

CONSTRUCCION DE UN TELESCOPIO PARA AFICIONADO

Alfonso E. Guerrero Tapia

Febrero del 2026

PREFACIO

El 11 de Julio de 1991 ocurrió en México uno de los fenómenos naturales más sorprendentes que nos brinda la naturaleza: un eclipse total de Sol. En esa ocasión la sombra lunar recorrió una gran área de la República Mexicana pasando por 18 estados. Tocando inicialmente en Baja California Sur y posteriormente, entrando por Nayarit en la parte continental y finalmente saliendo por el estado de Chiapas.

En aquél entonces y previo al evento, se generó mucho interés y entusiasmo en gran parte de la población. Particularmente, al dar clases a estudiantes de preparatoria, varios de ellos me manifestaron su deseo de construir un telescopio con el que pudieran disfrutar el evento astronómico.

En respuesta a ese deseo, escribí unas notas en las que describía con cierto detalle mínimo los pasos para construir un telescopio casero o para aficionado.

Después de casi 30 años de ese suceso, en el 2024, se presentó en México nuevamente una oportunidad más para disfrutar de un eclipse total de Sol. Ciertamente la franja de la umbra, o zona en donde el eclipse se percibe en forma total, abarcó solamente 4 estados del norte del país, sin embargo el entusiasmo por ser testigo presencial de tal evento propició el desplazamiento de personas hacia alguno de esos lugares desde muchas partes del país.

Si bien para la observación de un eclipse solar no se requiere de un telescopio, el contar con uno de ellos hace posible lo que, sin lugar a dudas, es uno de los momentos más espectaculares: la observación de las llamaradas solares.

Por supuesto el uso del telescopio no es solamente para observar un eclipse solar, más bien su horizonte lo marca la imaginación. Naturalmente, desde su origen, estuvo diseñado para la observación astronómica y hasta la fecha es su aplicación principal, y justamente es ése el objetivo primordial que se persigue en este trabajo.

Al igual que en la primera versión, estas notas están dirigidas a lectores de nivel preparatoria o menor, en quienes se espera ayude en su interés en la astronomía observacional y que sirva de peldaño para proyectos o investigaciones más avanzadas. Pero de ninguna manera se excluye a lectores con un interés general, incluso de aquéllos sin conocimiento alguno de la astronomía. Por esa razón se

ha tratado de evitar en lo posible los aspectos de aritmética y álgebra, algunas veces complicados, resaltando en su lugar los aspectos cualitativos.

En general, si el trabajo logra en los lectores contribuir a dirigir sus inquietudes, aunque sea mínimamente, se considerará cumplido su objetivo principal, siendo ello enormemente satisfactorio.

La estructura del trabajo se compone de 8 capítulos y 4 apéndices. En el primer capítulo se hace una breve mención histórica sobre el origen del telescopio y se establecen los principios básicos de la óptica involucrada. En el segundo se detalla la construcción de los espejos primario y secundario, así como el aluminizado de sus superficies. El tercero trata con el armado de las componentes ópticas en el tubo del telescopio. El siguiente está dedicado al ocular. El quinto trata con el muy importante tema de la montura. En el sexto se toca el tema del buscador. En el séptimo se describe la alineación y finalmente en el octavo se vierten algunas recomendaciones para su manejo y cuidados.

Los anexos o apéndices complementan de alguna manera algunos temas que se consideran relevantes. El anexo A trata con las coordenadas astronómicas, el B muestra algunos de los objetos Messier que pueden observarse con el telescopio. El anexo C es un glosario de términos que se espera ayude en la comprensión del texto, y finalmente, en el anexo D, se desarrolla el análisis para la determinación aproximada de las dimensiones del espejo secundario.

Actualmente, con gran diferencia a la fecha en que se hicieron las notas originales, es posible adquirir, incluso a través de la internet, los materiales básicos para la construcción de un telescopio o el telescopio mismo. Esto hace que probablemente se pueda omitir la lectura de algunos de los capítulos. Sin embargo, la sugerencia es leer el trabajo completo pues no solo se adquirirá un conocimiento, aunque sea somero, del funcionamiento de los telescopios, sino que se tendrán elementos adicionales que permitirán elegir la adquisición de alguno de ellos.

CAPITULO I

UN POCO DE HISTORIA

Se acepta que, históricamente, la primera persona en construir un telescopio y observar el cielo nocturno fue Galileo Galilei (1564-642). La configuración básica de su telescopio (Fig.1.1a) se conserva hasta la fecha, cambiando por supuesto, la calidad de sus componentes. Dicha configuración consistía en dos lentes colocados en los extremos de un tubo y con ello se podía observar que los objetos lejanos parecían que se encontraban más cerca. A la lente colocada en donde se hace la observación se le identificó como ocular, por estar cerca del ojo, y a la otra se le denominó objetivo. Se cree que para este tipo de telescopio, Galileo utilizó un tubo de órgano para albergar a las lentes y que la amplificación que se obtenía no era más allá de unos ocho aumentos. Puesto que en este caso, la luz atraviesa las lentes presentándose el efecto físico conocido como refracción (Ver más adelante en esta sección), a los telescopios de este tipo se les conocen como refractores.

Posteriormente, en Alemania, Johannes Kepler (1571-1630) hizo modificaciones al telescopio o anteojo de Galileo utilizando diferentes tipos de lentes que, aunque permitían obtener un mayor aumento, adolecían de los mismos problemas originados por su geometría. (Fig. 1.1b)

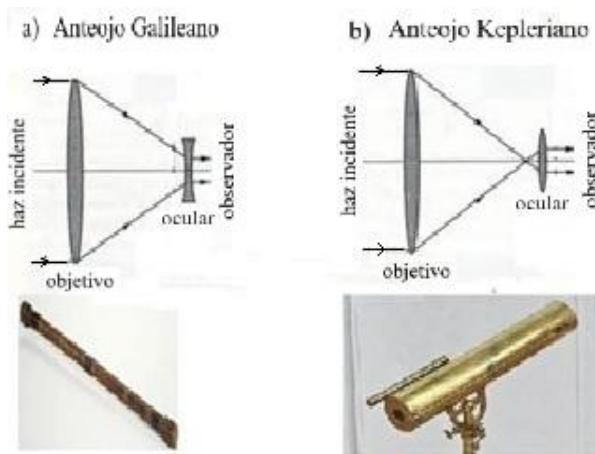


Fig. 1.1 Anteojos tipo Galileano a), y Kepleriano b). Imágenes tomadas de <https://josevicentediaz.com/2015/05/07/galileo-el-gran-astronomo/>

Fue necesario que pasaran algunos años hasta que Issac Newton (1642-1727) sustituyera la lente objetivo por un espejo, inventando de esta manera un tipo diferente de telescopio conocido ahora como reflector o newtoniano. (Fig. 1.2)

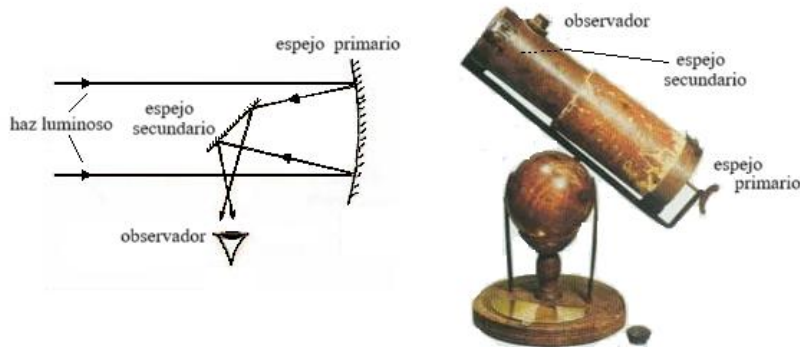


Fig. 1.2 A la izquierda un corte transversal del telescopio newtoniano. Se usan espejos en lugar de lentes. Imagen tomada de <https://es.slideshare.net/slideshow/semana-09-astronomia-moderna/61097812>

Contemporáneo a Newton, Laurent Cassegrain (1629-1693) inventó un telescopio que lleva actualmente su apellido y que mejora sustancialmente la imagen formada.

El problema principal con las imágenes formadas mediante espejos se conoce como aberración esférica y se origina por su geometría (ver más adelante en este capítulo). El diseño introducido por Cassegrain permitía corregir en cierto porcentaje las deformaciones de la imagen ocasionadas por esa aberración. Sin embargo, la construcción del espejo secundario conlleva dificultades, ya que su perfil debe ser hiperbólico. Además, en sus versiones más usuales, al espejo principal se le hace un orificio en el centro que permite el enfoque de los rayos fuera de él. Ver Fig. 1.3.

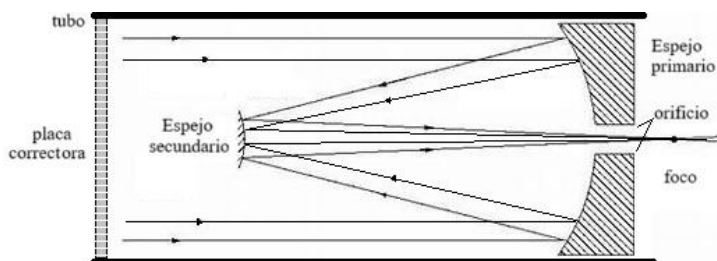


Fig.1.3 Telescopio Cassegrain. El espejo secundario refleja los rayos hacia el centro del espejo primario al que se le hace un orificio. Por ese orificio pasan los rayos para enfocarse fuera del tubo del telescopio. Algunas versiones utilizan en la entrada del telescopio una placa que corrige los rayos entrantes, mejorando sustancialmente la calidad de las imágenes formadas. Estos se conocen como catadióptricos.

Otros personajes en esta época también contribuyeron con diferentes diseños e incluso, se menciona, fueron pioneros en algunos de los ahora conocidos. Son

de resaltar diseños actuales como los Schmidt-Cassegrain (Bernhard Schmidt, 1879-1935) y los Maksutov (Dimitri D. Maksutov, 1896-1964) de los que se recomienda leer sobre sus características así como acceder a la vasta literatura sobre el tema.

LA ÓPTICA DE LOS TELESCOPIOS

No se pretende presentar con profundidad y formalidad el tratamiento de la física involucrada en los telescopios, pero sí los fundamentos básicos detrás de los fenómenos físicos que surgen cuando la luz atraviesa distintos medios transparentes o cuando incide sobre una superficie reflectora, y que son la base sobre la que se soporta el funcionamiento de estos instrumentos.

Lo primero en mencionar es que se considerará que la descripción de las trayectorias de la luz es en líneas rectas y que no interaccionan entre sí. Se deja de lado cualquier tratamiento sobre la naturaleza del origen de la luz y de su interacción con la materia a nivel atómico o molecular. Temas que si bien son de enorme interés e importancia, son marginales a los objetivos que aquí se persiguen.

Refracción y reflexión

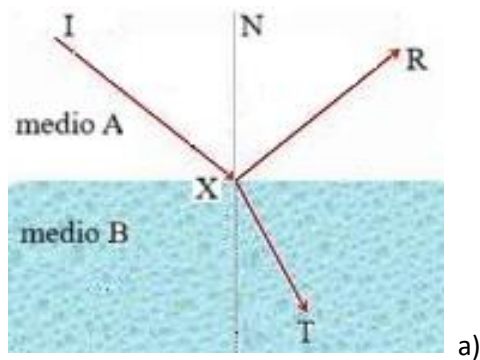
La experiencia cotidiana permite distinguir que, cuando se mira a través del vidrio de una ventana, se observa el paisaje al otro lado del vidrio, pero también un fragmento del mundo del lado del observador. En general, no solo se percibe esto con el vidrio sino con cualquier otro material transparente, incluso cuando se mira sobre la superficie de un lago, estanque o un vaso de agua.

En este fenómeno, identificado desde tiempos lejanos, se conoce que las imágenes se perciben por la reflexión de la luz para el caso de las formadas del mismo lado que el observador, y por la transmisión de la luz para aquellas percibidas del otro lado. Fig.1.4



Fig.1.4 La esfera roja se encuentra al otro lado del vidrio y se observa por la transmisión de la luz. La blanca se encuentra del lado del observador y su imagen se observa por la reflexión en el vidrio.

Considerando solo a la superficie (interfase) que separa a dos medios de distinta densidad se observa, como ya se mencionó, que una parte de la luz (I) se refleja en la interfase hacia el medio desde donde incide (R), pero otra parte penetra en el segundo medio siguiendo una trayectoria distinta (T). (Ver Fig.1.5).



a)



b)

Fig.1.5 a) Corte transversal que muestra a un rayo de luz I proveniente del medio A incidiendo en la superficie del medio B en el punto X. Una parte del rayo se refleja R y otra parte se transmite T. La línea N es perpendicular a la interfase y se introduce como ayuda para el análisis geométrico. b) Fotografía de un haz láser incidiendo sobre la superficie de agua.

Para el análisis algebraico de las trayectorias que siguen los rayos de luz en la interfase de dos medios de distinta densidad, se hace uso de una línea imaginaria que es perpendicular o normal al plano de la interfase y en cuyo origen lo toca el rayo incidente. La Fig. 1.5 muestra el caso de un rayo que incide sobre la interfase de dos medios de densidad diferente y las trayectorias que siguen después de dicha interacción.

En el caso de una interfase plana, la introducción de la normal parecería innecesaria y que sería más sencillo considerar los ángulos respecto al plano de la interfase. Sin embargo, si se considera el caso más general de una frontera curva, se entiende la razón del uso de la normal pues ésta coincide con la dirección del radio de curvatura (radio de un círculo imaginario asociado a la curva en un punto).

La experiencia muestra que los rayos incidente (I) y reflejado (R) forman el mismo ángulo θ respecto a la normal, pero los rayos incidentes y el transmitido (T) forman ángulos diferentes, θ y β , respecto a la misma normal (Fig.1.6). La razón de esa desviación se debe a un cambio en la velocidad de propagación de la luz al penetrar de un medio a otro. El rayo así desviado se conoce como rayo refractado, y al fenómeno, como refracción de la luz.

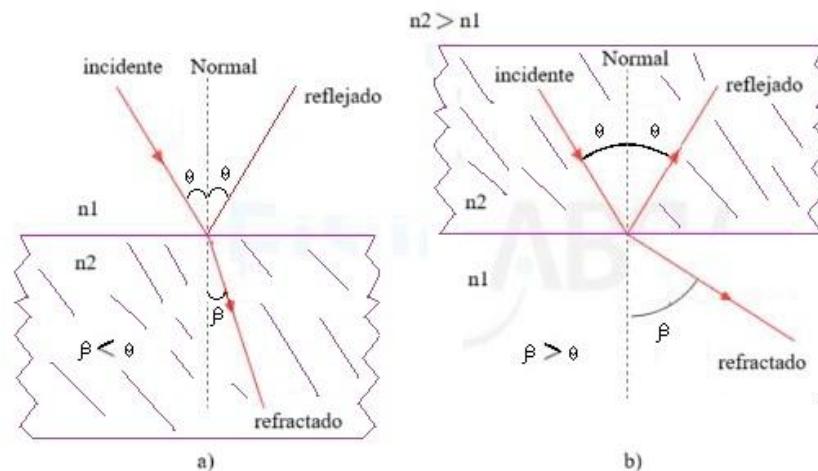


Fig. 1.6 Trayectorias de un rayo incidente en la interfaz de dos medios de índices de refracción n_1 y n_2 . En a) el rayo refractado se acerca a la normal ($\beta < \theta$) y en b) se aleja de ella ($\beta > \theta$).

Se define al índice de refracción (n) como la razón entre las velocidades de la luz en el vacío (c) y en el medio considerado (v)

$$\text{índice de refracción} = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en el medio}}$$

Es decir

$$n = c/v$$

Con esa expresión y denotando con n_1 , v_1 y n_2 , v_2 los índices de refracción y velocidades en los medios 1 y 2 respectivamente; los rayos incidentes **i**, reflejados **r**, y refractados **R** se relacionan mediante la Ley de Snell (Willebrord Snel van Royen, 1580-1626)

$$\Theta_i = \Theta_r \quad \text{Reflexión}$$

$$n_1 \sin \Theta_i = n_2 \sin \Theta_R \quad \text{Refracción}$$

en donde Θ_i , Θ_r y Θ_R son los ángulos de incidencia, reflejados y refractados, medidos respecto a la normal.

El ángulo de los rayos incidente y reflejado pueden variar entre 0° (incidencia normal) y cercano a 90° (incidencia rasante). Pero el ángulo del rayo refractado puede estar entre 0° y el máximo $\sin^{-1}(n_i/n_R \sin \Theta_i)$.

En particular, en el caso de la reflexión, $n_i = n_R$ por estar en el mismo medio y por lo tanto

$\Theta_i = \Theta_R$, que es un resultado ya conocido.

Las relaciones entre los rayos incidente, reflejado y refractado se resumen en los siguientes enunciados, algunas veces denominados como leyes de la reflexión y refracción;

- En el punto de incidencia los rayos incidente, reflejado, refractado y la normal se encuentran en el mismo plano.
- El ángulo del rayo incidente es igual al del rayo reflejado.
- El rayo incidente y el refractado se relacionan mediante la Ley de Snell.

LENTES

Lo visto en la sección anterior permite considerar los casos siguientes:

Uno. Supóngase que un rayo de luz incide horizontalmente sobre una frontera aire-vidrio que se encuentra inclinada respecto a la dirección del rayo (se considera que el grosor del vidrio es muy pequeño). De lo ya tratado, el rayo incidente se refracta como aparece en la figura Fig. 1.7a.

Dos. Considérese el caso b) de la misma Fig. 7 en el que la inclinación de la superficie tiene ahora una pendiente negativa. El rayo refractado será entonces como aparece en la Fig. 1.7b.

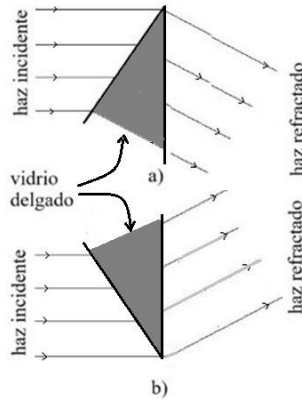


Fig. 1.7 La pendiente del vidrio en a) es positiva y en b) negativa.

Uniendo ambos casos en el que rayos paralelos incidan sobre dos superficies colocadas como en a) y b) de la figura anterior, resulta una situación en la que los rayos refractados se unen en algún punto a la derecha de las superficies (Ver Fig. 1.8a y 1.8b, y en las que se desprecia su grosor). Si las superficies se colocan como aparece en la Fig. 1.8b, entonces los rayos divergirán alejándose indefinidamente.

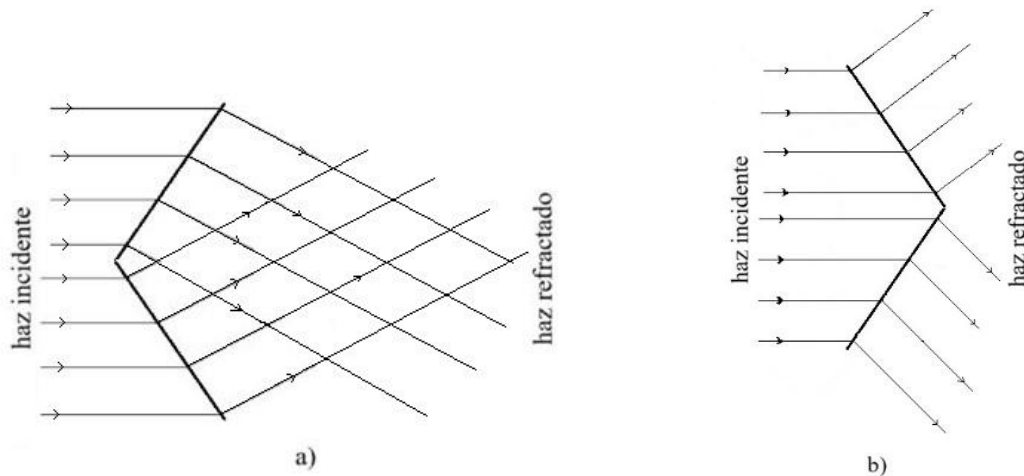


Fig.1.8. En a) el haz refractado se concentra, en b) diverge.

Ambas situaciones son elementales de configuraciones más elaboradas como las que aparecen en las siguientes figuras Fig 1.9a y 1.9b, siendo el límite cuando el número de superficies refractoras se hace infinito. En el primer caso se dice que la superficie es convexa y los rayos tienden a unirse en un punto al que se le llama foco. En el otro caso la superficie es cóncava y tiende a separar los rayos que la atraviesan.

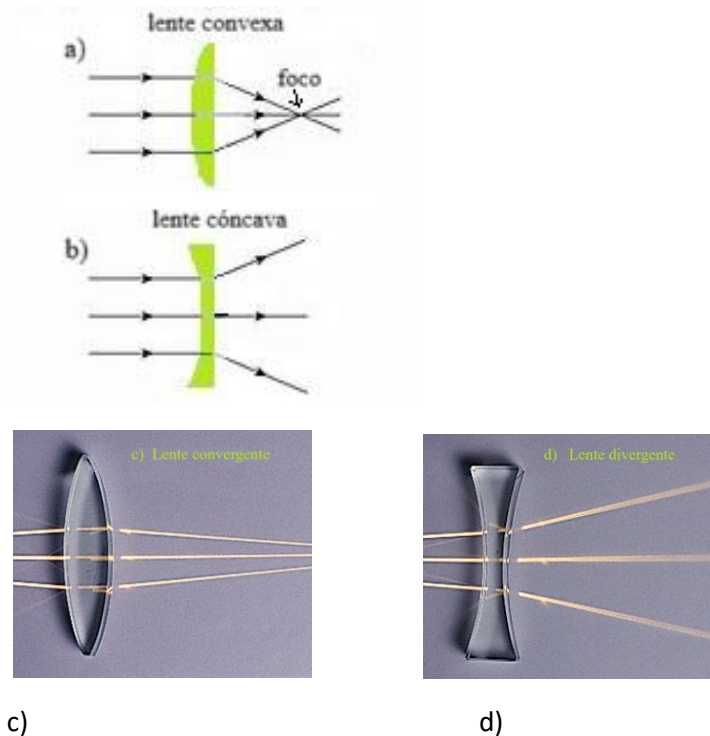


Fig. 1.9 a), b) Cuando el número de superficies refractoras elementales crece indefinidamente, se obtienen las superficies convexas a) y c) y cóncavas b) y d).

Delimitando los medios por los que viaja la luz se forma lo que es comúnmente conocido como lupa o lente. Las superficies que las delimitan, que generalmente son secciones esféricas, pueden tener diferentes configuraciones y de ellas derivan sus nombres. En la siguiente figura (Fig. 1.10) aparece una clasificación simple de las lentes según la forma y configuración de sus superficies.

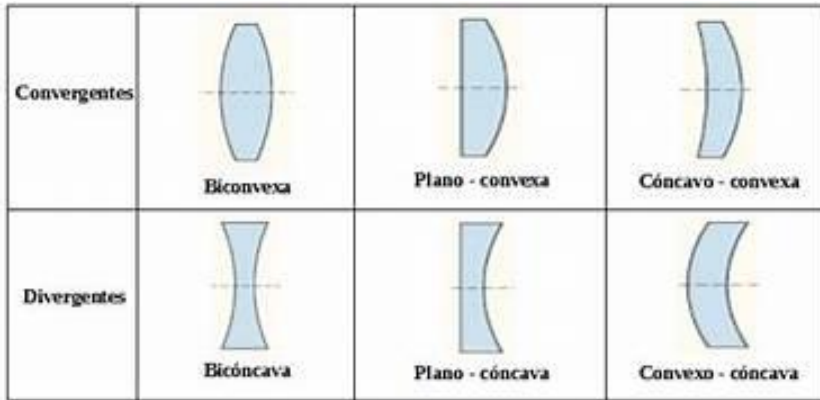


Fig. 1.10 Distintos tipos de lentes

ABERRACIÓN ESFÉRICA

Aún cuando en la figuras 1.8 y 1.9 se han dibujado a los rayos que atraviesan una lente cóncava tal que coinciden en un punto, en la realidad, esto no es acertado cuando se tienen superficies esféricas. En la siguiente Figura 1.11 se observa la trayectoria de rayos en una sección de una lente convergente. Como puede observarse, la región en donde convergen los rayos provenientes de los extremos de la lente no coincide con aquella en la que convergen los rayos que la atraviesan cerca del centro o eje óptico.

