

Puesta en marcha del taller de fabricación de lentes oftálmicas de la EUOOT

Santiago Royo
Jesús Caum
Eva Durán

Escuela Universitaria de Óptica y Optometría
Universidad Politécnica de Cataluña, Terrassa

Recientemente, la Escuela Universitaria de Óptica y Optometría de Terrassa (EUOOT) ha adquirido el equipamiento necesario para la fabricación de lentes oftálmicas. En el presente artículo se presenta el taller de fabricación de la EUOOT, sus objetivos y sus capacidades actuales, centrándose especialmente en el procedimiento de puesta en marcha del laboratorio. Para ello, se describen las principales etapas del proceso de fabricación de una superficie oftálmica, la maquinaria disponible en la EUOOT para cada una de esas etapas y los parámetros a ajustar en el proceso de puesta en marcha de los diferentes sistemas implicados. Se describe, en la parte final, un ejemplo de los usos docentes del laboratorio que se realizan en la actualidad.

Palabras clave:

Lentes oftálmicas. Tecnología óptica. Fabricación de superficies. Calibración de maquinaria.

Recently, the Opticianry and Optometry School in Terrassa (EUOOT) has acquired the equipment required for performing ophthalmic surfacing procedures. The present paper describes the ophthalmic fabrication workshop in the EUOOT, its objectives and present capabilities, but mainly deals with the set-up process of the laboratory. For this purpose, the main steps of the fabrication process are described, the equipment used in the EUOOT is presented, and the main parameters to be adjusted in the systems performing each of the steps to yield a proper fabrication procedure are discussed in extent. In the final paragraph, an example of the teaching uses to which the laboratory is presently devoted is presented.

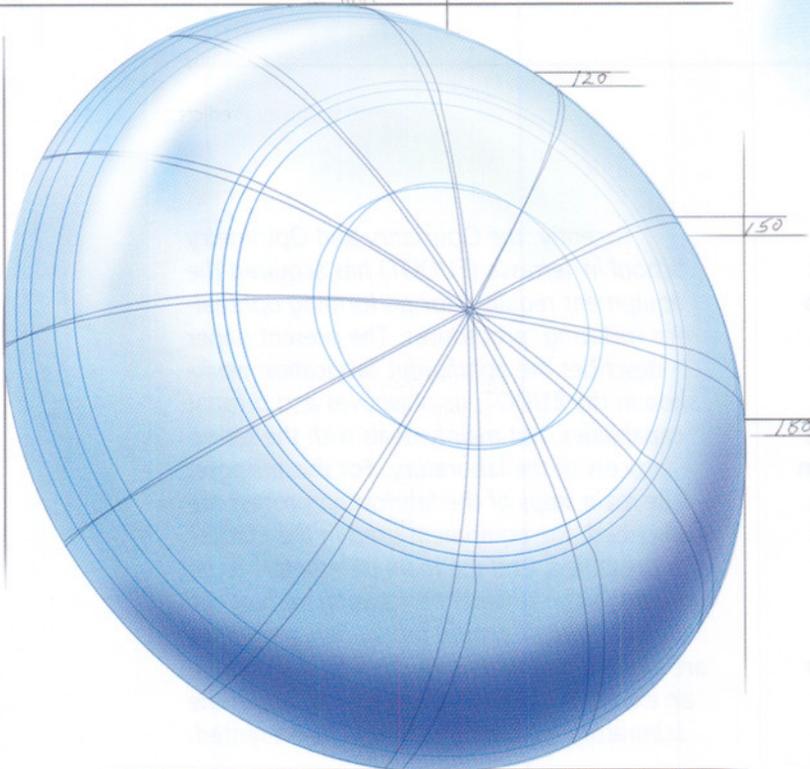
Correspondencia
Santiago Royo
Tel.: 937 398 904
e-mail : royo@oo.upc.es

ADAPTACION
GARANTIZADA
¡Pruébala!

Eficacia en ASTIGMATISMOS

Biolens toric

Más de un 90%
de éxito



Con nuestro diseño de corte
único conseguimos una buena
estabilidad y excelente tolerancia.

- Toro interno

Cilindros: -0,75 -1,25 -1,75



PACK de 6 lentes



☎ 902 100 435

☎ 900 100 151

🌐 www.eurolents.es

✉ eurolents@eurolents.es

El objetivo de la formación de los estudiantes de la Diplomatura en Óptica y Optometría precisa de la presentación de todas las vertientes de la profesión, aunque no todos los posibles conocimientos sean de aplicación inmediata para cada estudiante en su futura labor profesional. La presentación de todos estos contenidos completa una visión general del sector, y permite al estudiante formarse globalmente y elegir la vertiente de la profesión por la que se siente más atraído, además de capacitarle para el desarrollo de diferentes posibilidades profesionales.

La fabricación de lentes oftálmicas había sido tradicionalmente un aspecto de la profesión en que un número muy reducido de estudiantes encontraba salida profesional, con lo que una presentación formal de los métodos utilizados en la industria resultaba suficiente en la formación del óptico-optometrista. En años recientes, la eclosión de los talleres de fabricación de lentes oftálmicas en la misma óptica "sus lentes en 1 hora" había supuesto un desafío a la docencia en la Diplomatura, dado que cierto número de estudiantes pasaba a desarrollar estas tareas y los recursos de que se disponía para transmitir los conocimientos relativos a la fabricación de lentes oftálmicas se limitaban a la presentación de figuras, fotografías y esquemas procedentes de fuentes que normalmente eran de carácter comercial, no mostrando siempre los aspectos más adecuados para la comprensión de los fundamentos de la fabricación de las lentes. El recurso complementario disponible consistía en el desplazamiento de los estudiantes hasta plantas de fabricación próximas a la EUOOT, solución que presentaba los problemas de coste y organización asociados al traslado de grupos grandes de estudiantes. Por otro lado, el elevado número de estudiantes asistentes a estas sesiones complicaba las explicaciones en la misma fábrica, de manera que sólo unos pocos disponían de la información completa de cada proceso, y, en la práctica, nadie la tenía de todos los procesos que se presentaban.

