

2. Realización del espejo principal

La forma del espejo principal en el telescopio de Newton

Las leyes elementales de la reflexión permiten prever fácilmente que un espejo esférico cóncavo dará una imagen perfecta de un objeto colocado cerca de su centro de curvatura ; la observación de astros que pueden considerarse como infinitamente alejados exige por el contrario, que todos los rayos incidentes paralelos al eje (figura 11) sean reflejados por nuestro espejo de modo de reunirse en el mismo punto F. Esta condición unida a las leyes de reflexión permite prever por la geometría y sin ambigüedad , la forma de la meridiana del espejo que dará una imagen focal perfecta sobre el eje CS de un objeto al infinito ; ésta es una parábola de eje CS y la superficie cóncava engendrada por esta curva girando sobre su eje es un paraboloides, pero por una incorrección del lenguaje corriente, se dice casi siempre un espejo parabólico.

Tal definición no debe amedrentar a los no matemáticos ni hacerles creer que se trata de

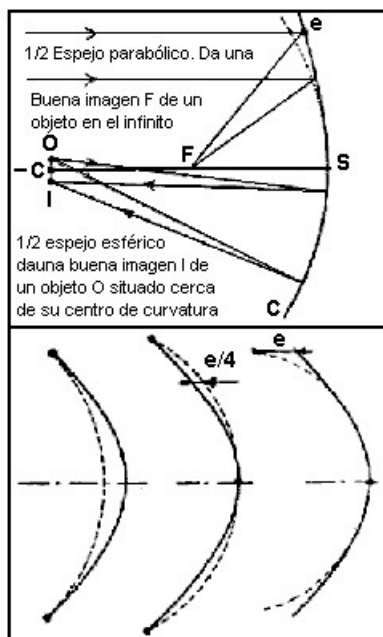


Fig 11. Necesidad de un espejo parabólico
 Fig 12. Comparación de parábola con 3 esferas de radios decrecientes.

una forma difícil de obtener. Veremos un poco más adelante que la forma general que tiende a generarse automáticamente durante el pulido, si se trabaja convenientemente, es la forma esférica ; para apreciar la dificultad del trabajo es entonces natural comparar el paraboloides con la esfera. Este cotejo puede hacerse de muchas maneras diferentes según el radio de la esfera elegida (figura 12). Si se considera la esfera tangente a la cúspide del espejo, como la parábola tiene una curvatura que disminuye ligeramente yendo hacia el borde (en el taller se dice que se “endereza”) se abre un poco más que ésta esfera y la separación máxima en el borde, de magnitud e mide :

$$e = \frac{h^4}{64f^3}$$

h es la altura de incidencia o radio del espejo en el punto considerado ;

f es la longitud focal.

Con el espejo de nuestro telescopio estándar a $f/D = 6$ resulta :

$$h = 10 \quad f = 120$$

$$e = \frac{10^4}{64 \times 120^3} = 0,9 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

Solamente nueve décimos de micrón.

Pero existe una esfera de radio ligeramente diferente, tangente en el centro del paraboloides, que lo corta en el borde (figura 12) con relación a la cual la separación es cuatro veces menor ; en el caso que nos interesa, ésta vale 0,22 micrones.

Tal diferencia es del orden de magnitud equivalente a la que el pulido cuidadoso introduce por lo general con respecto a la esfera para vidrios de éste diámetro ; contrariamente a lo que se cree, es tan fácil engendrar de primera intención semejante parábola como una esfera, pero no sería lo mismo con un espejo más grande o más abierto. **Es necesario ser bastante ingenuo para escuchar a los ópticos de la industria comentar complacidos sobre las dificultades del parabolizado, cuando la superficie que ellos creen esférica posee ya defectos del orden de las deformaciones que nos preocupan** (una longitud de onda) pero que desgraciadamente están distribuidos al azar ; nosotros queremos como mínimo una precisión diez veces mayor.

Si f/D es un número bastante grande, o dicho de otro modo, si la abertura relativa es suficientemente pequeña, se comprende que la parábola no se apartará mucho de la esfera, de manera que un espejo esférico satisfará la regla de Rayleigh y dará imágenes estelares prácticamente perfectas.

Tomamos de Lunetes et t elescopies la fórmula que indica la longitud focal f que es necesario dar a un espejo esférico de diámetro D para que satisfaga ésta condición :

$$f^3 \geq 34,9D^4$$

Damos ejemplos para espejos de aficionados :

| D en cm | f min. cm | f / D |
|---------|-----------|-------|
| 8 | 52 | 6,5 |
| 10 | 70 | 7,0 |
| 12 | 90 | 7,5 |
| 15 | 120 | 8,1 |
| 18 | 153 | 8,5 |
| 20 | 177 | 8,9 |
| 21 | 190 | 9,0 |
| 25 | 240 | 9,6 |
| 30 | 303 | 10,1 |

¡ Pero cuidado ! es preciso que el espejo sea realmente esférico ; sería perfectamente ridículo tallar el espejo de la última línea de esta tabla con 3 m de longitud focal, si no se tiene necesidad de tal relación de abertura, en la esperanza de obtener automáticamente una esfera utilizable. Por el contrario, un modesto principiante, deseoso de simplificar al máximo su empresa y evitarse controles, tendr a alguna posibilidad de lograrlo con un espejo de menos de 15 cm que responda a éstas características. Volveremos en detalle sobre este punto.

Generalidades sobre el trabajo del vidrio y teorías del pulido.

Para un principiante es siempre motivo de sorpresa saber que las superficies más precisas que el hombre sabe realizar están hechas a mano, sin la ayuda de la más pequeña máquina y mediante procedimientos aparentemente infantiles. Somos víctimas

de nuestro “buen sentido”, lentamente formado por este siglo de la tecnología que nos lleva a admirar las bellas y complicadas máquinas, y nos es necesario un verdadero esfuerzo para tener una visión sensata de la cuestión. El trabajo de las superficies de alta precisión está dominado por dos hechos esenciales conocidos o inconscientemente aplicados desde la edad de piedra. El aprovechamiento de los procedimientos de ajuste por frotamiento y la ley de los grandes números.

Ajustar por frotamiento una superficie es frotarla contra otra de extensión comparable, que toma ahora el nombre de **herramienta**, con la interposición de un abrasivo, es decir de un polvo compuesto por pequeños granos cortantes más duros que el cuerpo a trabajar. La combinación del movimiento de translación y de la presión que se le ejerce a las piezas, presión repartida sobre las duras y agudas aristas de los granos de abrasivo (figura 13), provoca en una sustancia frágil como el vidrio una multitud de fracturas y de pequeños fragmentos, principalmente en las regiones sobresalientes, que tienden entonces a desaparecer.

Si la ley del movimiento relativo de las piezas es tal, que un régimen de presiones iguales pueda existir en todas partes, se obtendrá automáticamente la nivelación de las superficies con una precisión mejor que el diámetro de los granos interpuestos. Si este movimiento está dirigido en todo sentido, las

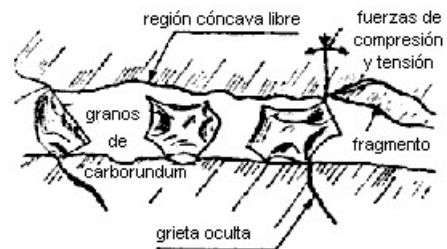


Fig 13. Mecanismo de la abrasión (J. Strong).

superficies tomarán necesariamente una forma esférica (o plana como caso particular) puesto que ésta es la única que permite el contacto con todas las posiciones. Los accidentes elementales, pequeños pozos y fracturas, son también comparables en dimensiones al tamaño de los granos interpuestos. Pero una pequeña desigualdad en la presión, por ejemplo repetida siempre sobre el mismo punto en la carrera, no dejaría de crear una notable deformación ; para evitarla, es necesario volver improbable esta repetición exacta y aprovechar la ley de los promedios. Como el trabajo exige en total varias centenas de millares de carreras se concibe que si el movimiento está dado por la mano de una persona que sabe poco más o menos la amplitud que debe dar al movimiento se producirá a la larga una asombrosa compensación exacta de los errores individuales ; puede decirse que cuantas más torpezas cometa el operador, tanto mejor resultará.

Cuando se talla un espejo de más de un metro, el manejo de la herramienta puede superar las fuerzas de un hombre o de varios ; se está obligado a utilizar una máquina ; la dificultad consiste entonces en saber romper de manera tan incoherente como sea posible la “personalidad” de esta máquina ; siempre se termina, de todos modos, por un trabajo local con la mano.

La ejecución de la superficie óptica de un espejo comprende tres fases principales :

El desbastado

Partiendo de un tosco disco de vidrio cuyas caras son aproximadamente planas se excava una de ellas frotándola sobre una contraparte que es otro disco de vidrio del mismo diámetro, interponiendo un abrasivo muy duro y relativamente grueso

(**carborundum** # 80 de 1/10 de mm de grosor) y haciendo carreras anormales que tienen por efecto localizar la presión casi únicamente en el centro del disco del espejo, que adquiere rápidamente la concavidad deseada.

