

## 8. El instrumento en las condiciones reales de empleo

### ***Dificultades de uso de un telescopio de mediana potencia***

Somos ya los poseedores de un telescopio ópticamente irreprochable y bien centrado. ¿Vamos a obtener automáticamente las satisfacciones prometidas por el diámetro del objetivo? Ciertamente que no; la parte de trabajo que queda por hacer es la más difícil de aceptar y tanto más cuanto mayor es el diámetro del instrumento.

La técnica de la observación con un instrumento mediano merecería una larga exposición que no podemos pensar en incorporar a estas notas de constructor. Debe suponerse que quien usa un telescopio de 200 mm posee ya alguna experiencia como observador, adquirida más fácilmente con un pequeño antejo. Apuntar el instrumento, ponerlo a foco, seguir el astro, evitar las vibraciones de la montura, elegir el ocular, tomar un croquis, adquirir una educación del ojo, son pequeños problemas simples que un poco de práctica permite dominar fácilmente. En tanto el instrumento es considerado como colector de luz, no existe gran dificultad en lograr el resultado esperado; por ejemplo, la observación de estrellas variables con aumentos relativamente débiles y la toma de fotografías en el foco newtoniano, son fácilmente realizables aun para las magnitudes límites que el espejo puede revelar. Las sorpresas llegan en el momento en que se quiere, además aprovechar todo el poder separador teórico del espejo; la observación de estrellas dobles muy próximas y todavía más, las tenues manchas planetarias, presentan dificultades que crecen rápidamente con la abertura. La gran fuente de disgustos a este respecto es lo que en conjunto se llama *turbulencia atmosférica* y puesto que esta cuestión atañe a la responsabilidad del constructor, no podemos ignorarla.

Hasta el momento hemos supuesto que las superficies de onda incidentes llegan al objetivo siendo planas; de hecho, antes de alcanzarnos, los rayos luminosos emitidos por una estrella deben atravesar la atmósfera, que está lejos de ser un medio ópticamente homogéneo; el aire caliente no tiene el mismo índice de refracción que el aire frío; las corrientes de aire a temperaturas diferentes deforman entonces de manera variable y compleja las superficies de onda transmitidas. Si suponemos que el telescopio abarca un haz de cierto ancho, la onda se presentará muy perturbada. Lord Rayleigh ha expresado con una fórmula cómoda<sup>1</sup> el desfase  $\delta$  producido en el aire sobre una longitud de  $l$  centímetros por una diferencia de  $t$ ° C:

$$\delta = 1,1 \times l \times t \times 10^{-6}$$

De este modo, para 0,56  $\mu\text{m}$  puede resultar una diferencia de marcha de  $\lambda/4$  para una diferencia térmica de solo 0,13° C en una longitud de un metro a nivel del mar. Lo asombroso es que todavía puede obtenerse al nivel del suelo una imagen útil con un haz de varios decímetros de diámetro. Normalmente, a gran altura, las anomalías son bastante grandes y superpuestas en espesor en número suficiente para dar en promedio una superficie de onda no muy deformada; por el contrario, los remolinos localizados cerca del instrumento que se elevan de todos los radiadores de calor comenzando por el mismo espejo al comienzo de la noche, son estrechos pero de fuerte pendiente; la superficie de onda es entonces deshecha y la imagen destruida. Se comprende la utilidad de distinguir entre los diferentes niveles de perturbación puesto que los más graves son también los más próximos a nosotros y debemos intentar hacer algo para anularlos.

No es posible tratar semejante tema con el mismo rigor que una cuestión cómoda como es la forma de un espejo; el error consistirá en creerlo menos importante por ser matemáticamente intrincado y sin “interés pedagógico”. Para el observador, no solamente la cuestión es “del programa”, sino que ella domina todas sus posibilidades. Insistiremos sobre esta cuestión puesto que frecuentemente escuchamos a los principiantes, que en apariencia son psicológicamente incapaces de situar la verdadera dificultad, atribuir sus disgustos a causas irrisoriamente secundarias como un pequeño defecto de parabolización o una deformación térmica de su espejo.

