



El radioscopio

Montserrat Arjona
Núria Tomás
Josep Arasa

Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6)
Universitat Politècnica de Catalunya

El radioscopio es un instrumento concebido para verificar y controlar algunos de los parámetros básicos de las lentes de contacto. Inicialmente fue un instrumento ideado para determinar el radio de curvatura central de la cara posterior de las lentes de contacto, tanto esféricas como tóricas, pero actualmente también se usa para hallar el radio de curvatura de las bandas periféricas, determinar el espesor axial o comprobar la calidad de la superficie. En este artículo haremos un recorrido por el radioscopio desde su diseño hasta el procedimiento para realizar las medidas, pasando por puntos tan interesantes como el principio de medida que empleado, la precisión de las medidas y el aumento que proporciona.

Introducción

El uso de lentes de contacto está ampliamente extendido entre la población por lo que se precisa de una serie de instrumental destinado a la verificación y contraste de sus parámetros. En este marco, el radioscopio ocupa un lugar de relevancia dentro de cualquier gabinete de adaptación de lentes de contacto ya que permite realizar la medida de los principales parámetros ligados a su adaptación: radio de curvatura del centro y de las bandas y estado de la superficie.

A lo largo del presente artículo desarrollaremos los conceptos básicos sobre los que se construye

el radioscopio, así como el principio de medida, analizaremos sus características principales y reflexionaremos sobre el proceso de medida.

Composición básica del radioscopio

El elemento básico de un radioscopio es un microscopio de pocos aumentos pero también lleva incorporado un test y un sistema de medida del desplazamiento de la platina, que le diferencian notablemente de él (fig. 1). Esta adaptación resulta imprescindible tanto para acometer la tarea básica de hallar el radio de curvatura de la lente de contacto (LC) como para realizarla con mucha precisión.

En la figura 2 se ha representado el esquema óptico básico del radioscopio, donde se distingue el objetivo y el ocular del microscopio a lo largo del eje vertical y el test iluminado con una bombilla en el eje horizontal. La lámina semiespejada, situada en la intersección de ambos ejes (entre el

Correspondencia

Montserrat Arjona
Centro de Desarrollo de Sensores,
Instrumentación y Sistemas (CD6)
Universitat Politècnica de Catalunya
Rambla St Nebridi 11
08222 Terrassa (Barcelona)
arjona@oo.upc.es



Fig. 1. Imagen de un radioscopio comercial

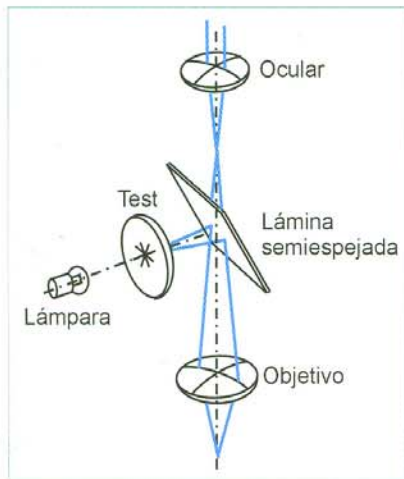


Fig. 2. Esquema óptico básico de un radioscopio.

objetivo y el ocular), desvía el haz luminoso procedente del test hacia el objetivo del microscopio que también actúa de objetivo de proyección del test. El test está formado por cuatro líneas radiales sobre un filtro verde.

Aunque en el esquema óptico básico no figura, todos los modelos llevan incorporado un prisma

delante del ocular que desvía el eje óptico del microscopio, permitiendo una posición de observación más cómoda (fig. 3). También por razones ergonómicas, algunos modelos llevan incorporados dos oculares con el fin de proporcionar visión biocular. De esta manera se consigue una visión más relajada en el caso que el instrumento deba utilizarse durante muchas horas seguidas.

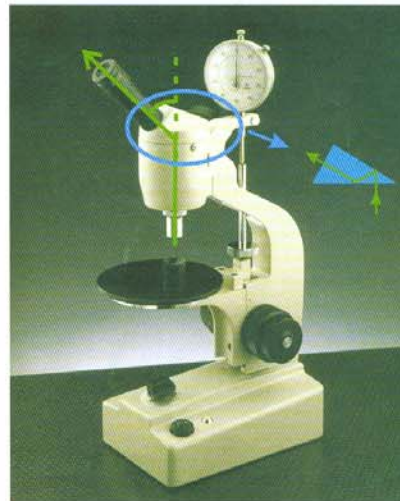


Fig. 3. La inclusión de un prisma delante del ocular permite que el observador se sitúe en una posición más cómoda. En verde puede verse la trayectoria que realiza la luz dentro del prisma.

Principio óptico de funcionamiento

El principio óptico en el que basa el radioscopio para realizar las medidas data de 1900 cuando Drysdale desarrolló una técnica para medir radios de curvatura pequeños de superficies esféricas reflectantes.