El esmerilado y el alisado

Tienen el doble objeto de mejorar la forma general precedente y disminuir todo lo posible la importancia de las accidentes elementales de modo de posibilitar luego el siguiente paso. A la inversa del desbastado, se emplean ahora abrasivos de grosor decreciente, de los cuales los más finos están compuestos de granos de algunos micrones de diámetro y carreras normales tendientes a producir una acción uniforme sobre toda la superficie. Cuando los accidentes no tienen sino algunos micrones de profundidad llegan a ser difíciles de reducir de manera muy regular y simultánea por todas partes. Por lo tanto, la idea lógica de pasar insensiblemente del alisado al pulido es contradicha por la experiencia ; existe una discontinuidad entre ambos ; parece que la pequeñez de los accidentes que pueden desprenderse del vidrio está limitada ; aquí falla nuestro buen sentido.

El pulido

Es en efecto una operación muy diferente. El rojo para pulir está compuesto por granos muy regulares de 0,5 micrones de diámetro, el cual produciría una especie de alisado si se continuara utilizando con la herramienta dura precedente. En su lugar, se recubre la herramienta de una sustancia como la brea, capaz de amoldarse a la larga a la forma exacta del vidrio a trabajar, pero que es rígida durante el corto tiempo que dura una carrera ; dentro de esta sustancia es donde los granos de rojo van a alojarse para constituir la “torta”.

Pero es difícil tener una idea clara de lo que sucede durante el trabajo. Los más célebres talladores de espejos, Newton y Hershell, creían que el pulido no era sino una especie de frotamiento fino cuyos accidentes se volvían tan pequeños como para constituir una superficie unida al grado deseado. Elihu Thompson, continuando con esta idea, describe la acción de la torta de brea, guarnecida de partículas de rojo, como ajustándose automáticamente y a un nivel común en el curso del prensado y del trabajo y produciendo una red de rayas ultramicroscópicas ; de un modo semejante J. Strong dice que las partículas de abrasivo tienen sus caras cristalinas orientadas idénticamente por el movimiento y paralelamente a la superficie ; la torta se transforma en un “raspador complejo” cuyos elementos, automáticamente ajustados al mismo nivel, producen un desgaste muy alisado. B. Lyot, que consideró la cuestión del pulido con un rigor particular para sus lentes de coronógrafo, declara haber observado efectivamente, al proyectar la imagen de un arco eléctrico potente sobre una superficie, innumerables pequeñas rayas cruzadas en todo sentido no obstante estar pulida con un cuidado particular. Sin embargo, la explicación juzgada generalmente como la más satisfactoria es la de Lord Rayleigh, el cual advierte que, desde el comienzo del pulido, las cúspides de los accidentes son niveladas con un acabado perfecto ; El ultramicroscopio nada muestra ; los pequeños planos así formados aumentan en superficie hasta que alcanzan el fondo de las picaduras más profundas sin cambiar la calidad de las áreas ya pulidas. Los accidentes son de dimensiones moleculares, como los de la superficie libre de un fluido.

El vidrio es pues arrancado en una escala molecular (se pesa la pieza antes y después), proceso totalmente a la acción del abrasivo sobre una herramienta dura, que arranca siempre trozos enormes con respecto a las moléculas.

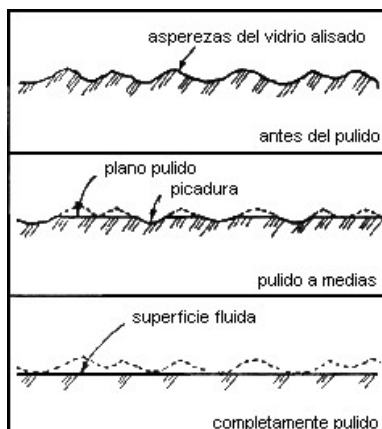


Fig 14. Ilustración de la teoría de Lord Raileigh.

Sin embargo, no hay seguridad de que el pulido consista solamente en sacar vidrio. Ingeniosas experiencias de Motz y Selby, tienden a mostrar que en el curso del pulido existe una capa de Beilby que es bien evidente en el pulido de los metales. Esta importante fuerza transformada en calor en el curso del trabajo bastaría, considerando la mala conductividad del vidrio y de la brea, para ablandar una capa de vidrio muy delgada que se extendería inmediatamente por untado como la mantequilla sobre el pan, según ciertos autores ; esta sorprendente explicación haría comprender mejor la reaparición de picaduras en cierto modo tapadas, cuando se rehace con un método menos violento, el pulido de

una superficie trabajada **brutalmente** por la industria. Sin discutir el valor de las ideas de Lord Rayleigh, puede muy bien admitirse una parte de corrimiento, aunque verdaderamente muy débil, en el trabajo de la óptica astronómica.

Es evidente que no obstante la simplicidad de los medios empleados, una explicación realmente satisfactoria de lo que sucede implica grandes dificultades.

El microscopio óptico muestra además fácilmente los granos de rojo cuyo grosor (0,5 μm) no parece casi modificado aún después de un pulido brutal, (ver la figura 15) ; pero es difícil decir cómo estos granos se fijan en la brea y nos parece imposible hablar de su forma de acción sin tener en cuenta las tensiones superficiales y las enormes atracciones moleculares que existen al nivel de la capa de vidrio recientemente puesta al descubierto, cuando el agua escasea al final de la “mojada” (se verá más adelante). Aunque la forma de acción permanece incomprensible, el resultado puede ser controlado de manera bastante exacta, y ello sin mencionar el microscopio electrónico que proporciona preciosas indicaciones sobre los accidentes elementales de las superficies pulidas ; mencionemos el hermoso método, desarrollado por B. Lyot, que pone de manifiesto defectos de algunos milímetros cuadrados de superficie que corresponden en altura a desniveles del orden molecular (algunos Angstroms) presentados por vidrios muy bien pulidos. Pero es necesario volver a los defectos todavía más extendidos que afectan la forma general de la pieza óptica. Sabemos con qué precisión debe respetarse esta forma ; los procedimientos que hemos descrito permiten obtener de buenas a primeras las superficies esféricas pequeñas ; bastante precisas si no se ha introducido ninguna causa de error, pero sería imprudente contar sistemáticamente con aquello y de todos modos imposible con un vidrio poco deformado de una veintena de centímetros. Felizmente **León Foucault** nos ha dejado un maravilloso medio de control universalmente empleado que permite ver los defectos de esfericidad como si fueran accesibles a nuestros sentidos ; en las mejores condiciones se manifiestan, con medios muy sencillos, defectos diez veces más pequeños que los que puede comenzar a perjudicar las imágenes.

Una vez reconocido el defecto en tamaño y posición, el retoque se realiza alterando convenientemente la acción de la torta en el lugar deseado, pero es difícil ser un verdadero maestro en esta acción puesto que ella no es claramente inteligible para nuestros sentidos ; es necesario entonces esforzarse para obtener de primera intención la forma deseada con la mejor aproximación posible para reducir al mínimo el trabajo de retoque, por otra parte, la habilidad del óptico se mide por su aptitud para realizar con los métodos generales, la superficie deseada con una buena aproximación antes que por borrar, sin dejar rastros, la última zona saliente.

Todo lo dicho en este párrafo no constituye más que una advertencia al lector contra su “buen sentido” ; los razonamientos simplistas no dejarán de acudir a su espíritu cuando gire en torno de su espejo (condición muy favorable para el funcionamiento de las células grises). No tenemos la pretensión de explicar el *porqué* cuando nos basta el *cómo* para alcanzar el resultado ; aquellos que se contenten con esta explicación, no tendrán ninguna dificultad para lograr su espejo ; los demás, si no disponen de un tiempo limitado, harían mejor en terminarlo igualmente y *después* hacer teorías.

El elemento principal

Los discos en cuarzo fundido o simplemente en Pyrex se consiguen en Colombia importados por “**Foucault Telescopios**”. Se puede pensar en utilizar verdadero vidrio de óptica, por ejemplo un crown boro-silicato o vidrio Durán o mejor aún, “Zerodur” pero es un lujo inútil además de costoso, puesto que el vidrio del espejo constituye sólo un soporte que no es atravesado por los rayos útiles. El vidrio utilizado más corrientemente es el vidrio M de Saint Gobain, especialmente recocido (annealed) para hacer discos de espejos lo cual le da un tinte más verdoso que el vidrio común ; estos vidrios presentan un dibujo de temple regular y son entregados con el espesor deseado cuando tienen pequeños diámetros, con las caras esmeriladas planas por la piedra arenisca y los bordes sumariamente redondeados al diámetro solicitado.

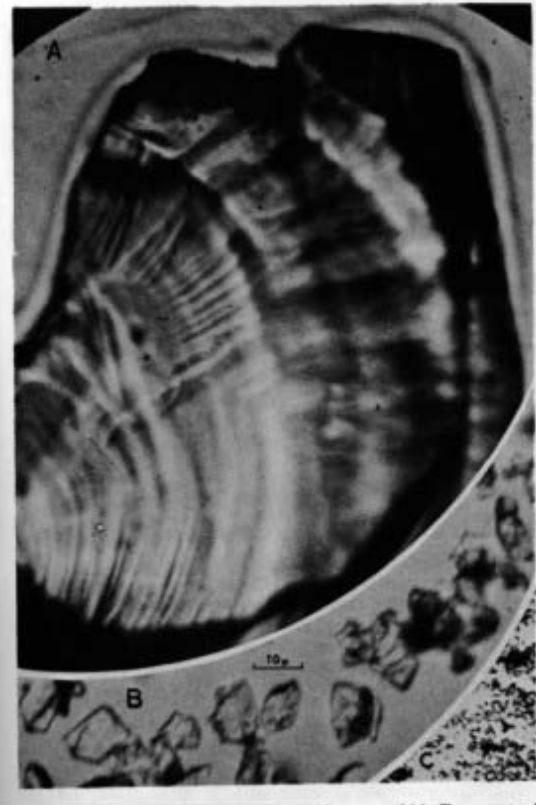


Fig 15. Microfotografía de un grano de carborundum 120 esmeril M 303 y rojo para pulir.