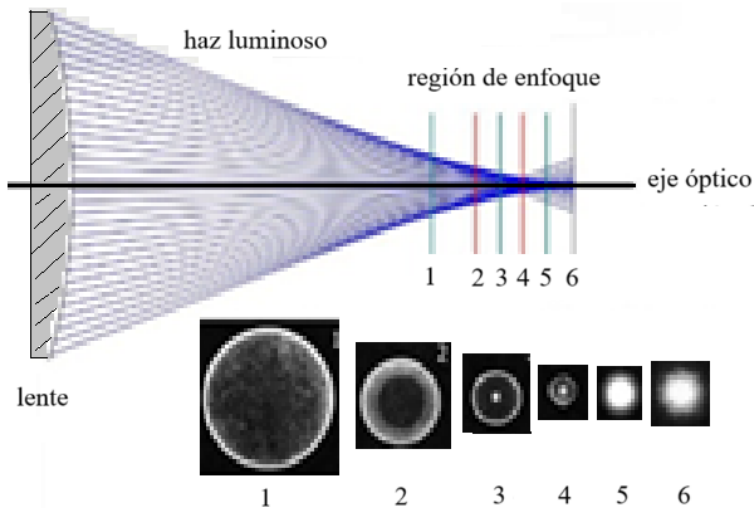


Fig.1.11 Aberración esférica. Los rayos luminosos se enfocan en distintos puntos según la parte de la lente en que la atraviesan. Se muestran 6 cortes transversales dentro de la zona de enfoque. Existe un mínimo en el área de los cortes en la región 4, en donde se tiene el menor radio y el mejor enfoque.

Esta diferencia hace que las imágenes formadas sean borrosas, principalmente en los bordes.

El origen de esta distorsión se encuentra en la geometría esférica de la superficie de la lente y por ello se le conoce como aberración esférica. El método más común para reducir este tipo de aberración es fabricar lentes con simetría no esférica, que se conocen como lentes asféricas. Su construcción es más elaborada variando su curvatura a lo largo de toda la superficie. También puede reducirse su efecto haciendo uso solamente de los rayos que pasan cerca del centro o del eje óptico de la lente y que se conocen como rayos paraxiales.

ABERRACIÓN CROMÁTICA

Otra característica que se presenta cuando un haz de luz atraviesa un medio transparente, por ejemplo el vidrio, es que el ángulo de refracción depende del “color” (comúnmente asociado en la literatura como la longitud de onda). Esto se debe a que la velocidad con la que se transmite la luz en un medio depende justamente de su longitud de onda. De esta manera, el índice de refracción no tiene un valor constante, es decir, no es el mismo para todos los colores de luz.

Se conoce experimentalmente que la luz azul se desvía más que la verde y ésta más que la roja (ver Fig. 1.12). Entonces, al pasar luz blanca, que contiene todos los colores, a través de una lente convergente, se enfocará en puntos distintos de acuerdo al color. Obteniendo así distintos puntos focales (ver Fig. 1.13)

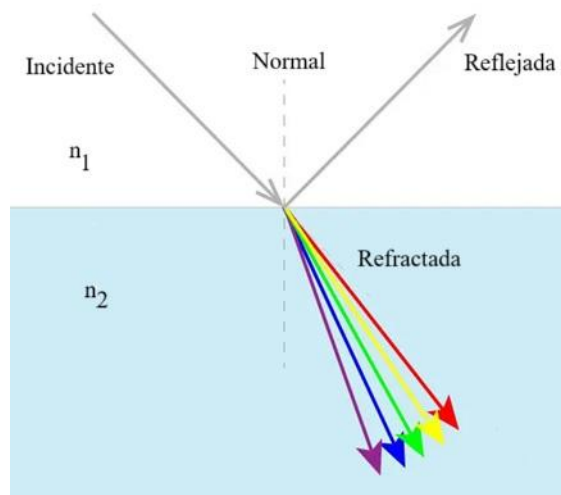


Fig.1.12 Las componentes de luz blanca incidente del medio 1 al 2 se refractan a ángulos diferentes, separándose sus trayectorias.

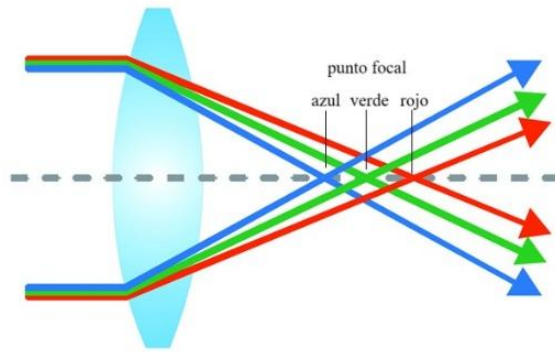


Fig. 1.13 El resultado de atravesar luz blanca a través de una lente convergente es el de tener distintos puntos focales para las componentes de la luz.

Como se podrá deducir, este fenómeno hace que las imágenes que se forman parezcan “coloreadas”, sobre todo en las orillas.

Al igual que en el caso de la aberración esférica, la cromática puede reducirse utilizando arreglos de lentes con diferentes índices de refracción o lentes acromáticos, que son por supuesto más caros.

ESPEJOS REFLECTORES

Se puede aprovechar también el fenómeno de la reflexión para desviar la trayectoria de la luz haciéndola converger o divergir de acuerdo a la forma de la superficie reflectora. La siguiente figura 1.14 muestra un corte transversal de las superficies que tienen los espejos para lograr esto.

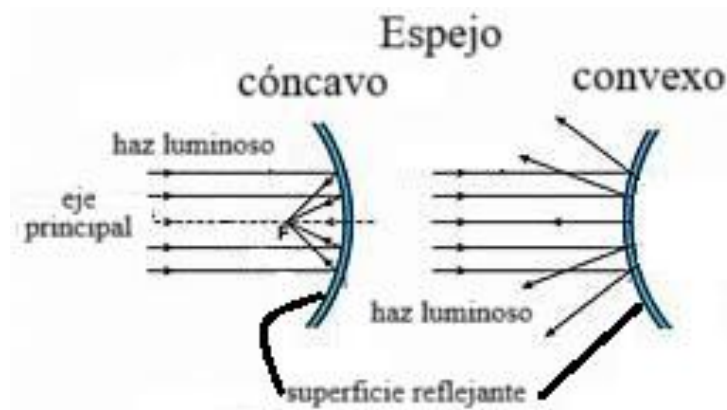


Fig. 1.14 Los espejos cóncavos concentran la luz incidente. Los convexos la dispersan.

La clasificación es semejante al caso de las lentes. Convergente para los espejos que concentran la luz reflejada y divergente para los que la dispersan. Una de las ventajas de los espejos es que no existe la aberración cromática ya que la reflexión es la misma para todos los colores que forman la luz blanca. Pero sí aparece la esférica (ver Fig. 1.15). Una forma de reducirla es generar una superficie parabólica o, para ser más exactos, un paraboloide de revolución. Idealmente, una superficie de esta naturaleza concentrará todos los rayos que incidan paralelamente a su eje, en un solo punto conocido como punto focal. (Fig. 1.16).

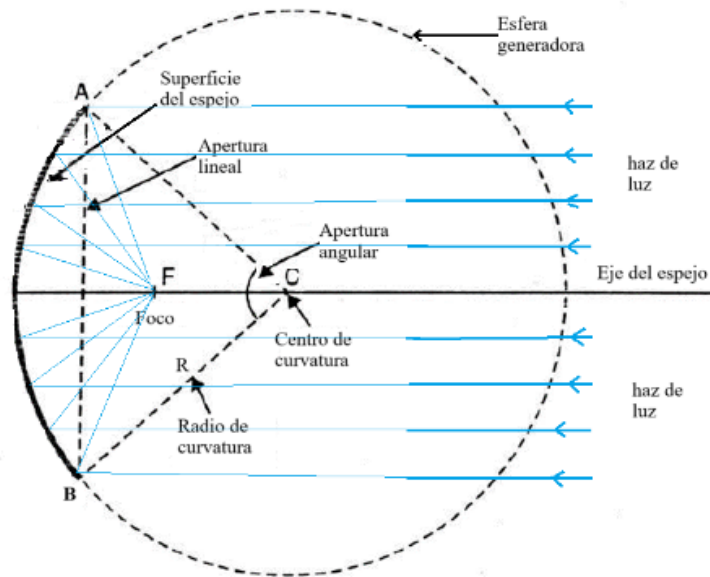


Fig.1.15 Corte transversal de la esfera generadora y espejo cóncavo. C es el centro de la esfera y R el radio de curvatura. La apertura lineal AB es el diámetro del espejo y la angular es el ángulo que forma el espejo visto desde el punto C. Se ha dibujado un haz de luz paralelo al eje del espejo que se concentra en el foco F. Para rayos paraxiales la distancia focal es la mitad del radio de curvatura.

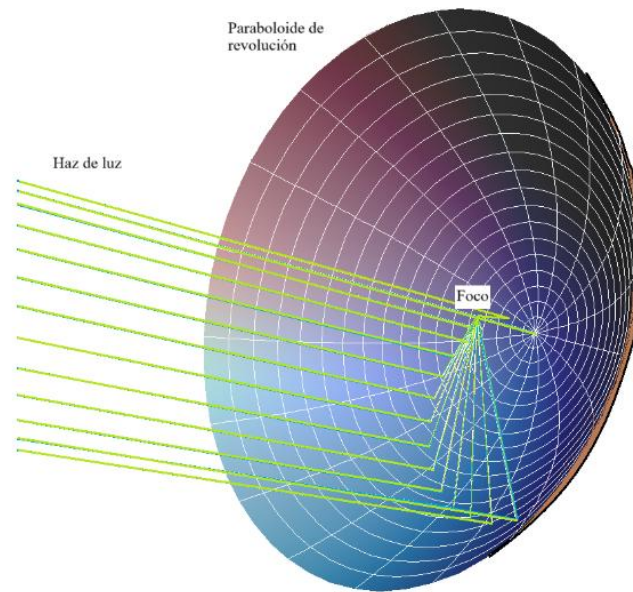


Fig. 1.16 Paraboloide de revolución. Se genera al hacer rotar una parábola alrededor de su eje principal. El haz de luz que incide sobre su superficie se concentra en el punto focal F.

CAPITULO II

CONSTRUCCION DEL ESPEJO PRIMARIO.

El objetivo de este capítulo es dar las instrucciones para fabricar la parte óptica de un telescopio tipo Newtoniano, con espejo primario de 15 cm de diámetro y 120 cm de distancia focal.

Se pretende alcanzar la forma de una superficie esférica por ser, en principio, la que se obtiene de forma natural con el método que aquí se describe. Este método consiste en desbastar o desgastar la superficie con abrasivos y finalizar puliéndola para tener una alta reflectividad.

Inicialmente se dará la lista del material requerido, y en los párrafos siguientes, las instrucciones paso a paso del proceso de fabricación.

Material Necesario:

A) Para el espejo primario se requiere:

- 1) Un vidrio circular de 15 cm de diámetro y 19 mm de espesor con un pequeño biselado o chaflán, es decir, con el borde o filo ligeramente disminuido. Este será el espejo primario del telescopio y se nombrará simplemente como “el espejo”.
- 2) Un vidrio circular de 15 cm de diámetro y 9 (ó 12) mm de espesor. Este se identificará como “la herramienta”. Igualmente, con su borde biselado.
- 3) 250 gr de abrasivo del No. 80 (Todos los abrasivos pueden ser de carburo de silicio o de óxido de Aluminio).
- 4) 200 gr de abrasivo del No. 120
- 5) 150 gr de abrasivo del No. 180
- 6) 150 gr de abrasivo del No. 240
- 7) 100 gr de abrasivo del No. 400 ó 600
- 8) 50 gr de abrasivo del No. 1000 o del más fino que se consiga
- 8) 50 gr de pulidor (Óxido de Cerio)

B) Para el espejo secundario se requiere:

- 1) Un vidrio circular de 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor. Este será el espejo secundario y se nombrará como “el secundario”.

C). Otros materiales:

- 1) 250 gr de chapopote
- 2) Un bote metálico mediano (en el que pueda derretirse el chapopote), de preferencia adaptándole un mango de madera.
- 3) 6 franelas de 25 x 25 cm
- 4) Una piedra de esmeril fina
- 5) Un tubo plástico rígido redondo de 1 pulgada de espesor y de 125 cm de largo. En su defecto, un palo de escoba con las mismas dimensiones resulta ser muy adecuado.
- 6) Una tapa plástica de 20 cm de diámetro y con perforaciones en cuadrícula de aproximadamente 2 x 2 cm (esta es opcional)
- 7) Una cinta masking tape de 1 ó 1 ½ pulgadas de ancho (aprox. 24 / 36 mm)

Todos los vidrios que se requieren pueden conseguirse en vidrierías, salvo el de 19 mm de espesor cuyo uso es menos frecuente. Sin embargo, puede encargarse o bien solicitar informes sobre una casa en la que se pueda comprar directamente.

Si se adquirieron los vidrios sin biselado, se procederá primeramente a hacerlo. Se coloca uno de los vidrios lateralmente o de canto, descansando sobre una base suave, y se somete a un chorro de agua pequeño (ver Fig.2.1). Sobre el canto se coloca la piedra de esmeril haciendo un ángulo aproximado de 45 grados. Enseguida se talla el borde del vidrio con la piedra y se va rotando hasta que los filos de ambas caras quedan como aparece en la Fig. 2.1. Esto se hace tanto con el espejo primario como con la herramienta. Es importante que el biselado no se pierda conforme se trabaja con los abrasivos, ya que entonces un golpe, aunque sea pequeño, puede quitar un fragmento grande de la superficie del vidrio. Si se observa que el biselado está por perderse, rehacerlo nuevamente mediante el procedimiento ya descrito.



Fig. 2.1 biselado del vidrio. A la izquierda una imagen del proceso y a la derecha ya finalizado. Hacerlo en ambas caras.

El grosor del espejo no se elige al azar, está en función de su radio. La adecuada razón del **grosor** entre su **diámetro** es fundamental para que el espejo no se deforme bajo su propio peso y se tenga una buena calidad óptica. Esta razón se conoce como la **relación grosor/diámetro** o simplemente "rigidez del espejo". Una regla práctica es considerar que el diámetro del espejo debe ser entre 6 y 9 veces su grosor. Actualmente, esta regla empírica puede no cumplirse debido a la existencia de materiales con mucha rigidez y muy livianos.

Por supuesto a mayor diámetro del espejo se requerirá un mayor grosor del vidrio. En consecuencia el peso del espejo se incrementa considerablemente y el del telescopio también. Esto conduce a su vez a una mayor dificultad en la generación del espejo y en la construcción de su montura. Como resultado, se presentan límites al diámetro máximo del espejo generado por un método manual, como el que se trata en este trabajo.

Comercialmente el grosor máximo del vidrio que se puede conseguir es de 19 mm y esto conduce, de acuerdo con la condición establecida, a un diámetro máximo aproximado de 17 cm en el espejo primario.

Con respecto a los abrasivos y debido a su mayor uso y aplicaciones, es relativamente más sencillo conseguirlos en polvo. Estos pueden adquirirse en las casas que distribuyen material para pulir. Es posible que se niegue la venta en fracciones de kilogramo, pero este problema se resuelve simplemente asociándose con otros entusiastas y adquirir los productos en esta medida.

Los abrasivos se identifican con un número que aumenta conforme el abrasivo

es más fino. De este modo, el No. 80 es más "grueso" que el 120, éste a su vez es más grueso que el 220, y así sucesivamente. En algunos casos los abrasivos se identifican con otra nomenclatura, esto no es importante ya que entonces se solicitará se surta con la nomenclatura equivalente.

El pulidor es un polvo muy fino de Óxido de Cerio que se utiliza en las ópticas para pulir las lentes de los anteojos. La adquisición del pulidor puede hacerse en alguno de estos establecimientos o en aquellos que distribuyan material para las ópticas.

El lugar de trabajo

No se requiere de un lugar especial para realizar el trabajo. No obstante, sí debe cumplir con ciertas características. Una de ellas es que sea un lugar limpio en el que no existan corrientes de aire que pudieran transportar polvo. Además, es conveniente ubicarse cerca de un lavabo o lavadero, ya que continuamente se tendrá que lavar el material.

El trabajo debe llevarse a cabo sobre una base a la altura de la cintura. En muchas ocasiones esto se logra utilizando un tambo metálico con su tapa bien colocada. Por supuesto puede utilizarse cualquier otra base siempre y cuando sea lo suficientemente estable de modo que no se mueva ante la fuerza que se aplica durante el esmerilado de los vidrios.

La siguiente Figura 2.2 muestra cómo puede adaptarse el tambo mencionado y sobre el que se colocará una tabla cuadrada de madera, del tamaño necesario para que sus esquinas se atoren en el perímetro de la tapa y quede firme, sin movimiento alguno. El grosor de la tabla puede ser de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Fig. 2.2 Tambo y tabla colocada en su parte superior

En la parte central de la tabla (que se encuentra aproximadamente en el cruce de las diagonales que van de una esquina de la tabla a su esquina opuesta) se coloca uno de los fragmentos de franela y sobre ella la herramienta. A fin de mantenerla firme en su lugar se clavarán tres maderos pequeños de aproximadamente 10 mm de espesor que toquen tangencialmente al vidrio. Se clavan separados aproximadamente a 120° uno de otro. Estos evitarán que el vidrio se desplace lateralmente. Véase la Figura 2.3 para aclarar lo antes expuesto.



Figura 2.3. Tambo con franela y maderos

Procedimiento para el desbaste

La función de los abrasivos es justamente desbastar la superficie de los vidrios. Por el movimiento relativo entre los vidrios y la manera en que se distribuye la fuerza aplicada, las superficies adquieren de manera natural una forma esférica.

Ahora se inician las indicaciones para el desbaste de los vidrios.

Primero, para ambos, se elige la cara con la que se trabajará. Fuera del hecho de que no tenga ningún rayón evidente previo, no hay comentario adicional más que sea la que se prefiera. Será de mucha utilidad pintar la otra cara, su reverso, de color negro, a fin de evitar reflejos y confusiones cuando se llegue a trabajar con los abrasivos más finos y con el pulidor; o en su defecto, aplicarle uno de los abrasivos “gruesos”, por ejemplo el 120. (Fig. 2.4)



Fig. 2.4 Aplicación del abrasivo 120 en la cara “mala” del vidrio del espejo primario

Se coloca la herramienta sobre la franela, ajustada con los tres maderos pequeños.

Paso 1. Con una cucharita, esparcir abrasivo del #80 a lo largo de toda la superficie de la herramienta y poner igualmente un poco de agua sobre el abrasivo. Será suficiente con la que se atrape con dedos y distribuirla sobre todo el abrasivo. Ver Fig. 2.5



Figura 2.5. Disposición de los vidrios y abrasivo para iniciar el desbaste

Tomar con las dos manos el espejo y presionando con fuerza* hacia abajo iniciar un movimiento circular como se señala en la Figura 2.6.a.

Los puntos imaginarios, A sobre la orilla de la herramienta, y B en la del espejo, en la figura 2.6.b marcan dos puntos de referencia para generar el movimiento circular.

* Es importante señalar que la fuerza que se aplica con las manos al espejo no es uniforme. Es mayor en el centro que hacia los lados, de modo que si es muy grande se desbastará rápidamente en el centro quedando una gran depresión a la que se le dedicará bastante tiempo para eliminarla. Si, al contrario, se ejerce muy poca presión sobre el espejo, el desbaste será muy poco por lo que el tiempo de trabajo se incrementará sensiblemente.

Considérese fijo al punto A y que el B gire alrededor de él formando un círculo cuyo radio r sea entre $1/4$ y $1/3$ del radio R de la herramienta.

Es decir: $r = 1/4 \text{ (1/3) } R$



Figura 2.6. a) Colocación de las manos sobre los espejos

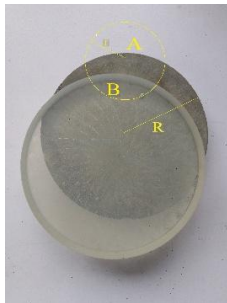


Figura 2.6.b. Movimiento de desbaste

Al movimiento relativo entre el espejo y la herramienta se le conoce como "carrera", y dependiendo del tamaño del radio r se dirá que la carrera es corta si el radio lo es, y larga si el radio es largo.

Se deben efectuar aproximadamente de diez a quince giros en la misma posición. Y enseguida, para continuar, sin soltar el espejo, rotar las manos hacia la derecha aproximadamente 60 grados, soltarlo y dar un paso también hacia la derecha rodeando al tambo. En esa nueva posición tomar al espejo como se hizo inicialmente y con la misma carrera dar de diez a quince giros de desbaste.

En poco tiempo el abrasivo entre los vidrios se agotará y esto se notará al escuchar un sonido metálico, inicialmente fuerte y claro y posteriormente casi nulo. A esta acción de colocar abrasivo y agotarlo se le llamará una "descarga". Cuando se alcance el fin de la descarga, se separa el espejo de la herramienta y sobre ella se vuelve a colocar más abrasivo tal como se describió líneas arriba.

Se recomienda agregar unas gotas de agua en el centro del abrasivo y posteriormente colocar el espejo sobre él. No debe permitirse que entre los vidrios se acabe el agua ya que esto provocará que los vidrios se peguen y sea muy difícil y riesgoso separarlos. Si se diera este caso, un método para separarlos es introducir ambos vidrios de canto en una cubeta con agua tibia/caliente. Únicamente con las manos, intentar su separación, pero si no funciona, entonces dar golpes pequeños en uno de ellos e intentar separarlos al deslizar uno sobre otro.

Cada tres o cuatro descargas se deben lavar perfectamente los vidrios y repetir la operación de colocar a la herramienta abajo y al vidrio arriba con abrasivo entre ellos. Será necesario realizar este proceso de doce a quince veces dependiendo de la presión que se ejerza sobre los vidrios y la cantidad de abrasivo utilizado. De cualquier modo, después de este número de descargas habrá que lavar el espejo y secarlo con un paño suave. Al observar ahora la superficie sobre la que se ha trabajado se notará que ya no es brillante ni refleja como la hacía originalmente. Sin embargo, es probable que el desbaste no cubra toda la superficie; se desgasta primero en el centro y posteriormente las orillas por lo que debe continuarse hasta completar el desbaste en toda la superficie.

Paso 2. En este momento puede llevarse a cabo una primera prueba del espejo. Para ello se moja éste perfectamente y reflejando la luz del Sol sobre la saliente de un techo o pared a unos dos metros, se notará que alejándolo o acercándolo de la barda, la imagen se hace más grande o más pequeña, aunque muy difusa (Fig. 2.7). La zona en donde se perciba la imagen de menor tamaño no será de ninguna manera un punto, pero puede delimitarse a simple vista aproximadamente a 120 cm de la superficie del espejo. Esa es la distancia a la que se pretende tener el menor diámetro de la imagen y será la distancia focal del espejo. Como puede observarse en la figura 2.7.b, una madera de 120 cm de longitud puede ayudar a determinar la distancia focal.