Por estas razones, entre otras (que incluyen la disponibilidad de determinadas lentes de elevado coste para la realización de prácticas de montaje, o la necesidad de fabricación de números muy reducidos de lentes especiales, por ejemplo), en la EUOOT se juzgó conveniente la adquisición de un equipo completo de fabricación de lentes oftálmicas que permitiese complementar la formación de los estudiantes en este campo. La EUOOT ya disponía de cierta maquinaria para realizar algunos de los trabajos de fabricación de superficies, que se había ido obteniendo de cesiones de maquinaria por parte de los fabricantes, de manera que sus presta-

ciones quedaban muy limitadas por tratarse de herramientas prácticamente obsoletas. En esta situación, la renovación de maquinaria que se realizó por parte de Industrias de Óptica Cuyás (Barcelona), concedió la posibilidad de adquirir maquinaria usada en condiciones óptimas de funcionamiento.

Dado que la maquinaria nueva presenta un coste difícilmente alcanzable para los presupuestos de equipamiento docente de una Escuela Universitaria, se optó por adquirir equipamiento de segunda mano, que se materializó en los equipos que tenía en producción Óptica Cuyás (Barcelona) en el momento de cesar sus actividades de fabricación.

En la actualidad, el taller de fabricación de la EUOOT permite la realización de prácticas de asignaturas de la Diplomatura, en que los estudiantes calculan, diseñan y fabrican una lente oftálmica bajo la supervisión del profesor, y está capacitado (a falta sólo de mano de obra) para proveer de aquellas lentes habitualmente más costosas de conseguir (progresivas, bifocales, trifocales, prismáticas) para las prácticas de montaje de las diferentes asignaturas, quedando abierto a la cobertura de aquellas necesidades de fabricación de superficies de calidad oftálmica que se pudieran presentar en el entorno de la EUOOT.

El objeto de este artículo es presentar las características del taller y, en especial, discutir su proceso de puesta en marcha. Para ello realizaremos una breve introducción a los tipos de talleres de fabricación posibles y a los procesos implicados en la obtención de una superficie oftálmica finalizada. A partir de esa presentación general, pasaremos a describir la maquinaria disponible en el taller de fabricación de la EUOOT, y los procesos de calibración y puesta en marcha aplicados para cada uno de los procesos, así como un ejemplo de uso docente de la instalación.

Fabricación de superficies oftálmicas

Vamos a repasar muy brevemente los conceptos fundamentales relativos a la obtención de una superficie oftálmica finalizada. Se trata de un tema conocido, y ampliamente tratado en la bibliografía, que revisaremos sólo como introducción a la descripción de los trabajos de puesta en marcha del taller de fabricación de la EUOOT. Para ello, comenzaremos repasando los diferentes tipos de taller de fabricación posibles, para a continuación describir los procesos necesarios para la obtención de una superficie

oftálmica completamente finalizada. Por proceso de fabricación entenderemos la obtención de una lente oftálmica completamente finalizada a partir de un bloque de vidrio (mineral u orgánico), de manera que las curvaturas de sus superficies cóncava y convexa den lugar a la potencia deseada para la lente.

Tipos de taller de fabricación

De manera general, se distinguen dos tipos de talleres de fabricación, en función de las necesidades del fabricante en cuanto a la lente a obtener. Cuando las lentes a obtener sean graduaciones bajas, tanto esféricas como astigmáticas, se tratará de lentes de uso frecuente y por tanto el criterio de producción será obtener un número elevado de lentes iguales tan deprisa como sea posible. Esto conlleva la máxima automatización posible de los procesos productivos para la mecanización de la superficie cóncava y convexa de las lentes a partir del bloque de vidrio para dar lugar a una lente completamente finalizada. Este proceso de taller de fabricación seriado queda restringido, por su coste y rendimiento, a los grandes fabricantes de óptica oftálmica.

El otro tipo de taller de fabricación cubrirá aquellas lentes que no sean de uso tan común, y recibirá el nombre de taller de encargo. Sus capacidades incluyen las esferas y cilindros elevados, pero también toda la familia de lentes multifocales, en que la inclusión del parámetro adicional que supone la adición, junto con la orientación prefijada del eje en la lente (a diferencia de las lentes astigmáticas monofocales, que se pueden orientar libremente) hace que la producción de las lentes sea prácticamente personalizada. Este tipo de talleres trabaja por encargo, a demanda de las necesidades del cliente, y se caracterizan por una automatización menor y una flexibilidad en la fabricación mayor que la propia de los procesos seriados. Una de las principales características de estos talleres de encargo será que, generalmente, el proceso no se iniciará desde el bloque de vidrio, sino desde una lente semiacabada, es decir, una lente cuya superficie convexa ha sido ya tallada con una curvatura determinada en un proceso en serie, de manera que sólo será necesario mecanizar la superficie cóncava con la curvatura apropiada para dar lugar a la potencia y espesores deseados para la lente finalizada. Este tipo de taller es el que algunas ópticas han introducido como método de proporcionar las lentes a sus clientes en tiempos muy reducidos, aunque todos los grandes fabricantes disponen de un taller de este tipo conectado a su servicio

de atención telefónica para la obtención de las prescripciones multifocales, y de las monofocales menos usuales, que no se disponen en el stock fabricado en serie. Este tipo de taller es, evidentemente, el idóneo para los objetivos docentes que plantea el taller de fabricación de la EUOOT.