Los discos destinados a “ojos de buey” de los barcos están recortados del vidrio pulido de Saint Gobain, cuyo espesor puede alcanzar 37 mm ; este tipo de fabricación que no está complementado con un recocido especial explica el dibujo de temple más o menos complicado y excéntrico que presentan en la luz polarizada ; esto no resulta un inconveniente importante para el tallado preciso de la superficie óptica ; además el dorso del espejo puede quedar pulido,

Capítulo 2: Realización del espejo principal (parte A)
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

lo cual constituye una ventaja. Por último, los proveedores de baldosas de vidrio translúcidas suministran discos de caras planas más o menos rugosas que son perfectamente utilizables para hacer herramientas económicas y aún espejos, puesto que tratándose de un vidrio algo grueso el recocido no puede jamás ser descuidado por el fabricante sin correr el riesgo de quebrarse por sí mismas al enfriarse. Ya sabemos que son necesarios dos discos del mismo diámetro para tallar un espejo ; el que se destinará a espejo debe ser elegido con algún cuidado, pero no importa la clase de vidrio que constituya la herramienta.

Al solicitar el diámetro es necesario aumentar en 1 cm la abertura nominal deseada pues hay que tener en cuenta el indispensable bisel y los defectos ópticos del borde extremo, que no siempre es posible evitar por completo. El espesor del espejo no debe elegirse al azar ; el montaje correcto de pequeños espejos se hace en la forma más simple apoyándolo sobre tres puntos sobresalientes de la base del tubo del telescopio, dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero exactamente inscrito en el contorno del vidrio ; la relación de A. Couder permite calcular entonces el espesor mínimo de un disco para que no represente flexiones de carácter óptico perjudicial en estas condiciones cuando el instrumento se encuentre vertical.

$$e \geq \frac{R^4}{10^2}$$

R = radio del espejo en cm. e = espesor del espejo en cm.

| D cm | e mm | Peso gr. |
|------|------|----------|
| 11,2 | 10 | |
| 10 | 8 | |
| 16 | 25 | 1250 |
| 18 | 27 | 1700 |
| 20 | 33 | 2600 |
| 22 | 40 | 3800 |
| 24 | 48 | 5430 |
| 30 | 71 | |
| 50 | 197 | |
| 80 | 504 | |
| 100 | 790 | |

En la tabla tenemos algunos ejemplos con espesores ligeramente aumentados teniendo en cuenta las pérdidas durante el desbastado. El peso del telescopio crece muy rápido en relación al peso del espejo ; un espesor inútilmente grande es pues mucho más oneroso de lo que podría pensarse a priori y presenta además, serios inconvenientes para el equilibrio térmico. Excediendo los 25 cm de diámetro es preferible complicar la celda antes que continuar respetando la relación, que conduciría rápidamente a espesores prohibitivos.

El espesor del disco herramienta puede ser menor ; de ahí la posibilidad de pulir con la herramienta arriba y presiones menores, lo que resulta ventajoso para la calidad de la forma. Se tomarán entonces baldosas de vidrio de aproximadamente 25 mm de espesor para las herramientas de hasta 20 cm de diámetro, y de 30 mm para aquellas que no excedan de 30 cm.

Abrasivos

El *carborundum* (carburo de silicio, SiC), obtenido industrialmente en el horno eléctrico es un polvo de color azul negro o verdoso, según la calidad, que se encuentra en el comercio. Los granos son clasificados por medio de tamices cuyo número de huecos por pulgada cuadrada define comercialmente el número. La gran dureza de este abrasivo permite ganar un tiempo apreciable en el desbastado ; el grano 80 (separado con el tamiz de 80 huecos en una pulgada cuadrada) es a menudo empleado por los aficionados, pero si el espejo no pasa de 20 cm de diámetro y su flecha de 1,5 mm, es preferible atenerse al grano No. 120 que deja pozos más fáciles de borrar. (Daremos las cantidades más adelante.) Algunos fabricantes tienen series muy amplias que se extienden hasta el No. 3200 y pueden servir para esmerilar y alisar completamente los espejos, sobretodo aquellos en vidrios duros como el Pyrex. En Colombia se consigue el carborundum hasta el número 400 ; para continuar el trabajo, nos contentaremos con desbastar y esmerilar con carborundum terminando el alisado con abrasivos menos duros :

El *corindón* industrial (corindite en algunos proveedores) está numerado por el mismo sistema que el carborundum pero es preciso notar que a igualdad de número produce pozos más pequeños y desgasta menos que el carborundum a causa de su menor dureza. El *esmeril* es el abrasivo que da los mejores resultados en el alisado. Se trata de la alúmina natural Al_2O_3 y se lo encuentra en forma de rocas (isla de Naxos) mezclado con diversas impurezas (óxido de hierro) que le confieren un tinte marrón o rojizo : después de la trituración se obtiene un polvo que por lo común es todavía clasificado por el viejo procedimiento clásico de la levigación y sobre el cual es necesario decir algunas palabras puesto que nos puede resultar útil.

Los granos de esmeril caen dentro del agua tanto más rápidamente cuanto más grandes son ; si se revuelve bien cierta cantidad de polvo en un recipiente lleno de agua y bastante alto, se concibe que al cabo de poco tiempo (contado en minutos y de allí el nombre de minutaje debido a la operación) no permanecerán en suspensión sino los granos demasiado finos para poder decantar durante este tiempo ; sacando el agua por medio de un sifón y dejando depositar el esmeril que contiene, se recogerá entonces el “esmeril de tantos minutos”. El decantado teórico se refiere a una caída dentro de un metro de agua ; prácticamente los esmeriles del mismo número vendido por diferentes proveedores son tan poco comparables entre sí como la rapidez de las emulsiones fotográficas dadas por diferentes fabricantes. Desgraciadamente éste no es su defecto más grave. Sin hablar del peligro de mezcla con los polvos más gruesos para los esmeriles vendidos al detal en bolsitas de papel y de las cuales nunca se desconfía lo bastante, es necesario llamar la atención sobre una operación importante que los proveedores no ópticos no realizan con sus esmeriles decantados : se trata del “lavado”. Cuando se recogen los esmeriles más finos utilizados en al práctica, es decir aquellos de 40 y 60 minutos, se obtienen no sólo los granos que no atraviesan un metro de agua en

40 ó 60 minutos, sino también todos aquellos que son aún más pequeños y comprenden una especie de harina que constituyen un barro muy perjudicial en un correcto trabajo de abrasión. Es como si se quisiera emplear el esmeril usado que está mezclado con residuos de vidrio ; para sacar partido de tales esmeriles es conveniente lavarlos muchas veces empleando un balde de una decena de litros, para máximo un Kg de esmeril ; se comienza por revolver bien durante varios minutos para separar completamente el barro de los granos útiles y se lo deja reposar el tiempo suficiente para que se deposite el esmeril útil ; el barro que sobrenada y el polvo que permanece en suspensión deben ser desechados con el agua del balde. Se renueva el agua y se comienza, hasta que el esmeril se deposite francamente en una masa marrón oscura o negruzca dejando un agua de decantación clara. Con los actuales esmeriles ordinarios del comercio podemos considerados afortunados si recuperamos el 50% del peso inicial como esmeril utilizable.

Los mercados americanos e ingleses tienen excelentes esmeriles blancos vendidos en cajas metálicas y que ofrecen todas las garantías : se encuentran los esmeriles de la British American Optical Co. En cajas de 5 libras de 457 gramos. El BM 302 ½ y para terminar el BM 303 ó 303 ½ bastan para obtener un excelente alisado con el máximo de seguridad.

Productos para pulir. Brea para tortas

Esta es una especie de resina segregada por los abetos del norte de Europa ; funde a los 60° pero a la temperatura ambiente se amolda muy bien a la forma del objeto si se le presiona largamente sobre él. Esta viscosidad de la brea quizá sea su cualidad más preciada ; debe evitarse dañarla por la adición de cera o de otros ingredientes. Las breas más famosas en óptica provienen de Suecia, Arcángel y Noruega, y se consiguen en toneles ; la que se compra en panes por lo general fue calentada sin precauciones por el minorista y ha perdido algunas de sus cualidades ; puede juzgarse sobre su calidad manteniendo un pequeño fragmento en la boca durante algunos minutos ; si se la puede masticar y estirar como chicle, es muy buena ; si se rompe entre los dientes se la puede mejorar adicionándole esencia de trementina, pero ésta no reemplazará a todos los solventes naturales que un torpe calentamiento le haya hecho perder. Como no es siempre fácil obtener la verdadera brea, mencionamos como productos de reemplazo aprovechables, la resina suavizada por el aceite de lino y la brea mineral convenientemente elegida, depurada y filtrada ; en general, para evitar accidentes con estas tortas, conviene recubrirlas con una delgada capa de cera de abejas. Más adelante volveremos en detalle.