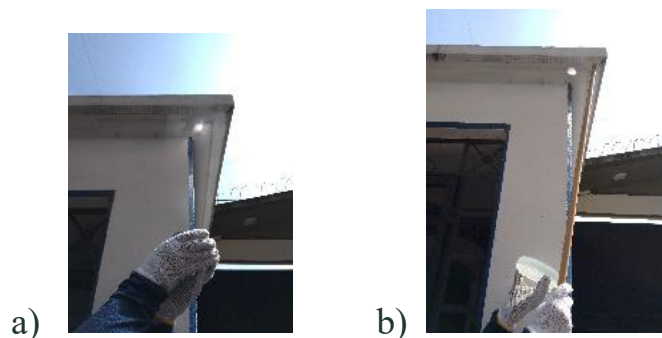


Fig. 2.7 a) Imagen del Sol proyectada en la saliente de un techo b) Determinación de la distancia focal con ayuda de un madero.

Como se mencionó, probablemente no toda la superficie del espejo estará desbastada por lo que será necesario continuar trabajando como ya se ha indicado. En algún momento se tendrá ya toda la superficie desbastada y al hacer la prueba de la imagen del sol puede suceder que la zona de menor tamaño de la imagen esté muy alejada de los 120 cm que se desean. Si es mayor que esa distancia se continuará con la misma posición de los vidrios, es decir, el espejo arriba y la herramienta abajo. Si la distancia es menor entonces la posición se invierte, el espejo abajo y la herramienta arriba y con la misma carrera. Se harán dos o tres descargas y se verificará nuevamente, mediante la prueba de la imagen del Sol, la distancia a la zona más pequeña de la imagen y trabajando según sea el caso con el espejo arriba o abajo.

Una vez que la superficie del espejo se ha desbastado completamente y se tiene una distancia focal aproximada de 120 cm, será el momento de pasar al siguiente abrasivo, que en este caso es el del número 120.

Para ello se tendrá que lavar perfectamente **TODAS** las partes utilizadas. Esto requiere retirar la tabla base y las tres que fijan a la herramienta y cambiar la franela por otra nueva. La razón de que no quede la presencia de ningún grano del abrasivo ya utilizado es clara, ya que en caso de que eso sucediera y se mezclara con el abrasivo siguiente, cuyos granos tienen un tamaño menor, al momento de desbastar, el grano de mayor tamaño dejaría un surco más profundo que se haría visible cuando se terminara el desbaste con los granos más finos, y en el peor de los escenarios, al terminar el espejo se tendrá una “rayón” muy desagradable que afectará sin duda las imágenes observadas en el telescopio.

El proceso que se ha descrito para el abrasivo No. 80 se aplica también para los siguientes más finos, 120, 180, 240, 600 y 1000. Se insiste en la importancia de lavar perfectamente todos los utensilios cuando se cambia de un abrasivo a otro y de colocar una franela nueva. También se resalta que, al hacer la prueba del reflejo solar con cada abrasivo, la imagen proyectada será cada vez más nítida, facilitando la determinación de la distancia focal y la decisión de invertir o no la posición del espejo y la herramienta.

También se notará que conforme se trabaja con abrasivos más finos se necesitará menos cantidad y será mayor el tiempo que dure en cada descarga.

Paso 3. Tal vez uno de los problemas principales a los que se enfrenta en esta parte del desbaste es el decidir en qué momento debe cambiarse de abrasivo. Para los más gruesos es posible ver el cambio en la superficie del espejo entre un desbaste y otro y hacer el cambio cuando toda la superficie presente la textura del abrasivo más fino. Pero, para los de números mayores esta distinción no es tan fácil. Un método útil es lavar muy bien el espejo y después de secarlo utilizar una lupa de joyero para rastrear toda la superficie en busca de granos del abrasivo anterior. Si existen, éstos se verán como pequeños puntos negros que se han quedado atrapados en hendiduras formadas por ellos mismos. De cualquier forma, se sugiere dar al menos dos descargas adicionales después de que no se encuentre rastros del abrasivo anterior.

Al llegar a los abrasivos más finos se observará que las superficies de los vidrios ya presentan buena reflexión, lo que facilita la formación de la imagen del Sol en la pared o el techo. Esto permite hacer más frecuente la prueba y alcanzar la distancia focal que se desea.

Aunque trabajando alrededor de una hora con el último abrasivo ya se consiga tener la superficie lista para el pulido, se recomienda dar dos o tres descargas más a fin de asegurarse de que se ha alcanzado esa condición. Además de que al hacerlo se podrá realizar la prueba del Sol con más frecuencia.

PULIDO

Materiales

- 1) 50 gr de pulidor (puede ser óxido de cerio que es de color rosa u óxido de hierro que es de color rojizo)
- 2) 250 gr de chapopote
- 3) Un bote metálico mediano (en el que pueda derretirse el chapopote), de preferencia adaptándole un mango de madera.
- 4) Una tapa plástica con perforaciones en cuadrícula de 2 cm por lado (Opcional)
- 5) Un pedazo de cinta masking tape de 1 ó 1 ½ pulgadas de ancho
- 6) Una brocha de ¾” de ancho

Luego, se requiere tener listo el siguiente material;

El chapopote

La brocha

Un peso de aproximado de 3 kg

Una navaja o cuchillo con filo delgado (o una malla plástica con orificios cuadrados de aproximadamente 2 cm por lado)

Un frasco (1/2 l) de boca ancha con dos cucharaditas del pulidor diluido en agua (a la mitad del frasco).

Cinta masking tape

Una parrilla

Ver figura 2.8



Fig. 2.8 Materiales para realizar el pulido.

y preparar la herramienta de la siguiente manera:

Con cuidado, colocar en el bote varios pedazos de chapopote y calentarlo sobre la parrilla. La cantidad deberá ser la suficiente para cubrir con el chapopote derretido la superficie de la herramienta hasta el borde de la cinta de masking tape la cual se pegará en los bordes de la herramienta, como se describe más adelante. Usar una pala de madera para mover el chapopote. **Al calentarse se libera humo, por lo que para evitar su inhalación se recomienda llevar a cabo estos pasos en el exterior de la vivienda.** No está por demás advertir que se trabaja con un producto muy caliente por lo que deben extremarse las precauciones para evitar un accidente.

Calentar la herramienta. Puesto que se verterá el chapopote, que se encuentra muy caliente, sobre la superficie del vidrio, la gran diferencia de temperatura ocasionará muy probablemente que el vidrio se fracture. Para evitar esto se calentará el vidrio a fin de reducir esa diferencia de temperatura. Se recomienda no hacerlo directamente. Es mejor calentar agua en un recipiente y estando tibia introducir el vidrio, dejar que se caliente más y cuando alcance una mayor temperatura, pero que aún sea manipulable, sacarlo y secarlo perfectamente.

Después, pegar la cinta de masking Tape alrededor de la orilla de la herramienta cubriendo todo el ancho de la misma. Basta una sola vuelta. Dado que el ancho de la cinta es mayor que el grueso del vidrio, quedará aproximadamente un centímetro y medio de la cinta por encima de la superficie.

Con el dedo índice o con la brocha “mojar” la parte interna de la cinta masking que no quedó pegada y sobresale del vidrio. El objetivo es quitarle el pegamento.

Alternativamente se puede cortar una tira de la misma cinta masking y del mismo ancho que la parte que sobresale del vidrio. Enseguida pegar esa cinta con la que sobresale del vidrio en posición cara a cara del lado del pegamento.

Se coloca la herramienta sobre el tambo de trabajo y al alcance, el frasco con el pulidor diluido, la brocha, el peso de 3 kg y el espejo.

Una vez hecho esto, para entonces el chapopote estará completamente derretido y la herramienta todavía caliente. Es necesario que la herramienta esté caliente ya que se verterá sobre ella el chapopote derretido y como ya se mencionó, si la diferencia de temperatura es muy grande, es probable que al verter el chapopote la herramienta se fracture. Por ello se enfatiza en la necesidad de que esté lo suficientemente caliente.

Como recién se mencionó, el chapopote se vacía con mucho cuidado sobre la herramienta hasta el borde superior de la cinta de masking tape. Ver Fig. 2.9



Fig. 2.9 Se muestra el chapopote vertido sobre la herramienta. El máximo se encuentra cerca de la orilla superior de la cinta de masking Tape.

Se deja que el chapopote se enfríe un poco, lo cual puede tardar varios minutos. Solo debe enfriarse lo necesario y no dejar que lo haga en demasía porque entonces el chapopote se endurecerá y no será posible darle la curvatura del espejo. Pero tampoco que se encuentre aún fluido, porque al momento de quitar la cinta de masking tape el chapopote se derramará hacia los lados.

Se sugiere cada cierto tiempo “tocar” el chapopote con alguna herramienta puntiaguda como un desarmador pequeño o un pedazo de madera y verificar la consistencia del chapopote. Estará en el punto adecuado cuando tenga la consistencia de la plastilina.

Alcanzado el punto anterior, se procede a quitar la cinta de masking tape. Si se aplicó suficiente líquido del pulidor para eliminar el pegamento entonces la cinta se despegará sin ningún problema, en caso contrario debe tenerse el debido cuidado al despegarla si parte de ella está unida al chapopote.

Hecho lo descrito se bañarán con pulidor la herramienta (se continuará llamándola de esta manera aun cuando tenga chapopote en su superficie de trabajo) y la cara del espejo. Debe hacerse con bastante pulidor para evitar que el espejo se pegue con el chapopote

Se colocará el espejo sobre la herramienta deslizándolo ligeramente en varias direcciones para finalmente dejarlo perfectamente centrado.

Finalmente se colocará sobre el espejo el peso de aproximadamente 3 kg. Este peso será suficiente para amoldar al chapopote con la forma del espejo, pero se deja la libertad de sobreponer un peso adicional si se percibe que el chapopote ya se ha endurecido un poco más. La Figura 10a, b ilustra estos pasos.



Fig. 10 a) Pulidor sobre la herramienta y b) Montaje final

En esa posición se dejarán la herramienta y espejo durante algunas horas. Después de ello se quitará el peso, y con mucho cuidado, también el espejo, deslizándolo lateralmente.

El paso siguiente será con la navaja, generar una cuadrícula sobre la superficie del chapopote. Se formarán cuadrados de aproximadamente dos centímetros por lado que cubran toda la superficie. Igualmente, con la navaja, se forman canales en “V” de aproximadamente 2 ó 3 mm de ancho y otros tantos de profundidad.* Ver fig. 2.11.



Fig. 2.11 Herramienta a la que se le han hecho canales en cuadrícula

Una vez concluido lo anterior y después de lavar todo perfectamente, armar nuevamente la base en el tambo y así se estará listo para el pulido. Se iniciará con la herramienta abajo y el espejo arriba.

Con suficiente pulidor en la herramienta y con la misma carrera para el desbaste, se trabajará durante media hora o más realizando la misma rutina de giro del espejo y traslación alrededor del barril o tambo.

La prueba con la imagen del Sol será ahora más sencilla porque se formará con mayor nitidez incluso sin necesidad de mojar el espejo. **Conforme se avance en el pulido la reflexión del Sol será mayor y puede lastimar la vista. Se recomienda enfáticamente evitar observar el reflejo del Sol.**

*En este punto y alternativamente al proceso descrito, puede usarse la malla cuadriculada. Tan solo que en este caso, se hará con el chapopote en estado más fluido. Se coloca la malla sobre la herramienta con pulidor y con un peso sobre ella de manera que se marquen los cuadrados con la misma profundidad de 2 ó 3 mm. Aunque con esto se consigue hacer más rápido el cuadrículado, se requiere ser cuidadoso para que no se pegue el chapopote en la malla.

Después de hacer el cuadrículado, se quita la malla y se prosigue como se describió para llegar al montaje de la figura 10.b

Aquí se muestra la importancia de haber pintado de negro la cara posterior del espejo o en su defecto desbastarla un poco con alguno de los abrasivos más gruesos. El objetivo es eliminar su reflexión y permitir únicamente la de la cara que se está puliendo.

Nuevamente, se pretende que la mejor imagen del Sol se forme a 120 cm del espejo, aunque se entiende que puede haber alguna incertidumbre de más o menos unos dos centímetros de ese valor. Conforme se avance en el pulido la determinación de la distancia se hará con más precisión.

¿Qué hacer si la imagen se forma a una distancia mayor o menor de la deseada? Si es mayor querrá decir que la distancia focal debe reducirse, lo que se logra con la herramienta abajo y el espejo arriba. Al contrario, si la distancia es menor significa que la distancia focal debe aumentarse para lo cual se deberá trabajar ahora con el espejo abajo y la herramienta arriba.

Sin olvidar bañar con suficiente pulidor y con intervalos de pulido de 15 a 20 minutos, se puede verificar la distancia del punto focal y seguir ya sea con el espejo arriba o abajo según sea el resultado de la prueba de la imagen del Sol.

Conforme se trabaje, probablemente se pierdan los surcos de la herramienta. Será entonces necesario rehacerlos. También se requerirá amoldar nuevamente la superficie del chapopote por lo que se necesitará “ablandarlo”. Una manera de hacer eso es dejar la herramienta expuesta al Sol durante varios minutos o introducirla en agua caliente, y una vez que se haya ablandado lo suficiente, colocar encima el espejo y los pesos como se describió en el párrafo correspondiente.

Después de aproximadamente tres horas de pulido se observará la forma de la superficie del espejo. Adicionalmente a la prueba con la luz del Sol que permite determinar la distancia focal del futuro espejo, es necesario llevar a cabo una prueba más que permita hacer un análisis más detallado y fino de la curvatura del espejo. Recuérdese que se pretende que sea la sección de una esfera que, para las dimensiones del vidrio, no se aleja mucho de un paraboloide, que es la figura ideal.

PRUEBA DE RONCHI

La prueba que aquí se refiere se conoce como prueba de Ronchi* y es muy utilizada por los aficionados a la construcción de sus telescopios debido a su relativa sencillez y bajo costo.

No se detallará la teoría que está detrás de la prueba ya que se encuentra más allá de los objetivos de este trabajo, pero se recomienda la lectura de las referencias al final del capítulo, en aquellos casos en que exista un mayor interés sobre los principios ópticos.

Debe aclararse que esta es una prueba cualitativa y no cuantitativa. Es decir, ofrece información sobre el tipo de error en la superficie, aunque no sobre su magnitud.

Para llevarla a cabo habrá que construir una herramienta especial.

Enseguida se encuentra la lista del material necesario para la prueba de Ronchi:

- 1) Un soporte para mantener el espejo en posición vertical.
- 2) Una rejilla de aproximadamente 2 x 2 cm. Solo las líneas verticales.
- 3) Una fuente luminosa vertical. Puede ser un foco pequeño de 9 Volts con el filamento en posición vertical.

La siguiente figura (Fig. 2.12) muestra los elementos mencionados

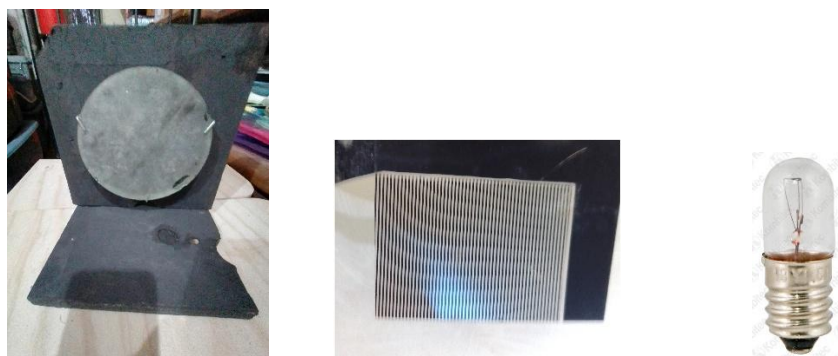


Fig.2.12 Soporte, rejilla y foco, para la prueba de Ronchi

El soporte puede construirse con una madera cuadrada de 20x20 cm que descansa perpendicularmente sobre otra en su parte central Fig.2.12; tres cuñas en forma de L mantendrán al espejo en posición vertical.

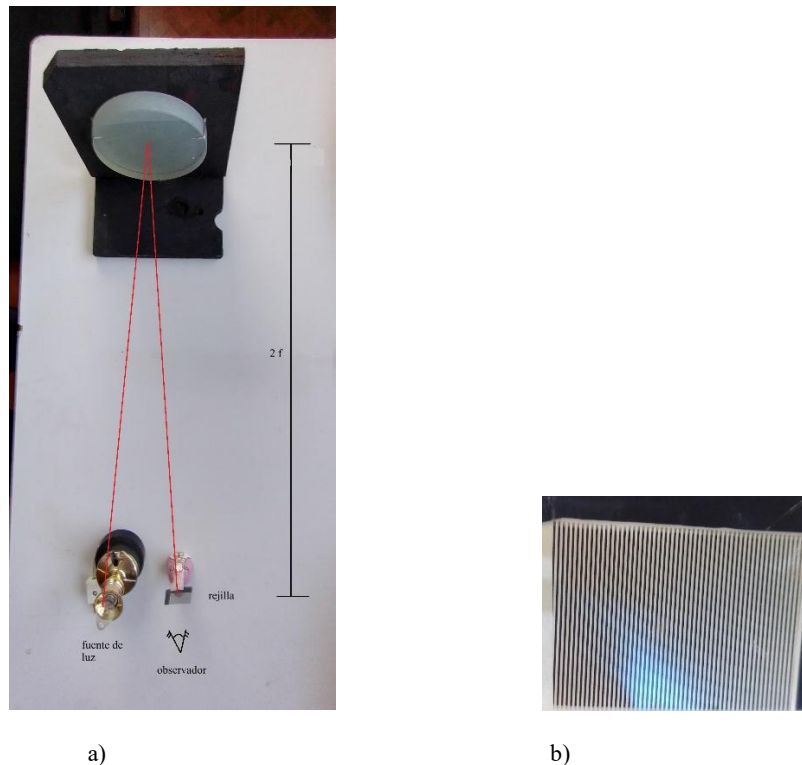
*Se nombra en honor del físico italiano Vasco Ronchi(1897-1988) quien la introdujo en 1922.

La rejilla consiste en un cuadrado de cartón o papel ilustración de 3x3 cm al que se le corta centralmente un cuadrado de 2x2 cm. Apoyándose en dos de las orillas opuestas se formarán verticalmente espiras de alambre muy delgado (por ejemplo del #28) tratando de tener dos o tres por milímetro.

La conexión eléctrica del foco es sencilla. Pero si no se tiene experiencia en el trabajo con electricidad será mejor solicitar el apoyo de otra persona que si la tenga. Puede aprovecharse como fuente un eliminador de baterías para equipos electrónicos.

Básicamente la prueba consiste en enviar un haz de luz proveniente del foco, que se refleja por el espejo primario y que posteriormente pasa a través de la rejilla colocada en las proximidades del radio de curvatura (el doble de la distancia focal) del espejo. Al otro lado de la rejilla se observan una serie de líneas o franjas oscuras de cuya forma es posible evaluar la curvatura del espejo con mucha precisión, y consecuentemente y de ser necesario, elegir la estrategia para corregir los errores.

La configuración de la prueba se muestra en la Fig.2.13. En este caso la



....Fig. 2.13 Prueba de Ronchi. a) Esquema de la prueba b) detalle de la rejilla

distancia entre el espejo y el foco será de 2.40 m, que es el doble de la distancia focal del espejo. Aproximadamente a 10 cm al lado del foco se coloca la rejilla con sus líneas verticales y a su través se observará el reflejo de la luz del foco.

Si bien pueden obtenerse diversas formas de las imágenes, se muestran algunas de las más comunes. Si se han seguido las instrucciones de desbaste y pulido, con seguridad se caerá en alguno de esos casos.

a)



a) Esfera

Esta es la figura que se desea alcanzar (ver nota). Las franjas se percibirán rectas y paralelas entre sí. El número de ellas depende del número de líneas en la rejilla. Para el pulido, continuar con la misma carrera y hacer la prueba de Ronchi cada 15 minutos. El objetivo es mantener esa forma de la superficie.

Nota: Aunque idealmente la superficie deseada sea un paraboloide (ver Cap. 1). Como ya se mencionó, para las dimensiones actuales del espejo, es suficiente con la superficie esférica. En el caso parabólico las franjas se verán ligeramente curvadas hacia el centro de manera homogénea.

b)



b) Deformación central

Depresión en el centro. Es un problema común al aplicar exceso de fuerza en el centro. Se debe rehacer la herramienta calentándola, como ya se ha indicado previamente, y modificar la carrera haciéndola un 10% más corta durante 15

minutos y posteriormente realizar la prueba de Ronchi. Si las líneas mejoran se debe proseguir durante otros 15 minutos hasta que se tenga una superficie esférica,

c)



c) defecto en las orillas

Este defecto se origina en las orillas ya sea como una depresión (“orillas caídas”) o una saliente. La mayoría de las ocasiones este defecto se soluciona rehaciendo la herramienta y continuando con la misma carrera.

d)



d) Astigmatismo

Este defecto aparece cuando la superficie es asimétrica, elipsoidal u oval, en la que diferentes áreas de la superficie tienen distintos radios de curvatura. Es muy difícil de corregir por lo que es necesario regresar al tratamiento con los abrasivos para rehacer la superficie desde un inicio.

Hechas las correcciones se debe continuar con el pulido cuidando los dos aspectos fundamentales. Uno, que se mantenga la distancia focal en 1.2 m y, dos, que la superficie del vidrio sea la de una esfera o un paraboloide.

Una vez que se ha alcanzado la superficie esférica y después de 4 a 6 horas de pulido, el vidrio estará listo para el siguiente proceso que es el aluminizado.

Por ahora deberá guardarse, de preferencia dentro de un recipiente plástico y cubierto con un papel o paño suave que no produzca rayaduras.

Antes de tocar el tema del aluminizado, se tratará la fabricación del espejo secundario.

CONSTRUCCIÓN DEL ESPEJO SECUNDARIO

Hasta ahora, la fabricación del espejo primario permite captar la luz proveniente de un objeto brillante (por ejemplo el Sol) y concentrarla en un área muy pequeña que nombramos el punto focal (punto Q en la Fig. 2.14). Es claro que en este punto es imposible realizar visualizaciones directas, ya que cualquier objeto situado ahí interferirá a la luz incidente. Es necesario entonces desviar el haz de luz concentrándolo en un punto fuera del área de captación del espejo primario.

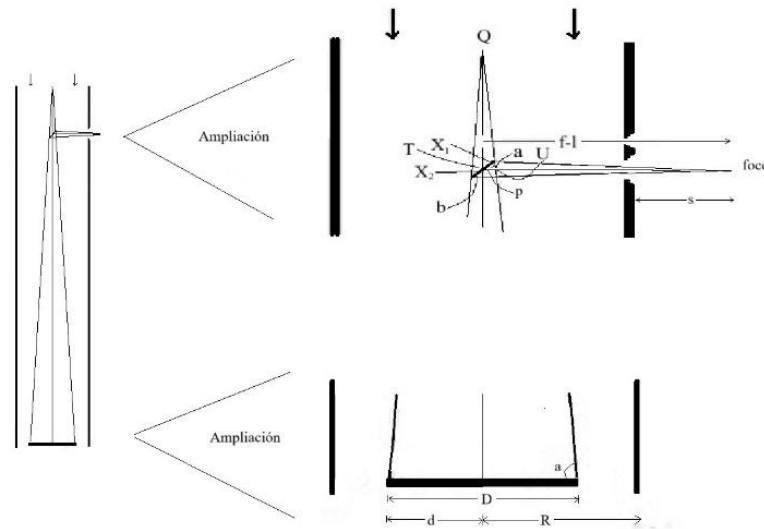


Fig. 2.14 Disposición del espejo secundario

En la Fig. 2.14 se observa que esto se consigue colocando un espejo plano antes del punto focal (marcado como Q en la Fig. 2.14) de modo tal que ahora los rayos se concentren en el foco, que está fuera del área de captación del espejo primario. Si se considera una proyección tridimensional en la que la luz concentrada por el espejo primario forme un cono, el espejo secundario tendrá la forma de una elipse que es la figura que se obtiene al hacer un corte a 45 grados del cono de luz (Figura 2.15).

