejo en su forma definitiva y retocarlo luego montado en “bloque”, es decir, fijado con brea sobre un plato y rodeado con otros trozos laterales, para obtener un contorno aproximadamente circular (figura 52A). Inconveniente: al despegarlo, inevitablemente se liberan compresiones que por lo común hacen necesario el retoque final del vidrio solo, y este retoque, efectuado sobre una pieza que no es de revolución, resulta muy difícil.
- b) Recortar sumariamente un espejo circular bastante más grande que el eje mayor del plano deseado, por ejemplo 100 mm para un plano de 40 a 50 mm de eje menor. Si la pieza a retocar es una lámina de filtro de 150 mm, se la puede volver a trabajar tal cual está (figura 52B). Retocar la superficie de este vidrio hasta volverlo exactamente plano y luego recortar definitivamente el espejo en su forma final. Inconveniente: si el material posee notables residuos de temple (cristal), pueden liberarse tensiones y provocar un defecto imprevisto en el recortado.

Preferimos no obstante, este segundo método, puesto que con los vidrios delgados considerados aquí, el efecto debido a las tensiones eventuales es generalmente mucho menor que el debido a las tensiones del pegado; además con el recorte se eliminan los bordes de la pieza inicial, que casi siempre son defectuosos.

¹ Marca Alemana.

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

Para reanudar el pulido de un plano de 10 a 15 cm de diámetro, puede utilizarse una torta de brea no cuadrada, pero con un diámetro un poco mayor que el del vidrio (1 cm para 10 cm). Como herramienta puede utilizarse un disco metálico, de vidrio o de madera parafinada de caras planas, rodeado con una hoja de papel fuerte que sobresalga en su contorno y bien nivelado para recibir una capa de brea de 5 mm aproximadamente de espesor. La brea debe ser bastante dura; la uña no la marca sino débilmente. Antes del enfriamiento completo se procede a un prensado sobre papel contra una superficie bastante grande; luego a un prensado con rojo. Durante el trabajo la herramienta será desguarnecida por una ranura diametral y en caso de necesidad por pequeños golpes de raspador cruzados, para aumentar su adherencia. Recordamos que una aclimatación a 20° C por lo menos y un trabajo prolongado sin interrupción son indispensables.

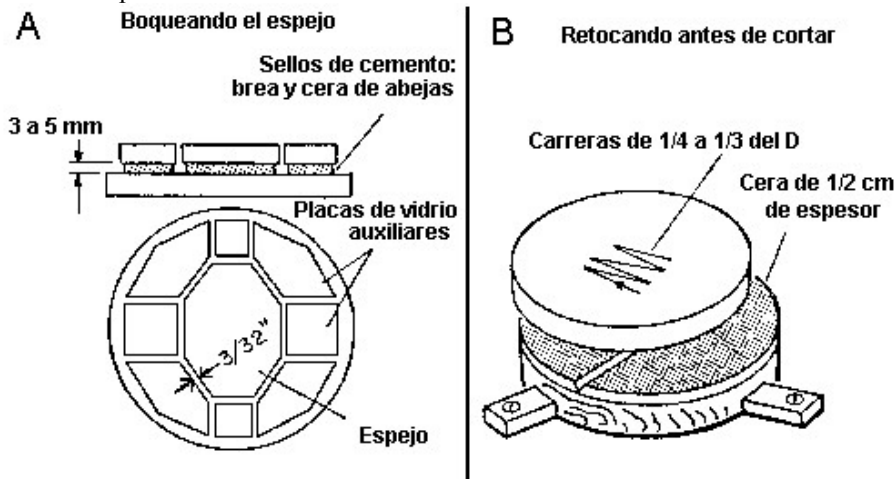


Fig. 52. Dos métodos para mejorar la figura superficial de un espejo plano.

Al principio se trabaja con el vidrio arriba y carreras variadas como con un espejo común. La mayor parte de las instrucciones dadas al respecto podrán ser trasladadas aquí. La amplitud de las carreras no debe exceder $1/3 D$. La tendencia a producir una superficie cóncava es contrarrestada por el exceso de diámetro de la herramienta, pero si el vidrio es cóncavo desde el principio, se trabajará momentáneamente con la torta arriba, apoyando el vidrio sobre varias capas de muletón.

