

El boletín de control

La figura 45 es un ejemplo del boletín de control de un espejo construido en el taller de la *Comission*, cuya confección explicaremos a continuación :

Pasaremos por alto las distintas constantes mecánicas y ópticas del espejo que son de interpretación inmediata. Las cuatro primeras líneas del cuadro están calculadas según el diafragma de zonas ; sabemos qué significan. Son fáciles de calcular anticipadamente (el espejo quizá no resulte bueno al primer intento) : en la línea 5, los factores de altura de incidencia : $h_m/4f$

que darán las λ_f mediante una única multiplicación por Δ_c .

Se anotan en la línea 6 el promedio de por lo menos cuatro buenas medidas efectuadas sobre un diámetro Φ_1 del espejo ; lo mismo para el renglón 7 relativo a un diámetro Φ_2 , perpendicular a Φ_1 (entre ambas series se hace girar el espejo un cuarto de vuelta sobre su plano, con las precauciones de práctica). Las diferencias sistemáticas entre ambas series no pueden servir más que para apreciar el astigmatismo de conjunto del espejo, puesto que la distancia espejo cuchillo probablemente cambió entre ambos ajustes, pero el astigmatismo zonal podrá ponerse de manifiesto. Si las

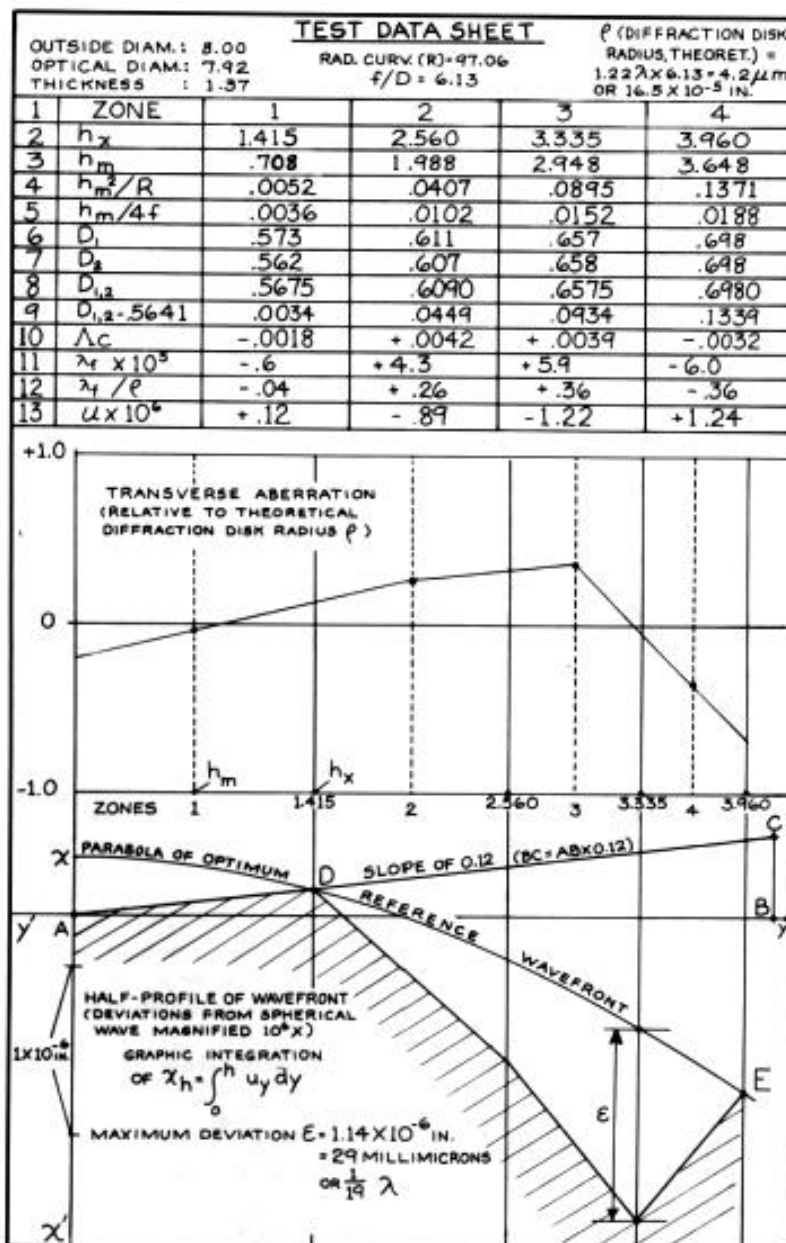


Fig 45. Facsímil del boletín de control de un espejo

anomalías longitudinales transformadas en λ_f no alcanzan el radio de la mancha de difracción (ver más adelante), se calculará : línea 8, los promedios de las líneas 6 y 7