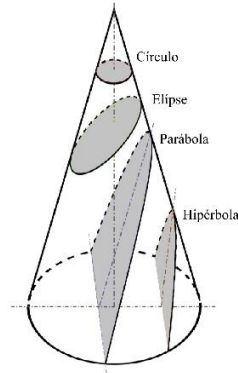


Fig. 2.15 Figuras que se obtienen al hacer diferentes cortes a un cono

En una primera aproximación, exclusivamente desde el punto de vista de la geometría, las dimensiones de la elipse dependen del punto en el que se desee desviar al cono de luz, y aquél a su vez es función del radio exterior del tubo en el que se colocarán los espejos así como de la distancia, fuera del tubo, en que se desee se concentren los rayos (las letras R y s identifican respectivamente a estas distancias en la Fig. 2.14).

Sin entrar en los detalles del cálculo, se mencionan aquí las dimensiones aproximadas de los semiejes menor y mayor de la elipse*.

Semieje menor = 1.9 cm

Semieje mayor = 2.7 cm

Sin embargo, estas dimensiones **no son** las que, en la práctica, debe tener el espejo secundario. Recuérdese que se obtuvieron considerando solamente la convergencia a un punto geométrico. Debe tomarse en cuenta el tamaño en la visual que tenga un objeto celeste. Normalmente se considera el campo a cubrir el dado por el diámetro de la Luna, que es de 31' de arco en radianes. En términos de la longitud focal esto da aproximadamente 0.009 milésimas de ella en el plano focal, es decir, aproximadamente 10 mm. **

*Refiérase al Anexo D si se tiene interés en los cálculos involucrados.

** Se está suponiendo únicamente observaciones visuales. Si se planea la toma de fotografías el campo visual debe hacerse mayor.

Con esa observación, una expresión aproximada para calcular el semieje menor (a) del espejo está dada por (ref.8):

$$a = (D - d) l / f + d$$

Siendo **a** el semieje menor, **D** el diámetro del espejo principal, **f** su longitud focal, **l** la distancia desde el secundario hasta el plano focal y **d** el diámetro del campo visual.

Sustituyendo en la expresión los datos del espejo construido se encuentran los siguientes valores redondeados para los semiejes menor (a) y mayor(b):

$$\mathbf{a = 3\ cm \quad y \quad b = 5\ cm}$$

Un requisito fundamental para el secundario es que presente una de sus caras perfectamente planas. En muchos casos esta es una característica muy difícil de satisfacer ya que para los fabricantes de vidrios comerciales la planicidad no es una exigencia fundamental. Existe, sin embargo, un tipo de vidrio con el que, por construcción, es muy probable que se satisfaga el requerimiento de planicidad. Éste es conocido como "vidrio flotado" y su adquisición en la mayoría de las vidrierías no ofrece mayor problema. De conseguirse un fragmento de este tipo de vidrio, restará solamente pulirlo para tener el brillo adecuado. Si no se obtuvo el vidrio flotado, se trabajará con vidrio común puliendo de la manera que a continuación se describe.

Se vuelve a construir la herramienta con el mismo vidrio empleado para el pulido del espejo primario. En esta ocasión no se colocará ningún peso encima por lo que solo se tendrán los surcos para que fluya el pulidor.

Una vez enfriado el chapopote y con el vidrio de 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor se realiza su pulido mediante una carrera como la que se muestra en la figura 2.16. El tiempo de pulido será el necesario hasta obtener una superficie muy brillante. Usualmente es de aproximadamente dos horas. Como en el caso del espejo primario, se sugiere que antes del pulido la cara no elegida o posterior del secundario se pinte de negro o se desbaste con abrasivo grueso.

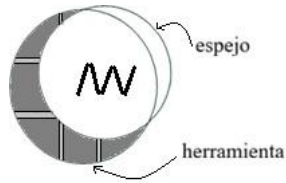


Fig. 2.16 Pulido del espejo secundario

La planicidad de un vidrio sólo puede establecerse en forma relativa, es decir, al comparar la superficie de un vidrio con la superficie de otro que se considere plana; si ambas presentan la misma curvatura se dirá entonces que la primera también es una superficie plana. Para la prueba de comparación se requiere entonces al menos un vidrio plano, que como ya se mencionó, puede ser un fragmento de cristal flotado. La Fig. 2.17 muestra la prueba que se realiza para comprobar la planicidad relativa entre dos vidrios. En esta prueba la luz proveniente de una lámpara fluorescente se hace incidir sobre los vidrios a comparar estando estos uno encima del otro. Con esta configuración se generan unas líneas oscuras y otras brillantes conocidas como franjas o anillos de Newton.(Ref.7). Cuando la curvatura de ambas superficies es la misma, las líneas que se forman son rectas paralelas (véase Fig. 2.18).



Fig. 2.17 Prueba de planicidad para el espejo secundario



Fig. 2.18 Planicidad relativa entre dos superficies

Obtenida la superficie plana el siguiente paso es cortar el vidrio a las dimensiones dadas para los semiejes menor y mayor de la elipse. Una manera sencilla que permite obtener de manera aproximada la elipse es realizar cortes

tangenciales a la figura buscada tal que la aproximen a la forma deseada. En la figura 2.19 se muestran algunos de los cortes que pueden hacerse para aproximar a la elipse con dimensiones $a=3$ cm y $b=5$ cm en sus semiejes.

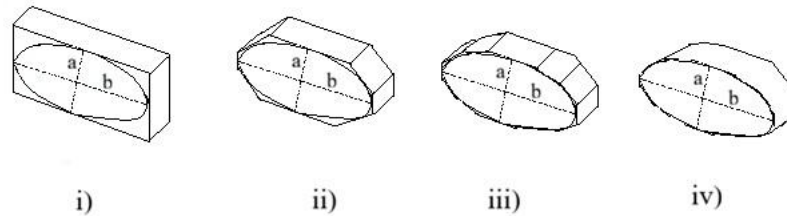


Fig 2.19 Vidrio con cortes para el secundario. Se inicia con cortes en las esquinas i), ii), y después se esmerila hasta aproximar a la forma deseada iii), iv).

Otro método, más elaborado, pero con el que se alcanza la forma elipsoidal correcta se describe a continuación:

- a) A un cilindro de madera o de aluminio (aunque puede ser de otro metal) de una pulgada de diámetro y seis cm de longitud, se le hace un corte a 45 grados tal como aparece en (a) de la figura 2.20.
- b) Sobre la cara a 45 grados se le pega el vidrio del secundario. Aunque el pegamento debe ser lo suficientemente fuerte para sostener al vidrio, también debe ser tal que se le pueda separar sin peligro de astillarse. Ver Fig.2.20.b).
- c) Con ayuda de un torno, taladro de mesa u otro dispositivo giratorio, se sostiene al cilindro de modo que gire con la herramienta. El giro debe ser muy lento, probablemente menor a 50 revoluciones por minuto.
- d) Perpendicularmente se le acerca una piedra de esmeril fino con la que poco a poco se va rebajando el vidrio conforme gira.
- e) En todo momento agregar agua entre el esmeril y el vidrio.
- f) Es muy importante que el desbaste sea muy lento ya que si se aplica una fuerza mayor el vidrio se separará de la base y será casi imposible colocarlo en la misma posición original.
- g) En la misma figura 2.20.c) se muestra la forma final del vidrio una vez que se han alcanzado las medidas de los semiejes y se ha despegado de

su base. Se notará que, a diferencia del primer método, visto desde su eje, que es como llegarán los rayos desde el espejo primario, aparece un círculo, por lo que no se perderá ninguna parte de la imagen al momento de la reflexión.

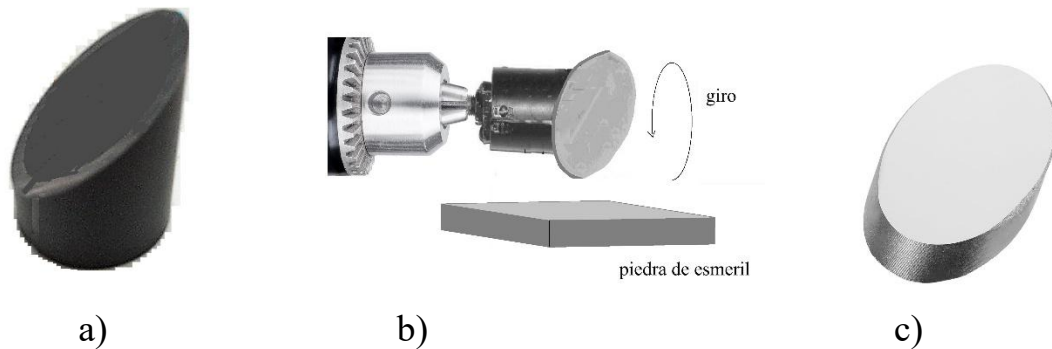


Fig. 2.20 Proceso para obtener la forma elíptica del espejo secundario

Ahora ya se encuentran listos los vidrios, tanto para formar el espejo primario como el secundario. El siguiente paso es el aluminizado.

ALUMINIZADO

El aluminizado consiste en depositar en las superficies de los vidrios una capa sumamente delgada de aluminio muy puro mediante un proceso de evaporación. Se escoge el aluminio porque este metal tiene la propiedad de reflejar cerca del 98 % de la luz visible.

La gráfica que aparece enseguida muestra el comportamiento de la reflectividad para el aluminio, oro y plata en función del “color” de la luz que le incide*. Estos metales son muy utilizados de acuerdo a la zona del espectro visible en donde se desea trabajar.

*En la literatura es común el uso del término “longitud de onda” en lugar de “color”. La razón es que la primera tiene un significado físico y la segunda más bien fisiológico. La tabla anexa a la gráfica en la figura 2.21 muestra los intervalos de longitud de onda, medida en nanómetros, que corresponden a la sensación de color.

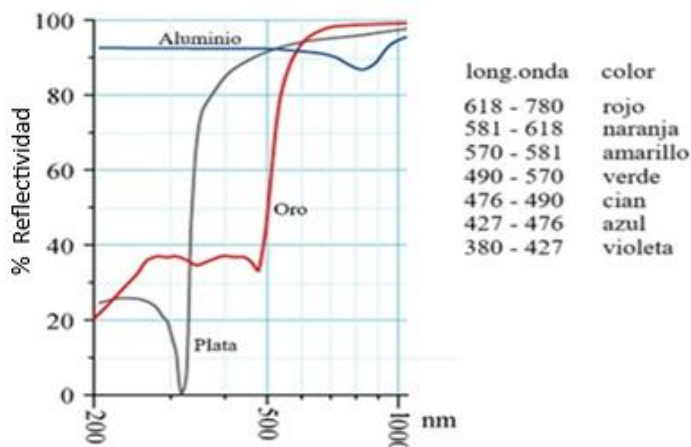


Fig. 2.21 Curvas de reflectividad para el aluminio, oro y plata abarcando el intervalo de sensibilidad del ojo humano cuyo máximo está alrededor de los 555 nm. El grosor de la capa metálica puede influir en el porcentaje de reflectividad. Descargada de https://es.wikipedia.org/wiki/Reflectividad#/media/Archivo:Image-Metal-reflectance_es.svg y editada con Paintbrush

Se observa que el aluminio tiene una reflectividad por encima del 90% y constante en casi todo el intervalo de sensibilidad del ojo humano, bajando un poco al acercarse al rojo. Coincide con la plata en el intervalo cian-verde, pero el mayor costo de ésta última no la hace ser un candidato práctico. El oro es un muy buen reflector de la luz en longitudes de onda largas correspondientes al rojo e infrarrojo por lo que es preferido en observaciones dentro de este intervalo de longitudes de onda.

Para hacer el aluminizado se requiere equipo especial. Debido a esto lo más práctico es llevar los vidrios a una fábrica de espejos y solicitar ahí su aluminizado, no sin antes advertir que no se aplique ya ningún tipo de abrasivo.

Sólo para completar estas notas se bosquejará a continuación la forma en que se lleva a cabo el aluminizado, pero se insiste en la conveniencia de llevarlos a aluminizar en una fábrica. La figura 2.22 muestra el esquema básico empleado para aluminizar los futuros espejos.

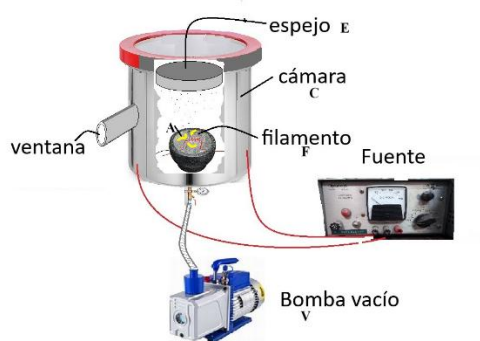


Fig. 2.22 Esquema para el aluminizado

Inicialmente se lava la superficie del vidrio a aluminizar con agua destilada y posteriormente con alcohol isopropílico.

Con referencia en la figura 2.22. Se hace circular una gran corriente (aproximadamente 10 A) a través de un filamento de tungsteno (F) sobre el cual se colocan fragmentos de aluminio de gran pureza (>99%) (A). Al calentarse, el filamento derrite al aluminio evaporándolo y depositándolo uniformemente sobre la superficie del vidrio (E). Previo a lo descrito es necesario evacuar el aire en el que se encuentra el filamento y el vidrio a aluminizar (generalmente dentro de una campana de vidrio o metálica (C)), y esto se consigue con un sistema de bombeo (V) que permite alcanzar niveles de vacío del orden de 10^{-3} ó 10^{-4} torr.

Referencias

- 1) Germán Arenas, Omar Doria, Angela Narváez, Mayerlin Nuñez . Prueba de Ronchi para un Espejo Cóncavo. Revista Colombiana de Física, V. 38, No. 2, 2006
- 2) Daniel Malacara (editor) – Optical Shop Testing. Wiley-Interscience, 3er ed., 2007
- 3) Max Born & Emil Wolf – Principles of Optics. Cambridge Univ. Press. 7a ed. 2020
- 4) Masud Mansuripur – “The Ronchi Test”
- 5) Miguel Mora G. Aplicaciones de Cristales Líquidos a Pruebas Ópticas No Destructivas (tesis). Univ. De Guanajuato, CIO. 2002
- 6) Daniel Aguirre Aguirre. Prueba Nula de Ronchi Dinámica (tesis). Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). México, 2014.
- 7) Eugene Hecht – Optics
- 8) Jean Texereau. El Telescopio del Aficionado. Versión en línea <https://es.Scribd.com/doc/23423327/Texereau-Jean-El-Telescopio-Del-Aficionado>

CAPITULO III

ARMADO DEL TELESCOPIO

La siguiente lista de material será la requerida para armar el telescopio:

- 1) Un tubo de 1.20 m de largo. El tubo del telescopio sirve para alojar en él a los espejos primario y secundario, protegiéndolos de los agentes perjudiciales del medio ambiente, polvo y agua. En principio el tubo puede ser de cualquier material, plástico, madera, acero o cartón; de éstos se sugiere no usar los metálicos ya que al ser buenos conductores térmicos se producen en su interior corrientes convectivas que pueden llegar a afectar la observación. En la industria de la construcción se manejan tubos de cartón utilizados en el colado de columnas y se conocen como sonotubos. Estos son resistentes y livianos y con facilidad en su manipulación. Son recomendables para un primer telescopio y se tiene la ventaja de que puede cambiarse más adelante por otro manteniendo la misma montura.

Los tubos plásticos, en particular los de PVC sanitarios*, resultan ser los más adecuados debido a su resistencia, manejo relativamente fácil, costo razonable y buen aislamiento térmico. Las instrucciones dadas en este apartado supondrán que se trabaja con este tipo de material, aunque se reitera la libertad de elegir el que se desee.

Idealmente el diámetro interior del tubo debe ser un poco mayor a 15 cm, por ejemplo 7" (cerca de 17.8 cm), desafortunadamente no es fácil encontrar esta medida comercialmente. El siguiente diámetro comercial es de 8" (20.32 cm). Aunque éste permite colocar al espejo y su soporte internamente, habrá casi 2.7 cm de espacio entre él y la pared interna del tubo. Si a eso se le aumenta el grosor de la pared, que en el caso de tubos sanitarios es aproximadamente de 4 mm, se tendrá ahora 3.1 cm. Deben tomarse en cuenta estas consideraciones ya que, como se recordará (Capítulo II y Anexo D) las dimensiones del secundario están

*Hay también tubos de PVC que soportan mayor presión y se conocen como hidráulicos. Estos tienen sus paredes más gruesas y por lo tanto son más rígidos, pero también aumenta considerablemente el peso del telescopio, además de tener un costo mayor. Si se opta por este tipo de tubos, deben tomarse en cuenta esas características al momento de realizar los cálculos para las dimensiones del secundario.

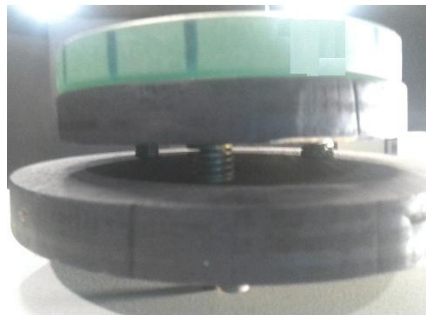
determinadas por estas medidas. Además, dependiendo del radio del tubo, se tendrá una mayor o menor distancia fuera de él antes de que se concentre la luz y en consecuencia la posibilidad de colocar o no otro elemento óptico antes del ocular.

- 2) Bases de madera: una de 15 cm de diámetro y otra de diámetro igual al diámetro interior del tubo, ambas del mismo grosor de 2 cm. La primera soportará el espejo primario y la segunda soportará a la primera junto con el espejo y con la posibilidad de fijarse en la parte interior del tubo.

En las siguientes figuras (Fig. 3.1) se detalla la configuración de los espejos, soportes y su posición dentro del tubo. Para su comprensión son necesarios algunos comentarios explicativos:



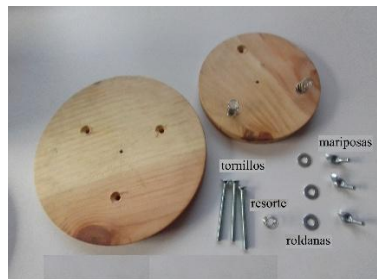
a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

Fig. 3.1 a ->g Soportes para el espejo primario. Ver texto.

La primer madera sostiene al espejo mediante tres uñas o soportes pequeños colocados a 120° una de otra (Fig. 3.1a -> g). En la misma se hacen tres orificios o barrenos atravesados de $\frac{1}{4}$ ", separados a 120° y a 2 cm de la orilla. A través de esos barrenos se colocan tres tornillos de $\frac{1}{4}$ " y 6 cm de largo con cabeza plana. Se amplía el barreno en una de las caras de la madera (en la que se colocará el espejo) de manera que la cabeza del tornillo quede incrustada dentro de la madera, sin sobresalir.

En la segunda madera se hacen también tres barrenos atravesados. Éstos serán la continuación de los hechos en la primer madera estando ésta última bien centrada respecto a la segunda. Los tornillos deben ser lo suficientemente largos para no solo atravesar la segunda madera sino que entre ellas se les pueda colocar un resorte de aproximadamente 2.5 cm de largo y 1.3 cm de diámetro interior. Finalmente, los tornillos se fijan a la segunda madera, en su parte inferior, mediante mariposas. La función de los tornillos y los resortes es dar la posibilidad de ajustar la dirección del espejo primario.

La segunda madera entra ajustada al tubo del telescopio. Se fija al mismo mediante cuatro pijas que se colocan desde la parte exterior y que se incrustan en la madera a la mitad de su grosor. Por supuesto debe tenerse el cuidado suficiente para que quede perpendicular a la pared del tubo. Aunque los resortes pueden absorber ligeras inclinaciones, es mejor evitar cualquier inclinación inicial.

También se sugiere que la posición en la que se fije el conjunto base-espejo quede lo suficientemente interno para que las mariposas no sobresalgan de la base del tubo. Bastan dos o tres centímetros entre la parte inferior del tubo y la base de la madera para que esa condición se satisfaga. La figura 3.2 muestra gráficamente lo antes expuesto.



Fig. 3.2 Posición del soporte del espejo primario dentro del tubo de pvc

Nota : Tanto el interior del tubo como todos los elementos de madera que se fabrican, deben pintarse de negro mate. La finalidad es evitar cualquier reflexión en el interior del tubo. Incluso, es buena práctica lijar previamente el interior con una lija para madera del número 120 ó 160.

Posición del secundario.

La distancia focal de espejo primario se mide desde su superficie reflectora. Si se ha logrado mantenerla en 120 cm o aproximadamente en ese valor, entonces esa será la distancia desde el espejo primario hasta donde se colocará el ocular. La distancia desde el centro de la superficie del espejo primario, hasta el punto en donde toca a la superficie reflectora del secundario, se encuentra de la siguiente manera: A la distancia focal se le resta el radio del tubo (10 cm) y el grosor de su pared (4 mm), se consideran alrededor de 5 cm adicionales hasta donde se coloque el ocular*. De esta manera se tiene: $120 - (10.0 + 0.4 + 5.0) = 104.6$ cm. Esta es la distancia, **medida desde la superficie reflectora del espejo primario**, en donde se hará el orificio en el tubo por donde saldrá la luz desviada por el secundario.

¿Qué diámetro tendrá el orificio de salida? Trigonométricamente, en ese punto el diámetro del círculo formado por el cono de luz es menor a 1 cm. Pero se sugiere hacerlo de un diámetro de 3 cm.

El espejo secundario requiere de un soporte que lo fije al tubo del telescopio. Ese soporte no solamente permitirá sostenerlo firmemente en el centro del tubo, sino que debe permitir hacer los ajustes finos en su dirección de modo que permita que la luz reflejada salga exactamente por el orificio de salida en el tubo y se enfoque justamente en el ocular.

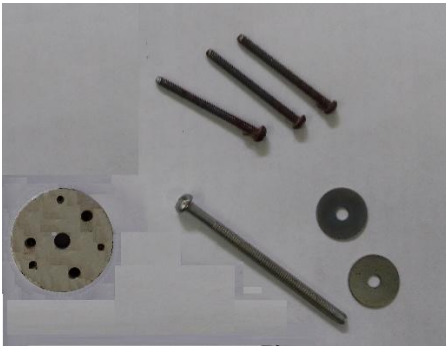
Aunque existe más de una forma de construir un soporte que satisfaga los requerimientos mencionados, se describirá enseguida al más usual y que funciona correctamente.

La siguiente discusión toma como referencia la figura 3.3 en donde se identifican cada una de las partes.

*Puede considerarse una distancia mayor, que tiene la ventaja de permitir colocar algún otro elemento óptico. Sin embargo, deberá considerarse esto previo al cálculo de las dimensiones del secundario a fin de construirlo con sus dimensiones correctas



a)



b)

c)

Fig. 3.3 Partes del soporte ("araña") para el secundario.

- a) Barra cilíndrica de 3 cm de diámetro (el mismo que el semieje menor de la elipse del secundario) con corte a 45°. Por la facilidad en el manejo se asumirá que es de madera, pero nuevamente se señala que puede ser de otro material ligero.

Se hace un barreno que la atraviesa longitudinalmente. A su través pasará un tornillo de 1/4" por 7 cm de largo, estando la cabeza oculta dentro del cilindro y situada en su parte inferior. Ver figura 3.3.a y b.

- b) Cilindro de aluminio de 3 cm de diámetro y 1.5 cm de ancho. El mismo tornillo del punto a) lo atravesará por su parte central. Adicionalmente se forman tres barrenos de 1/8" espaciados a 120° y a 5 mm de la orilla. Estos barrenos tendrán cuerda para tornillos de 1/8".

