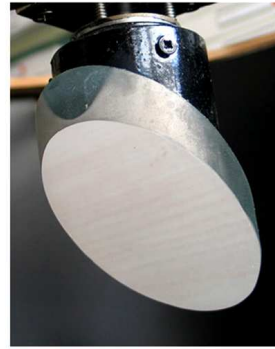
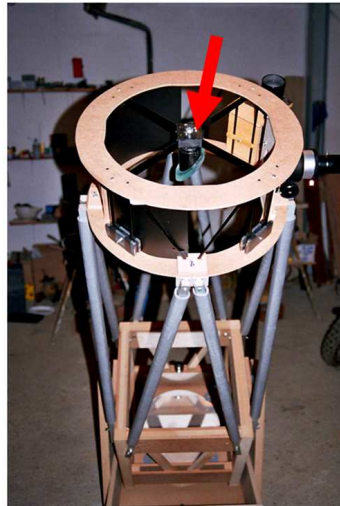


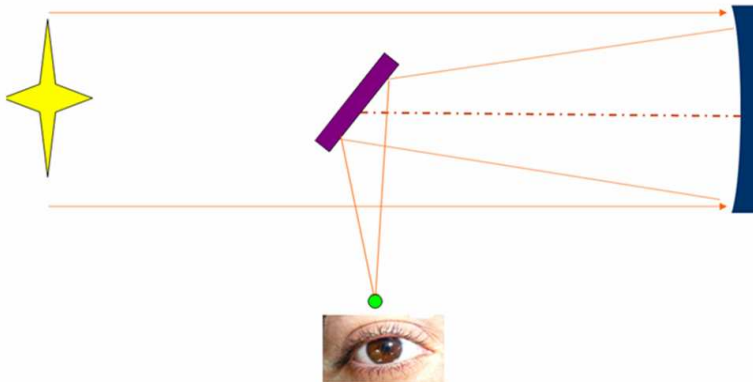
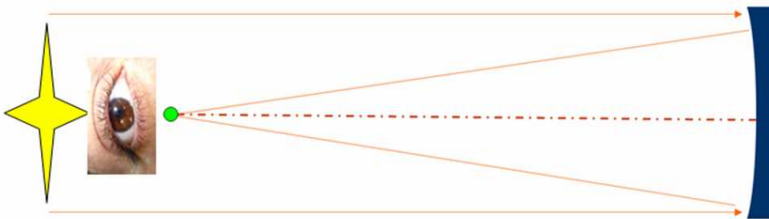
## EL ESPEJO SECUNDARIO O DIAGONAL

Este elemento es el que caracteriza al diseño Newton y, se puede afirmar, que gracias a esta “pequeña” genialidad un astrónomo aficionado pueda construirse su propio telescopio.



UN PEQUEÑO ESPEJO PLANO  
ESTRATÉGICAMENTE  
COLOCADO

La luz de las estrellas incide en el espejo principal y la hace converger en un pequeño punto o foco. Si situamos el espejo primario en el fondo de un tubo de una longitud un poco menor a la distancia focal del mismo, el foco se nos forma en un punto exterior situado cerca de la boca. Si tuviésemos que observar ese puntito en esa posición, nuestra cabeza obstruiría la visión de la óptica principal.