El método ideado por Drysdale propone hallar el radio de curvatura de la superficie esférica reflectante a partir de determinar previamente las posiciones del centro de curvatura y del vértice puesto que estas dos posiciones poseen una característica óptica singular: al colocar un objeto sobre ellos, su imagen se forma en mismo plano y, además, es del mismo tamaño. Una vez halladas ambas posiciones, el radio de curvatura se halla restándolas (fig. 4).

Formación Continuada

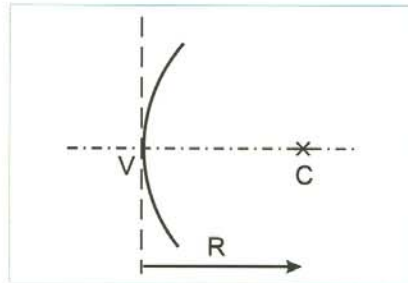


Fig. 4. Representación simplificada de una lente de contacto en la que se han resaltado el vértice (V), el centro (C) y el radio de curvatura (R).

En la figura 5 se muestra, a partir de la marcha de rayos, la posición de la imagen para tres posiciones distintas del objeto (y): vértice, centro y una posición intermedia. Analizando los tres casos se observa que situando el objeto en el vértice del espejo (fig. 5a), la imagen se halla en el mismo plano que el objeto (H, H') y tiene el mismo tamaño ($y = y'$). Si el objeto se encuentra en el centro de curvatura del espejo (fig. 5b), la imagen también se forma en la misma posición que él (h, h') y, aunque tiene el mismo tamaño, vemos que está invertida ($y = -y'$). Por último, se ha representado el objeto en una posición intermedia (fig. 5c), donde se ve que el plano objeto y el plano imagen no coinciden y que, además, el tamaño de la imagen es distinto al del objeto.

Esta técnica puede aplicarse, sin ningún problema, a una lente de contacto ya que al incidirle la luz se comporta como un espejo curvo, esférico o tórico. Por consiguiente, *a priori*, resulta relativamente sencillo hallar las posiciones del vértice y del centro de una lente de contacto ya que bastará con colocar un objeto delante de él e ir desplazándolo hasta que se observe su imagen sobre sí mismo y asegurar que ambas imágenes sean del mismo tamaño. Nótese que en el caso del radioscopio la orientación de la imagen no tiene ninguna importancia ya que el test es simétrico.

Quando se utiliza un radioscopio, a la imagen que se forma sobre el vértice se la llama "imagen real" y a la imagen que se forma sobre el centro se la llama "imagen aérea". Señalemos que en este contexto se usa el término "real" porque la imagen se forma sobre el vértice de la LC, mientras que el término "aéreo" se emplea porque la imagen, aunque presente, no se forma sobre ningún soporte físico.

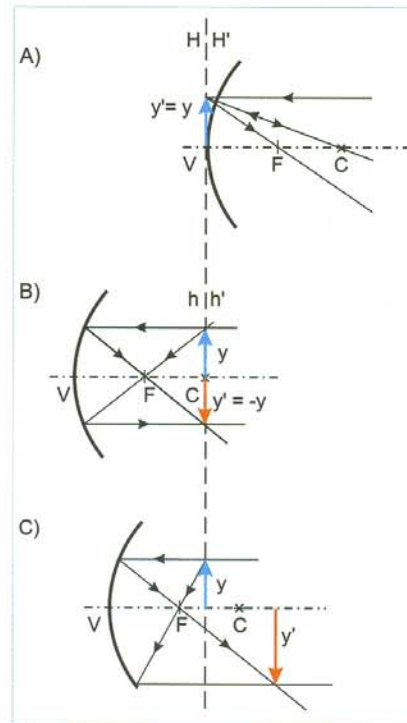


Fig. 5. Esquemas en los que se representa la posición y tamaño de un objeto (y) y el de su imagen (y') a través de una superficie esférica reflectante para tres posiciones distintas del objeto: a) vértice, b) centro y c) cualquier otra posición.

Diseño óptico del radioscopio y su adaptación al principio de Drysdale

Una vez explicado el principio óptico de funcionamiento, veamos como se ha adaptado el diseño del radioscopio para poderlo aplicar. Así pues, como resultaría muy difícil, por no decir imposible, ver a la vez el objeto y su imagen, en el diseño del radioscopio se ha incluido una lente (objetivo) cuya misión es proyectar el objeto (test) (fig. 6a). Es decir, proporcionar una imagen del test que será el objeto efectivo para realizar la medida.