Fabricación de lentes en un taller de encargo

Una vez conocida la potencia de la lente a obtener y su diámetro, el proceso de fabricación se reduce a la selección de la combinación de semiacabado, ajustes de la maquinaria y utillaje que permiten obtener la curvatura de la superficie cóncava que da lugar a la lente deseada, finalizando con los procesos de control del resultado obtenido. Por utillaje entenderemos fundamentalmente el molde convexo de curvatura igual y signo contrario a la de la superficie que, por fricción, acaba de eliminar las rugosidades superficiales hasta obtener una superficie con calidad óptica. El proceso de fabricación de una lente en un taller de encargo se ha resumido en la figura 1.

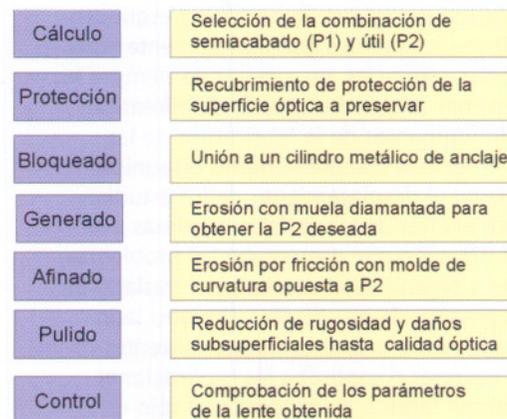


Fig. 1. Etapas del proceso de fabricación en un taller de encargo.

Así, una vez definidas las características de la lente a obtener, es necesario encontrar la combinación óptima entre los semiacabados (que determinan la potencia de la superficie convexa (P₁), y el diámetro y material de la lente) y los útiles disponibles en el laboratorio para obtener la potencia deseada en la cara cóncava de la lente (P₂). Una vez seleccionada la lente semiacabada, se protegerá su superficie convexa, para evitar daños durante el proceso, y se procederá a adherir a esta superficie un bloque metálico que permita la sujeción de la futura lente a la maquinaria restante (bloqueado o pegado).

Tras esta preparación, se mecaniza la superficie, generando con una muela diamantada la curvatura deseada en la segunda superficie de la lente. Esta erosión deja la superficie con rugosidades superficiales importantes, del orden de $10 \mu\text{m rms}$; la superficie es rugosa al tacto y se pueden apreciar a simple vista marcas de la muela sobre la superficie. Los procesos siguientes se dedicarán a reducir esa rugosidad superficial y los daños subsuperficiales a la estructura cristalina para conseguir una superficie con calidad óptica.

Aunque hay diferentes posibilidades de organizar el proceso, normalmente se realiza en dos etapas. El primer proceso (afinado), es puramente de fricción de la superficie rugosa contra un paño abrasivo adherido a un útil con la misma curvatura de la superficie cóncava a obtener, en presencia de un refrigerante al que dependiendo de la dureza del material pueden o no añadirse sustancias abrasivas. Con ello se reduce la rugosidad superficial un orden de magnitud hasta $1 \mu\text{m rms}$. En un segundo proceso (pulido) con la misma mecánica de fricción, se incorpora óxido de cerio al refrigerante para dar a la superficie la calidad óptica que se desea. Este último proceso combina efectos térmicos, químicos, y de abrasión para dejar la lente finalizada, con rugosidades en la superficie cóncava alrededor de $0,1 \mu\text{m rms}$. Los procesos finales implican el control de calidad de la lente fabricada y su distribución.

El taller de fabricación de la EUOOT

La puesta en marcha de un taller de fabricación ha implicado, fundamentalmente, procesos de calibración y validación de los abundantes parámetros variables del proceso de fabricación. Las tareas de puesta en marcha realizadas se presentan en orden cronológico.

Calibración de las herramientas de control de calidad

Los parámetros a controlar en el taller de fabricación serán curvaturas, espesores y potencias. Las curvaturas a controlar serán tanto de las caras convexas de los semiacabados (para la determinación del valor de P_1) como de las caras cóncavas a lo largo de las etapas del proceso de fabricación, para controlar el valor de P_2 durante todo el proceso, y como control final. Por ello, es necesario disponer de un frontofocómetro, un espesímetro, un sagímetro y

un torímetro calibrados (fig. 2). En general, los esférómetros escalados en incrementos de $0,25 D$ no nos darán resolución suficiente.



Fig. 2. Herramientas de control: de izquierda a derecha, torímetro, espesímetro y sagímetro.