Rojo para pulir

El óxido de titanio (blanco) y especialmente el óxido de cerio (rosado), empleados generalmente en la industria, no son recomendables para las grandes superficies de precisión ; a pesar de manchar, debe preferirse el rojo para pulir (conocido en Colombia como “rojo mineral” y utilizado en construcción) obtenido por la calcinación en contacto con el aire, del oxalato ferroso (y no del sulfato ferroso que da los rojos industriales, colcótar, etcétera). Muchos de los abastecedores de abrasivos antedichos venden rojos para la óptica o el pulido de espejos, pero la calidad de estos productos no es siempre suficiente y por lo general es útil mejorarlos haciéndolos hervir en agua y espumando la crema de apariencia grasa que debe desecharse. El buen rojo, como el

buen esmeril, cae francamente en el agua dejando clara el agua de decantación. La British American Optical Co. fabrica un excelente rojo designado por el No. BM 309 y puede obtenerse, como los citados esmeriles blancos en los mismos comercios.

El mejor medio para obtener un buen rojo es, calcinar uno mismo el oxalato ferroso. Se trata de un polvo amarillo que se encuentra en algunos almacenes de productos químicos (por lo menos en Bogotá ni lo conocen) ; se extiende una capa de 2 a 3 cm de espesor en una adecuada chapa de hierro que se coloca sobre un fuego vivo (basta un mechero de gas abierto totalmente). Conviene ventilar abundantemente el local, pues existe un notable desprendimiento de óxido de carbono. Al cabo de un cuarto de hora el polvo se tuesta parcialmente al contacto con la chapa ; se comienza en forma muy suave para evitar las proyecciones, a mezclarlo con una larga espátula metálica ; continuando el calentamiento, toda la masa bien removida se vuelve de color pardo, luego se abrasa como la yesca. Hay que proseguir la operación hasta que el fuego cese por sí mismo, lo que indica que la calcinación está terminada. se deja enfriar y se lava el rojo en un gran recipiente de limpieza verificada ; también se lo puede pasar a través de varios dobleces de medias de nylon o mejor por el más fino tamiz para harina que se pueda encontrar. El rojo se conserva en estado húmedo como los esmeriles, en pequeños frascos de vidrio de tapa hermética.

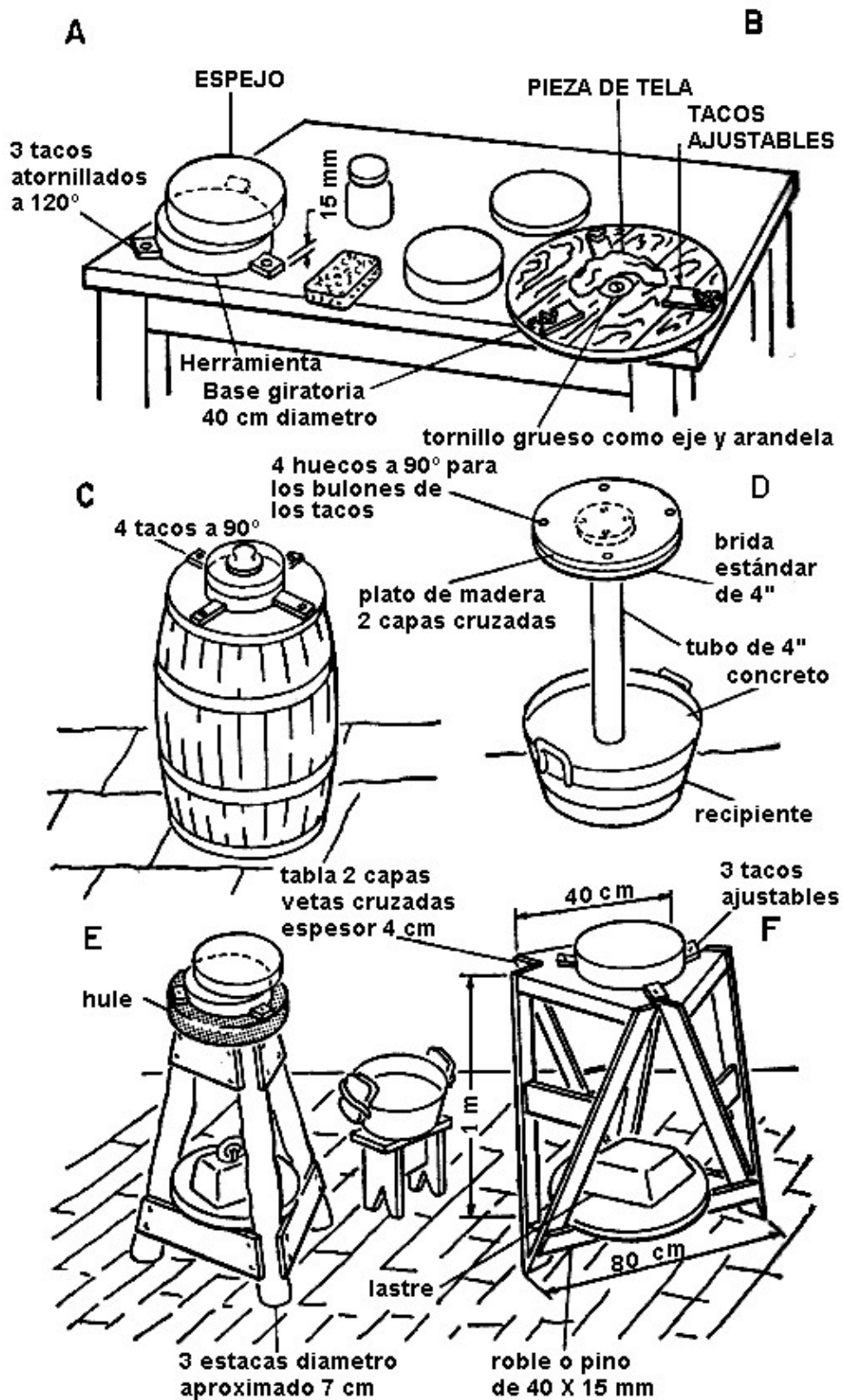
Resumen práctico y cantidades necesarias

Para facilitar a los principiantes la compra de los productos necesarios damos más abajo un cuadro de los principales abrasivos y productos para pulir, con su designación comercial. Hemos aumentado considerablemente las cantidades necesarias para tomar en cuenta las torpezas inevitables al comienzo y también por el hecho de que los proveedores no gustan vender pequeñas cantidades, especialmente en provincias, de artículos de poco valor comercial como el rojo.

| Operación | Cantidades | Carborundum | Esmeril |
|------------|----------------|-------------------------|-----------------|
| Desbastado | 1 Kg | 80 | |
| Esmerilado | 500 g | 120 | |
| | 500 g | 180 | |
| | 500 g | 280 | |
| | 250 g | 400 | |
| | 125 g | 600 | |
| Alisado | 125 g | | BM 302 ½ |
| | 125 g | | BM 303 ½ |
| Pulido | 1 Kg | Brea para óptica | |
| | 250 g | Rojo mineral | |
| | ó 500 g | Oxalato ferroso | |

Los números indicados no tienen nada de absoluto, son aproximados para producir buenos resultados ; además, si se suprime uno de los intermedios se debe prolongar suficientemente el trabajo con el anterior y el posterior de la tabla.

Material útil para tallar el espejo



Capítulo 2: Realización del espejo principal (parte A)
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

Es extremadamente reducido y en su mayor parte puede estar constituido por herramientas domésticas. Mencionamos especialmente :

El banco :

El trabajo a mano de los espejos es llamado “de banco fijo”. Éste puede ser realizado muy simplemente en el ángulo de un banco o de una fuerte mesa de cocina (figura 16A) en la que tres topes atornillados sobre la mesa impiden el arrastre del disco inferior, pero le permiten girar fácilmente o invertir los discos. La figura 16B muestra un perfeccionamiento de este montaje, compuesto de un plato giratorio que permite permanecer sentado frente al trabajo (como alguien en silla de ruedas) ; sin embargo, estas disposiciones no superan a las verdaderas mesas completamente aisladas que permiten circular fácilmente a su alrededor. Muchos ópticos famosos o clásicos (Draper, Metcalf, Ellison, etc) trabajaron sobre un tonel puesto verticalmente (figura 16C) suficientemente lastrado para que no se le pueda sacudir durante el trabajo. La figura 16D presenta un modelo de mesa regularmente adoptado por los aficionados norteamericanos. Los dos últimos modelos (figuras 16E y 16F) son empleados en el taller de la *Commission des Instruments*. El primero, construido por Luc Ott con tres postes de madera unidos por planchas, tiene una tapa que alcanza exactamente para un espejo de 20 cm, lo que permitió reducir al mínimo su tamaño. Construimos el segundo en el taller de la *Commission* inspirándonos en las patas de instrumentos bien concebidos ; se notará la considerable separación de los listones de cada una de las patas, permitiendo hacerlo trabajar casi exclusivamente por tracción o por compresión. Sea cual fuere la dirección del esfuerzo, se obtiene de este modo una rigidez muy grande con secciones mínimas de madera. Cualquiera que sea el modelo adoptado para la mesa, debe cumplir con los siguientes puntos :

Rigidez general y estabilidad : Es necesario prever esfuerzos importantes durante el pulido y un lastre suficiente. **Altura de la mesa :** según la talla del operador, podrá ser de 90 cm a un metro ; algunos prefieren alturas de 1,2 m y aún de 1,5 m, pero para trabajar sin fatiga la altura máxima es la que media entre el suelo y el codo. **Planicidad del plato** sobre el cual apoyará el vidrio ; a pesar de la interposición de redondeles de cordobán o de franelas es necesario allanar bien esta cara del apoyo ; por último es indispensable poder trabajar independientemente en la posición **espejo arriba o abajo** ; es necesario prever por lo menos un taco ajustable para las pequeñas diferencias de diámetro inevitables y a causa de las irregularidades del contorno.