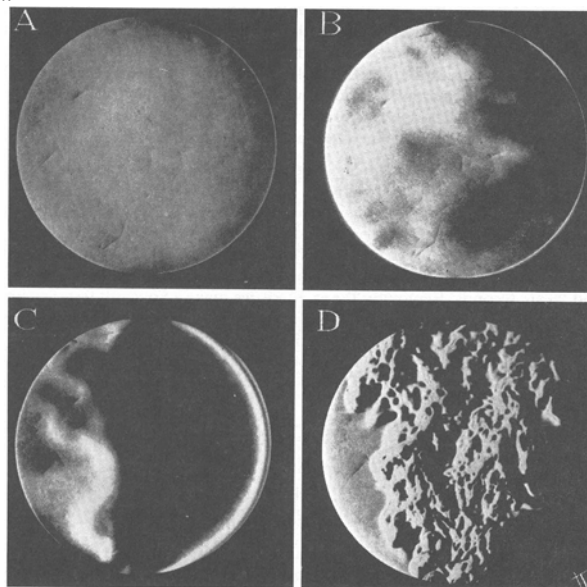
---

<sup>1</sup> Scientific Papers, vol. III, pág. 102.

### **Clases de turbulencia**

Únicamente por razones de comodidad de análisis distinguimos tres clases de turbulencia, aunque en realidad no existen transiciones bruscas entre ellas:

1. *Turbulencia dentro del instrumento.* Apuntemos el telescopio sobre una estrella brillante o mejor sobre un planeta cuyo diámetro aparente sea con preferencia de 10 a 20". Retiremos el ocular y efectuemos la experiencia de **Foucault** utilizando a modo de hoja de cuchillo el borde de una tarjeta de visita apoyada sobre la montura del portaocular. Aun con una montura azimutal, basta un poco de práctica para bisectar la imagen durante uno o dos segundos y rectificar la puesta a punto de nuestro cuchillo según el sentido del desplazamiento de la sombra. En lugar de la extinción uniforme del espejo, que debería observarse como en el centro de curvatura de un esférico, se ven pasar frente al espejo sombras muy contrastadas producidas por vetas de aire ópticamente heterogéneo. En la figura 70 damos algunos ejemplos de posibles aspectos imitados en el laboratorio con un espejo esférico de taller de 300 mm de diámetro, 5.500 mm de radio de curvatura y que no tiene en sí más que defectos de 1 ó 2/100 de onda.



**Fig. 70: Ejemplos de turbulencia**

La fórmula Rayleigh muestra con claridad que no hay que esperar la obtención de imágenes completamente libres de perturbaciones. La figura 70A ilustra los remolinos débiles (aproximadamente  $\lambda/10$ ), extensos y muy lentos que existen en un sótano; sería necesario un tiempo de exposición de varios minutos para integrararlos y revelar los defectos de forma reales del espejo.

Anomalías de este género apenas alteran la mancha de difracción de una estrella; únicamente se observan pequeños cambios de brillo sobre el primer anillo de difracción y deformaciones pasajeras del falso disco. Supongamos también que se espera conseguir una mayor homogeneidad, removiendo el aire cerca del espejo por medio de un ventilador. La figura 70B (ventilador de 20 cm de diámetro colocado a 60 cm a la izquierda del espejo) muestra el lamentable resultado obtenido: los rápidos remolinos rompen la onda en fragmentos de 5 a 6 cm, fuertemente inclinados; los desfasados son del orden de  $\lambda/2$ . La imagen de una estrella se altera considerablemente y la energía se distribuye en los primeros anillos de difracción, que se rompen en arcos móviles muy brillantes; no obstante, el falso disco permanece visible, pero la detección de un compañero débil resultaría muy difícil. Solamente para turbulencias dentro del tubo, que son todavía más graves, el ventilador podría mejorar las superficies de onda.