La calibración de frontofocómetros y espesímetros es una cuestión relativamente sencilla, pues se trata de instrumentos de uso común en el laboratorio cuyos problemas habituales de calibración serán simples desplazamientos del error de cero. En el caso de sagímetros y torímetros, además del error de cero, es necesario determinar con precisión la distancia entre puntas de los instrumentos para el caso de superficies cóncavas y convexas. Para ello, se midieron con ambos aparatos un conjunto de tres superficies de referencia convexas y tres cóncavas, dando lugar a tres medidas de semicuerda para cada geometría. Dado que, para una circunferencia de radio R la cuerda $2y$ asociada a una sagita s cumple

$$Y = \sqrt{2Rs - s^2} \quad [1]$$

y conocidos los radios de las superficies de referencia, es posible determinar los valores de las cuerdas para sagitas cóncavas y convexas. Los valores obtenidos se representan en la figura 3, mostrando la pequeña desviación entre los valores medidos para las distintas potencias. En el sagímetro la diferencia entre los valores obtenidos para superficies cóncavas y convexas ($11,25/14,95$) se debe a que el contacto con la superficie a medir se realiza mediante una corona circular de cierto grosor, mientras que en el torímetro el contacto se realiza mediante dos puntas, con lo que los valores de y ($17,75/17,86$) para superficies cóncavas y convexas resultan muy próximos.

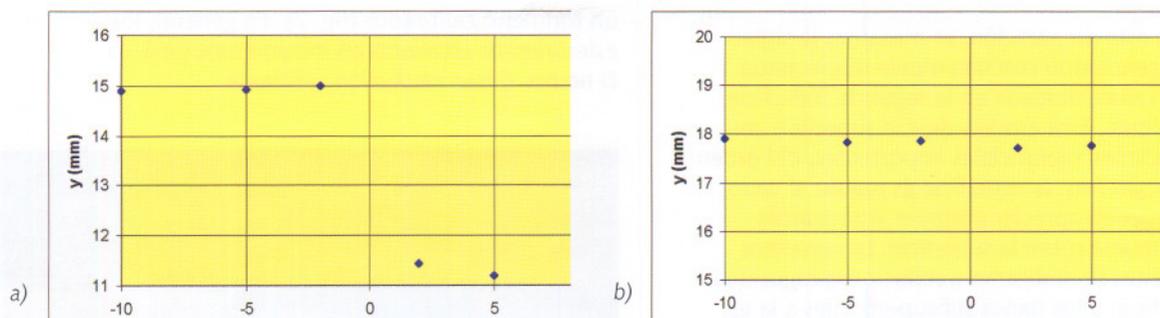


Fig. 3. Valores de calibración de y para diferentes superficies de referencia. a) Sagímetro; b) torímetro.

Cálculo

La combinación de semiacabados y moldes que da lugar a una determinada potencia se calcula, una vez en el laboratorio, utilizando un software de elaboración propia en que, a partir de los datos de la lente a obtener, se seleccionan todas las combinaciones de semiacabado y útil de afino y pulido posibles a partir del material disponible en el laboratorio. El software calcula además los diferentes parámetros (tolerancia en la potencia para la lente propuesta, potencias de vértice posterior exactas en eje y contraeje, sagitas a obtener al utilizar el sagímetro/torímetro de referencia, etc.) que resultan de utilidad al proceder a la fabricación de la superficie. El entorno visual puede observarse en la figura 4, aplicado a un ejemplo de fabricación de lente astigmática. Pueden apreciarse las posibilidades de combinación de semiacabados y útiles (tres para la lente propuesta), así como las sagitas esperadas una vez generada la superficie cóncava, medidas con el sagímetro de referencia, que serán parámetros de utilidad para el control de calidad intermedio de las lentes en fabricación.

Puesta en marcha de los sistemas de protección y bloqueo

Se trata de dos sistemas sencillos, en que tan solo es necesario asegurar el suministro de corriente y aire comprimido, sin necesidad de calibraciones especiales. La protección de la lente se realiza mediante un sistema de film adhesivo con el modelo Surface Saver Applicator 3M nº1645 (fig. 5a). El semiacabado queda confinado en una cavidad que cierra una película de plástico adhesivo. Un sistema de aire comprimido empuja el semiacabado contra la película adhesiva, que se adhiere a la superficie a proteger. Posteriormente, se separa el semiacabado protegido del resto de película con una herramienta cortante o un soldador (fig. 5b).

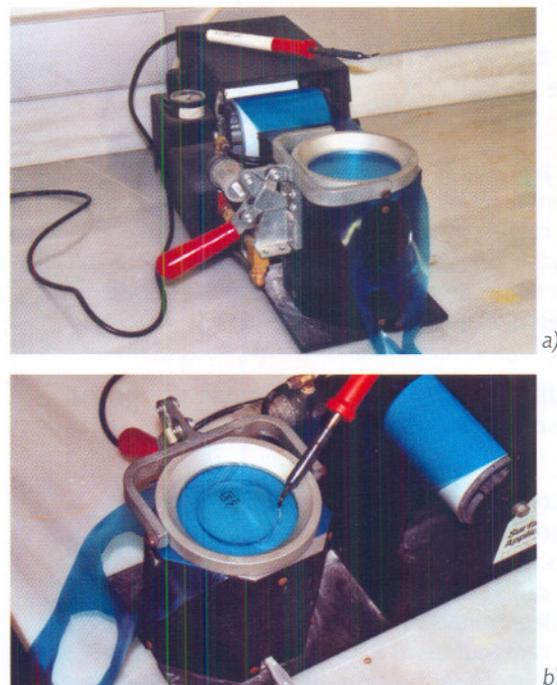


Fig. 5. Maquinaria para la protección. a) Protector del film plástico para la superficie convexa; b) procesos de protección de la superficie convexa del semiacabado.