que serán consideradas como representativas del espejo medio. Para el renglón 9, una pequeña dificultad : hay que encontrar por ensayos, la constante a rebajar a los valores de la línea 8 para encuadrar lo mejor posible, las desviaciones con referencia a la parábola teórica. Cuando el enfoque está bien elegido deben obtenerse en el renglón 10 los residuos longitudinales (renglón 9 menos renglón 4) que después de una multiplicación por los factores de la altura de incidencia (renglón 5) darán en la línea 11 las máximas aberraciones transversales λ_f iguales y de signos contrarios. Estamos ahora exactamente sobre el plano del círculo de menor aberración ; una ojeada sobre la línea 5 nos muestra que hay que permitir desviaciones longitudinales aproximadamente 5 veces menores sobre la zona 4 que sobre la zona 1 para obtener este resultado.

La línea 12 es la de las aberraciones transversales reducidas, es decir tomadas con el radio ρ de la mancha de difracción como unidad que vale, como sabemos :

$$\rho = 1,22\lambda \times \frac{f}{D}$$

Por último, sobre la línea 13 figuran los ángulos u que serán tomados con el signo menos en un factor de multiplicación suficiente para dibujar el perfil ; aquí tomamos el factor de un millón (10^6), cuidando los errores de coma. El ejemplo presentado debe bastar para fijar el orden de magnitud de los diversos valores.

Sobre los dos gráficos llevamos en abcisas las alturas de incidencia h a la escala de tamaño ; en un sentido más general este eje será (una vez no hace costumbre) el de las y . Cuatro paralelas a las ordenadas marcarán los límites exteriores (línea 2) de las 4 zonas.

El primer gráfico no es más que la traducción de la línea 12 ; en ordenadas se han marcado $+ \rho$ y $- \rho$ que significan los límites de la mancha de difracción teórica.

Las ordenadas del perfil inferior muestran la desviación HH' (figura 44) entre la superficie de onda esférica ideal de vértice S y c entre P y la superficie de onda real Σ teniendo el mismo vértice S . En el punto H la distancia $HH' = X_h$ está dada por :

$$X_h = \int_0^h u_y dy$$

No hay porqué intranquilizarse ; la operación se realiza gráficamente ; ni siquiera hay necesidad de un doble decímetro si se utiliza papel milimetrado. Insistimos repetidamente aun a riesgo de hacer sonreír a los “astutos”.

Entre los límites de la zona 1 tenemos que trazar una pendiente $-u \times 10^6$ (línea 13) igual a $+ 0,25$ (la “curva” sube cuando el coeficiente es positivo y desciende cuando es negativo) ; a partir de un origen arbitrario A del eje de las ordenadas $x'x$ (que al mismo tiempo es el eje del espejo) tomamos una longitud AB en las abcisas igual, por ejemplo, a 100 mm, de B subimos en una cantidad BC equivalente a 25 mm y unimos AC ; esta es nuestra primera pendiente que, desde luego, hay que detener en el punto D donde

atraviesa el límite de las zonas 1 y 2, punto que sirve de origen para trazar la segunda pendiente -0,49 al límite de la zona 2 y así se continúa hasta la zona 4 en el borde del espejo.

Esta línea quebrada no tiene, evidentemente (como la pintura moderna), más que una relación lejana con el ser físico infinitamente complejo que es la superficie de onda y que no podemos analizar con cuatro pendientes, pero que la representa en su aspecto de conjunto. Recordemos que se pueden representar los continentes en un atlas escolar.