El material menor comprenderá : uno o dos recipientes un poco más grandes en diámetro que el espejo ; cuatro o 5 esponjas no muy grandes (las esponjas vegetales de trama fina sirven perfectamente y son económicas) ; pequeños recipientes de vidrio con tapa para los abrasivos y el rojo, provistos de un indispensable etiqueta indicando el grosor y eventualmente el origen y la calidad ; es útil disponer de un calentador de gas o eléctrico provisto de una chapa de hierro un poco más grande que el espejo y que tenga como mínimo 3 mm de espesor ; si fuera posible, un pico de bunsen con llama luminosa , o en su defecto, una vela ; por último, cierta cantidad de trapo blancos, la cuchilla de un cepillo de carpintero bien afilado, un cincel, un pequeño pincel para el rojo, etc.

Para el control del desbastado, resultará útil una regla de mecánico o un buen calibrador ; podrá utilizarse un esferómetro pero no es absolutamente indispensable.

Tendremos ocasión de describir en detalle el aparato de control por el método de Foucault, que será fácil construir personalmente.

Operaciones anexas

El vidriero nos entrega los discos con un recortado sumario con el cual casi siempre nos conformamos. Ciertamente un espejo bien montado debe apoyar a lo sumo sobre 2 ó 3 puntos a 120° sobre su contorno y por lo tanto no es necesario que sea perfectamente redondo y centrado como el lente de un objetivo. Pero indudablemente es preferible un borde bien circular y esmerilado fino ; no sólo por una razón estética, sino que se debe pensar en la facilidad de la limpieza en el momento del aluminizado ; un borde rugoso retiene toda clase de impurezas (rojo de pulir etc.), muy difícil de eliminar completamente. No escribiremos la operación de recorte propiamente dicha puesto que sistemáticamente deseamos evitar la suposición de que el lector posea un máquina costosa (torno, taladro de pie), pero recomendaremos regularizar las asperezas de los discos en bruto.

Si se tiene un pequeño torno, puede ser improvisado con un cojinete horizontal, se puede pegar el espejo con breá sobre el plato superior centrándolo aproximadamente (ver figura 16). Al mismo tiempo se pega cerca del borde una empuñadura que sirve de manivela (figura 17A). Merced al movimiento de rotación, hecho posible de este modo, es fácil regularizar rápidamente las salientes y las asperezas por medio de una simple banda de zinc de 0,5 mm de espesor, un poco más ancha que el espesor del espejo, que sirve de soporte para el abrasivo interpuesto. Este sistema da fácilmente bordes regulares, pero evidentemente no puede corregir errores muy notables como sería una débil ovalización ; mas esto carece de importancia.

Si se renuncia al uso de la banda, es exactamente lo mismo igualar las asperezas y reducir el grano del contorno por medio de una piedra plana de carborundum (# 220 por ejemplo) y a falta de ésta, con un trozo de hierro plano o de latón que se frotará con el abrasivo interpuesto (figura 17B).

Mientras usamos la piedra de carborundum, igualemos también los bisel de ambas caras o aumentemos su tamaño ; un bisel de 2 mm a 45° o un borde redondeado con este radio puede convenir para un espejo de cerca de 20 cm de diámetro ; durante el trabajo de frotamiento tiende a desaparecer y es absolutamente necesario evitarlo ; si alguna de las caras tiene un borde cortante, se producirán serias escamas al menor choque contra un cuerpo duro ; el bisel que más se gasta es el de la herramienta y es conveniente darle desde el principio 3 ó 4 mm de ancho y aún así quizá sea necesario rehacerlo antes de finalizar el desbastado.

Por último, verifiquemos que las caras del disco espejo sean sensiblemente paralelas ; un error prismático de 0,1 ó 0,2 mm no tendría gran importancia y por otra parte sería

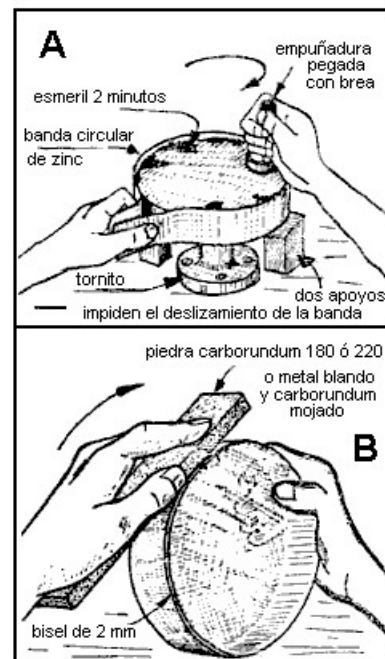


Fig 17. Nivelado rápido de las asperezas del borde

fácil corregirlo ; si llega a 1 mm es menester corregir el disco por la fábrica para evitarnos un aumento inútil del trabajo de desbastado. La cuestión del paralelismo no se presenta evidentemente, con los discos para ojos de buey recortados del vidrio de Saint Gobain, cuyas caras generalmente son paralelas con aproximación de una decena de micrones.

Desbastado del espejo

Ante todo, es necesario escoger la cara del disco espejo que se ha de excavar. Si el vidrio presenta en una de sus caras rugosidades superficiales (como las de las baldosas de vidrio) que no tengan más de 1 a 1,5 mm de profundidad, es ésta la cara que debe elegirse, pero naturalmente se tomará la otra si existen fracturas profundas que amenacen no desaparecer totalmente durante el desbastado, o burbujas capaces de formar “puntos hundidos” sobre la superficie óptica. Cuando el disco tiene ambas caras esmeriladas, es más fácil señalar los defectos internos por transparencia, mojándolo o mejor aceitándolo por ambos lados.

Pegando una manija en el reverso se facilita el manejo de los pequeños espejos delgados, pero esto no tiene absolutamente nada de indispensable y hasta es perjudicial durante el pulido. Recordemos a aquellos que peguen una manija, que la brea adhiere mal sobre un cuerpo frío, sobre todo si éste es buen conductor ; es necesario calentar el espejo antes del pegado ; un método rápido y sin riesgos consiste en sumergirlo durante unos minutos en agua tibia (35° a 40°C ; la mano experimenta una sensación de calor no dolorosa) ; al sacarlo del agua, cuidarlo de los enfriamientos bruscos (corrientes de aire) y secarlo cuidadosamente antes de volcar en el centro un poco de brea fundida ; colocar la manija y centrarla con referencia al contorno antes del enfriamiento.

La brea fría es frágil y cede ante el menor choque brusco ; para despegar la manija si el vidrio está frío basta golpearla secamente con un pequeño mazo de mango algo flexible.

Comienzo

La herramienta está convenientemente colocada sobre la mesa (se puede dejar 1 mm de juego para poder girarla o levantarla sin dificultad). Extendamos sobre su superficie 1 ó 2 cm³ de carborundum 80 ó 120 extraídos del recipiente donde se lo mantiene en estado húmedo, arrojemos con los dedos algunas gotas de agua suplementarias, pongamos el espejo encima y frotemos. Para obtener buen rendimiento y el rápido vaciado de la concavidad se atenderán las siguientes normas :

1. Sacar el espejo todo lo posible ; el centro del espejo puede llegar sin riesgos hasta 1 ó 2 cm del borde de la herramienta y las carreras rectilíneas dirigidas siguiendo cuerdas (figura 18A) podrán tener una decena de cm en vidrios de 20 cm ; una pequeña experiencia indicará el límite no peligroso para el balanceo del espejo al borde de la herramienta. Se pueden hacer de 5 a 10 carreras rectilíneas sobre el mismo lugar ; luego se gira el espejo entre las manos una fracción de vuelta y se reanuda el trabajo en otra fracción de vuelta en sentido contrario al la del espejo desplazándose alrededor de la mesa. Si ésta permite la rotación completa del operador, la herramienta puede permanecer inmóvil ; en caso contrario se la hará girar en conjunto con el espejo en la misma dirección del giro de éste. Ejemplo : si giró el espejo 10°, debe girar el conjunto 10°. El espejo habrá girado 20° y la herramienta 10°. La idea es utilizar de manera

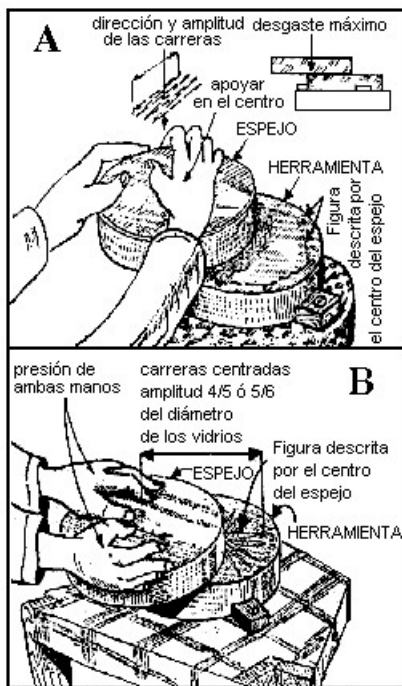


Fig 18. Carreras del desbastado

regular toda la periferia. Puede verse en la figura 18A, la figura descrita por el centro del espejo en el transcurso de este trabajo.