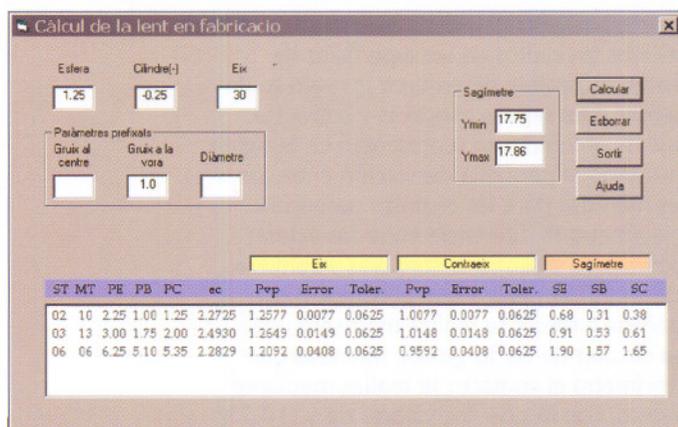


Fig. 4. Entorno visual para el cálculo de lentes.

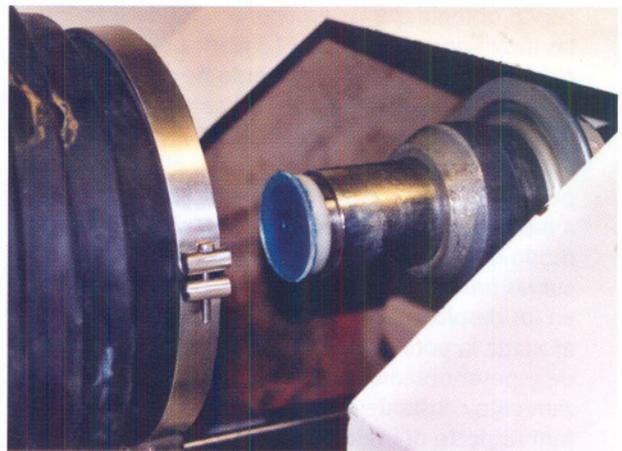
La superficie protegida debe ser ahora bloqueada para ser sujeta de manera cómoda al resto de maquinaria. En la EUOOT se dispone de un bloqueador Coburn 990 Alloy Blocker (fig. 6a). El bloqueo utiliza un cilindro metálico rígido que contiene los anclajes para el resto de la maquinaria del taller, y que tiene un orificio que permite el paso de aleación fundida. Entre este cilindro y la superficie convexa de la lente se forma una cavidad, que se rellena con una aleación metálica de bajo punto de fusión, que al solidificarse une el cilindro de sujeción y el semiacabado (fig. 6b).



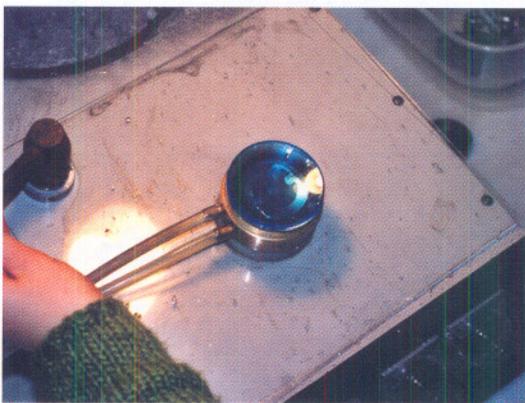
a)



a)



b)



b)

Fig. 6. Maquinaria para el bloqueo de la lente. a) Bloqueador; observar la cavidad con el orificio de salida de la aleación; b) proceso de bloqueo; la aleación comienza a llenar la cavidad entre el cilindro metálico de sujeción y el semiacabado protegido.

Puesta en marcha del generador

El generador de superficies es un Coburn-Rocket 120C (fig. 7), un generador hidráulico adecuado para la fabricación de superficies esféricas y tóricas, tanto cóncavas como convexas.



b)

Fig. 7. Generador hidráulico. a) Vista general; b) lente en proceso, y c) panel de control.

Las capacidades de fabricación de superficies convexas no resultarán de gran utilidad al trabajar como taller de encargo, pero completan las capacidades de fabricación del taller a lentes de geometrías especiales (como cilindros externos en caso de lentes de elevada potencia negativa), en caso de demanda.

Los datos de la superficie a generar incluyen la caracterización de la curva base del semiacabado, y los parámetros de los meridianos principales de la superficie a obtener, así como el espesor en dioptrías. El valor real de superficie generado puede controlarse utilizando el sagímetro o torímetro de referencia calibrado con anterioridad. El valor de curvatura generado en la superficie después del traslado de los equipos a la EUOOT difería de manera sustancial de los valores a causa de vibraciones, manipulaciones y desajustes mecánicos introducidos durante el transporte. Para ello, se recalibró el generador reajustando los ajustes disponibles en las placas electrónicas de control de las servoválvulas, y se realizaron gráficos de comparación entre las curvas obtenidas y las esperadas para detectar las desviaciones presentes. La gráfica de desviaciones respecto el valor esperado de potencia después de ajustar el generador se muestra en la figura 8a y 8b. Puede apreciarse el reducido valor de error de las curvas en todo el rango de potencias, con un cierto incremento del error a partir de 8,00 D, causado por un cambio de modo de funcionamiento del generador para curvas pronunciadas apreciable a simple vista en los desplazamientos de la muela. Una vez ajustada la potencia generada, las desviaciones de espesor obtenidas resultaron ser un desplazamiento constante de aproximadamente 0,7 mm respecto del valor esperado, independiente del valor de curvatura generado (fig. 8c), de manera que se corrigió directamente como tal en el valor de espesor introducido en el cuadro de mandos.