El borde rebajado eventual, aunque sea muy pronunciado, no es para tomarlo en consideración, puesto que desaparecerá con los fragmentos del recortado. Los graves defectos astigmáticos irregulares del cristal de Saint Gobain, se eliminan en forma automática por un trabajo suficientemente prolongado; con frecuencia bastan 3 ó 4 horas de trabajo. No quedará más que la curva de conjunto y los defectos zonales a rebajar a menos de un décimo de interfranja en la porción central útil, que puede ser delimitada por un diafragma de cartón colocado sobre el vidrio durante el control.

Recorte de los espejos planos

Es mucho más fácil y expeditivo hacer un recorte recto. Para cortar un vidrio algo grueso se utiliza con preferencia un gran cortavidrio de rueda con rodamientos montado como un cepillo de carpintero; en efecto es necesario apoyarse fuertemente para hacer una raya gruesa. El vidrio se coloca sobre un soporte de planicidad verificada. Si uno se guía con una regla, es prudente sujetarla con prensas y hay que tener en cuenta desde luego, el semiespesor del cortavidrio. Para separar el vidrio correctamente se procede de la siguiente manera (figura 53): se coloca el espejo con la cara rayada hacia abajo sobre un paño de billar grande como él, colocando el conjunto sobre una superficie plana bastante masiva (un mármol de mecánico es ideal); exactamente frente al trazo se apoya el separador, que es una especie de herramienta de acero terminada por una superficie cilíndrica de radio corto (figura 53). Para producir la ruptura por flexión se golpea la cola del separador con un golpe seco dado con un martillo pequeño. Es preferible separar el vidrio en fragmentos de longitud aproximadamente iguales. Cuando se tallan varios espejos en el mismo disco, es necesario comenzar por un corte diametral. La forma más fácil de recortar es sin duda, un rectángulo (figura 53). Para eliminar las pequeñas asperezas y las aristas cortantes se biselarán los bordes frotando la pieza, presentada a 45° con referencia a un trozo de vidrio, con interposición de carborundum 280. Para evitar las rayaduras sobre la capa óptica, puede untársela con resina o gomalaca.

Los espejos octogonales podrán requerir un trabajo de rebordeado un poco más laborioso puesto que los ángulos no siempre se separan tan perfectamente. Si se posee un lapidario de eje vertical o cualquier elemento de máquina que permita improvisar uno, este trabajo no ofrece ninguna dificultad.