Las paredes del tubo del telescopio, muy largas en el sentido de los rayos incidentes, son la sede de intercambios térmicos que pueden resultar molestos. El aspecto fotográfico en la figura 70C corresponde a un tubo corto (10 cm) que sólo tenía 1 cm más que el diámetro del espejo y una temperatura 5° más elevada que la del aire ambiente. Se comprueba la formación de grandes remolinos de lentos desplazamientos que afectan a fracciones importantes de la superficie de onda; además, una envoltura de

**Capítulo 8: El telescopio en las condiciones reales de empleo**  
**Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau**  
**Página mantenida por: Jorge López [jorgealm22@yahoo.com](mailto:jorgealm22@yahoo.com)**  
**Visite mi página: [www.geocities.com/jorgealm22](http://www.geocities.com/jorgealm22)**  
**Actualizada el 03-sep-2003**

3 cm de espesor rodea las paredes del tubo y produce en el borde derecho del espejo un desfasado sensiblemente superior a una franja. La imagen es ondulante pero continúa siendo utilizable aunque desde luego, está afectada por la notable aberración zonal producida por la envoltura.

Efectos mucho más nefastos se observan en el interior de un tubo metálico muy estrecho; los remolinos son entonces rápidos y numerosos; la perturbación existe permanentemente en el borde de una pared metálica y para evitarla es necesario dar al tubo un diámetro 10 cm más grande que el del espejo. El tubo del telescopio estándar, no obstante su sección un poco justa, da buenos resultados, en parte debida a su forma cuadrada, pero sobre todo a causa de sus paneles de madera triplex que irradian muy poca energía. Efectos térmicos menos graves se observan en el borde de piezas metálicas inevitablemente interpuestas en el haz: la montura del espejo secundario y las láminas de soporte. El lector hallará en L'Astronomie<sup>1</sup> un artículo especial de A. Couder a este respecto.

La figura 70D muestra un ejemplo de enormes perturbaciones, extremadamente rápidas, muy estrechas y muy inclinadas, que existen a 50 cm por encima de la llama de una vela. Apenas hay necesidad de decir que la imagen de difracción se desvanece en una mancha 50 veces más grande, constituida por un enjambre de gusanos luminosos. No se requiere una destrucción tan completa de la imagen para impedir toda observación útil; vetas turbulentas, prácticamente tan perjudiciales, se elevan de las piezas metálicas de una montura ecuatorial, del suelo y del notable radiador que constituye el observador. Todos los talladores de espejos se han divertido examinando en el **Foucault** los remolinos que se elevan de la mano de una persona interpuesta en el haz cerca del espejo. Se comprende que un "tubo" armazón de metal estará prácticamente siempre recorrido por estos remolinos casi inevitables. Para dar buenos resultados, el armazón deberá tener una sección mucho más grande que el haz y estar provisto de un tubo interior completo, muy liviano y de material mal conductor (madera porosa como triplex, conglomerado, icopor, cartón ondulado, fibra de vidrio), para apartar del haz todos los remolinos exteriores y los emitidos por los largueros metálicos; también deberá ser hermético a las corrientes de aire, que deberán cuidarse especialmente del lado del espejo. El ideal consistiría en cerrar el orificio superior de este tubo con un vidrio estanco, hecho de vidrio de óptica de caras planas y paralelas<sup>2</sup>; la construcción de esta lámina, mucho más trabajosa que el espejo principal, no tendría nada de imposible para un aficionado experto, pero el simple gasto en vidrio de óptica de primera clase, sería ya considerable para un instrumento inferior a unos 30 cm, para el cual un tubo bien estudiado rinde resultados satisfactorios.