Es completamente inútil girar con rapidez en torno de la mesa, sobre todo en el desbastado ; todo el trabajo se realiza por el movimiento de vaivén. A título informativo digamos que pueden hacerse de 60 a 80 dobles (ida y venida) carreras cada una o dos vueltas alrededor de la mesa y durante este tiempo, por ejemplo, se habrá hecho girar el espejo tres o cuatro vueltas. Es inútil decir que resulta pueril empeñarse en respetar exactamente estos valores.

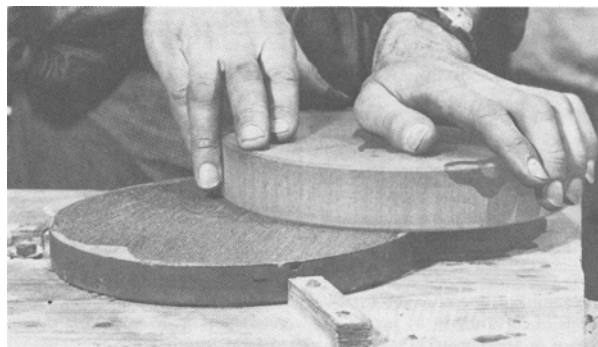
Cuando los discos tienen caras muy rugosas hay que gastar también un poco el borde del espejo. En este caso es ventajoso emplear carreras centradas (figura 18B) de amplitud muy grande : 5/6 del diámetro del espejo, equivalente a 16 cm con uno

de 20cm y aún más.

2. Ejercer gran presión sobre el vidrio. El carborundum 80 no rinde toda su eficacia sino cuando se le aplica una presión suficiente ; no hay que temer apoyarse con todo el peso sobre el centro del vidrio (figura 18A). Si el espejo es delgado y muy liviano puede ser ventajoso adherirle, a modo de manija y para el desbastado únicamente, un peso de varios kilos.

3. Mojar correctamente el abrasivo. Si hay exceso de agua el carborundum es proyectado hacia los bordes antes de haber podido rendir toda su eficacia ; si está muy seco se reparte mal, no se elimina el polvo de vidrio producido por la abrasión y forma una mezcla que paraliza el movimiento a costa de la eficacia. Se advierte que la proporción es correcta por el intenso ruido de la abrasión con el carborundum del desbastado. A pesar de su gran dureza, el carborundum no resiste largo tiempo tal trabajo ; al cabo de pocos minutos (dos a cuatro minutos, según la cantidad inicial de abrasivo y de la energía gastada) se debilita el ruido de la abrasión y el polvo de vidrio fija el agua. Podría prolongarse un poco más el trabajo agregando la cantidad necesaria de agua para limpiar el carborundum sin perder los granos útiles, pero es ventajoso para el rendimiento interrumpir el trabajo, enjuagar completamente ambos discos, secarlos brevemente y recomenzar con nuevo carborundum. Se acaba de hacer lo que en términos de taller se llama “una secada” o “una mojada”.

El desbastado de un espejo de 20 cm a $f/D = 6$ requiere aproximadamente 3 horas de trabajo en estas condiciones,



pero un principiante no deberá asombrarse si necesita un tiempo doble.

Control del radio de curvatura

Elegido el diámetro útil y la relación f/D, queda fijada la longitud focal del espejo y en consecuencia su radio de curvatura, que vale el doble de esa longitud focal. Por ejemplo, el espejo estándar de 20 cm de f/D = 6 tiene una longitud focal de 20 X 6 = 120 cm y un radio de curvatura de 240 cm. Poco importa respetar exactamente el valor elegido, puesto que no construiremos el tubo del instrumento sino cuando poseamos la parte óptica ; además el radio de curvatura puede ser vigilado durante el desbastado por métodos bastante rudimentarios, con aproximación de algunas centésimas.

Lo más cómodo es cortar una plantilla que puede trazarse con un compás de vara sobre una lámina de metal, fácil de cortar exactamente con la tijera (el zinc es muy conveniente), o mejor recortarlo directamente con la punta de un compás de vara tallado en bisel (figura 19A). La apreciación de la luz entre la plantilla y el vidrio es un medio

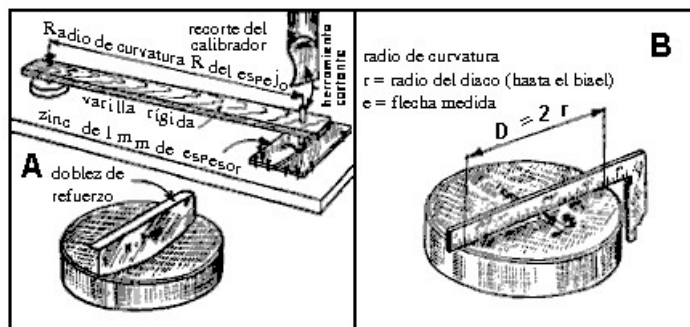


Fig 19. Control rápido del radio del desbastado

sensible si la iluminación es intensa, pero hay que presentar la plantilla en diferentes posiciones para poner de manifiesto sus propios defectos.

Si se posee un buena regla de mecánico (puede ser la de un buen calibre) se puede asimismo medir la flecha de

curvatura, es decir, el hueco que tiene el vidrio en el centro. El radio de curvatura R se obtiene por la siguiente fórmula :

$$R = \frac{r^2 + e^2}{2e}$$

en la cual : r es el radio útil del espejo, es decir, el semidiámetro sobre el cual reposa la regla.

e es la flecha de curvatura, que se mide pasando por el centro calzas de espesor conocido (figura 19B).

Cuando la calza es muy gruesa, la regla se balancea ; cuando es muy delgada, pasa libremente sin tocar la regla. Como ejemplo supongamos que nuestro espejo mide hasta el bisel 197 mm (r = 98,5) y que hemos encontrado una flecha e de 1,9 mm. El radio de curvatura mide entonces : 2554 mm. Si queremos un radio de 2400 hay que continuar excavando para obtener aproximadamente 2 mm de flecha, pero no tratemos de "terminarlo" ; las superficies obtenidas en el desbastado requieren ser mejoradas en forma y finura y no tendremos ninguna dificultad en obtener un radio más exacto en el curso del trabajo.

Fin del desbastado

Sobre la figura 20, donde las curvaturas están muy exageradas para la claridad del dibujo, se ve que en la posición muy excéntrica del disco espejo, adoptada durante el desbastado, el desgaste de ambos discos no ha sido regular : en el borde del espejo queda una zona circular plana y en el centro de la herramienta una pequeña "mosca". La diferencia con la esfera puede exceder 0,1 mm en un espejo de 20 cm y deberá terminarse el desbastado por un método menos rápido pero que corregirá este defecto. Esto es difícil y basta continuar el trabajo con carreras aproximadamente centradas como indica la figura 18B pero con una amplitud total del movimiento que no exceda ahora la mitad del diámetro de los discos.

Durante este trabajo la zona circular y la "mosca" desaparecen ; puede ocurrir también que se exceda la flecha de curvatura y en este caso basta continuar el trabajo con el espejo abajo y

comunicar a la herramienta exactamente los mismos movimientos que se dieron anteriormente al espejo. Para este desbastado final y con el objeto de limitar la profundidad de las fracturas del carborundum, siempre trabajosas de eliminar, es natural que suspendamos la aplicación de grandes presiones ; es suficiente el peso del espejo o el de la herramienta adicionada al correspondiente a las manos del operador apoyadas en forma natural. La plantilla siguiendo un diámetro, mostrará fácilmente si el vidrio tiene aproximadamente el radio de curvatura y la forma deseada ; las operaciones de esmerilado y alisado que seguirán, mejorarán rápida y automáticamente de esta forma, de modo que resultarán innecesarios los medios mecánicos de control.



Fig 20. Deformación de los vidrios desbastados

Esmerilado y alisado

Ante todo hay que limpiar cuidadosamente y con abundante agua todos los objetos que han sido tocados por el carborundum : espejo, herramienta, mesa, soporte, etc. Cuidaremos especialmente los intersticios capaces de haber retenido el abrasivo grueso ; los tacos laterales de la mesa serán desmontados, cepillados dentro del agua o, mejor aún, cambiados ; La manija eventual puede ser quitada entretanto y lavado el dorso del espejo. Si la mesa no tiene hule, antes de colocar nuevamente los tacos se la recubrirá con un papel blanco, que será renovado a cada cambio de abrasivo y la misma precaución es conveniente para la mesa de trabajo, que recibirá los accesorios indispensables. Si no se puede disponer más que de un recipiente para el agua, hay que enjuagarlo varias veces y asegurarse que ni por dentro ni por fuera muestre pequeños y brillantes puntos de carborundum. El recipiente y la esponja del carborundum serán puestos fuera del taller.