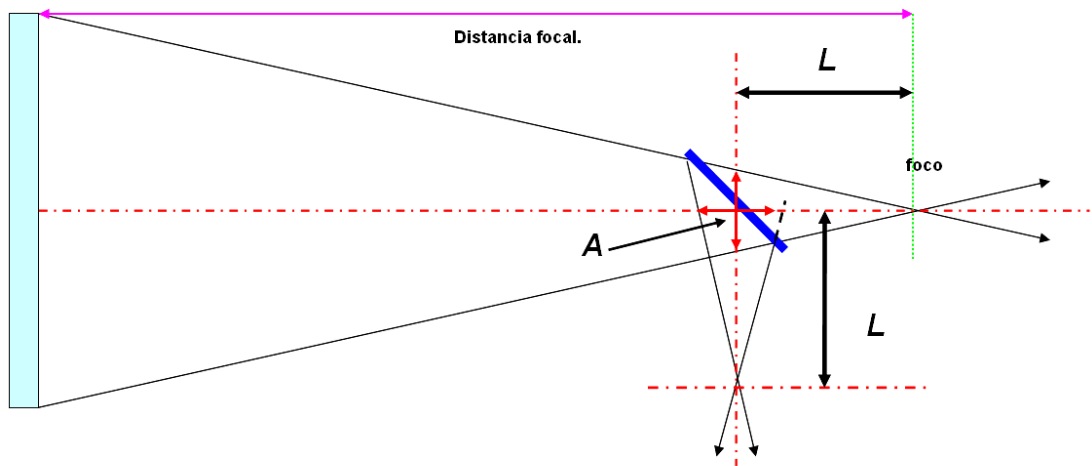
Es el espejo secundario quien tiene la función de “cortar y desviar” el cono de luz reflejado por el espejo primario y sacarlo fuera del campo de visión del telescopio. Esto lo consigue al ser un espejo con una cara óptica plana y estar inclinado, con respecto al eje óptico del espejo principal,  $45^\circ$ .

¿Pero el espejo secundario no molesta? Indudablemente no lo vamos a ver cuando

miremos por nuestro telescopio, cuando esté enfocado hacia el infinito. Este espejo produce una ligera obturación a la visión del primario, es decir, una pérdida de información lumínica. También provoca una falta de detalle fino en los objetos observados.

***.- La forma y cálculo de las dimensiones:***

La forma puede ser rectangular, hexagonal, octogonal o elipsoidal. Su tamaño viene condicionado por dos variables: La distancia a la que se debe sacar el foco fuera del tubo y ofrecer la mínima obturación (o "sombra") al espejo principal.

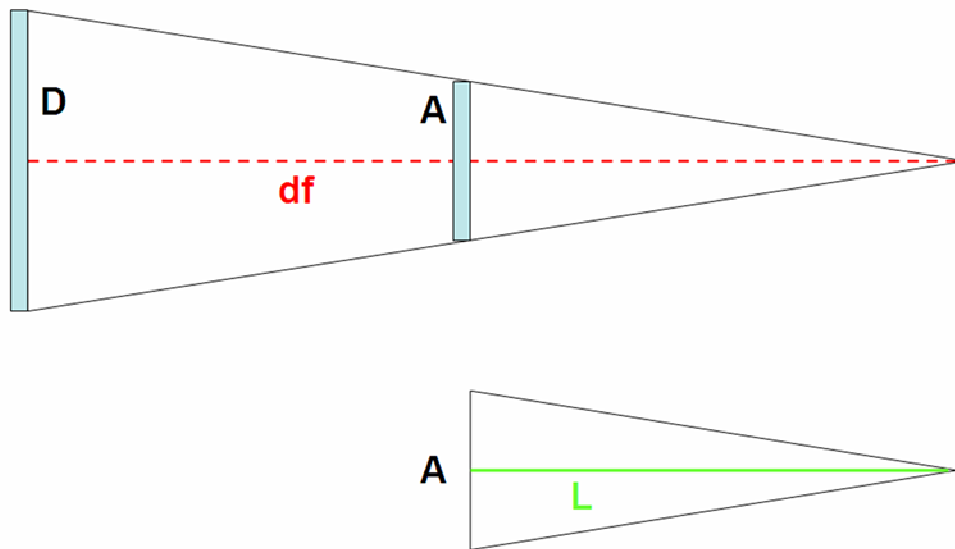


*Esquema para determinar el eje menor del espejo secundario (A) según la variable (L).*

En el esquema anterior, (L) es la distancia a la que queremos sacar el foco fuera del tubo. Esta distancia es condicionada por el punto medio del mecanismo de enfoque. La variable (A) corresponde al eje menor de la elipse o lado menor del rectángulo (según la forma que hayamos decidido). Es mucho más fácil cortar un rectángulo que una elipse, pero el primero ofrece mayor obturación que el segundo.

Para calcular el parámetro (L) tendremos en cuenta: La distancia desde el eje óptico del primario hasta las paredes del tubo, el grosor de estas paredes y, como he mencionado con anterioridad, la distancia media del mecanismo de enfoque.