Puesta en marcha de afinadoras y pulidoras

Las máquinas disponibles en la EUOOT son dos versiones de la Coburn Rocket 5056, de funcionamiento equivalente (fig. 9a). Las diferencias en los procesos de afinado y pulido se limitan a la sustitución del molde por una felpa autoadhesiva de diferente poder abrasivo (más abrasivo cuando trabaja como afinadora, más afelpada cuando trabaja como pulidora, ver figura 9b), y al cambio del refrigerante y abrasivo presentes en el contacto molde superficie. Mientras que en el afinado se utiliza agua con óxidos metálicos (unos 350 g/l de MicroGrit WCA-20T), en el pulido se utiliza agua con óxido de cerio (unos 300 g/l de Rodhia Cerox). Esto limita la utilización del laboratorio al trabajo con lentes minerales, dado que el trabajo con lentes orgánicas requeriría de una afinadora y pulidora adicionales, con los refrigerantes y abrasivos adecuados para proceso con un material de baja dureza. La maquinaria disponible, con la preparación adecuada podría utilizarse en la fabricación de lentes orgánicas; únicamente resulta imposible la compatibilidad entre ambos materiales con dos máquinas, debido a su diferente dureza y a los abrasivos presentes.

La calibración, en este caso, incluye una combinación de tres factores, en concreto la presión sobre la superficie, el tiempo de trabajo y el radio de curvatura del molde. Un exceso de presión impide el flujo del refrigerante y abrasivo entre la superficie y el útil, mientras que

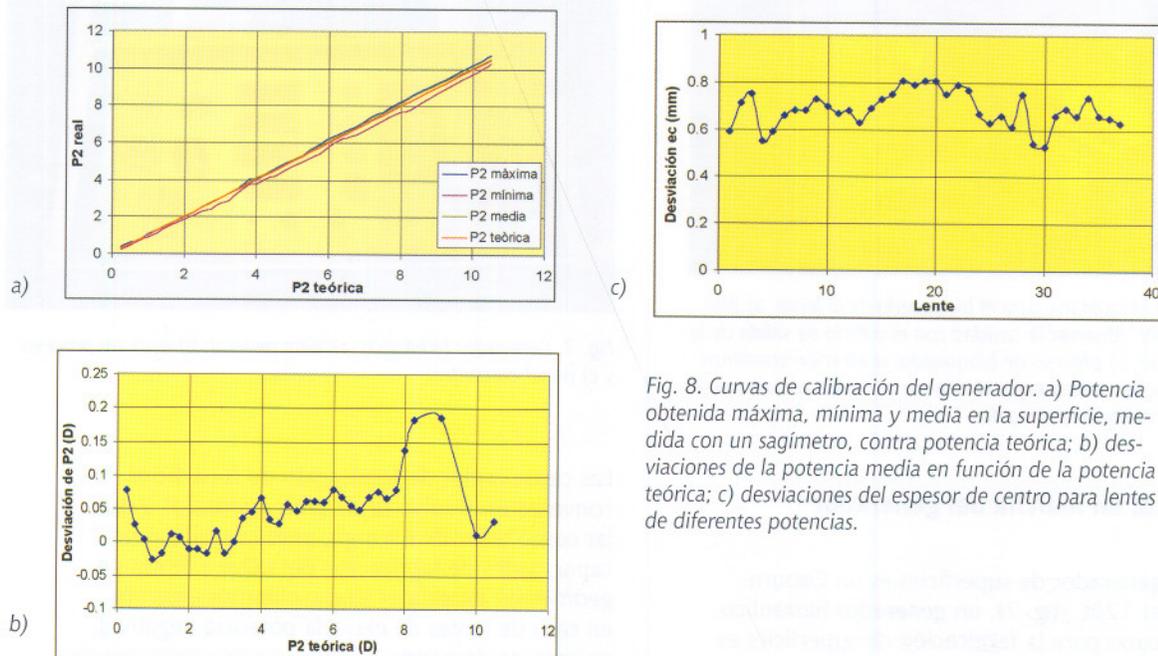


Fig. 8. Curvas de calibración del generador. a) Potencia obtenida máxima, mínima y media en la superficie, medida con un sagímetro, contra potencia teórica; b) desviaciones de la potencia media en función de la potencia teórica; c) desviaciones del espesor de centro para lentes de diferentes potencias.



Fig. 9. Afinadora y pulidora. a) Modelos disponibles en la EUOOT; b) felpas autoadhesivas para el afinado (izquierda, aluminizados) y el pulido (derecha, blancos).

un defecto impide que la fricción se realice de manera efectiva. El tiempo se controlará fijando una duración estándar para cada proceso en todas las potencias, haciendo cada proceso lo más corto posible pero sin el objetivo de optimizar su duración, lo que resulta innecesario para los usos docentes que se pretenden para el taller, que implican ritmos de producción bajos. En cuanto a la curvatura de los útiles, éstos presentan, por desgaste o deformaciones, cambios en los radios de curvatura nominales que figuran en ellos. Aunque durante el proceso de afino son posibles aún pequeñas modificaciones en el radio de la superficie, el generador debe dejar la superficie tan próxima como sea posible a su curvatura definitiva, para acelerar los procesos de afinado y pulido, y garantizar que tengan éxito. Esto hace necesaria una calibración de los útiles utilizados para conocer su verdadera curvatura.