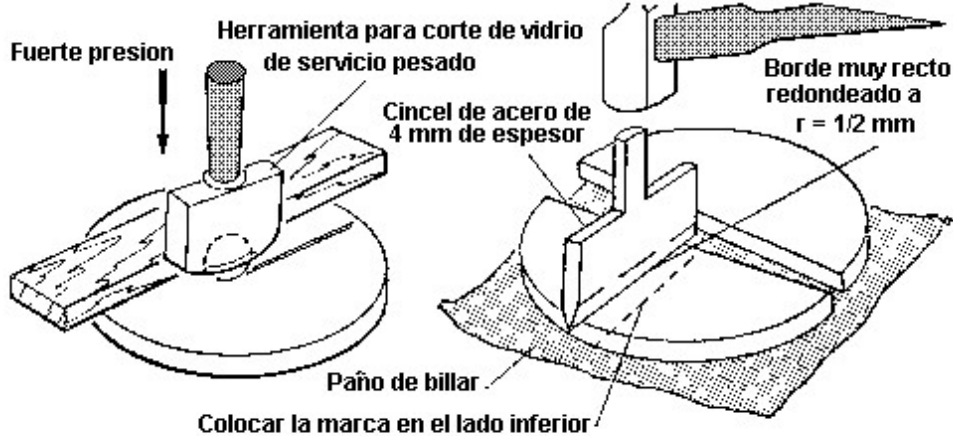


Fig. 53. Cortando vidrio grueso para darle forma

Para conseguirse la forma elíptica oblicua, puede desbastarse el vidrio, pegado entre otros dos de protección sobre una piedra esmeril rotativa (lapidario) o una platina, mediante una pieza cilíndrica recortada a 45° sobre la cual debe estar fijado sólidamente con cemento de óptica o pegante epóxico; el alisado se realiza luego en un torno con una placa de hierro montada en el portaherramienta (figura 54A). El recortado con el *Biscuit cutter* puede hacerse con un simple taladro de pie. El *biscuit cutter* es un tubo de metal blando (latón, acero dulce) que sirve también para agujerear o realizar los espejos Cassegrain; su diámetro interior debe tener aproximadamente 2 mm más que el eje menor del espejo a recortar y su espesor es del orden del milímetro; la parte superior posee una pieza de apoyo o cono Morse que se monta sobre el taladro de pie; la sección recta inferior está provista de ranuras que permiten la circulación del abrasivo. Para evitar las escamaduras, el vidrio debe estar pegado con resina (tres cuartas partes de resina y una de cera de abejas) entre dos vidrios de protección.

Para evitar el comienzo oblicuo del corte del *biscuit cutter* puede colocarse todo a 45° dentro de un cubo lleno de yeso. Un procedimiento sencillo consiste en poner el cristal a 45° dentro de una caja de madera parafinada, que recibe también el agua y el abrasivo (figura 54B) y debe estar sólidamente sujeta sobre el plano del taladro de pie. Es preciso suministrar abundante agua y carborundum 120 por ejemplo, y sacar a menudo el *biscuit cutter* del corte para asegurar un buen trabajo de abrasión sin calentamiento exagerado. El carborundum es evidentemente, un vecino peligroso para la máquina que debe tocarse únicamente con la mano que no maneja el abrasivo y protegerla todo lo posible con trozos de tela encerada. Luego del corte y despegue del espejo, se hace un pequeño bisel, porque la arista aguda se escama fácilmente.

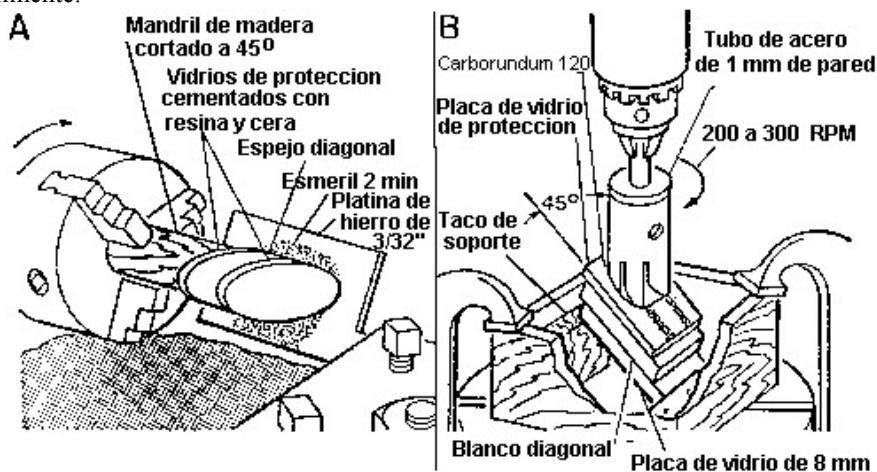


Fig. 54. Produciendo el contorno de un espejo elíptico

Capítulo 3: El espejo plano diagonal
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

Retoques finales

El control después del recorte no está exento de sorpresas; en el caso de un espejo elíptico lo menos que puede esperarse es una ligera elevación del borde agudo debido al efecto Twyman del canto inclinado. Esta anomalía es suficientemente pequeña y localizada y puede despreciarse. Si alcanza 2/10 de franja, se podrá proceder a un retoque a dedo. La liberación de tensiones, en ciertos casos necesita una intervención más seria que un simple retoque parcial. Si el defecto alcanza o excede una franja, lo que felizmente es muy raro, es preciso recurrir a una torta tan grande como el eje mayor de la elipse; con este procedimiento será de temer el rebajado del borde. Si se quiere un espejo impecable, será más económico recortar uno nuevo de un plano de vidrio óptico con recocido especial.