Para calcular el parámetro (A) es tan sencillo como aplicar la ley de triángulos semejantes. Es decir, calcularemos el lado menor del rectángulo o el diámetro del círculo que sean capaces de tapar el haz cónico de la luz proveniente del primario.



$$D / A = df / L$$

Geometría descriptiva y analítica para el cálculo del eje menor del secundario.

Un ejemplo:

**Lados de  
nuestro  
secundario  
19 x 26  
mm.**

Para un espejo de 150 mm. de diámetro a  $F = 8$ . Calculemos primero  $L$ . Esta saldrá de sumar: La distancia del eje de la óptica principal a la pared interior del tubo. Supongamos que el diámetro interior de éste último es de 160 mm. (debe ser un poco mayor, ya que el espejo debe tener una cierta holgura con respecto al tubo para poder ser "colimado" – en este caso 5 mm.), así la distancia a tener en cuenta es de 80 mm., más el grosor del tubo (en pvc 3 mm.) y más la distancia media del mecanismo de enfoque, suponemos ésta sea de 50 mm.. Por tanto  $L$  vale: 133 mm. Ahora debemos dividir esta cantidad por el índice de luminosidad del primario, es decir 8. El lado menor del espejo secundario en este caso debe tener una longitud mínima de 17 mm.. El lado mayor se calcula multiplicando el eje menor por

una constante que es 1,41 (debido al giro de  $45^\circ$  que hay que realizar). Pero debemos ser algo generosos y aumentar estas longitudes, por lo menos, en 2 mm. por lado (por si las moscas).

Utilizando la anterior ecuación tenemos que:

$$150 / A = 1200 / 133 \dots\dots A = 19950 / 1200 = 16.7 \text{ mm} \quad 16.7 \cdot 1.41 + 2 \text{ mm} = 19 \text{ mm.}$$

$$17\text{mm} * 1,41 = 24\text{ mm} \dots 24 + 2\text{ mm} = 26\text{ mm}$$

Resumiendo, a nuestro aparato hay que proporcionarle un espejo rectangular (si nos decidimos por esta forma, que es la más fácil de cortar) que esté constituido por un vidrio flotado de 19X26 mm. y de un espesor mínimo de 6 mm..

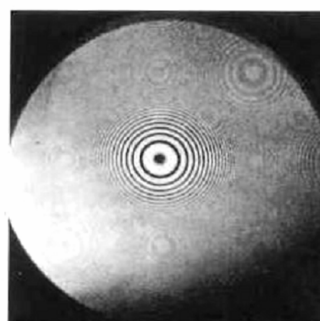
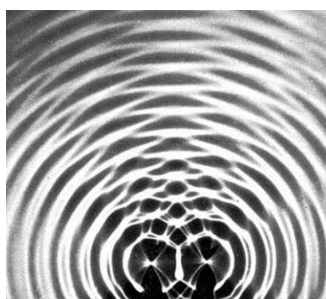
### ***.- La planitud óptica:***

Podemos comprobar el grado de planicidad óptica de los vidrios por medio de las *bandas de interferencia de Newton*.

### ¿Qué es la interferencia lumínica?

La luz es una onda. Una onda se caracteriza por su longitud ( $\lambda$ ) o distancia entre máximo y máximo (resta con cresta) y por su amplitud (lo alta que es la cresta o lo bajo que es el valle).

Las ondas de luz viajan en fase, como las líneas de una formación de soldados bien ordenada. Si un soldado encuentra un obstáculo se desfasa respecto a sus compañeros, a una onda luminosa le ocurre lo mismo, también se puede desfasar y lo demuestra con lo que denominamos fenómenos de interferencia:



Ondas de luz y su comportamiento en interferencia, explicación gráfica y visualización en la vida real.

En el esquema adjunto se puede apreciar la naturaleza de las bandas de interferencia. Estas se producen cuando hay varias superficies reflectantes íntimamente relacionadas (muy juntas). Dicho de otra manera. La pequeñísima lámina de aire entre los dos vidrios, hace que las ondas de luz reflejadas se sumen (franja luminosa) o resten (banda oscura, la que podemos observar). Este fenómeno se denomina *interferencia* y es debido a la naturaleza ondulatoria de la luz (física óptica).