A partir de un útil cuyo radio de curvatura era conocido de manera fiable a través de una lente fabricada con él, se ajustaron las presiones y tiempos de proceso a 22 libras por pulgada y 4 minutos para el afinado, y a 16 libras por pulgada y 8 minutos para el pulido. Con estos parámetros fijados, se pasó a calibrar los

diferentes útiles que se habían obtenido por cesión de diferentes fabricantes. Esta calibración se realizó fabricando una superficie estimando unos valores de radio para el molde (por ejemplo, a partir del valor medido con el torímetro) y observando el resultado del pulido. Si al finalizar el pulido la lente tenía calidad óptica en el centro y no en los bordes, por ejemplo, se había fabricado con una potencia más baja que la del útil, y al revés si se pulía correctamente por los bordes y no por el centro. Un pulido irregular sugiere un molde deformado, que se desestimaba por inútil. Utilizando este procedimiento se ha conseguido calibrar una batería de 19 útiles esféricos y 32 útiles tóricos, lo que permite disponer de una variedad importante de superficies a obtener, que combinada con la disponibilidad actual de semiacabados del taller permite la fabricación de una amplia gama de potencias para lentes oftálmicas.

Control de calidad

Finalmente, las curvas y espesores obtenidos deben controlarse utilizando los instrumentos de medida calibrados. La prueba definitiva de la validez de los ajustes de fabricación es la comprobación de que la potencia final, medida con un frontofocómetro, se corresponde con la calculada a partir de la curva convexa del semiacabado y la curva cóncava fabricada. Para este fin la utilización de frontofocómetros digitales con resoluciones superiores a las de los de visión directa resulta de gran utilidad.

La tabla I presenta algunos resultados de fabricación obtenidos, mostrando las potencias de segunda superficie, potencias de vértice posterior y espesores esperadas y obtenidas, así como las correspondientes desviaciones, pudiéndose apreciar el buen acuerdo entre los parámetros propuestos y los resultados finales.

Uso docente del taller

Actualmente, la principal actividad del taller es su uso docente en las prácticas de Lentes Oftálmicas para ilustrar el proceso de fabricación de lentes. En la actualidad, los estudiantes reciben una lista con los semiacabados y útiles disponibles para utilizar para la práctica, así como la asignación de una de las lentes de fabricación posible (tabla II). Deben llegar al laboratorio con los parámetros de la lente necesarios para su fabricación (radios, sagitas medidas con el sagímetro y torímetro de referencia, y espesores), y verificar sus cálculos mediante los programas

Tabla I. Resultados de la fabricación para lentes esféricas: potencias de segunda superficie, potencias de vértice posterior, y espesores esperados y teóricos, así como las desviaciones entre

| P_1 [D] | P_2 Teórica [D] | P_2 Final [D] | P_2 [D] | E_c Teóric [mm] | E_c Final [mm] | E_c [mm] | P_{VP} Teórica [D] | P_{VP} Final [D] | P_{VP} [D] |
|-----------|-------------------|-----------------|-----------|-------------------|------------------|------------|----------------------|--------------------|--------------|
| 6,12 | 5,50 | 5,493 | 0,007 | 4,70 | 4,66 | 0,04 | 0,740 | 0,744 | 0,004 |
| 6,12 | 5,75 | 5,790 | 0,040 | 4,41 | 4,26 | 0,15 | 0,480 | 0,436 | 0,044 |
| 6,12 | 2,00 | 1,990 | 0,010 | 5,40 | 5,31 | 0,09 | 4,255 | 4,250 | 0,005 |
| 6,15 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 6,45 | 6,36 | 0,09 | 6,310 | 6,312 | 0,002 |
| 6,15 | 1,00 | 0,960 | 0,040 | 5,44 | 5,20 | 0,24 | 5,288 | 5,320 | 0,032 |
| 6,15 | 5,00 | 5,030 | 0,030 | 4,20 | 4,19 | 0,01 | 1,250 | 1,226 | 0,024 |
| 6,12 | 0,96 | 0,958 | 0,002 | 5,45 | 5,21 | 0,24 | 5,297 | 5,300 | 0,003 |
| 6,12 | 5,03 | 5,090 | 0,060 | 2,20 | 2,05 | 0,15 | 1,140 | 1,080 | 0,060 |
| 6,12 | 3,00 | 2,984 | 0,016 | 4,36 | 4,17 | 0,19 | 3,170 | 3,240 | 0,070 |
| 6,15 | 1,50 | 1,497 | 0,003 | 5,90 | 5,73 | 0,17 | 4,800 | 4,798 | 0,002 |
| 9,61 | 2,92 | 2,930 | 0,010 | 7,03 | 6,42 | 0,61 | 7,136 | 7,090 | 0,046 |
| 9,61 | 3,95 | 3,927 | 0,023 | 6,57 | 6,54 | 0,03 | 6,000 | 6,070 | 0,070 |

disponibles en el taller (fig. 4). En una sesión previa se les realiza una demostración de los procedimientos de fabricación, de manera que conozcan el orden de las operaciones y el modo de funcionamiento de la maquinaria de de manera que podrían trabajar de forma autónoma en el laboratorio.

En la sesión de prácticas, los estudiantes realizan todos los procesos de medida y control de calidad de las superficies, mientras que la manipulación de la maquinaria la sigue haciendo el profesor bajo las indicaciones de los estudiantes. Aunque lo deseable sería que los mismos estudiantes realizaran esta manipulación, se trata de maquinaria industrial de potencia, no diseñada para ser utilizada por un grupo grande de usuarios no expertos, lo que desaconseja su manipulación por parte de los estudiantes. Al acabar la práctica, los estudiantes disponen de las lentes fabricadas de acuerdo con sus cálculos, y han podido ver desde cerca todo el proceso de fabricación siguiendo sus predicciones y verificando que su lente se ha fabricado correctamente.