Por otra parte, este perfil anguloso da los límites superiores de las desviaciones ; el error cometido es entonces en el sentido de un mayor rigor. Falta comparar esta superficie de onda convencional con la parábola que se aparte lo menos posible ; generalmente no es la esfera de meridiana Σ' tomada como referencia, que es sobre nuestro croquis una recta paralela al eje de las abscisas y' (puesto que el plano del círculo de menor aberración no tiene una virtud particular). Tenemos el derecho de buscar el centro de una onda mejor ; dicho de otro modo, de ajustarla ; esta onda, de radio un poco diferente, debe tocar nuestro perfil quebrado en los dos puntos más salientes que son aquí D y E. Sobre el croquis, el perfil de la esfera, cuyos apartamientos con relación a Σ' son funciones del cuadrado de la altura de incidencia, será un arco de parábola de eje $x'x$ obligada a pasar por los puntos conocidos D y E. Con esto los “astutos” podrán hacerse la ilusión de ser sabios determinando el coeficiente a de su ecuación ($x = a + cy^2$) ; los otros lo trazarán sin grave inconveniente. No queda sino medir la más grande desviación de tautocronismo ε entre la línea quebrada y la parábola. Antes de compararlas con la longitud de onda de $0,56 \mu\text{m}$ de la luz más sensible para el ojo, no olvidemos que esto está ampliado un millón de veces ; sobre nuestra escala de ordenadas, 1 cm representa $0,01 \mu\text{m}$ o sea $1/56$ de onda

Interpretación del boletín de control

Esto interesa no solamente al óptico aficionado, sino también a quien encarga un objetivo, del cual debe siempre exigir y comprender su boletín.

Hay un doble criterio al cual debe satisfacer un buen objetivo, que fue enunciado en *Lunettes et télescopes* por A. Danjon y A. Couder, página 522 :

1. “El radio del círculo de menor aberración es comparable al de la mancha de difracción teórica y en promedio, las aberraciones transversales reducidas son inferiores a la unidad.
2. El mayor apartamiento de tautocronismo es como máximo igual a un cuarto de onda y la mayor parte de la superficie del espejo presenta defectos notablemente menores.”

Los dos gráficos del boletín de control permiten juzgar si el espejo responde bien a este doble criterio. En general, en un pequeño espejo, la primera condición es la más difícil de cumplir. Un boletín sumario que no indique más que las λ_f del cálculo inmediato puede prestar aquí servicios importantes. Muy a menudo, uno se impone para el segundo criterio un límite más severo ; hemos señalado porqué. Del taller de la *Commission* no sale ningún espejo si su boletín no determina los $\lambda_f / \rho < 1$ y desviaciones de tautocronismo inferiores a $\lambda / 10$; este límite está todavía bien lejos de

ser alcanzado¹. Con tan pequeñas tolerancias, es inútil buscar un defecto cualquiera sobre el cielo observando las estrellas ; lo que puede descubrirse es que el espejo está mal montado o mal centrado. Agregamos, para los que solo son compradores, que no hay que fiarse de una simple fotografía tomada en el aparato de **Foucault**, producida por el óptico y cuyos contrastes pueden ser trucados hasta el infinito. Si existe un boletín de control completo, hay que controlar la escala de ampliación de las ordenadas, que generalmente se toma igual a 10^5 solamente, para mostrar pendientes menos espantosas ; a menudo también con el evidente propósito de escribir defectos dos veces menores, el óptico da el perfil de los accidentes sobre el vidrio y no sobre la onda ; hay que saber descubrir estos pequeños abusos de confianza y exigir precisiones según las necesidades. Si el boletín es incompleto y no indica, por ejemplo, más que los apartamientos longitudinales Λ_C , hay que tomarse el trabajo de calcular rápidamente con la regla, los λ_f correspondientes para compararlos al radio de la mancha de difracción. El espejo principal simboliza nuestra esperanza astronómica ; no hay que aceptarlo a ciegas. Por el contrario, a menos que sean formidables, los defectos visibles de abrasión : gris, huellas, rayaduras, escamas, no perjudican más que las faltas de belleza, generalmente benignas sobre la imagen. La parte más delicada de nuestra empresa está terminada ; quedaríamos descorazonados si hubiésemos acobardado con descripciones demasiado completas a los principiantes seducidos por el trabajo del vidrio. Todos los detalles dados no son indispensables para hacer un espejo pasable, pero sí lo son para uno perfecto ; no hemos querido limitar el campo de acción del aficionado cuidadoso y perseverante que tiene la posibilidad y por lo tanto el deber, de realizar y asegurarse un trabajo impecable. Esta disciplina contribuirá a volverlo digno de poseer un potente telescopio y le ayudará a dominar la situación, infinitamente más delicada, de la observación de una imagen sobre el cielo, perturbada por los abominables remolinos atmosféricos.

¹ El promedio de las desviaciones de tautocronismo de los 18 primeros espejos del taller es de $\frac{\lambda}{20,4}$.