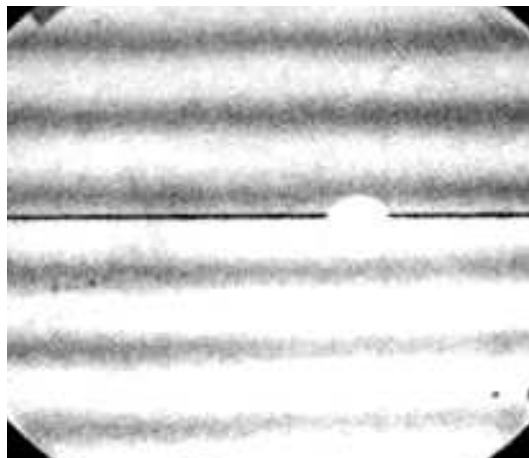
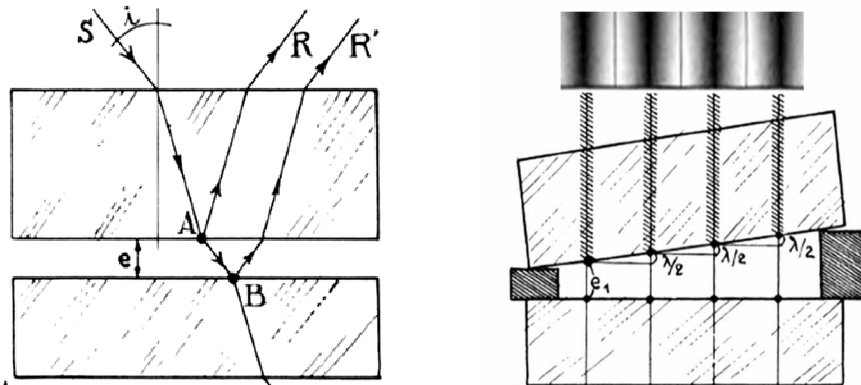
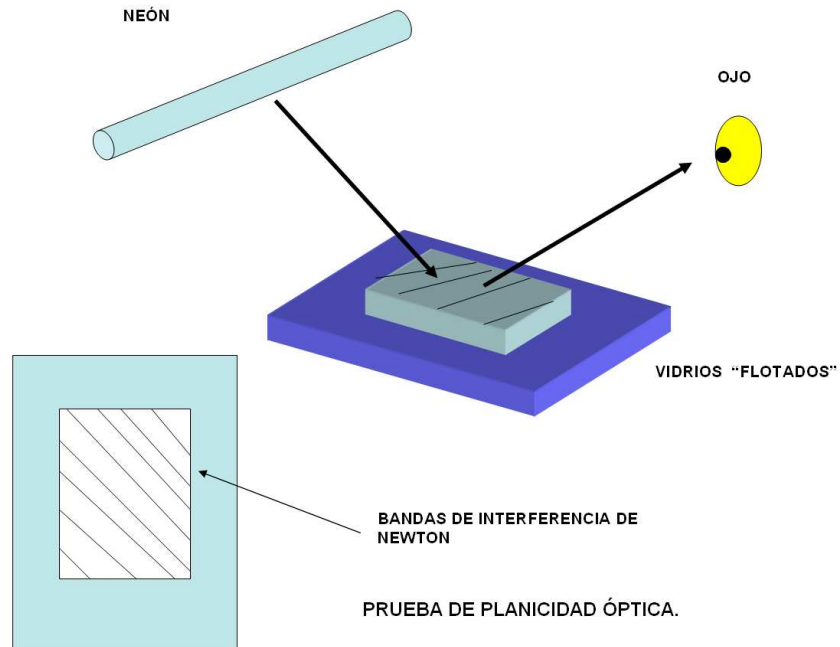


Gráfico que explica la aparición de las bandas de interferencia. Colocamos nuestro futuro diagonal sobre un vidrio patrón de plenitud. En la superficie de nuestro secundario aparecen bandas oscuras y claras debido al desfase de las ondas que se producen en las múltiples reflexiones, y la separación cuasi-virtual entre los dos vidrios.

.-Un método de “andar por casa”:

Anteriormente hemos calculado las dimensiones de nuestro secundario. Con estas medidas iremos a nuestra cristalería de confianza donde pediremos que nos corten varias unidades de *vidrio flotado* con estas medidas.