Este cilindro servirá también como enlace con las paredes del tubo a fin de sostener al montaje completo. Para ello, en la parte media de su pared lateral se hacen tres perforaciones de 1/8" roscadas y con 5 mm de profundidad. No

deben coincidir en posición con los barrenos que lo atraviesan, aunque también están espaciados a 120° .

c) Tres fragmentos de barra roscada de $1/8''$. Su longitud dependerá del diámetro del tubo. Suponiendo que el radio interior del tubo es de 10 cm, el grosor de su pared de 4 mm, además, se considera que penetra en el cilindro 5 mm y sea 1 cm lo que sobresale del tubo, con ello la longitud total será de 12 cm aproximadamente.

Para el armado: Se introduce el tornillo de $1/4''$ por la parte inferior de la barra de 45° fijándolo a la salida con una tuerca. Un resorte de 2.0 cm de longitud se coloca en el tornillo tal que lo abraza holgadamente. Enseguida se coloca el cilindro de aluminio, ejerciendo presión sobre el resorte hasta disminuirlo aproximadamente 1 cm. Nuevamente, en la parte superior del aluminio se fija el tornillo con una tuerca. A continuación, se colocan los tres tornillos de $1/8''$ y 5 cm de longitud penetrándolos hasta que toquen la cara superior de la barra de 45° . Las tres barras roscadas de $1/8''$ se colocarán más adelante ya que ellas van desde el exterior del tubo hacia el cilindro de aluminio.

La colocación del secundario en la madera puede hacerse mediante cuatro cuñas atornilladas al cilindro (ver Fig. 3.4) o fijándolo a ella mediante un pegamento. Si se opta por pegarlo, debe ser con un pegamento lo suficientemente fuerte que **bajo ninguna circunstancia** logre despegarse. Tan solo el imaginar un escenario en el que el secundario se despegue y caiga sobre el espejo primario es desastroso. La desventaja de un pegamento así es que será muy difícil despegar al secundario cuando se requiera realizar algún cambio en el soporte. Una buena decisión será usar ambos métodos pero con un pegamento más amigable.

La figura 3.4 muestra el ensamblaje completo (y las figuras 3.5 y 3.6 sus detalles y apariencia final) y que coloquialmente se conoce como “araña”. Con seguridad ya se habrá dilucidado la función del resorte y los tornillos de $1/8''$. En efecto, el resorte es lo suficientemente rígido para mantener en su posición al espejo, pero al apretar o aflojar la tuerca se sube o baja un poco de esa posición, además, permite rotar el soporte de madera por lo que se ajusta la dirección del espejo. De la misma manera, con los tres tornillos de $1/8''$ se logran ajustes finos de la imagen logrando enfocarla perfectamente en el ocular.



Fig. 3.4 Configuración del soporte del secundario (araña).

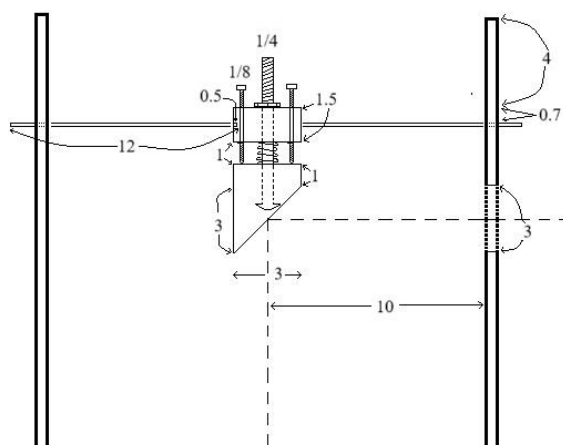


Fig. 3.5 Detalles (corte lateral) de las dimensiones de la araña y su posición en el tubo



Fig. 3.6 Ubicación de la araña en el tubo

Como en el caso del soporte del primario, se recomienda que la parte superior de la araña no quede justo en el borde superior del tubo. Cuatro centímetros por

debajo del borde serán suficientes y darán seguridad para colocar una tapa al tubo. (Ver Figuras 3.5 y 3.6)

A la salida de la luz enfocada, en la parte externa del tubo, es necesario colocar un mecanismo que facilite el enfoque en el ocular. Su función es mantener firme al ocular y permitir alejarlo o acercarlo del punto focal del primario a fin de alcanzar la mejor imagen. Básicamente lo constituye una rueda dentada fija (piñón) que mueve una barra también dentada (cremallera). El giro del piñón en una u otra dirección mueve igualmente a la cremallera a la que se le coloca el ocular o un tubo que se adapte al diámetro del ocular en uso. Vea la figura 3.7

En la imagen derecha de la figura 3.7 se muestra un soporte mucho más sencillo, pero funcional, para el ocular. Está construido con madera al que se le ha dado la curvatura del exterior del tubo y que en su interior puede desplazarse un tubo de 1" de diámetro. En este tubo se puede colocar un ocular de 1" de diámetro por lo que se puede intercambiar con todo ocular que tenga esa medida de diámetro. El tornillo en la parte derecha fija en su posición al tubo para hacer las observaciones.



Fig. 3.7 Mecanismos para soportar y mover al ocular.

CAPITULO IV

EL OCULAR

Una vez que se tenga armado el tubo del telescopio y los espejos primario y secundario ubicados dentro de él, es necesario ocuparse del ocular y portaocular, que se encuentran externos al tubo.

La función de ocular es la de amplificar la imagen producida por el espejo primario. Es claro que si las superficies de los espejos presentan defectos, el ocular ampliará tales defectos. En este sentido el ocular juega un papel más modesto que el del espejo primario ya que la imagen que forme dependerá de la que haya presentado el espejo primario.

Las dificultades que se presentan al tratar de fabricar un ocular son muy grandes ya que se emplean técnicas y materiales especiales que no pronostican un buen final si se insiste en hacerlos. Por ello, aquí se recomienda adquirirlos comercialmente. No hay mucho problema en encontrar casas que los ofrezcan ya que son parte de los microscopios y estos se utilizan con mucha más frecuencia que los telescopios.

Las lentes que componen a los oculares se fabrican industrialmente de modo tal que se cuidan y garantizan aspectos como: la pureza de los cristales con los que se fabrican, las tolerancias en sus dimensiones, sus simetrías, curvaturas, y a muchos de ellos se les aplica una capa antirreflejante. Por otra parte, el diseño de los oculares depende de la aplicación particular en la que se desee utilizarlos. Estas son algunas de las condiciones, muy difíciles de satisfacer en un trabajo de aficionado.

Lo que sí es importante es conocer, aunque sea someramente, algunos de los tipos de oculares que pueden encontrarse, sus características ópticas y así tener herramientas para elegir alguno de ellos.

1) El ocular más sencillo consta de una sola lente o “lupa” convergente. La distancia focal de las lentes más usadas comúnmente varía desde pocos milímetros hasta 25 ó 30 mm. Naturalmente, presentan los problemas de imperfecciones o aberraciones tanto geométricas, originadas en su construcción (aberración esférica), como las inevitables debidas a la naturaleza de la

interacción del vidrio con las diferentes componentes de la luz blanca (aberración cromática). Las aberraciones mencionadas distorsionan las imágenes en un caso y presentan un halo colorido en las orillas en el otro caso. (Ver Fig 4.1 a), b) y c))

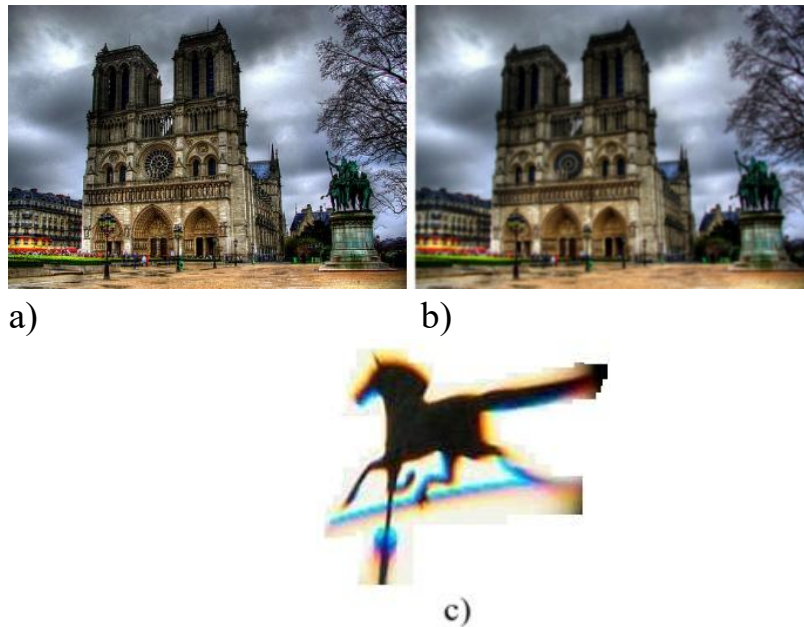


Fig. 4.1 a) Sin aberración esférica b) Con aberración esférica c) Aberración cromática
a), b) tomada de <https://jorge-botella.blogspot.com/2016/12/aberr.html>
c)) tomada de <https://mott.pe/noticias/aprende-todo-sobre-la-aberracion-cromatica-en-fotografia-y-como-evitarla/>

2) Una configuración más elaborada, pero aún simple y muy utilizada, es con la que se construyen los oculares tipo Huygens (Fig. 4.2). Estos constan de dos lentes plano convexas separados por una distancia que es la mitad de la suma de sus distancias focales. Las lentes se fabrican tal que el conjunto reduce las aberraciones geométricas individuales. Poseen también un diafragma entre las lentes que elimina de la visión aquellos rayos muy descentrados que son producto de la aberración esférica.



Fig. 4.2 Esquema de ocular del tipo Huygens

Son de uso general

3) Oculares tipo Ramsden (Fig. 4.3). Semejantes a los Huygens salvo que los cristales son de la misma naturaleza, tienen la misma distancia focal y el diafragma se encuentra a la entrada de la luz. Al igual que los de tipo Huygens, no eliminan completamente la aberración cromática.

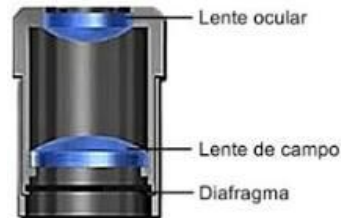


Fig. 4.3 Ocular Ramsden

También son de uso general

4) Se obtiene una mejoría a los problemas de aberración cromática al unir dos o más lentes con materiales complementarios, es decir, con materiales que presentan la misma aberración cromática pero opuesta, de modo que al unirse, dicha aberración se anula, o cuando menos, disminuye.

Uno de este tipo de oculares se conoce como ocular Plössl (Fig. 4.4). Consta de cuatro lentes encementadas en grupos de dos.

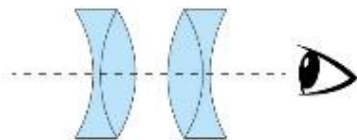


Fig. 4.4 Disposición de lentes para oculares Plössl.

Este se recomienda para la observación planetaria o la de objetos lejanos (observación profunda).

5) Oculares ortoscópicos (Fig. 4.5). Los constituyen cuatro lentes en combinación biconvexa y biconcava. Son muy socorridos debido a la gran nitidez de las imágenes obtenidas, aunque su costo es más elevado. Al menos teóricamente, eliminan las distorsiones que se producen en las orillas por lo que la imagen es semejante al objeto.

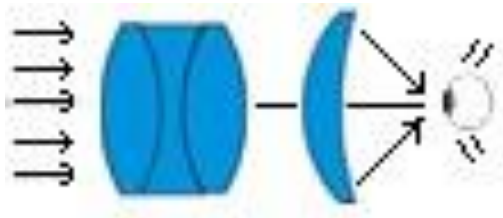


Fig. 4.5 Ocular ortoscópico

Por supuesto, existen oculares con algunas variaciones a los que se han mencionado y el costo va en proporción la complejidad en su fabricación.

La mayoría de los oculares traen inscritos en su cuerpo el aumento que proporciona. Así 4x, 6.5x, 12x, 40x, etc. señalan la cantidad de veces que la imagen se amplifica. Dado que con el telescopio se pueden usar distintos oculares, la imagen resultante tendrá diferentes aumentos.

Puede pensarse que dada la amplia posibilidad de combinar oculares, se tiene la libertad de obtener un número ilimitado de aumentos, sin embargo esto no es así. En la práctica, la imagen final depende de variables tales como la calidad de la óptica del telescopio, pero también de las condiciones atmosféricas al momento de la observación, por ello, existe un máximo de aumentos efectivos que puede alcanzarse con un espejo en particular. Como regla de trabajo se considera que el máximo es el doble del diámetro efectivo (el que está expuesto a la luz, no el físicamente construido) dado en milímetros. En el caso particular de un espejo de 150 mm el máximo será de 300 aumentos.

La amplificación final (M) de la imagen se calcula mediante la razón de la longitud focal del espejo primario entre la longitud focal del ocular.

$$M = (\text{longitud focal del espejo primario})/(\text{longitud focal del ocular})$$

Como ejemplos, teniendo la longitud focal del espejo primario de 1200 mm en combinación con la longitud focal del ocular, de 4 mm, se obtiene una amplificación o magnificación de $1200/4 = 300$.

El mismo espejo, con un ocular de 12mm de distancia focal, arroja una magnificación de $M=1200/12 = 100$.

Y si se combina con un ocular de 25 mm el resultado es $M=1200/25 = 48$

Aparentemente debería escogerse oculares de longitud focal corta a fin de tener mucha amplificación. A pesar de que eso es cierto, desde el punto de vista

observacional no siempre es lo deseable, ya que conforme se aumenta la amplificación disminuye la brillantez de la imagen. Normalmente amplificaciones grandes se usan cuando se desea observar a los planetas mientras que para observar objetos lejanos, como nebulosas, se prefieren amplificaciones bajas.

No es difícil encontrar sitios en dónde adquirir oculares. Dado que son los mismos que se usan en los microscopios y éstos son más conocidos y solicitados que los telescopios, pues existen más casas que los comercializan. También es posible adquirirlos a través de la red de internet.

Ya que una de las finalidades de construir su propio telescopio es la de reducir al mínimo su costo, no se recomienda adquirir un ocular que eleve en gran medida la inversión del aparato, aunque obviamente, la decisión final es personal. Con ese propósito, una simple lupa es más que suficiente para usarla como ocular. Esta puede conseguirse en alguna ferretería, por ejemplo, de las que sirven como cuenta hilos, o bien al desmantelar una cámara fotográfica vieja. Inténtese conseguir una lente que tenga por distancia focal entre 15 y 20 mm, el diámetro de estas lentes es aproximadamente de 1 cm. Luego, una vez a la mano, montarla dentro de un soporte de madera o plástico tal como se ilustra en el corte transversal que muestra la figura 4.6.

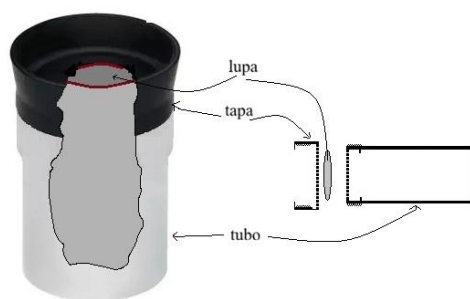


Fig. 4.6 Base para ocular

Dado el ocular, ya sea construido o adquirido, se requiere de un portaocular. El portaocular debe permitir montar al ocular y facilitarle un movimiento lineal con el cual se busque la imagen más nítida. Al final del capítulo 3 se hizo mención de una posibilidad de fabricación muy sencilla de portaocular. Pero si se prefiere adquirir uno, el formado por un sistema de piñón y cremallera resulta de gran utilidad. Ver figura 4.7.

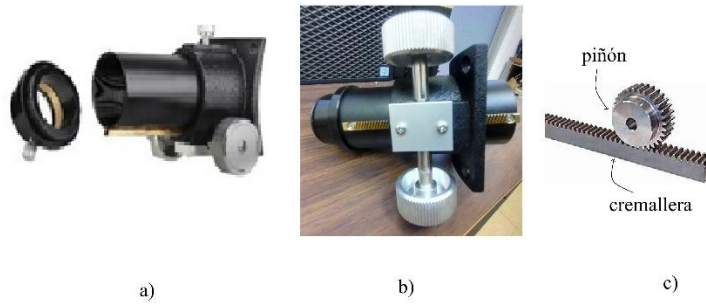


Fig. 4.7 Detalle del Portaocular. En a) vista del portaocular como se ajusta al tubo del telescopio. En b) se muestra la cremallera en dorado y dos perillas que facilitan el movimiento manual. El mecanismo básico se muestra en c)

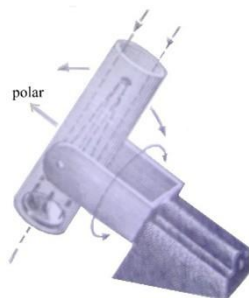
CAPITULO V

CONSTRUCCIÓN DE LA MONTURA DEL TELESCOPIO

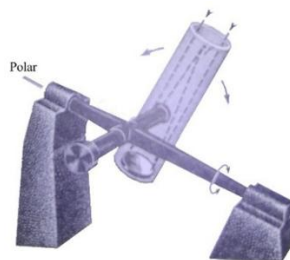
Los capítulos anteriores han tratado con la parte óptica del telescopio. Pero aun teniendo un excelente sistema de espejos si la componente mecánica utilizada para dirigir y rastrear al telescopio en el firmamento no es buena, el resultado es un telescopio prácticamente inútil.

La montura, como así se conoce a la parte no óptica del telescopio, permite apuntar hacia cualquier punto del cielo el tubo del telescopio. Se reitera que la importancia de tener una buena montura no es menor a la de tener un buen sistema óptico, de hecho, su importancia es tal que el precio de una buena montura puede superar al de la parte óptica, por ello se enfatiza en el cuidado que debe ponerse en la construcción de cada una de sus partes.

El problema puede plantearse de la siguiente manera: estando ubicado en un punto sobre la superficie terrestre, el objetivo es acceder visualmente a cualquier otro punto en la esfera celeste (Ver Anexo A). Se requieren al menos dos movimientos perpendiculares para poder apuntar el tubo del telescopio hacia cualquier parte del cielo. En la siguiente figura 5.1 se muestran algunas de las monturas fijas existentes indicándose con flechas los movimientos que tienen cada una de ellas para alcanzar el objetivo visual.



Montura en horquilla



Montura inglesa

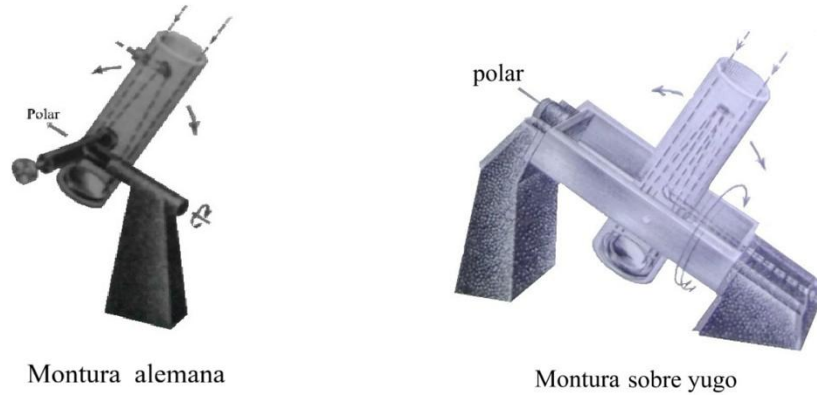


Fig. 5.1 Tipos de monturas fijas ecuatoriales (tomadas de: Astronomía, Theodore G. Mehlin, 5ª Impr. CECSA)

En general suele clasificarse el diseño de las monturas en dos grupos: ecuatorial y altazimutal. Las primeras se identifican por tener uno de sus ejes inclinado y el otro rotando a su alrededor. Y las segundas tienen la particularidad de que sus movimientos son en un plano paralelo a la superficie terrestre y otro perpendicular al mismo. (ver Fig. 5.2)

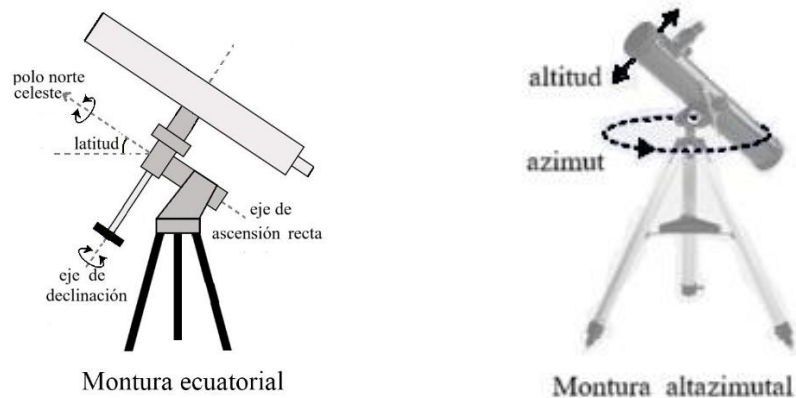


Fig. 5.2 Clasificación general de las monturas.

Optar por una u otra montura depende del tipo de observación que se desea hacer. Si es solo para enfocar a los diversos astros y también para observaciones terrestres, la altazimutal es adecuada ya que es fácil de manipular. Pero si se desea observar un astro por mucho tiempo es más complicado ya que se deben hacer continuamente ajustes en los dos ejes. Por la misma razón no es adecuada para la astrofotografía.

La montura ecuatorial es la correcta para la astrofotografía o para observaciones largas. En ella, se aprovecha que a lo largo de la noche los astros tienen un

movimiento aparente de rotación alrededor de la proyección del eje terrestre, que en el hemisferio norte apunta cerca de la estrella polar, la cual se puede considerar fija. (ver Anexo A). El ángulo que el eje del telescopio debe hacer con la superficie de la tierra, en el punto donde se ubica, lo da la latitud del punto. En el caso de la Cd. De México es de 19 grados respecto del suelo (Anexo A). La razón de ello es sencilla: durante la noche el conjunto de las estrellas llamadas fijas realizan un movimiento aparente de Este a Oeste, producto del movimiento de rotación de la Tierra. Existe sin embargo una estrella, en el hemisferio norte, que no participa de este movimiento, sino que permanece fija durante toda la noche. Esta estrella se encuentra prolongando indefinidamente el eje de rotación terrestre hasta interceptarla (existe también su contraparte en el hemisferio sur). A simple vista no es posible detectar tal estrella, pero existe una muy cercana (desde el punto de vista del plano visual) que se toma como referencia. Esta estrella es muy conocida desde siglos atrás y se le identifica como la Estrella Polar.

La posición aparente de la estrella Polar depende de la latitud en la que se encuentre el observador, de este modo, para un observador cerca del Ecuador terrestre la Polar estará casi sobre el horizonte norte, en cambio para uno dentro del Círculo Polar Ártico la posición de tal estrella estará cercana al Zenit (el punto más alto sobre su cabeza). Para un observador en la Cd. de México o sus alrededores, la Polar parecerá situada aproximadamente a 19 grados por encima del horizonte norte. Si el eje del telescopio apunta hacia esta estrella, bastará girar el tubo en la dirección Oeste-Este para contrarrestar el movimiento de rotación de la Tierra y poder observar una estrella sin que se salga del campo visual del telescopio. Este giro del tubo del telescopio puede incluso hacerse en forma automática mediante un sistema de relojería. En este caso se usa un motor y un conjunto de engranes que hagan un giro cada 24 horas por lo que parecerá que el telescopio sigue a las estrellas en su movimiento sobre la esfera celeste.. Con esa característica, la montura ecuatorial tiene uno de sus ejes apuntando hacia la estrella polar, cuyo ángulo respecto al horizonte depende de la ubicación. En el caso de México va desde 15° en el sur de Chiapas hasta 32° en el norte de Sonora y Baja California, (INEGI, Anexo A). Con esa información, para localizar un objeto en la esfera celeste se rota el tubo del telescopio en el plano paralelo al eje, lo cual da la declinación, y posteriormente se rota en el otro plano, ahora perpendicular al mismo eje, y que da la ascensión recta.

En los párrafos siguientes se darán instrucciones generales para la construcción de ambos tipos de monturas.