2. *Turbulencia local.* Naturalmente, en la vecindad del instrumento y hasta varios centenares de metros existen fuentes de perturbación que no podemos apartar del haz. Sin embargo, también la respiración del observador puede ser apartada por un deflector liviano prolongado aproximadamente 40 cm del tubo propiamente dicho. Si el instrumento apunta un astro un poco elevado, la influencia del suelo se reduce rápidamente. El viento lateral, atacando oblicuamente la abertura del telescopio, produce por el contrario graves remolinos espirales particularmente marcados si el aire ha rozado un techo caliente. Las peores condiciones locales se encuentran dentro de una pieza de apartamento apuntando el instrumento a través de una ventana; aun después de un equilibrio térmico aproximado de la pieza, subsiste un régimen arremolinado irregular pero permanente que no deja gran esperanza de utilizar con provecho aumentos superiores a 100 ó 150. A pesar de todo, aquellos que no puedan observar de otro modo no deben descorazonarse; con un poco de perseverancia encontrarán circunstancias favorables en ciertas épocas del año (por lo común en primavera en los países con estaciones) o hacia el final de la noche. Cuando el régimen térmico está invertido y el aire exterior es más cálido que el interior<sup>3</sup>, es posible obtener buenas imágenes. Si no fuera así, casi todos los instrumentos astronómicos colocados bajo una cúpula serían inutilizables para los trabajos que requieren un gran

---

<sup>1</sup> L'Astronomie, tomo 63, pág. 253

<sup>2</sup> De hecho, los telescopios comerciales tipo Smith Cassegrain y Maksutov Cassegrain cumplen con esto, pero son mucho más costosos que los newtonianos.

<sup>3</sup> Cuando se saca el instrumento de una habitación con aire acondicionado al exterior más frío y húmedo, se forma sobre las superficies ópticas una capa de rocío que puede demorar hasta media hora en desaparecer. Para remediarlo, el telescopio debe permanecer en una habitación a la misma temperatura exterior, o sacarlo del aire acondicionado con suficiente tiempo de anticipación a la observación. Los proveedores de partes para telescopio ofrecen dispositivos para calentar eléctricamente la parte húmeda, denominados "dew remover".

**Capítulo 8: El telescopio en las condiciones reales de empleo**  
**Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau**  
**Página mantenida por: Jorge López [jorgealm22@yahoo.com](mailto:jorgealm22@yahoo.com)**  
**Visite mi página: [www.geocities.com/jorgealm22](http://www.geocities.com/jorgealm22)**  
**Actualizada el 03-sep-2003**

poder resolvente. Al aire libre las condiciones generalmente son mejores; hay que evitar las terrazas de cemento armado, muy grandes, expuestas al sol durante el día, los muros, y de modo general todos los radiadores próximos de gran capacidad térmica. La configuración del terreno es también importante; el aire se eleva según las líneas de convección; las posiciones en lugares cortados a pico y con la visual parcialmente obstruida por una colina son *a priori* desfavorables; no obstante, no existen reglas absolutas; la experiencia es la que decide en todos los casos. El aire cálido o enfriado que circula cerca de una fuente alejada, produce aspectos fáciles de confundir con la turbulencia de grandes alturas; la prueba de **Foucault** no muestra remolinos netos relativamente lentos, sino fluctuaciones locales grandes y muy rápidas para ser interpretadas por la observación directa. No es posible enfocar el ocular sobre estos remolinos como puede hacerse en el caso de la turbulencia de altura. Para nosotros las mejores condiciones locales (la elección del lugar geográfico es otra cosa) se lograrán en terreno llano con suelo cubierto de césped, el instrumento montado sobre un pilar a varios metros de altura, la tarima de observación soportada por una ligera armazón de madera, el abrigo sostenido por la misma armazón mucho más grande y más alta que el instrumento, tabique y techo de doble pared y techo corredizo hacia el norte<sup>1</sup>. Las cúpulas mejores tienen igualmente tabiques calorífugos, un diámetro muy grande con relación al volumen del instrumento y una gran ventana que puede esperarse desprovista de grandes remolinos en la mitad central.