Banco de pruebas para encontrar un candidato para secundario, entre gran cantidad de secundarios de la “cristalería”. Las “bases” son óptimamente planas.

Limpiaremos escrupulosamente todos los vidrios, seguidamente depositaremos nuestro vidrio patrón sobre un paño negro (sin ningún tipo de arruga), y sobre éste el primer vidrio que vayamos a comprobar.

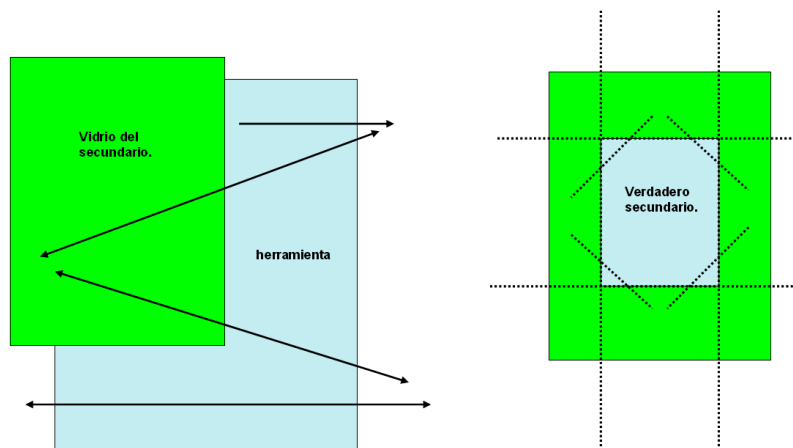
Observemos el reflejo, en el vidrio superior, de una lámpara de neón (luz monocromática) situada enfrente y un poco por encima de nosotros. Si los vidrios están limpios y son relativamente planos, observaremos que aparecen una serie de bandas claras y oscuras (muy sutiles). Estas son las bandas de interferencia que se producen por la interacción de los sucesivos reflejos como he mencionado anteriormente.

Si las bandas son relativamente rectas, equidistantes y paralelas, representa que las caras en contacto entre si, son planas o están curvadas de igual manera. Para descartar esto último le daremos la vuelta a uno de los vidrios y lo comprobaremos, si las bandas siguen siendo rectas tenemos dos candidatos para secundario. Procederemos de esta forma con todos los vidrios restantes.

Si no conseguimos ningún candidato tendríamos que proceder al tallado y el pulido para obtener un vidrio óptico plano.

#### .- El tallado y pulido de un vidrio plano:

Para este menester precisamos de dos vidrios flotados de un grosor proporcional al tamaño del secundario a construir, entre 6 y 12 mm. El vidrio destinado a ser nuestro diagonal tendrá el doble de las dimensiones requeridas, ya que al final de todo el proceso se le recortará como se indica en el esquema inferior. Las dimensiones del segundo vidrio, *la herramienta*, excederán en más de 3 centímetros las del espejo diagonal.



"PASOS" DEL TALLADO Y PULIDO.

"RECORTE" DEL SECUNDARIO.

Los esmeriles a utilizar son de grano fino, de 320 a 1500. El esmerilado se realiza con la el secundario encima de la herramienta, con un paso en zig-zag de forma que el secundario sobre salga 1 centímetro del borde de la herramienta y de manera que llegue a recorrer toda ella. La ley de promedios y los abrasivos se encargan de "igualar" las caras en frotamiento.

Cuando hayamos llegado al final con el último carburo pasaremos al pulido. Para el pulido hay que construir *la herramienta de pulido*. Se procede de igual manera que

para el primario, pero esta vez nuestro molde es el pequeño vidrio destinado a secundario. El pulido se realiza con pasos “circulares” de muy pequeña amplitud y de manera que el espejo no sobresalga mucho. Aquí sería necesaria la presencia de un *patrón plano* para conformar la herramienta de pulido.

La tendencia a producirse una superficie cóncava es contrarrestada por el exceso de tamaño de la herramienta y los defectos en el borde (borde rebajado) no es un problema ya que una vez finalizado el pulido (cuesta poco tiempo debido a las dimensiones reducidas de los vidrios) procederemos a recortar hasta las dimensiones requeridas nuestro vidrio.