Conclusiones

Se ha repasado el proceso de puesta en marcha del taller de fabricación de la EUOOT. Para ello, se ha realizado una breve introducción en que se han discutido los diferentes tipos de

taller y las principales etapas de la obtención de una lente totalmente finalizada a partir de un semiacabado.

Se han descrito detalladamente las operaciones necesarias para la puesta en marcha de un taller de fabricación, presentando la maquinaria disponible en la EUOOT, y los pasos requeridos para el ajuste de sus diferentes parámetros (presión, concentración de abrasivos, curvas obtenidas...). El objetivo final es disponer de un conjunto de utillaje que permita la fabricación y el control de calidad (a lo largo del proceso y una vez finalizado) de la lente en fabricación. En la actualidad, se ha limitado la capacidad del taller a la fabricación de lentes minerales de todas las geometrías a partir de semiacabados; sin embargo, esto se ha debido a los usos docentes del taller y a la maquinaria disponible, existiendo plena capacidad para el trabajo de superficies convexas y para el generado de materiales orgánicos. Se ha descrito, como ejemplo, el uso docente más habitual que se realiza a los estudiantes en la actualidad.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Carles Oliva, de Óptica Cuyás, y a la EUOOT el soporte técnico y económico, respectivamente, recibido para el desarrollo de este proyecto.

Tabla II. Propuesta de material disponible. Cada una de las lentes a obtener se asignan a un estudiante, que debe calcularla y proponer los pasos para su fabricación al profesor

| FABRICACIÓN DE LENTES OFTÁLMICAS EN EL TALLER DE LA EUOOT | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A) Cálculo | | | | |
| A cada alumno se os asignará el cálculo de una determinada lente oftálmica. En el taller de la EUOOT se puede trabajar con los siguientes acabados: | | | | |
| Código | Diámetro | N | ec^{MAX} | Material |
| ST1 | 60 | 1,523 | 8,3-8,9 | Bifiltral |
| ST2 | 60 | 1,523 | 5,9-7,0 | Blanco |
| ST3 | 60 | 1,523 | 5,8-8,0 | Blanco |
| ST4 | 65 | 1,523 | 6,5-6,6 | Fotocromático |
| ST5 | 65 | 1,523 | 8,8-8,9 | Bifiltral |
| Estos semiacabados provienen del fabricante con la única indicación de su valor de potencia nominal (P_{IN}) calculado para una determinada P_{VP} que se describe a continuación. Todas las lentes con $e_b = 1$ mm | | | | |
| Código | P_{IN} | P_{VP} | | |
| ST1 | 10,09 | 8,50 | | |
| ST2 | 8,14 | 6,50 | | |
| ST3 | 4,11 | 3,50 | | |
| ST4 | 6,14 | 4,75 | | |
| ST5 | 6,94 | 6,50 | | |
| Dado que son potencias calculadas por el fabricante, las potencias de las segundas superficies de estas lentes no tienen porque coincidir con las potencias de los útiles que se dispone en taller. Los útiles esféricos de los que se dispone son: | | | | |
| Código | P_2 | | | |
| M1 | 5,75 | | | |
| M2 | 5,50 | | | |
| M3 | 3,00 | | | |
| M4 | 2,00 | | | |
| M5 | 1,00 | | | |
| El profesor os asignará una determinada lente para fabricar de entre las potencias siguientes: | | | | |
| P_{VP} | P_{VP} | P_{VP} | P_{VP} | P_{VP} |
| 0,25 | 0,50 | 1,00 | 1,25 | 2,25 |
| 2,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 5,00 |
| 5,25 | 6,00 | 6,25 | 7,00 | 7,25 |
| 8,00 | - | - | - | - |
| Determinad la combinación de útil y semiacabado que permite fabricar cada lente | | | | |
| B) Fabricación | | | | |
| Se seleccionará alguna o varias de las lentes calculadas para su fabricación. Debes disponer de todos los parámetros necesarios para la fabricación de la superficie (espesores, sagitas, radios y potencias) antes de entrar en el laboratorio. Una vez en el laboratorio, deberás indicar los pasos necesarios para la fabricación de la lente al profesor, que será quien manipulará la máquina | | | | |

Bibliografía

- Salvadó J, Fransoy M. Tecnología Óptica: Lentes Oftálmicas, Diseño y adaptación. Ed. UPC, Barcelona, 2001.
- Mancusi RJ. Ophthalmic surfacing for plastic and glass

lenses. Professional Press, Chicago, 1982.

- Horne DF. Spectacle lens technology. Adam Hilger. Bristol 1978.

**No todos
los 1.6
son iguales**

EYAS
1.6

1.6

1.6

1.6

EYAS 1.6
sólo hay uno,
y es de
HOYA

EYAS

1.6

Un material único, exclusivo de **HOYA**, desarrollado en Japón, el mercado más avanzado en **Alto Índice**. Con una experiencia de millones de lentes **EYAS** en todo el mundo. Utilizando unos tratamientos y una tecnología de fabricación exclusivamente adaptados a este material. Todo esto nos lleva a ser la referencia de **Alto Índice** a nivel mundial, tanto para fabricantes de monturas al aire, como para ópticos y usuarios. Por estética, por comodidad y por calidad óptica.

Una ventaja competitiva que nos permite seguir siendo pioneros en el desarrollo de nuevas lentes de **Alto Índice**, sin pararnos aquí, aprovechando nuestra experiencia y buscando siempre la satisfacción de nuestros clientes y usuarios.

HOYA
TECNOLOGÍA PARA LA VISIÓN