3. *Turbulencia a gran altura.* El tema es importante, pero escapa a nuestro dominio. Especialmente, trataremos de distinguir esta fuente de perturbación de las precedentes. Cuando el nivel de la capa turbulenta está a varios kilómetros de distancia, las modificaciones de inclinación del orden del segundo de arco pueden traducirse para el observador por desviaciones laterales del orden del décimetro. A ojo desnudo el observador no recibe siempre la misma energía, ve la estrella titilar y este titileo es una indicación de turbulencia a gran altura cuando ninguna fuente terrestre alejada puede intervenir, como en el caso de una estrella un poco alta. Utilizando un haz un poco más ancho que el ojo, las fluctuaciones de la energía total admitida están muy atenuadas, pero se observan variaciones de brillo locales sobre la superficie de la onda; éstas son las *sombras volantes*. Basta dirigir el telescopio sobre una estrella brillante (no un planeta), retirar el ocular y colocar el ojo cerca del foco acomodándolo sobre la superficie del espejo como para hacer la prueba de **Foucault**, pero sin emplear la hoja de cuchillo. Se ven desfilar rápidamente estrías más o menos anchas, casi periódicas (de 5 a 10 cm por lo común), débilmente contrastadas si las circunstancias no son excepcionalmente malas; con frecuencia dos sistemas superpuestos en espesor tienen direcciones distintas. El lector interesado se remitirá con provecho a un reciente estudio de Gaviola, que incluye fotografías de estos aspectos<sup>2</sup>; este análisis da una nueva explicación ingeniosa de las alteraciones de la mancha de difracción con gran parte de la energía proyectada a los trozos de los primeros anillos; explicación que tiene en cuenta las propiedades de red de fase que constituye una superficie de onda perturbada por estrías.

Tomemos un ocular mediano y observemos el limbo lunar. Enfoquémoslo cuidadosamente sobre los detalles topográficos de la Luna: el borde del limbo nos parecerá ondulante; tiremos el ocular hacia afuera: las ondulaciones nos parecerán más netas y mejor contrastadas; dicho brevemente, pueden enfocarse, (en la medida en que esto tiene sentido) sobre la capa turbulenta. Conocidas las diferencias de enfoque de longitud focal del objetivo es fácil calcular la distancia de la capa turbulenta; se la encuentra por lo común a 3 ó 4 Km. El único remedio contra la turbulencia atmosférica, generalmente impracticable para el aficionado, es el de emigrar a un lugar privilegiado; las planicies elevadas semidesérticas (Flagstaff) o a veces un pico aislado (Pic du Midi, Mount Hamilton) son los lugares más reputados.

## **Conclusión**

No deseamos terminar estas consideraciones con una nota pesimista injustificada. Por de pronto, los resultados obtenidos por más de 150 colegas con sus telescopios estándar, muestran que un 20 cm es relativamente fácil de aprovechar seriamente en las más diversas condiciones.

---

<sup>1</sup> Se refiere a las horas de insolación; en el hemisferio norte hacia el norte, en el sur hacia el sur, y en nuestra zona tórrida, hacia el lado contrario de donde se encuentre el sol al medio día durante el año.

<sup>2</sup> E. Gaviola, On seeing fine structure of stellar images and inversion stellar spectra (Sobre visión. Estructura fina de las imágenes estelares e inversión del espectro estelar), *Astronomical Journal*, tomo 54, No. 1.178.

**Capítulo 8: El telescopio en las condiciones reales de empleo**  
**Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau**  
**Página mantenida por: Jorge López [jorgealm22@yahoo.com](mailto:jorgealm22@yahoo.com)**  
**Visite mi página: [www.geocities.com/jorgealm22](http://www.geocities.com/jorgealm22)**  
**Actualizada el 03-sep-2003**

Por sobre todo, hemos deseado evitar desilusiones a aquellos que construyen de primera intención telescopios de más de 30 cm de abertura, y procurando ayudarles a lograr al menos una fracción respetable del poder separador; por ello no hemos limitado el papel del constructor, a resolver cuestiones fáciles como es el tallado de un espejo parabólico. Es necesario entender que una sola ejecución de un hermoso instrumento queda desprovista de significado si no se es capaz de extraer resultados en relación al cuadrado del diámetro del espejo. El observador que se limite a comprobar que la imagen está agitada, estará derrotado de antemano. En cambio, si la experiencia ganada durante la construcción de su telescopio, agrega luego un estudio sistemático de los factores que gobiernan su uso, llegará a dominar el instrumento y las condiciones y circunstancias que encuadran sus observaciones.