Para saber que grado de perfección que hemos alcanzado disponemos de dos métodos, pero desgraciadamente precisaremos de dos elementos de control que habrá que adquirir:

Para el primero, es necesario la ayuda de un vidrio con planitud óptica contrastada y de un tamaño, cuanto menos, igual que nuestro secundario, también se puede realizar con una oblea de sílice destinada para circuitos integrados (es la superficie más plana que se puede conseguir) siempre que el secundario a contrastar no esté muy desviado de la plenitud, ya que la oblea, al ser muy delgada se deforma con facilidad. En este caso procederemos a “comparar” las caras de los dos espejos por el método de bandas de interferencia de Newton, anteriormente descrito. En una fotografía anterior se pueden apreciar las imágenes y su significado (líneas paralelas y equidistantes representan plenitud, si se encuentran dobladas se debe a la convexidad o concavidad que hemos dado al vidrio).

El segundo método se “resume” en comparar las imágenes de una estrella (o estrella artificial) en combinación con un espejo primario esférico de calidad contrastada. Este es mucho más complicado de realizar pero cuando hablemos de los test estelares (método sencillo para determinar la calidad de cualquier óptica por el desenfoque de una estrella).

### **GANANDO PODER DE REFLEXIÓN: EL METALIZADO**

Tal como se encuentran nuestras ópticas no llevarían a nuestra retina más que una parte de luz de cada 10.000 que llegan al telescopio. El telescopio se diseña para ser un recolector de luz, por tanto y para finalizar el trabajo del apartado óptico, es necesario dotar a nuestras ópticas de un mayor poder de reflexión. Esto se consigue incorporando a la superficie óptica de cada elemento (primario y secundario) de una finísima capa de metal con un elevado poder reflexivo. Existen dos materiales y un método para cada uno de ellos que cumplen este fin:

#### ***.- El aluminizado:***

Colocamos nuestras ópticas en una campana de alto vacío y dentro de ella se vaporiza un filamento de aluminio (con la ayuda de una corriente eléctrica de muy alto voltaje). El vapor de aluminio se deposita, por gravedad, sobre las ópticas dotándolas de un poder reflexivo del 80-85%.



Este método precisa de unas instalaciones de alta tecnología, que son escasas. Tan escasas que en la península ibérica no hay ninguna instalación de este tipo abierta al público.

Si tienes algún amigo o conocido en la factoría donde aluminizan las ópticas de los faros de los vehículos, tal vez, “intruya” tu óptica en algún lote.

De la misma forma, los observatorios profesionales tienen campanas de aluminización par el mantenimiento de las ópticas de sus telescopios. Es aconsejable tener las instalaciones a pie de observatorio, ya que de esta manera se ahorran el “peligro” de trasportar los espejos a largas distancia.

Los aficionados a la construcción podemos “montárnoslo” de otra manera:

### ***.- El argentado de superficies ópticas:***

Este proceso es el que desbancó a los espejos metálicos por los de vidrio, allá por el siglo XVIII. Es un método asequible a los constructores aficionados, ya que los materiales necesarios se encuentran con facilidad en droguerías especializadas.

Consiste en la reducción del nitrato de plata a plata pura, es decir, su naturaleza es química.

Transcribo literalmente el documento que colgué, en su día, en el foro de “ConstructoresTelescopios” de yahoo:

“Este método lo llevo utilizando desde hace años y me funciona bastante bien, siendo sencillo tanto de procedimiento como de provisión de los materiales (en una droguería especializa).

En la fotografía adjunta se muestra el material necesario para tal fin. En resumidas cuentas lo que vamos a realizar es una REDUCCIÓN del nitrato de plata.



El laboratorio necesario para el plateado de los espejos.

.- Materiales necesarios.

- Báscula para pesar gramos.
- 4 Recipientes de cristal.
- 4 vasos de plástico par el pesaje de cada reactivo.
- 4 cucharillas de plástico para remover las disoluciones.
- Probeta para medir volúmenes de H<sub>2</sub>O
- Algodón hidrófilo.