Fig 21. Carreras normales

Estas precauciones nada tienen de pueriles ; un solo grano de carborundum en el final del alisado puede arruinar el fruto de un día de trabajo y los negligentes pronto adquirirán prudencia.

Capítulo 2: Realización del espejo principal (parte A)
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

Se prosigue el trabajo con el carborundum 120 cuyos granos dejan fracturas menos profundas debido a su menor tamaño. Desde ahora y de manera general adoptaremos para el resto del trabajo carreras normales, sobre las cuales hay que llamar especialmente la atención : consisten en un movimiento de vaivén casi centrado (figura 21) cuya amplitud total es aproximadamente de 1/3 del diámetro de los discos (en consecuencia deben sobresalir 1/6 hacia cada lado, o sea 3 a 4 cm con un espejo de 20 cm) con un desplazamiento lateral constantemente variable pero limitado a cada lado a 1/8 como máximo. La forma de las carreras puede también parecerse a una V o a una W o a un rizo más complicado tal como ∞ por ejemplo. Cada 5 ó 6 carreras se gira un poco el disco superior entre las manos mientras que gira uno mismo como durante el desbastado. Lo que es esencial en todo esto es sólo respetar más o menos por término medio la amplitud de 1/3 y variar las carreras lo más posible de modo de no trabajar siempre sistemáticamente de la misma manera ; la ley de los promedios hará el resto y, si no se llega a cometer una torpeza excepcional y sistemática (presión anormal de las manos siempre en el mismo punto de la carrera), las superficies no se apartarán en promedio de la esfera sino en una magnitud muy inferior al diámetro de los granos del abrasivo interpuesto.

Para el correcto empleo del abrasivo se tendrán en cuenta las indicaciones hechas anteriormente, pero en cuanto al peso, solo intervendrá el del disco superior más el de las manos del operador normalmente apoyadas, que no tienen otro objeto que dirigir el movimiento de vaivén. El alisado se hará de modo uniforme y sin cambio apreciable de la curvatura si se hace alternativamente una mojada con el espejo arriba y otra con el espejo abajo. Únicamente al comienzo es cuando la plantilla puede indicarnos realizar varias mojadas continuas en la misma posición para respetar mejor la curvatura. Con el espejo arriba se aumenta la concavidad y se la disminuye si es la herramienta la que está encima.

Después de 2 ó 3 mojadas con carborundum 120, un examen rápido por reflexión podrá hacer creer que las fracturas causadas por el carborundum 80 fueron eliminadas, pero si examinamos el vidrio por transparencia frente a una fuerte lámpara, veremos pequeños puntos brillantes esparcidos sobre el fondo uniforme trabajado por el C-120 ; también hay escamas no desprendidas, invisibles por el momento, pero que saltarán al continuar el trabajo dejando nuevos pocitos. Es pues necesario continuar el trabajo con el C-120 hasta que estemos seguros de haber eliminado todos estos accidentes, lo que nos exigirá 15, 20 o más mojadas. De todas maneras, el C-120 aún deja fracturas desiguales ; se suspenderá el trabajo cuando se compruebe que los accidentes anormales localizados en la mojada precedente por un círculo de lápiz hecho en el dorso del espejo no se hallan más en el mismo sitio.

| Número de mojadas para eliminar el grano precedente | Abrasivo |
|---|----------|
| 15 a 20 | C-120 |
| 10 | C-180 |
| 10 | C-280 |
| 10 | C-400 |

| | |
|---|-----------|
| 6 | C-600 |
| 6 | M-302 |
| 4 | M-303 1/2 |

El trabajo de esmerilado se prosigue del mismo modo con los (carborundum) C-180, C-280, C-400 y C-600, sin olvidar el lavado del material a cada cambio de número. Para los que tengan dificultad en apreciar en qué momento se puede cambiar de abrasivo, indicamos el número de mojadadas (cada una de 5 a 10 minutos de trabajo efectivo) normalmente suficientes para un espejo de 20 cm con el abrasivo adecuado y bien empleado.

En caso de duda, es preferible prolongar un poco el trabajo antes de pasar prematuramente de un abrasivo a otro. Con el carborundum 180 se ajustará lo mejor posible el radio de curvatura del espejo al del calibrador y también se podrá alisar el dorso del espejo si tenemos un disco desbastado con arena. Para ello nos serviremos del revés de la herramienta trabajando con carreras normales de 1/3 con el espejo arriba para obtener un revés más bien ligeramente cóncavo que convexo.

Puede utilizarse la misma esponja para los carborundum 120 y 180, pero es necesaria otra para los C-280 y C-400, y otra para el C-600. Una última completamente nueva, para los esmeriles M-302 y M-303 ½. Si se trata de una esponja natural, antes de mojarla hay que golpearla mucho con un mazo para eliminar los sedimentos calcáreos o silíceos que encierra.

El alisado

El alisado propiamente dicho comienza con el M-302 ; su calidad depende mucho de la del esmeril, y todavía más de la manera de utilizarlo. Para reducir al mínimo los riesgos de rayado y asegurarse una total eficacia en el trabajo, se pondrá especial cuidado en emplear la cantidad justa de esmeril y la conveniente de agua en cada mojada.

Intentemos dar una idea concreta, que no puede reemplazar a la experiencia directa, sobre la manera de operar : Se comienza siempre con los discos lavados y secados ; nos aseguraremos de que nada quede sobre la superficie pasándole la palma de la mano.



Utilizando los dedos se extiende luego el esmeril húmedo de modo de cubrir total y uniformemente uno de los discos ; la cantidad suficiente para uno de 20 cm es aproximadamente, el volumen de un guisante grande. Tiene mucha importancia la cantidad inicial de agua ; hay que proyectar con los dedos mojados suficiente cantidad de agua para obtener una brillante película de esmeril, pero sin que puedan recogerse gotas excedentes si se inclina el vidrio. Con precaución se apoya el segundo disco y se hacen algunas carreras para repartir el esmeril, aligerando el vidrio de una parte importante de su peso ; se debe sentir y oír morder el esmeril sobre toda la superficie.

Si hay mucha agua, el esmeril desde el comienzo del trabajo se corre al borde ; si es escasa, se forma prematuramente una papilla seca de esmeril usado y vidrio que paraliza el movimiento. En ambos casos el espesor de la película de esmeril no es uniforme ; hay contacto de un vidrio con el otro y es posible una rayadura. A la temperatura de 20° C una mojada de esmeril fino debe durar 8 ó 10 minutos sin renovación de agua, pero esta duración no se aconseja a los principiantes. No hay que olvidar en cada mojada, invertir la posición de los discos. Durante la posición espejo abajo hay que cuidar el apoyar el vidrio sobre una mesa bien plana con la interposición de un disco de franela o muletón ; los tacos laterales permitirán un pequeño juego al disco. Estas precauciones son necesarias si se quiere evitar que tensiones mecánicas perturbadoras, deformen el vidrio en una medida superior a los apartamientos de la esfera que un alisado bien conducido permite obtener automáticamente.

Cualidades de un buen alisado

Especialmente se pondrá cuidado en obtener un grano homogéneo ; hay que lograr la desaparición de accidentes anormales. El examen por transparencia con una buena lupa (10X) no debe mostrar más que un fondo de fracturas muy pequeñas y uniformes, sin pequeños defectos diseminados, brillantes o negros. El tamaño de las fracturas elementales es de relativa importancia a partir del M-303 ½ aproximadamente ; desde este momento no se logra sino multiplicar los riesgos de rayaduras sin real beneficio para el pulido (cuando se trata de grandes superficies trabajadas vidrio sobre vidrio). Aun con esmeriles de finura y homogeneidad excepcionales como el BM-305 (granos de 2 a 5 µm) subsisten accidentes muy dispersos ; tratar de eliminarlos completamente llevará tanto tiempo como el pulido completo de toda una superficie obtenida con el M-303 ½ (granos de 10 µm). En este último caso, los pozos estarán simplemente distribuidos en forma más homogénea.

Es necesario también para obtener la mayor homogeneidad posible con un esmeril dado, cumplir con largueza la cantidad de mojadas ; en caso de duda las cantidades precedentes deberán ser aumentadas. La última mojada de M-303 ½ exige especial cuidado y será realizada en la posición espejo abajo. Un práctico experimentado logra refinar el esmeril por un trabajo prolongado con la misma carga durante 12 ó 15 minutos. En este caso es indispensable la renovación del agua en el curso del trabajo, lo que resulta bastante delicado y no hay que esperar que la mojada esté muy avanzada para hacerlo. Las gotas de agua salpicadas con los dedos son a menudo muy grandes ; debe intentarse depositar muy poca agua de manera uniforme y sin separar los discos que estarán en posición excéntrica, utilizando un pequeño atomizador o pasando el dedo sobre los pelos de un pequeño cepillo duro y mojado. Se termina el trabajo con el esmeril lo más seco posible pero sin presión anormal de las manos, con cuidado de que ambos discos no se peguen cuando la película de esmeril es muy delgada, y atendiendo a que el movimiento no se vuelva muy duro, por el riesgo de deformar las superficies.