Montura altazimutal.

La siguiente figura (Fig.5.3) muestra una de las monturas más comunes del tipo altazimutal y que se conoce como Dobsoniana. (Introducida por John Lowry Dobson (1915-2014) y reconocida por su diseño sencillo y el empleo de materiales de costo bajo.)*



Fig.5.3 Montura tipo Dobsoniana. Tomada de <https://www.skywatcherusa.com/collections/classic-dobsonians>

La flecha en la parte inferior indica la dirección de rotación en el plano paralelo al piso y que puede ser de 360° , y la otra flecha señala la dirección de rotación perpendicular, que basta sea de 0° a 90° para, con ambas, cubrir toda la esfera celeste.

*En la literatura existen muchos ejemplos que muestran cómo fabricar una montura de este tipo y con materiales diversos. Se hace la invitación a visitar estos sitios en la internet.

El material de la montura puede ser de madera* lo que facilita su construcción pero también aumenta su peso. Esto puede ser benéfico pues da estabilidad, pero causa problemas para su traslado. Aquí se considerará que es de aglomerado, un material resistente, de relativamente poco peso y precio, y sin gran dificultad en su manipulación.

La Fig.5.4 muestra detalles y medidas sugeridas para construir una montura para el telescopio que se construye en este trabajo. Se da la libertad de ajustarlas a las requeridas por cada proyecto particular

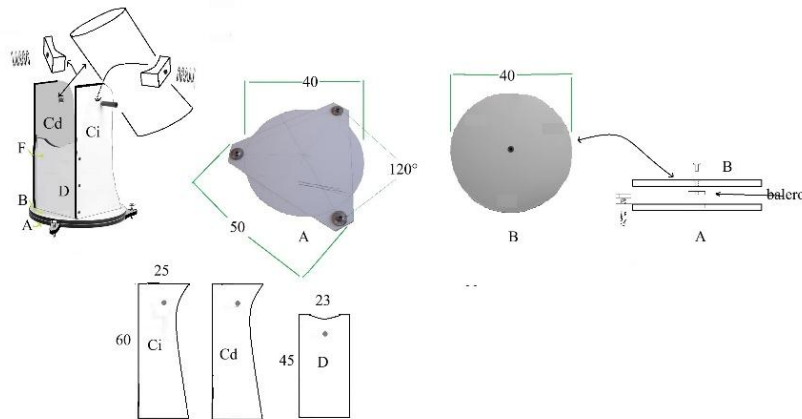


Fig. 5.4 Detalle de la montura Dobsoniana. Ver el texto para información

La imagen superior izquierda muestra el diseño final de la montura. Las bases A y B forman el soporte de toda la unidad. A es fija y tiene tres salientes en las que se colocan otros tantos tornillos que permiten la nivelación respecto al piso. B se coloca sobre A y es móvil permitiendo un giro de 360° . A fin de hacer suave ese giro, se coloca un balero en el centro y entre las bases A y B

El otro plano de giro, perpendicular al de la base, se consigue alrededor del eje que pasa por los orificios indicados en la parte superior media de los soportes Cd y Ci. El otro soporte, D, no solo es útil para darle robustez al sistema, sino que además sirve como tope al movimiento circular del tubo del telescopio.

Las dos partes que se muestran al lado del tubo del telescopio, junto a los resortes, se ajustan al tubo en posiciones diametralmente opuestas y siguiendo al eje dado por los orificios ya mencionados de las bases Cd y Ci. Los resortes

*La madera tiene el inconveniente de absorber mucha agua. Esto trae como consecuencia que se deforme fácilmente. Para disminuir ese efecto se pueden emplear lacas o pinturas que la protejan de la humedad.

hacen presión entre las caras internas de las bases y el tubo del telescopio, para ello es necesario que el resorte tenga la dureza suficiente de modo que mantenga fijo al telescopio.

Montura Ecuatorial

La descripción que se hará en este apartado se refiere a la construcción de una montura del tipo ecuatorial, con materiales que pueden adquirirse fácilmente y de costo bajo. Aunque es rígida y soporta muy bien al telescopio, su utilidad estará en función del esmero y cuidado que se tenga para que no existan juegos entre sus partes rotatorias.

En la figura 5.5 se detallan cada una de las partes que constituyen la montura ecuatorial. Estas partes se han identificado con un número y referidos a ellos se hace la explicación de su función. Por otra parte, todos los tubos de la estructura que aquí se mencionan son de tubo galvanizado de $3/4$ ", pero obviamente puede escogerse otro material y medidas, con la restricción de que finalmente debe ser una estructura rígida.

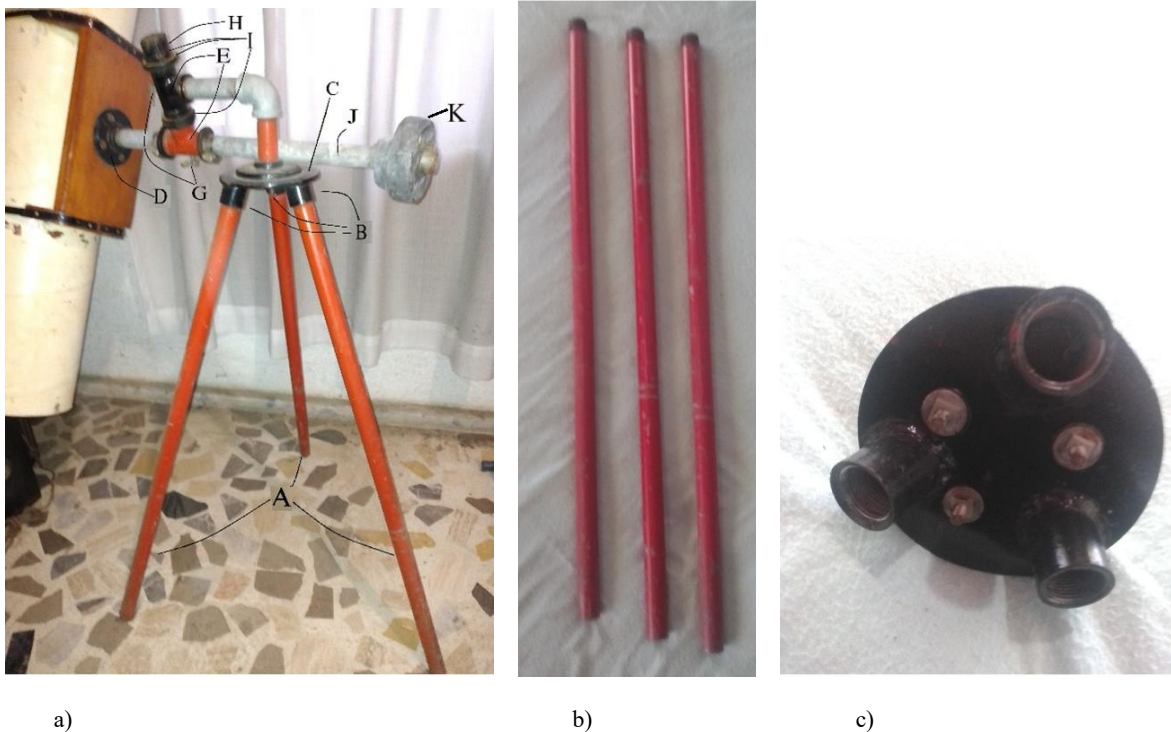


Fig. 5.5 Montura ecuatorial. Ver el texto para la función de las partes señaladas.

Refiérase a la Fig. 5.5 para la siguiente descripción e identificación de las partes de la montura: Y la 5.6 para otras partes descritas en el texto.

- 1) Tres tubos galvanizados de 3/4" y 80 cm de longitud, con cuerda en uno de sus extremos. (A en la Fig.5.5.a. Detalles en la Fig. 5.5.b).
- 2) Coples de 3/4" de 45 grados. Se sueldan en la orilla de la placa metálica marcada con la letra C (ver el siguiente punto 3). La soldadura debe ser tal que la cuerda apunte hacia el exterior. La separación de cada cople es de 120 grados. Fig. 5.5.c
- 3) Placa metálica (hierro) circular de 15 cm de diámetro y 6 mm (1/4 ") de espesor (C en la Fig.5.5.a; detalle en la Fig.5.5.c). Esta puede conseguirse en ferreterías grandes que vendan material para herrería. Pueden ahí mismo hacer con un soplete el corte circular que se desea, aunque seguramente será muy irregular. Limándola se podrá aproximarla al círculo o bien llevarla a un torno para que lo hagan, aunque esto último suele ser costoso.



Fig. 5.6 a) Bridas, b) placa circular con brida atornillada y coples soldados

- 4) Brida de piso de 3/4" galvanizada. Se requieren dos de ellas. Dado que no es posible (o es muy complicado) soldarlas eléctricamente debido al material del que están hechas, y una de ellas se requiere unirla a la placa metálica, se aprovecharán los orificios con los que cuenta (ver Fig. 5.6.a) para que a su través pasen cuatro tornillos que permitan fijarla al centro de la placa metálica. Puede fijarse con cuatro barrenos (orificios) roscados en la placa, o más sencillo, hacer solo los barrenos y atravesarlos con los tornillos y tuercas al otro lado. (Fig.5.6.b)
- 5) Idealmente debe construirse un soporte, como el que aparece en la siguiente figura 5.7, que permita tener al eje del telescopio paralelo al eje terrestre y apuntar hacia la estrella Polar. El ángulo respecto al suelo que debe tener ese soporte es el correspondiente a la latitud del punto de observación. Para la República Mexicana esto corresponde aproximadamente entre 14 y 32 grados norte (Anexo A).

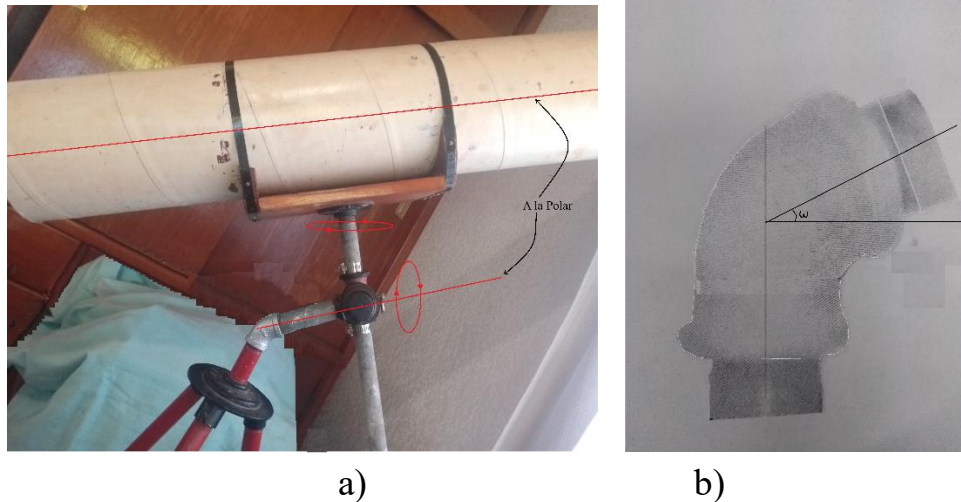


Fig. 5.7 a) Las líneas rojas son los ejes de la montura y tubo que apuntan hacia la polar, Los círculos rojos muestran las rotaciones sobre esos ejes. En b) se muestra el cople adaptado a $\omega=19$ grados respecto al suelo

- 6) Dos “Tes” de 3/4 (E). Será necesario lijar las cuerdas internas de ambas tes, las que se encuentran a lo largo de un mismo eje, de suerte que pueda pasar y girar a través de ellas un tubo de 3/4". En la parte superior de ambas tes debe adaptarse un tornillo que permita presionar al tubo que atraviesa el interior, inmovilizándolo (G).

- 7) Un tubo de 10 cm (H) de largo con cuerda en ambos extremos. Este tubo atraviesa una de las tes y en uno de sus extremos se coloca una tapa o terminal de $\frac{3}{4}$ " . El otro extremo se acopla a la segunda T.
- 8) Una terminal de $\frac{3}{4}$ " . Entre esta terminal y la T, así como en el espacio entre ambas tes, pueden colocarse roldanas de hule a fin de evitar movimientos lineales a lo largo de su eje. (I)
- 9) Tubo de 50 cm de largo y cuerda en uno de sus extremos. (J) Este tubo atraviesa la segunda T girando libremente en su interior. En su extremo más largo (el que no tiene rosca) se adaptará un contrapeso (K).

Opcionalmente a este tubo puede usarse uno de mayor rigidez y que por construcción está muy bien alineado, se refiere a uno de deshecho de la dirección de un automóvil. Pero en este caso se requerirá hacerle la cuerda adecuada en uno de sus extremos lo cual, por su dureza, necesariamente se tendrá que hacer en el torno de un taller mecánico. El tubo debe girar libremente a través de la T, pero, ¡ sin tener ningún juego lateral !. En este caso, también es ideal que el trabajo se pueda hacer en un torno, pero se está consciente del costo elevado que conlleva ese requerimiento.

El contrapeso puede hacerse de un cilindro de hierro de 12 ó 13 cm de diámetro y con un peso que se determine en la práctica. El objetivo de este contrapeso es el de contrarrestar al peso del tubo del telescopio con sus soportes de madera de modo que alcance el equilibrio. Una manera práctica es cortar el cilindro de unos 8 cm, y otros de 2 cm de ancho. De esta manera se podrán agregar uno a uno conforme se requiera para alcanzar el equilibrio. Hay sugerencias de que se funda plomo en un recipiente y se introduzca perpendicularmente el tubo antes de que el plomo se solidifique. Aquí no se recomienda de ninguna manera este método ya que los vapores de plomo son sumamente peligrosos para la salud.

Las partes del contrapeso pueden fijarse al tubo mediante abrazaderas en ambos extremos.

Las distancias de la segunda T al tubo del telescopio y al contrapeso dependen del peso de cada uno de ellos. Se encuentran en la práctica

deslizando el tubo dentro de la T hacia un extremo u otro. Finalmente, como ya se ha mencionado, el tubo se fija en la posición adecuada con roldanas de hule y abrazaderas en los extremos de la T.



Fig. 5.13 contrapeso

Estas abrazaderas tienen la finalidad de fijar y mantener en la posición deseada tanto al contrapeso como al tubo que atraviesa la segunda T.

- 10) Para acoplar el tubo del telescopio con la montura, primero, se fabrica una base de madera que soporte al tubo como se explica a continuación: A una madera rectangular de 30 cm de longitud, 14 cm de ancho y 2 cm de grosor se le une en cada uno de sus extremos un fragmento, también de madera, que tenga la forma circular del tubo. Sobre esos pedazos de madera se atornillarán unos tirantes metálicos (los flejes que se usan para transportar cajas son ideales para este propósito) de modo que abracen al tubo del telescopio y éste quede firmemente sujeto a la base. (Ver Fig. 5.14). Al igual que con el contrapeso, la posición de la base y los tirantes debe ser tal que se alcance el equilibrio. La segunda brida va atornillada en la parte central de la base de madera y sirve de unión entre el tubo del telescopio y el correspondiente a la montura.



Fig. 5.14 BaseTeles

- 11) Los movimientos giratorios de los tubos que atraviesan a las Tes deben permitir fijarlos en cualquier posición a voluntad. Esos movimientos permiten localizar la declinación y la ascensión recta de un astro, y una vez hecho eso, entonces el telescopio debe permanecer fijo en esa posición. Aun cuando se haya obtenido un buen equilibrio en la posición del tubo y del contrapeso, las pequeñas diferencias generan torques que hacen que los tubos internos giren por sí mismos. Por ello se hace necesario introducir un mecanismo con el que se logre mantener fijos a los tubos.

Una forma sencilla de lograr eso, es hacer barrenos roscados en la parte central superior de las Tes y colocar un tornillo. Al apretar el tornillo éste hará presión sobre el tubo interno fijándolo; y al aflojarlo dejará libre al tubo para girar. Aunque funciona adecuada pero muy rudimentariamente, con el tiempo, el área pequeña de contacto y las muchas veces en que se aprieta el tornillo, comienza a formarse un desgaste en la parte del tubo que hace contacto con el tornillo disminuyendo su efectividad. Ver Fig. 5.15

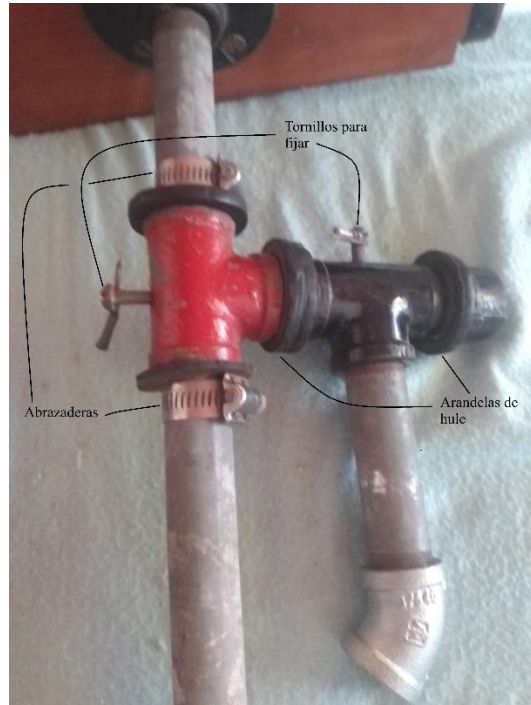


Fig. 5.15 Tes perpendiculares. Se muestran las conexiones a ellas.

Otro método más eficiente es adaptar una abrazadera (como las usadas para mangueras de agua. Fig.5.16) a la T y que rodee al tubo. Esto tiene la ventaja de que el área de opresión es más grande lo que mejora el mantener fijo al tubo.



Fig. 5.16 Abrazadera para los tubos.

Muchas monturas utilizan engranes para tener el movimiento giratorio a lo largo de sus ejes. Aunque esto permite tener un gran control y obtener movimientos muy finos, además de hacer más fácil el frenado del giro, su implementación es más laboriosa. No se tocarán en este trabajo.

CAPITULO VI

BUSCADOR

Salvo la Luna, apuntar con el ocular del telescopio a un objeto en el cielo no es un acto sencillo como pudiera parecer. La amplificación que se tiene con los oculares disminuye el campo visual perdiéndose las referencias que ayudan a la ubicación de los astros. Para esto, el empleo de un buscador es de gran ayuda.

Aunque el buscador es un elemento adicional y opcional al telescopio, no deja de ser de mucha utilidad. Su finalidad es apuntar hacia el objeto de interés y así localizarlo rápida y fácilmente para su posterior ubicación con el telescopio.

En esencia es un segundo telescopio* de gran campo visual lo que permite observar al objeto de interés y a su entorno.

Algunos buscadores sofisticados se muestran en las siguientes figuras. (Fig. 6.1a y 6.1b). En ellas se observa que prácticamente son telescopios, aunque de poco aumento, los más comunes de 2x a 6x y con diámetros de las lentes objetivo de 25 a 50 mm (la nomenclatura en estos casos es, por ejemplo, 2x50 siendo 2x el aumento y 50 mm el diámetro del objetivo). También se encuentran con espejos o prismas para observar más cómodamente. (Fig. 6.1b)



Fig. 6.1 Dos buscadores típicos. En a) la visión del ocular es paralela al eje del telescopio. En b) un prisma permite la búsqueda perpendicular al eje del telescopio

Existen otro tipo de buscadores conocidos como de "punto rojo". Estos son distintos en su concepción y construcción ya que constan únicamente de un vidrio transparente de aproximadamente 5x5 cm colocado a 45°. Este vidrio refleja la luz roja proveniente de un led ubicado en la parte inferior. Generalmente la luz led ilumina tres círculos concéntricos marcados en el vidrio. El observador mira al cielo a través del vidrio localizando al objeto de interés, los círculos rojos aparecerán, aparentemente, flotando y enmarcando la región del cielo bajo escrutinio. No tiene amplificación por lo que el campo de visión es el mismo que se tiene a simple vista. Tiene dos tornillos que permiten el ajuste fino en los planos horizontal y vertical. La alineación del buscador con el telescopio hará que cuando el astro aparezca dentro del círculo más pequeño automáticamente se podrá observar en el centro del ocular. (Ver figura 6.2).



Fig. 6.2. Buscador de punto rojo.

Aunque el precio de los buscadores no es muy alto, puede construirse uno prácticamente sin costo, que si bien es muy rudimentario resulta efectivo en cuanto a su función. Enseguida se describe su construcción:

Este consta de una tira de madera de 20 cm de longitud, 2 cm de ancho y 1 cm de grosor. Alineados a lo largo de la tira y perpendiculares a ella, se colocan dos laminillas, una con un orificio de 2 mm de diámetro y la otra de 6 mm en la que se le adaptan dos hilos de alambre delgado en forma de cruz. La altura de las laminillas respecto a la tira de madera puede oscilar entre 4 a 5 cm, o bien otro valor de acuerdo a los requerimientos del observador. La Fig. 6.3 muestra los detalles de este buscador.

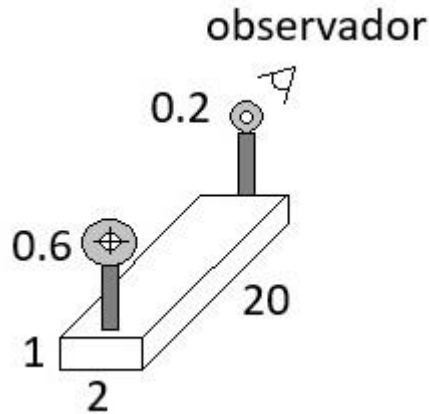


Fig. 6.3 Buscador básico

Si la elección es adquirir un buscador en el mercado, existe una variedad de ellos, con soportes para adaptarse al tubo del telescopio. Se recomienda en este caso informarse de las características de cada buscador a fin de elegir al más adecuado.

El buscador se coloca en la parte superior del tubo del telescopio en posición opuesta a la del ocular. Puede perforarse el tubo y colocarlo con tornillos, pero si no se desea trabajar en el tubo, basta un poco de pegamento para mantenerlo en su lugar. En cualquier caso, debe permitírsele un ajuste en un plano perpendicular al eje del telescopio para poder alinearlos, como se verá más adelante.

Con cualquiera de los buscadores será necesario alinearlos junto con el telescopio. Suponiendo que el telescopio ya se encuentra alineado (ver siguiente capítulo), la manera de hacer el alineamiento del buscador es enfocar con el telescopio un punto terrestre lo suficientemente lejano e inmóvil. Puede ser la parte superior de un poste de luz, una antena en la azotea de un edificio, la letra o imagen de un cartel de propaganda, etc. No será buena idea intentar hacerlo con un árbol ya que el viento mueve continuamente sus hojas, ni tampoco en la noche con algún astro ya que será difícil enfocarlos.

Una vez localizado con el telescopio entonces se ajusta la posición del buscador a fin de tener la imagen dentro de su marca central. Hecho eso es recomendable verificar el alineamiento localizando con el buscador otros puntos prueba y cerciorarse de que aparecen justo en el ocular del telescopio.

CAPITULO VII

ALINEAMIENTO

El último paso para terminar el telescopio es alinearlo. Este paso consiste en alinear el sistema óptico, es decir, hacer los ajustes necesarios en los espejos primario y secundario para que la imagen de un objeto cuya luz incide sobre el espejo primario, se forme justamente en el punto donde se colocará el ocular.

La figura 7.1 muestra el caso ideal en el que la luz reflejada por el espejo primario se desvía por intervención del secundario y cae exactamente sobre el ocular. Basta que alguno de los espejos se encuentre ligeramente desalineado para que la luz converja en cualquier otro punto no deseado. El alineamiento se realizará en dos pasos; uno, alineando el secundario y, dos, alineando el espejo primario.