.-Productos químicos necesarios:

- Nitrato de plata puro.
- Nitrato amónico puro.
- Hidróxido de sodio puro (mejor en lentejas que en perlas).
- Glucosa en polvo pura.
- Agua destilada.

.- Procedimiento: Desde este momento usaremos guantes de látex.

.- Preparación del espejo:

- Lavar el espejo con agua normal, lavavajillas y ayudados por algodón.
- Aclararlo con abundante agua normal
- Reaclarado con agua destilada.
- En un recipiente en el que coja el espejo pondremos agua destilada y seguidamente sumergiremos el vidrio en ella de manera que la cara óptica quede cubierta y sin burbujas por el agua destilada. Tenemos que hacer trabajar la tensión superficial del agua en esa cara.

.- Preparar las siguientes disoluciones

- 1) 60 gr. de nitrato de plata puro en 1000 cc (1 litro) de agua destilada.
- 2) 90 gr. de nitrato amónico. “
- 3) 105 gr. de Hidróxido sódico. “
- 4) 70 gr de glucosa “

.- Mezclando:

- 50 cm. cúbicos por cada 100 cm. cuadrados de superficie óptica del espejo a platear de las disoluciones 1, 2 y 3. Para la 4 solamente precisaremos 1/3 de los 50 cm. cúbicos estándar (personalmente utilizo la misma cantidad de agua que para los demás).
- Preparamos un recipiente en el cual coja el espejo y en el vertemos la disolución 1. la 2 y mezclamos (es incolora), seguidamente vertemos la 3 (la mezcla tiene que teñirse de un marrón de té y desprender un fuerte olor a amoniaco).

- Ahora tomamos de su baño de destilada nuestro espejo y lo colocamos, preferentemente con la cara óptica bocabajo y suspendido en este otro baño químico, pero de forma que la mezcla toque (sin burbujas) la totalidad de la cara que va a recibir la metalización. Dejarlo sin burbujas es una tarea muy entretenida. Cuando lo hayamos conseguido procedemos a verter la disolución 4 de forma periférica al espejo, intentando que se distribuya homogéneamente.
- Dependiendo de la temperatura, en unos 10 minutos el espejo estará metalizado.



Baño con el espejo “boca-abajo”. Obsérvese la grúa adaptable tanto para diferentes diámetros y diferentes alturas.

.- “Bruñendo” la plata:

- Sacamos el espejo, siempre sin tocar la plata y lo llevamos a un lavadero.
- 
- Lavamos con abundante agua destilada la superficie plateada.
  - Lavamos con alcohol de desinfectar heridas la cara óptica.
  - Secamos con ayuda de un

secador de cabello.

.- Comprobando:

- Mirando a trasluz hacia una lámpara de incandescencia, podremos observar el trabajo realizado. Si la plata no sea incorporado homogéneamente o lo ha hecho en una cantidad insuficiente, tendremos que coger un limón y con su cara cortada ir desprendiendo la plata de la superficie óptica y repetir todo el proceso de nuevo.
- Si todo va bien, el brillo de la plata es precioso pero quedarán unos pequeños cercos del último lavado. Para quitarlos vamos a bruñir la plata con la ayuda de un poquito de oxido de cerio o rojo de joyero (vamos, lo que hayamos utilizado para el pulido del espejo) y un poquito de algodón. Distribuimos bien el pulidor con el algodón y seguidamente; con mucho cuidado, con un paño de limpiar gafas limpiamos el polvo del pulidor. La plata bien incorporada es muy difícil de llevártela en este procedimiento pero se raya y... queda de un feo.



Aspecto de un espejo de 210 mm una vez argentada su cara óptica.

.- Algún que otro consejo:

- Este procedimiento es barato y la plata nueva es mucho más reflexiva que el aluminio, pero no todo son ventajas. En casa siempre tenemos algún objeto de plata y ¿qué le ocurre? Se va oscureciendo paulatinamente.
- Para que el espejo no se oscurezca prematuramente hay que evitar que esté en contacto con ambientes cargados de hidrocarburos y emanaciones de gases de escape.

- Personalmente tengo espejos que han durado más de cuatro años sin tener que tocarlos. Curiosamente están en el campo simplemente resguardados del polvo y la humedad.
- Los que están “en casa” (urbanitas) duran de 1 a dos años y hay de sacarles brillo de vez en cuando pero sin hacer rayas. SUERTE.”