Será mejor que el principiante no trate de refinar el esmeril ; se contentará con prolongar la última mojada con el espejo abajo, sin tratar de renovar el agua.

Lord Rayleigh hizo notar que con una superficie alisada se puede obtener una imagen reflejada bajo un ángulo tanto más cercano a la normal cuanto más fina es la estructura de la superficie. Un espejo bien alisado debe mostrar una pálida imagen roja de un

filamento de bombillo sobre un fondo negro, bajo un ángulo de 30 a 45° con el plano de la superficie (figura 22). Este ensayo no es concluyente ; la superficie puede volverse reflectora aún para la incidencia normal, por una especie de pulido superficial realizado con un esmeril muy fino completamente pulverizado o por un trabajo de esmeril sobre brea (prepulido) ; esto no quiere decir que no subsistan entre las superficies suficientemente niveladas como dar la imagen reflejada, accidentes profundos que no podrán ser pulidos. No debe confundirse superficie brillante con superficie pulida.

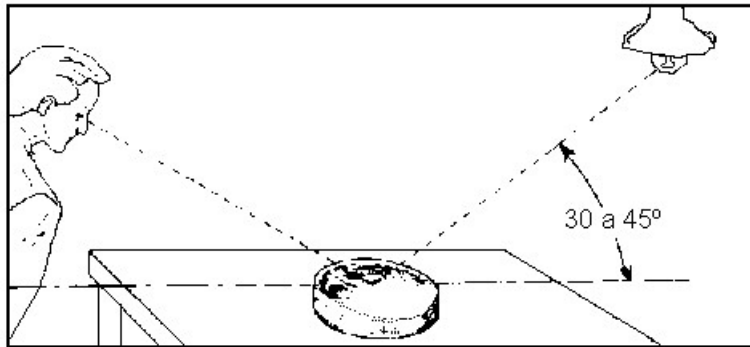


Fig 22. Poder reflector de una superficie alisada

Fracaso en el alisado

Rayado. Para eliminar una rayadura, aunque sea débil es necesario generalmente reanudar el trabajo con el carborundum 400 o quizá con el C-280 o aún el C-180 para los casos extremos, causados por un grano de abrasivo

grosso o por una grave torpeza. Desgraciadamente no siempre es posible mejorar el esmeril comercial por levigación y lavados repetidos ; si el fracaso persiste lo mejor será cambiar de proveedor o adherirse a un grupo local de talladores de espejos que puedan ser mejor abastecidos.

Pegado de los discos. Este accidente, muy raro con esmeril, al punto de que nosotros jamás lo tuvimos en la Comisión, puede sobrevenir bruscamente si se trata de refinar al extremo un esmeril fino. La separación de los discos puede ofrecer dificultades, pero los métodos violentos deben evidentemente descartarse. R. W. Porter ha citado el empleo de una prensa de madera para actuar sobre los discos, que generalmente quedan en posición excéntrica. Si bien los pareceres están divididos, se estima que la introducción de kerosene por los bordes puede facilitar las cosas.

Forma incorrecta de las superficies. Éste es el más grave de los fracasos ; una hipérbola en el alisado, por ejemplo, no tiene remedio. El lector que aplique las carreras normales indicadas precedentemente, con el espejo arriba y abajo, seguramente no engendrará un defecto de esta clase. Si al comienzo del pulido se observa que solamente se aclara el centro o el borde del espejo no hay que insistir y debe reanudarse el alisado a partir del M-302 cuidando que la amplitud de las carreras no exceda en mucho 1/3 del diámetro

Generalidades sobre las tortas.

Los pulidores de paño, muy empleados por los fabricantes de gafas y para la óptica ordinaria, no sirven para los trabajos de precisión a causa de la “carne de gallina” que producen. Los antiguos ópticos, especialmente **Foucault**, los hermanos Henry, algunos aficionados como Vincart y ciertos fabricantes de largavistas obtuvieron buenas superficies ópticas con tortas de papel ; esta técnica ha caído no obstante en desuso tanto por la dificultad de obtener por este medio superficies completamente pulidas cuanto por la gran experiencia profesional necesaria para lograr un buen resultado. El

aficionado A. W. Everest ideó una herramienta, utilizada generalmente por los aficionados, que merece cierta atención : se la realiza con facilidad empleando una hoja de cera estampada de las preparadas para marcos de colmenas (Honey Comb Foundation, de aquí la designación abreviada H. C. F.) que se pega a la herramienta utilizada para alisar y se moldea sobre yeso contra el espejo. Los delgados tabiques de los alvéolos de cera hundidos por el pasaje de una lámina delgada para facilitar la repartición de la papilla de rojo y aumentar la adherencia, pulen rápidamente y con el mínimo de riesgos de rayado. Desgraciadamente, presenta un gran inconveniente : esta herramienta produce ondulaciones muy graves que dependen de la dimensión de las células ; los errores elementales de forma son también muy importantes y capaces de difundir una cantidad notable de luz, aun cuando el pulido físico sea muy completo. Tendremos ocasión más adelante de dar un ejemplo, a propósito de los métodos de control. Además la forma general conseguida corre el riesgo de resultar catastrófica en manos inexpertas, puesto que no se produce automáticamente un ajuste de la forma con un cuerpo rígido como la cera, que se gasta pero no se prensa. No obstante la relativa facilidad de eliminar defectos notables con adecuadas bandas de cera, no osamos recomendar su empleo ni aun a los debutantes, poco exigentes en cuanto a la calidad de su espejo.

Desde hace una cincuentena de años, profesionales y aficionados utilizan casi exclusivamente tortas de brea. En la industria, para la óptica de mediana precisión, trabajada a máquina, se emplean tortas llenas, constituidas por una mezcla de brea y cera negra u otros ingredientes menos deformables que la brea. Por el contrario, las grandes superficies de precisión, son pulidas con herramientas capaces de adaptarse con más exactitud, constituidas por panes de brea pura. Muchos aficionados se contentan con cavar canales ortogonales (perpendiculares) en una herramienta llena; pero es preferible preparar primero cuadrados de brea que serán pegados individualmente sobre la herramienta según una técnica ya utilizada por Alvan Clark, Common, Ritchey y que es

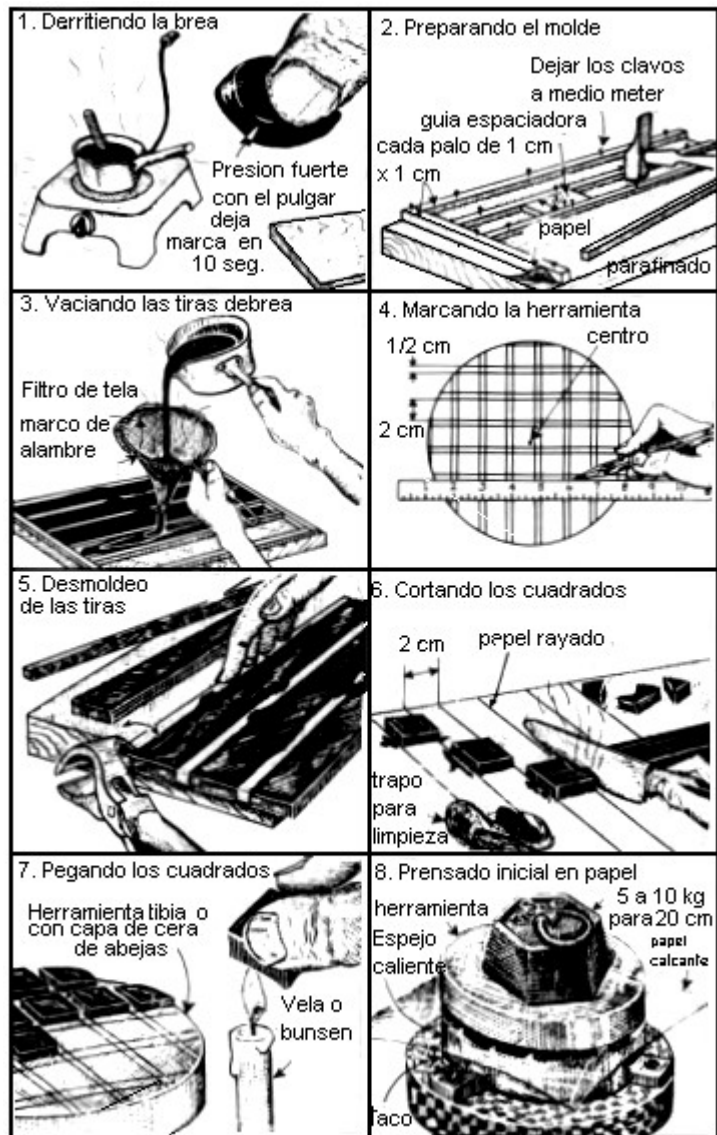


Fig 23. Fabricación de la torta de brea

Capítulo 2: Realización del espejo principal (parte A)
Del libro: El telescopio del aficionado de Jean Texereau
Página mantenida por: Jorge López jorgealm22@yahoo.com
Visite mi página: www.geocities.com/jorgealm22
Actualizada el 03-sep-2003

mucho más apta para producir una torta perfecta, factor importante para el buen éxito.
Únicamente nos ocuparemos aquí de este tipo de herramienta.