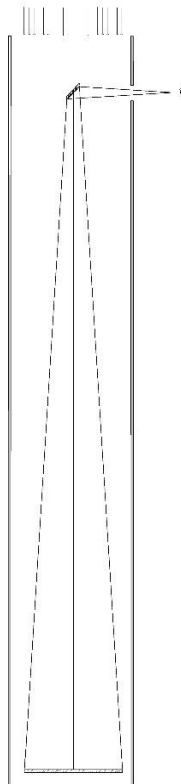


Fig. 7.1 Trayectoria ideal de la luz en un telescopio newtoniano

El alineamiento del espejo secundario se realiza de la siguiente manera:

- 1) Apuntar el telescopio hacia un objeto lejano, por ejemplo, la antena en la parte alta de un edificio, el campanario de una iglesia, o una roca en la cima de un cerro. Lo importante es que sea un punto fijo.

Se recuerda, ¡ NO HACIA EL SOL !.

El objetivo no es tener una imagen sino tener un contraste en el campo de visión. Sin el ocular, observar directamente a través del orificio donde aquél se encontraba. Se intenta mirar al espejo primario reflejado por el secundario, pero lo más probable es que sólo se vea parte del primario lo que indica que la diagonal o secundario se encuentra desalineado. Para ver todo el primario será necesario mover los tornillos en la parte superior del secundario, o en un caso extremo ajustar la varilla que lo sostiene (incluso si es necesario doblarla ligeramente) hasta que se pueda observar completamente al primario. Una vez logrado esto se realiza el siguiente paso.

- 2) Nuevamente, sin el ocular, observar directamente la sombra del secundario que se proyecta sobre el espejo primario. Esta sombra debe encontrarse justo en el centro del espejo, pero si no lo está, entonces acceder a las mariposas que se encuentran en la parte inferior del telescopio. Su ajuste permite mover la imagen del secundario, por lo que se debe apretarlas o aflojarlas hasta que se logre ubicarla en el centro del primario.

Este proceso es tardado y se facilita con la ayuda de otra persona, pero se requiere paciencia para finalizar exitosamente el ajuste. Ver Fig. 7.2

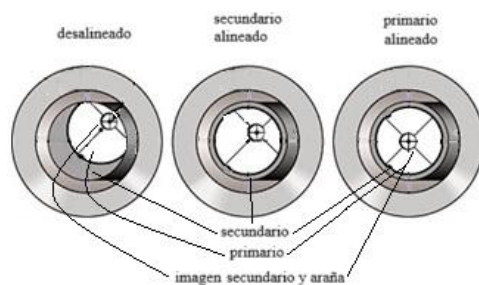


Fig. 7.2 De izquierda a derecha: secundario y primario desalineados; secundario alineado y primario desalineado; secundario y primario alineados

USO DEL TELESCOPIO

Llegado a este punto, en el que se ha finalizado la construcción del telescopio, con toda seguridad se estará ansioso por iniciar las observaciones. Sin embargo, es necesario dedicar algunas líneas para conocerlo más ampliamente; su manejo, lo que se puede observar con él y los cuidados mínimos que se le deben dedicar.

Pero antes una reiteración de advertencia, sumamente importante:

¡ JAMÁS SE INTENTE OBSERVAR AL SOL DIRECTAMENTE !

El hacerlo puede producir ceguera irreversible. Esto es claro si se toma en cuenta que sobre el ojo incide luz concentrada por un espejo cuya área es casi 900 veces mayor que la del ojo (suponiendo en éste un diámetro de 0.5 cm) y en consecuencia una cantidad de energía igualmente mayor.

No se recomienda tampoco utilizar filtros en el ocular para ver al Sol. La energía que recoge el espejo primario es muy grande y aumenta mucho la temperatura por lo que se puede destruir el filtro en el momento de la observación y dañar inmediata y seriamente a los ojos.

¿ Cómo se puede entonces observar al Sol ? Se hace de manera indirecta, proyectando la imagen sobre un cartoncillo blanco o a través de un vidrio esmerilado (con esmeril del 160 u 180). Se debe buscar la posición más satisfactoria ya que mientras la pantalla se encuentre más alejada del ocular la imagen será mayor, pero también más difusa. Una buena posición, en la que se observan las manchas solares, es alrededor de 25 cm.

La imagen puede mejorarse colocando una protección oscura alrededor de la pantalla a fin de tener un contraste más marcado.

Procediendo de la manera descrita se podrá observar al Sol con seguridad, el tiempo que se desee. Ver Fig. 7.3.



Fig. 7.3 Observación del Sol de forma segura

Salvo el cuidado que debe tenerse para las observaciones solares, casi cualquier otro objeto puede verse sin mayor problema. Para el caso de la Luna se presenta un pequeño inconveniente cuando se tiene Luna Llena. Cuando sucede esto, nuestro satélite refleja bastante luz, por lo que después de observarla por un tiempo considerable se tiene ceguera parcial y visión borrosa. Bastarán algunos minutos para recuperar nuevamente la capacidad visual normal, pero de igual manera no se recomienda prolongar demasiado las observaciones en Luna Llena. Aun cuando, como ya se mencionó, esta condición de ceguera es temporal y poco después se recuperará la visión normal, se recomienda, aquí sí, utilizar un filtro que disminuya la intensidad del brillo.

Con los planetas y otros objetos celestes no existirá problema alguno.

Por supuesto un deseo normal es utilizar el telescopio para hacer observaciones terrestres. En este caso hay que considerar que la imagen que se forma en el ocular es invertida lo que puede causar algún inconveniente. También está invertida al observar objetos celestes, pero generalmente en ese caso es irrelevante.

La inserción de un elemento adicional para invertir la imagen o con algún otro propósito, deberá considerarse y tomarse en cuenta al momento de hacer los cálculos para las dimensiones del espejo secundario y del orificio de salida.

Con mucha frecuencia sucede que, una vez que se ha finalizado de construir el primer telescopio, se intente dar inicio a la fabricación de un segundo y con un espejo de mayor diámetro. La sugerencia es que antes de hacer eso se practique bastante tiempo con el que ya se tiene, para conocer sus detalles, virtudes, defectos y se pueda tener así una idea más clara de cómo se fabricará el segundo. Además, es importante recordar que con un vidrio de 19 mm de grosor, el diámetro máximo del espejo primario que se puede tener sin que se produzcan

deformaciones importantes en la imagen, es de 17 cm. De hecho, la recomendación para las razones de grosor-diámetro para un vidrio es de 1-6 y máximo de 1-9. Es decir, por cada centímetro de grosor del vidrio se tendrán 6 cm o máximo 9 cm de diámetro, para no tener deformaciones en la imagen. No existe un acuerdo general sobre estas dimensiones, pero se acercan mucho en la práctica. Las deformaciones de la imagen tienen que ver más bien por efectos de la gravedad sobre los vidrios, y es posible que surjan comentarios en los que se mencione que actualmente se construyen espejos de gran dimensión y poco grosor, que no siguen la regla mencionada. Sin embargo, para esos casos, se utilizan materiales, vidrios y técnicas especiales que no se consideran en este trabajo.

Adicionalmente, no debe olvidarse que conforme se hace más grande el telescopio, su peso se incrementa significativamente, por ejemplo, manteniendo la misma relación de grosor/diámetro, para un telescopio de 30 cm de diámetro en su espejo primario, el peso sería alrededor de 8 veces mayor al descrito en este trabajo. Eso requiere de una montura mayor, más pesada y seguramente no transportable.

CUIDADOS

Enseguida algunas recomendaciones generales para el cuidado del telescopio.

Como con todo equipo, el cuidado y su mantenimiento determinan el tiempo en que se mantendrá en buen funcionamiento.

La parte óptica es el corazón del aparato y como tal debe mantenerse libre de polvo, que es el principal agente dañino. Para ello, siempre que no esté en uso debe protegerse con una tapa en su parte superior e invertir su posición de modo que la cara aluminizada apunte hacia el suelo o al menos que permanezca en posición horizontal. Si se adquiere el hábito de quitar el ocular cuando no se use el telescopio, debe cubrirse el orificio en el que se encontraba con alguna tapa que impida la entrada de polvo. Si, al contrario, se decide dejar puesto el ocular, entonces habrá que protegerlo con una bolsa de plástico u otra tapa para evitar rayones sobre la lente.

Con respecto a los espejos lo mejor que les puede pasar es no tener que tocarlos, sin embargo, es inevitable que el polvo vaya acumulándose sobre sus superficies. Por ello, en algún momento, será necesario limpiar sus superficies. No se recomienda usar paños pues seguramente quedaran rayados; incluso ni

quiera se intente limpiar el polvo de sus superficies con una brocha muy fina. Mucho menos intentar lavarlos así sea con el jabón o detergente que se afirme sea especial para ello. Todo eso, en este trabajo, se desestima. Lo que probablemente funcione mejor es aplicar un chorro de aire seco paralelo a la superficie, muy fino y con poca presión.

Se hace énfasis en no tocar las superficies aluminizadas con los dedos descubiertos (o incluso cubiertos) o se intente limpiarlas con algún paño. En el primer caso quedarán impresas las huellas de los dedos con la grasa propia del cuerpo, lo cual es muy difícil de eliminar, además de que se verán amplificadas por el espejo. Y en el segundo caso, el resultado seguro es que el espejo quede rayado.

Con esos cuidados mínimos la vida promedio de los espejos será de algunos años, periodo después del cual será necesario volver a aluminizarlos.

CAPITULO VIII

En este último capítulo se hará mención de algunas de las características técnicas del telescopio que es fundamental conocer.

Todo telescopio del tipo Newtoniano, como el que se ha construido, se identifica mediante un número que resulta de dividir la distancia focal entre la apertura, que es el área efectiva que capta la luz y que aquí se considera igual al diámetro del espejo primario. En el caso presente ese número resulta ser $120/15 = 8$. Entonces, el telescopio se identifica como un f/8 (se lee efe-ocho). Como se podrá deducir, existen muchas combinaciones de apertura A y distancia focal DF que den el mismo valor efe. Por ejemplo, un telescopio con un espejo primario de 1 m de diámetro y 8 m de distancia focal también será f/8. La diferencia entre ambos telescopios es la cantidad de luz que recogen sus espejos. El segundo recoge aproximadamente 50 veces más que el primero y por lo tanto la imagen que forma es más brillante.

Dado el diámetro para un espejo primario, si aumenta la distancia focal, el valor de (distancia focal)/diámetro también aumentará, obteniéndose valores tales como f/10, f/11 o mayores. De manera inversa, si la distancia focal es corta entonces la razón disminuye y se tienen valores f/7, f/6, etc. Con valores grandes de efe se tienen imágenes con mayor amplificación que con valores bajos de ella, sin embargo la brillantez de esas imágenes se comporta de manera inversa siendo menor para valores grandes de f y mayor para los de f pequeñas.

Una interrogante que se hace comúnmente cuando se muestra el telescopio a otras personas es: "¿ Cuántos aumentos tiene ?", o bien "¿ Qué se puede ver?", o la más frecuente "¿ Qué tan lejos se puede ver ?". Expresadas de esa forma las preguntas son inexactas, sin embargo, el espíritu de ellas tiene que ver, por un lado con el poder de amplificación del instrumento, y por otro, con el tipo de objetos celestes luminosamente más débiles que se pueden observar.

El primer punto, el de la amplificación, se resuelve conociendo las distancias focales tanto del espejo primario como del ocular. Entonces, la imagen que se forma a la salida del ocular será tantas veces mayor como resulte de dividir la distancia focal del espejo primario entre la correspondiente distancia focal del ocular. Por ejemplo, si el espejo primario tiene una distancia focal de 120 cm y se usa en combinación con un ocular de 2 cm de distancia focal, la imagen

formada será $120/2 = 60$ veces más grande que la observada a simple vista*. Es claro que usando diferentes oculares con distintas distancias focales la amplificación será distinta.

Amplificación = (distancia focal primario)/(distancia focal ocular)

El otro punto, el de la clase de objetos celestes que se pueden observar, merece un comentario aparte. No existe una relación directa entre la luminosidad aparente de un objeto y la distancia a la que se encuentre del observador. Así por ejemplo, se puede observar una estrella situada a varios cientos de años luz de distancia y no observar una situada a solo a algunas decenas de años luz.

Desde hace muchos años los astrónomos clasificaron a los objetos visibles a simple vista de acuerdo a la magnitud aparente de su brillantez. De esta manera han determinado seis magnitudes, asociando a las estrellas más brillantes la primera magnitud, las que le siguen en brillantez la segunda magnitud, y así sucesivamente hasta la sexta magnitud, que corresponde a las más débiles. Para el Sol, que es con mucho la estrella más brillante del cielo, se le asoció la magnitud -26.72 . Con el uso del telescopio y tomando como base esta clasificación, fue necesario introducir nuevas magnitudes, ya que entonces se pueden observar objetos que a simple vista es imposible. Así, dependiendo del telescopio en uso, se pueden observar cuerpos hasta de novena, décima, vigésima, etc. magnitud. En el caso actual, con el telescopio que se ha fabricado, es posible observar estrellas hasta de onceava magnitud, es decir, estrellas que son casi cien veces más débiles que la más débil que puede detectarse a simple vista**.

Otro de los problemas a enfrentar es el de poder identificar y localizar los distintos objetos celestes en el cielo, para ello es necesaria la ayuda de un mapa del mismo. Existen programas computacionales que permiten localizar a los objetos celestes de manera sencilla, pero también hay publicaciones o cartas impresas que son de gran utilidad. Una de esas publicaciones es el Atlas

*Más exactamente, como si se estuviera 60 veces más cerca del objeto bajo observación.

** Para determinar esto se utiliza una escala logarítmica ya que la sensibilidad del ojo humano responde de esta manera. Así entre una magnitud y otra hay un factor de 2.512 que es aproximadamente la raíz quinta de 100. Luego, entre la magnitud 6 y la 11 hay 5 de diferencia por lo que 2.512 al exponente 5 da precisamente 100.

Cósmico, editado originalmente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y actualmente reeditado por la DG-UNAM (1). En este ejemplar aparecen las principales estrellas, hasta la sexta magnitud, tanto de los cielos del Hemisferio Norte como los del Sur y en distintas épocas del año. Además, aparece la posición de algunas nebulosas, galaxias y cúmulos, todos ellos identificadas con un número, que es el asociado al objeto celeste dentro del catálogo conocido como Catálogo Messier. Este catálogo fue generado originalmente por Charles Messier (1730-1817) con el propósito de no confundir a dichos objetos con cometas. Él identificó y clasificó cerca de 100 objetos (cúmulos, nebulosas y galaxias) pero posteriormente, con la participación de otros astrónomos, se amplió hasta la cantidad de 110. (Ver Anexo B).

Los objetos observados dentro del catálogo se identifican con la letra M precediendo al número asociado en el catálogo. Actualmente, y como resultado del avance tecnológico que permite la observación de muchos más objetos, se ha generado un catálogo mucho más amplio que se conoce como NGC, que son las siglas en inglés de New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars, o Nuevo Catálogo General de Nebulosas y Cúmulos de Estrellas, en español. En la identificación de un objeto celeste se utiliza tanto la notación de Messier como la NGC.

Algunos de los objetos Messier que se pueden observar con el telescopio construido son:

M1 nebulosa del Cangrejo. Restos de una supernova observada y registrada por los chinos en el año 1054.

M31 la galaxia de Andrómeda Sin duda uno de los objetos más conocidos y apreciados del cielo nocturno.

M42, M43 la Nebulosa de Orión Dos nebulosas dentro de la Constelación de Orión. Ahí se encuentra también la más espectacular que es la nebulosa Cabeza de Caballo.

M45 las Pléyades Uno de los objetos más brillantes en el cielo nocturno. En él resaltan siete de las estrellas más brillantes.

Una nota importante es la siguiente: No se debe esperar observar a todos los objetos tal y como aparecen en las fotografías, las imágenes formadas en ellas provienen de exponer por varios minutos una placa fotosensible, o actualmente,

la apertura de una cámara digital. Eso sin embargo no resta lo espectacular de su observación.

En el Anexo B se presentan algunos de los objetos Messier más conocidos.

Se espera que el llegar a este punto signifique que se ha terminado exitosamente la construcción del telescopio. De ser así, resta sólo una felicitación por la labor realizada. Es importante no olvidar que se cuenta con un instrumento de buena calidad que puede mantenerse por muchos años si se le otorgan los cuidados mínimos, y que con él no sólo se podrá maravillarse redescubriendo (y por qué no, tal vez descubriendo) objetos celestes, sino que se podrá apuntarlo hacia cualquier otro punto del entorno terrestre observando detalles que ni los mejores binoculares podrían mostrar. Se espera también, que la inquietud e interés que se tenía al inicio del proyecto se haya multiplicado conforme se avanzaba en el mismo, y que éste sea sólo un punto de partida que permita una mayor introducción al enorme y fascinante mundo de la Astronomía.

Invierno del 2025

- 1) José de la Herrán. Atlas Cósmico. Colección: Divulgación para Profesores. DGDC, UNAM. 2.^a Ed., 2005

ANEXO A

COORDENADAS ASTRONÓMICAS

Naturalmente, el primer obstáculo al que se enfrenta cuando se desea apuntar el telescopio hacia algún objeto celeste apoyándose en una consulta en tablas o atlas, es localizarlo en el cielo. En esos medios de consulta los objetos se ubican mediante un conjunto de números que son las coordenadas que se les asocian.

Al igual que para localizar un punto sobre la superficie terrestre, en el que se hace uso de un sistema de coordenadas geográficas, para el caso celeste también se hace lo mismo con un sistema de coordenadas propio.

Para una mejor comprensión del tema de interés, se presenta el caso terrestre.

Coordenadas Terrestres

Para definir un sistema de coordenadas terrestre* se considera a la Tierra como una esfera, se toman dos de sus radios paralelos y coincidentes, luego, mientras uno se mantiene fijo, el segundo hace una apertura sobre la esfera teniendo al centro de la Tierra como eje (Fig.A.1). La simetría esférica permite formar círculos para cada valor del ángulo al que se tomen los radios, a esos círculos se les conocen como paralelos. Eligiendo uno de ellos como el paralelo cero el resto de ellos se mide en grados, hasta 90 grados, y tienen valores positivos en una dirección y negativos en la dirección contraria a dicho paralelo. En el caso de la Tierra el paralelo cero se conoce como el Ecuador Terrestre y las líneas paralelas a él en las direcciones norte o sur definen la latitud norte y latitud sur respectivamente.

De igual manera se forman semicírculos imaginarios que pasan por los polos norte y sur geográficos de la Tierra. A estos semicírculos se les conoce como meridianos y 24 de ellos cubren la circunferencia terrestre, por lo tanto, hay una separación de 15 grados entre cada uno de ellos. Esto define la longitud.

*Aunque pueden existir varios sistemas coordinados, aquí se presenta el más usual

Se define al meridiano cero como aquél que pasa por la ciudad inglesa de Greenwich, y con esa referencia, la posición de un punto se dice que está al este u oeste de ese meridiano.

Como resultado de lo anterior bastan dos valores, la latitud y la longitud, para identificar la posición de un punto sobre la superficie terrestre.

La figura A.1 muestra gráficamente lo recién descrito.

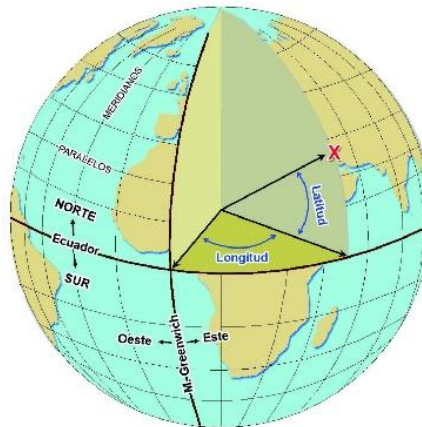


Fig. A.1 . Tomada de: <https://detopografia.blogspot.com/2012/12/conceptos-fundamentales-topografia.html>

Como se ha mencionado, este sistema de coordenadas, conocidas como Sistema de Coordenadas Geográficas, supone a la Tierra como una esfera y su centro imaginario es el centro de la Tierra. Los puntos sobre la superficie se expresan entre paréntesis con valores en grados, minutos y segundos, primero de la latitud y enseguida de la longitud. También van acompañados de una letra que indica si la latitud es Norte o Sur, y longitud Este u Oeste.

Un ejemplo de lo mencionado es: Coordenadas del punto X: ($66^{\circ} 33' 9''$ N; $11^{\circ} 04' 13''$ E). Esto significa que el punto X está a 66 grados, 33 minutos, 9 segundos al norte del ecuador, y 11 grados, 4 minutos, 13 segundos al este del meridiano de Greenwich.

La República Mexicana se encuentra entre los siguientes valores de latitud y longitud: ($14^{\circ}32'27''$ N, $86^{\circ}42'36''$ O) y ($32^{\circ}43'06''$ N, $118^{\circ}27'24''$ O)

(Consultar <https://paratodomexico.com/geografia-de-mexico/ubicacion-geografica.html> y mapa INEGI (Fig. A.2)

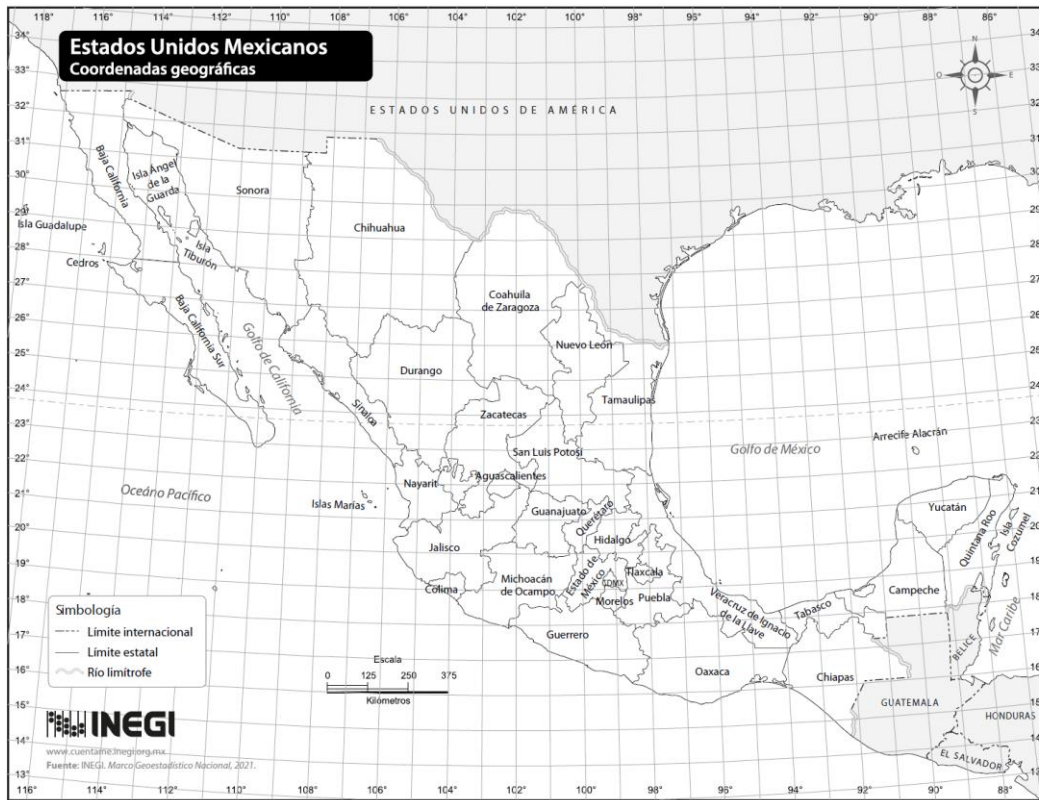


Fig. A.2 Coordenadas geográficas de la República Mexicana. Tomada del sitio del INEGI.

Coordenadas Celestes

La descripción anterior para el sistema de coordenadas terrestres permite enseguida la introducción del sistema de coordenadas celestes o ecuatoriales.