Vista del interior de un telescopio de 210 mm F-6.

### **.-OTROS ELEMETOS ÓPTICOS**

Con todo este proceso habremos acabado la construcción del apartado óptico principal. Pero, aún debemos complementar a nuestro telescopio en este apartado óptico con dos elementos esenciales, pero que deben ser adquiridos al estar constituidos por lentes (excepto que aprendamos a construirlas), se trata de *los oculares* y *el buscador*.

#### ***.- Los oculares:***

Es el “canutillo” por el cual miramos en el telescopio. Se trata de una pequeña lupa que amplifica la pequeña imagen formada en el foco. Existen muchos tipos de oculares (Huygens, Plössll. Kellner, etc) que responden a diferentes combinaciones en

la clase y número de lentes que los componen. Personalmente recomiendo los del segundo tipo (dan buenas imágenes con los reflectores Newton de focal corta). Otras características que los diferencian entre sí, además de su tipo, son el diámetro para encajar en el *porta-ocular* (normalmente son de 1 ¼ pulgadas (")), pero los hay de 2 ") y su *distancia focal* del ocular a usar.

Este último parámetro hace responsable a los oculares de los aumentos, o amplificación que produce de un telescopio. Si observamos con detenimiento un ocular descubriremos un número que expresa una distancia en mm., éste indica su distancia focal. Los aumentos los obtenemos aplicando una sencilla proporción:

$$\text{Aumentos} = \text{distancia focal del primario} / \text{distancia focal del ocular.}$$

Un ejemplo: Si a nuestro telescopio D-150 a F- 8, es decir con una distancia focal de 1200 mm., le aplicamos un ocular de 25 mm., nos dará un aumento de X48, si le aplicamos uno de 10 mm, la amplificación es de X120.

Los aumentos no son el parámetro principal de un telescopio, hay muchos comercios que nos quieren "encandilar" con él. Siempre comenzaremos la observación de algún objeto con la mínima amplificación, iremos subiendo esta hasta alcanzar un equilibrio entre los aumentos y la calidad de imagen. Cuantos más aumentos, menor es el campo de visión, más oscura la imagen y más se amplifican los "defectos atmosféricos" (turbulencias).

#### ***.- El buscador:***

Este elemento, generalmente un pequeño refractor (catalejo) de gran campo, es indispensable en un telescopio. Su importancia radica en la gran dificultad (para algunos, imposibilidad) de encontrar el objeto celeste deseado con la óptica principal (el campo de ésta es muy pequeño y con muchos aumentos, mucho más reducida). Cuando observamos a través de él apreciaremos que lleva incorporada una retícula para poder "apuntar" y centrar. Sincronizando la imagen de este elemento auxiliar con la del telescopio, la tarea de "buscar" se simplifica bastante.

El buscador se caracteriza, al igual que un telescopio, por su diámetro y, generalmente, vienen con un ocular fijo, es decir, con una amplificación fija. Al igual que unos prismáticos, estos parámetros vienen determinados por dos números. Por ejemplo, un buscador de 6x30 significa que tienen una lente de 30 mm. de diámetro y la amplificación que ofrecen es de X6. Un consejo, este buscador de 6x30 es el mínimo a incorporar a un telescopio. Mucho mejor (pero más caro) es dotar a nuestro aparato de un buscador de 8X50 (mayor campo de visión, más luminosidad y más aumento).

Actualmente también podemos usar los buscadores de punto rojo. Estos buscadores no tienen amplificación alguna. Consiste en alinear un punto rojo un objeto dispuesto

en el centro de la visión de nuestro telescopio. Seguidamente donde pongamos el punto del buscador deberá estar el objeto que queremos visualizar.



Diferentes tipos de buscadores. A la derecha el mínimo aconsejable 6X30, a la izquierda un 8X50 acodado.

Con todo lo descrito hasta aquí podemos dar por finalizado el apartado óptico y desde ahora nos enfrentaremos al “bricolaje” de integrar todos estos elementos en el tubo óptico.

**XÁngel Biarge Bitria.** ASTRONOMÍA GRAÑÉN SC.