Al igual que en caso de la Tierra, todo objeto en el cielo tiene asociados dos números que fijan su ubicación de acuerdo con un sistema de coordenadas. Estos números se conocen como ascensión recta y declinación, y son la contraparte estelar de la longitud y latitud terrestres respectivamente.

Para visualizarlos debe hacerse una proyección hacia el cielo de las líneas de longitud y latitud. De esta manera, un observador ubicado en el ecuador terrestre verá en el zenit (el punto más alto sobre su cabeza) al ecuador celeste partiendo desde el horizonte este hacia el horizonte oeste. De igual manera, un observador colocado en el polo norte tendrá sobre el zenit la prolongación del eje de rotación de la Tierra y muy cerca de él a la estrella polar o polaris. No se tiene la misma fortuna si el observador se encuentra en el polo sur, ya que no

existe una estrella lo suficientemente brillante para considerarla la contraparte de la estrella polar. En su lugar se toma como referencia un grupo de estrellas conocidas como la Cruz del Sur.

Un elemento adicional surge de la proyección del plano formado por la traslación de la Tierra alrededor del Sol y su intersección con la esfera celeste, lo que da lugar a una línea imaginaria conocida como La Eclíptica. Ésta se encuentra inclinada $23^{\circ}27'$ respecto al ecuador celeste. Vista desde la Tierra, la eclíptica es el camino que recorre el Sol a lo largo de un año con la esfera celeste como fondo. Es importante entre otras cosas porque los planetas se encuentran colocados cerca de esa línea lo que ayuda a su rápida localización así como a las constelaciones que forman al zodiaco (conjunto de constelaciones a través de las cuales se encuentra la trayectoria del Sol a lo largo de un año).

El ángulo de inclinación del eje terrestre respecto a su plano de traslación alrededor del Sol, es el complemento del correspondiente respecto al ecuador celeste (recordar que éste surge de la proyección en la esfera celeste del ecuador terrestre). De esta manera, en su tránsito alrededor del Sol, la trayectoria de traslación de la Tierra cruza a la eclíptica en dos puntos conocidos como equinoccios, que en el caso de las estaciones corresponden a los de primavera (punto Aries) y otoño (punto Libra)* Fig. A.3.

Se tienen ya los elementos para describir la localización de un punto en la esfera celeste. Por convención, aquellos situados por encima del ecuador celeste se les asigna valores de declinación positivos mientras que a los que se encuentran por debajo del mismo se les asignan valores de declinación negativos y sus unidades se dan en el sistema sexagesimal. Con respecto a la ascensión recta, el punto de referencia que se establece es el del equinoccio de marzo y en consecuencia también es el punto de longitud cero. A partir de este punto la medida se hace en la dirección Este hasta completar el recorrido de 360 grados en 24 horas. Sus unidades son entonces horas, minutos y segundos correspondiendo a 15° por cada hora.

La Figura A.4 muestra gráficamente cómo localizar un punto sobre la esfera celeste utilizando las coordenadas estelares de declinación y ascensión recta.

* Aunque actualmente estas constelaciones ya no forman el fondo sobre el que se dan los equinoccios, aun así, se conservan en la literatura.

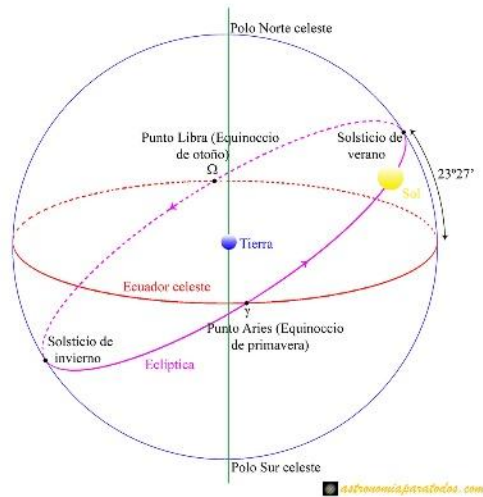


Fig. A.3 . Tomada de: <https://astronomiaparatodos.com/2018/03/08/la-esfera-celeste/>

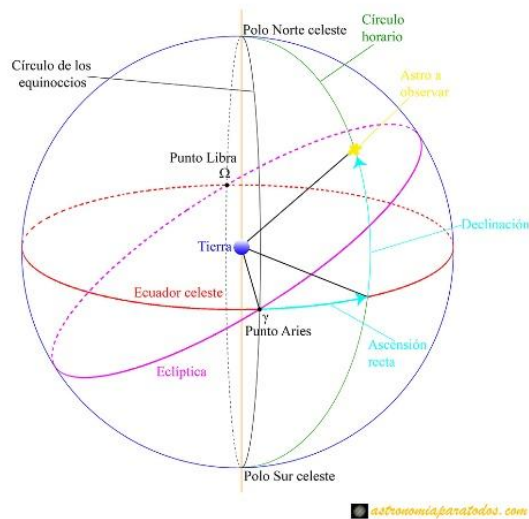


Fig. A.4 . Tomada de: <https://astronomiaparatodos.com/2018/03/08/la-esfera-celeste/>

Finalmente, es necesario mencionar que las coordenadas celestes de un objeto van cambiando al paso de los años. La razón de ello se debe a que la Tierra tiene un movimiento adicional llamado precesión. Este consiste en un “bamboleo” del eje terrestre semejante al que hace un trompo cuando comienza a perder velocidad de giro. Existen programas de software que toman en cuenta este movimiento y hacen la actualización de la posición de los astros de manera automática. Del mismo modo, las monturas, que incluyen dispositivos de localización y seguimiento automático, toman en cuenta ese hecho y facilitan el trabajo al apuntar hacia el astro deseado.

Otro sistema de coordenadas que se emplea frecuentemente por los aficionados a la Astronomía es el Sistema de Coordenadas Horizontales o de Altitud-Azimut. En este sistema, el punto origen es el del observador, por lo que dos de ellos ubicados en puntos distintos asociarán valores diferentes a las posiciones de los astros. En este caso el conjunto de valores que se asocia a un punto en el cielo consiste en su altura, que es la medida angular respecto al horizonte, y el ángulo sobre el horizonte que se toma a partir de los polos Norte o Sur geográficos y en sentido de las manecillas del reloj. Aunque es muy práctico para ubicar a un astro, es muy difícil para hacerle un seguimiento. Ver Fig. A.5

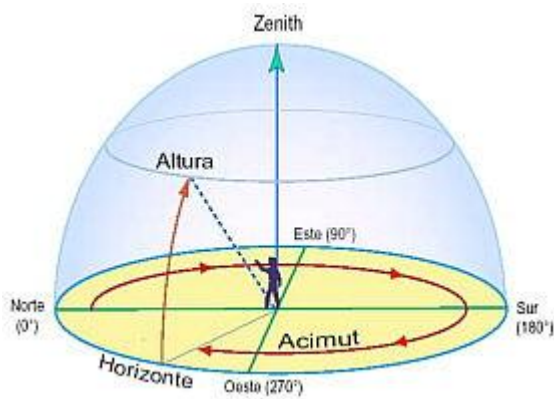


Fig.A.5 Sistema de coordenadas altazimutal. Tomada de: <https://www.astromia.com/glosario/altazimutal.htm>

ANEXO B

OBJETOS MESSIER

El catálogo Messier es un listado realizado por el astrónomo francés Charles Messier (1730-1817) entre 1774 y 1781. Su objetivo era disponer de un catálogo de los objetos celestes más brillantes a simple vista y que ayudaran a no confundirlos con cometas.

Aunque originalmente catalogó a 103 objetos, la contribución de otros observadores permitió que la lista se ampliara a 110.

Este catálogo ha servido como guía durante muchos años e incluso actualmente es todavía una referencia de todo astrónomo aficionado. Por supuesto, la tecnología actual ha permitido tener una lista más grande de objetos celestes, mucho más allá de los incluidos en el catálogo Messier. Estos se agrupan en un enorme catálogo de más de 7000 objetos que se identifica con las siglas NGC, abreviatura de “Nuevo Catálogo General de Nebulosas y Cúmulos de Estrellas”, del inglés “New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars”.

En la literatura es común señalar a un objeto Messier con una M y el número en el catálogo, así como su correspondiente asociado al catálogo NGC.

Originalmente, muchos de los objetos solo se percibían como manchas blanquecinas en el cielo nocturno. De ahí el nombre de nebulosas. Posteriormente, con la ayuda de los telescopios, lograron identificarse muchas de ellas. Por ello, se sabe actualmente que el catálogo Messier consta de 41 galaxias, 29 cúmulos globulares, 28 cúmulos abiertos, 6 nebulosas, 4 nebulosas planetarias, 2 estrellas dobles o múltiples y 1 nebulosa remanente de supernova.

Enseguida se presentan algunos de los objetos del catálogo Messier tomados de internet. Es importante señalar que la mayoría de ellos no se observarán tal como aparecen en las imágenes, ya que estas son el resultado de exposiciones fotográficas de algunos, o incluso varios minutos:

(Una explicación del significado de la Magnitud se da en el capítulo 8 de este trabajo).

1) M1 (NGC 1952) Nebulosa del Cangrejo



Es un remanente de una gran explosión de una supernova. Se afirma que fue observada y documentada en el año 1054 por astrónomos chinos.

Constelación: Taurus

Magnitud: 8.4

2) M13 (NGC 6205) Cúmulo de Hércules



Nebulosa de Hércules .

Constelación: Hércules

Magnitud: 5.8

3) M20 (NGC 6514) Nebulosa trífida



Constelación: Sagitario

Magnitud: 6.3

4) M31 (NGC 224) Galaxia de Andrómeda



Constelación: Andrómeda

Magnitud: 4.36

5) M42 (NGC 1976) Nebulosa de Orión



Constelación: Orión En ella se encuentra la nebulosa Cabeza de Caballo.
Magnitud: 4.0

6) M45 Cúmulo de Las Pléyades



Es un cúmulo abierto observable a simple vista. Lo constituyen alrededor de mil estrellas jóvenes de las cuales resaltan siete de ellas por ser las más brillantes.

Constelación: Taurus
Magnitud: 1.6

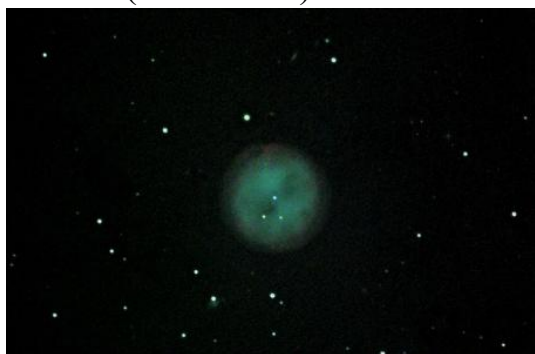
7) M51 (NGC5195) Galaxia El Remolino



Constelación: Perros de caza

Magnitud: 8.4

8) M97 (NGC 3587) Nebulosa de la Lechuza



Constelación: Osa Mayor

Magnitud: 9.9

9) M101 (NGC 5457) Galaxia del Molinete



Constelación: Osa Mayor

Magnitud: 7.5

10) M104 (NGC 4594) galaxia Del Sombrero



Constelación: Virgo

Magnitud: 7.9

ANEXO C

GLOSARIO DE TERMINOS ASTRONÓMICOS

Este apartado contiene algunos de los términos utilizados comúnmente en el ámbito de la astronomía y en el tema de los telescopios.

- 1) **Aberraciones.** Se refieren a las causas que impiden obtener imágenes ideales. Se clasifican comúnmente en aberraciones esféricas y cromáticas. Las aberraciones esféricas resultan del hecho de que los rayos de luz no se concentran en un punto al reflejarse o atravesar una superficie esférica. Las aberraciones cromáticas tienen su origen en la dependencia del índice de refracción con la longitud de onda de la luz.
- 2) **Amplificación o aumento.** Se asocia a la capacidad del telescopio para aumentar aparentemente la imagen de un objeto. La amplificación se da por el cambio en el ángulo de visión lo que hace considerar a los objetos como si estuvieran más cerca. Se representa con un número seguido de una X, indicando el valor de la amplificación.
- 3) **Año luz.** Es una medida de distancias en el ámbito astronómico. Se define como la distancia que recorre la luz durante un año, en el vacío y lejos de cualquier influencia eléctrica, magnética o gravitacional. Aproximadamente equivale a 9.5×10^{12} km.
- 4) **Apertura.** En un espejo, es el área efectiva de captura de la luz. En una lente es el área efectiva por la que atraviesa la luz. Nótese que, en un espejo o lente de diámetro dado, su área expuesta a la luz puede verse reducida si el soporte o algún otro elemento obstruye parte de la luz que llega en los extremos.
- 5) **Ascensión Recta.** Coordenada astronómica para ubicar un astro sobre la esfera celeste. Se expresa en términos de horas, minutos y segundos, a la izquierda o derecha del punto sobre el ecuador celeste que interseca a la eclíptica (punto Aries).
- 6) **Brillo Aparente y Brillo Absoluto:** El brillo aparente es la intensidad luminosa percibida por un observador en la Tierra. Su cuantificación se conoce como la Magnitud.

El brillo absoluto es el brillo aparente que tendría una estrella si se colocara a una distancia estándar de 32.6 años luz.

7) Constelación. Agrupación de estrellas que vistas por un observador en una localidad específica de la Tierra, tienen la apariencia o evocan una figura determinada. Dependiendo de la cultura que la observe se le asocia una figura y un nombre. Usualmente el nombre se da en latín.

8) Coordenadas celestes: Pares de valores numéricos que ubican a un objeto sobre la esfera celeste.

9) Cúmulos (de estrellas o de galaxias) Agrupación de estrellas o galaxias atraídas gravitacionalmente entre sí.

10) Declinación. En un sistema de coordenadas celeste proporciona la latitud, es decir, la posición angular por encima o por debajo del ecuador celeste.

11) Distancia focal. Es la distancia desde el centro de una lente o la superficie reflectora de un espejo, hasta el punto en que idealmente todos los rayos se concentran. En este punto se tiene la mejor imagen. Si la distancia focal es grande se obtiene mayor amplificación de la imagen, aunque con un campo de visión más estrecho. Inversamente, si la distancia focal es corta el campo de visión es amplio aunque con menor amplificación de la imagen.

12) Eclíptica. Es la trayectoria que sigue la Tierra alrededor del Sol durante un año. Vista desde la Tierra, es el camino recorrido por el Sol sobre la esfera celeste durante un año.

13) Eje óptico. Es la línea imaginaria que pasa por el centro de curvatura de las superficies de lentes o espejos o un sistema de ellos.

14) Ecuador celeste: Línea imaginaria que resulta de la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste.

15) Esfera celeste: Esfera imaginaria de radio infinito en la que se considera a la Tierra como su centro. Sobre esta esfera se encuentran y mueven todos los astros.

16) Galaxia. Conjunto de estrellas, gas y polvo que se mantiene unido gravitacionalmente.

17) Gravedad o Fuerza gravitacional. Es la fuerza que todos los objetos ejercen entre sí debido a su masa.

18) **Lentes Acromáticas.** Se nombran así al conjunto de lentes que permiten corregir la aberración cromática.

19) **Lentes (espejos) Asféricas.** Lentes o espejos con geometría no esférica. Su finalidad es reducir la aberración esférica.

20) **Longitud de onda (“color”).** Es un concepto que surge de considerar que la luz es una manifestación electromagnética, en la que los campos eléctricos y magnéticos que la constituyen se transmiten ondulatoriamente. La distancia entre dos puntos correlacionados, por ejemplo, sus máximos, es la longitud de onda. Dentro de los límites de la sensibilidad del ojo humano, la luz de cada longitud de onda lleva una energía que se percibe como “color”.

21) **Número f.** Indica la relación entre la distancia focal y la apertura del telescopio. Se encuentra dividiendo la distancia focal entre el diámetro efectivo. Números bajos implican pocos aumentos, pero imágenes más luminosas, ideales para ver detalles planetarios o búsquedas de cometas.

22) **Objetivo.** Es el espejo o lente que recibe la luz del objeto formando la primera imagen.

23) **Ocular.** Sistema de lentes que forman la imagen final que llega al ojo. Permite la amplificación de la imagen.

24) **Prueba de Ronchi.** Prueba que permite examinar la superficie de espejos curvos utilizando una rejilla de transmisión de pocas líneas. Introducida por Vasco Ronchi en 1922 ha sido ampliamente utilizada por los constructores aficionados de espejos para telescopios.

25) **Radio de curvatura.** En un espejo esférico el radio de curvatura es el radio de un círculo que se asocia al espejo y del cual el espejo mismo forma parte. Es una medida de la curvatura del espejo.

26) **Rayos paraxiales.** Son aquellos rayos que forman un ángulo muy pequeño con el eje óptico de modo que se les puede considerar paralelos al mismo. En lentes o espejos, estos rayos presentan las mínimas aberraciones esféricas y cromáticas.

27) **Reflexión.** Cambio en la dirección de la luz en el mismo medio cuando incide sobre una superficie pulida.

28) **Refracción.** Cambio en la dirección de propagación de la luz cuando pasa de un medio transparente homogéneo a otro diferente pero también transparente y homogéneo.

29) **Telescopio reflector:** Telescopio que utiliza un espejo reflector diseñado para recoger y enfocar la luz incidente.

30) **Telescopio refractor:** Telescopio cuyo medio de recolección y enfoque de la luz es una lente.

ANEXO D

CÁLCULO PARA LAS DIMENSIONES APROXIMADAS DEL ESPEJO SECUNDARIO

En lo que sigue se hará referencia a las figuras: D1 que muestra las trayectorias de rayos de luz en el telescopio, y D2 que es una ampliación de la zona en la que se encuentra el espejo secundario

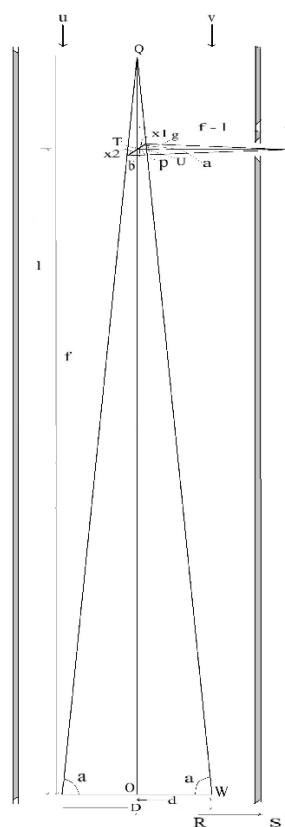


Fig D1 Esquema de la trayectoria de rayos que inciden en el espejo principal

D = diámetro del espejo primario

d = radio del espejo primario

f = distancia focal

R = radio exterior del tubo del telescopio

s = distancia del exterior al tubo del telescopio hacia el punto focal

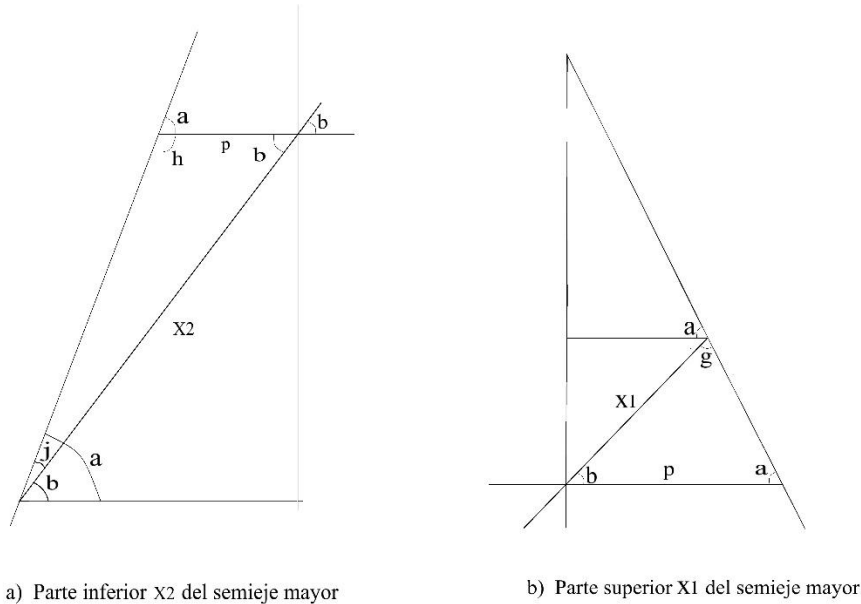


Fig. D2. Ampliación de la función del espejo secundario. a) Parte inferior del semieje mayor b) Parte superior del semieje mayor

Un tratamiento aproximado surge de un esquema geométrico considerando la trayectoria de la luz como rayos que viajan en línea recta. Se hace uso de la geometría básica de los triángulos y sus relaciones trigonométricas. En este esquema, dos rayos de luz u y v que inciden paralelamente en los extremos del espejo primario se reflejan hacia el punto Q que es el punto focal. La posición del espejo secundario ($X1$ - $X2$) forma un ángulo de $b=45^\circ$ respecto al eje OQ .

Considérese al triángulo rectángulo* formado por las líneas que unen los puntos O , Q y W . De este triángulo se tiene la relación $\tan(a) = f/d$ y del triángulo QTU la relación $\tan(a) = (f-l)/p$ por lo que de ambas expresiones se obtiene

$$p = d(f - l)/f.$$

Se hará uso de las siguientes relaciones e igualdades que se pueden verificar de las figuras D1 y D2. Asimismo, se escriben explícitamente algunos resultados intermedios, pero se deja como ejercicio efectuar el álgebra involucrada y llegar a la expresión para la dimensión del semieje mayor ε_M de la elipse.

Se tendrán presente las relaciones generales de un triángulo, de lados a , b y c , y ángulos internos α , β , γ , así como las conocidas ley de los senos (Ver Fig. D3)

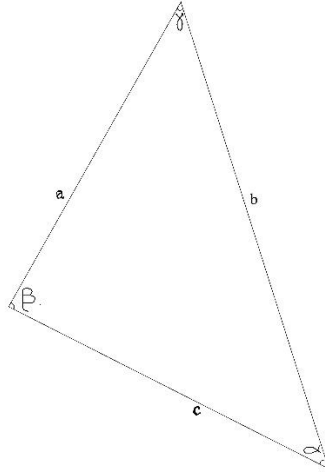


Fig. D3. Relación entre los lados y ángulos internos de un triángulo de lados a , b , c

$$a/\sin(\alpha) = b/\sin(\beta) = c/\sin(\gamma)$$

Y de las igualdades para el seno y coseno de la suma de ángulos

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin(\alpha) \cos(\beta) \pm \sin(\beta) \cos(\alpha)$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) \mp \sin(\alpha) \sin(\beta)$$

Con ello se tiene. De acuerdo a la figura D2.b)

$$X_1/\sin(a) = p/\sin(g)$$

Con lo cual

$$X_1 = \{\sin(a)/\sin(a+b)\} \{d(f-l)/f\}$$

Sustituyendo los valores numéricos $d=7.5$ cm, $f=120$ cm, $l=105$ cm, $a=86.42^\circ$ y $b=45^\circ$ se encuentra, al redondear

$$X_1 = 1.25 \text{ cm}$$

De manera similar se procede con la otra magnitud x_2 del semieje mayor del espejo secundario. Ver ampliación D2.

De la figura se encuentra

$$X_2 = \{\sin(a)/\sin(a-b)\} \{d(f-l)/f\}$$

En donde, al aplicar los mismos valores numéricos se tiene

$$X_2 = 1.41412$$

El semieje mayor de la elipse mide entonces

$$X_1 + X_2 = \mathbf{2.66 \text{ cm}}$$

Y el semieje menor

$$\begin{aligned} \epsilon_m &= 1/(2^{1/2}) \epsilon_M \\ &= (0.7071) 2.66 \text{ cm} \\ &= \mathbf{1.88 \text{ cm}} \end{aligned}$$

* Estrictamente no es un triángulo rectángulo ya que la línea OS que forma parte de la superficie del espejo, es curva, sin embargo esta curvatura es muy pequeña comparada con las dimensiones del resto de las líneas involucradas.