A pesar de la inclusión de este sistema de proyección aún existe el problema de observar cómodamente la imagen del test. Por este motivo, se incluye un sistema de observación

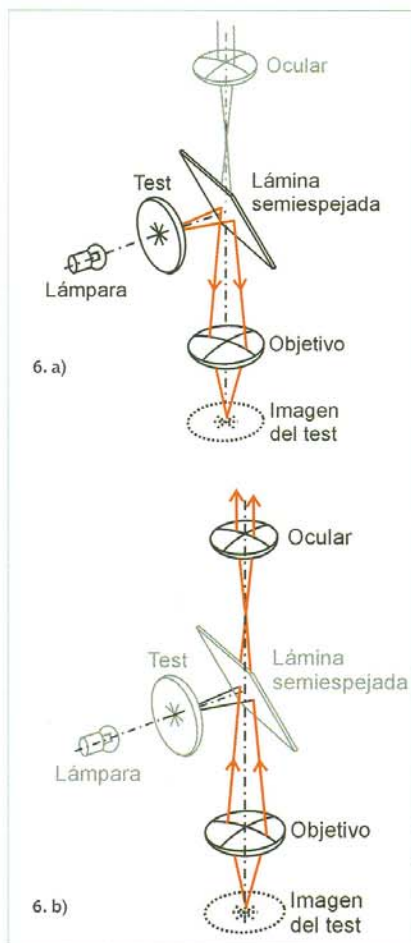


Fig. 6. En a) puede apreciarse la trayectoria que sigue la luz para formar la imagen del test. En b) se ha dibujado la trayectoria que sigue la luz cuando se observa el plano donde se ha proyectado el test.

basado en un microscopio (fig. 6b), el cual tiene la característica que su objetivo es la misma lente que se utiliza para proyectar la imagen del test.

Además, si el observador es emétrope o amétrope corregido, el microscopio permite observar sin acomodar a la vez que aumenta el tamaño de la imagen. Pero quizá la consecuencia más importante reside en aprovechar la poca profundidad de enfoque. Es decir, para ver

nítidamente un objeto a través del sistema de observación, es necesario que el objeto esté perfectamente colocado en el plano de enfoque ya que un mínimo desplazamiento provocaría que la imagen se viera desenfocada. Esta propiedad aplicada al radioscopio asegura que sólo seamos capaces de ver nítidas las imágenes procedentes del centro o del vértice si la LC está perfectamente colocada en sendas posiciones, ya que cualquier otra posición estará fuera del plano de enfoque. Este hecho nos permite determinar el radio de curvatura de la LC con una gran precisión (fig. 7).

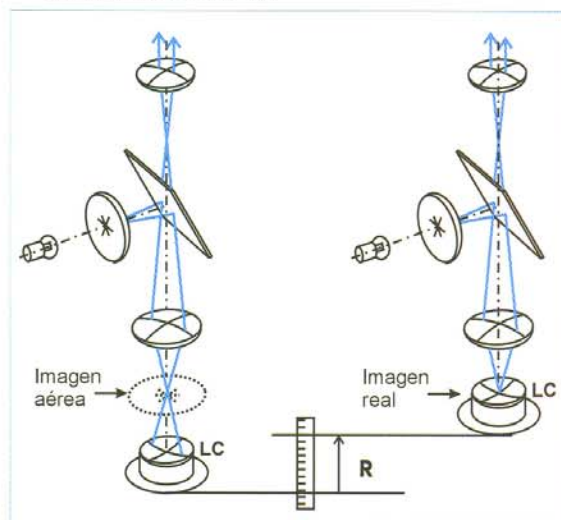


Fig. 7. Posiciones de lectura del radio de curvatura de la cara cóncava de una lente de contacto. En a) cuando se determina la posición del centro de curvatura de la LC y b) cuando se halla la posición del vértice de la LC.

Precisión del radioscopio

¿Por qué es tan importante realizar las medidas con tanta precisión? La respuesta la hallamos si tenemos en cuenta que los valores a medir con un radioscopio son relativamente pequeños y, por tanto, cualquier pequeño error en la determinación de la posición del vértice y/o del centro puede dar un resultado muy alejado del valor real.

Pongamos un ejemplo. Supongamos que al medir una LC de 7,8 mm de radio de curvatura de su superficie posterior se comete un error de $\pm 0,05$ mm en la determinación de su centro



y de su vértice, respectivamente. Como el valor del radio de curvatura se obtiene restando ambos valores, significa que en los dos casos extremos más desfavorables podemos obtener unos valores de radio de curvatura de la LC de 7,9 mm y de 7,7 mm. Con este sencillo ejemplo se pone de manifiesto que un pequeño error en las medidas ($\pm 0,05$ mm), que en un principio puede parecer insignificante, nos puede inducir a un error en el resultado final de $\pm 0,1$ mm. Valor que resulta totalmente inaceptable.

Veamos como nos ayuda el radioscopio a minimizar estos errores y su repercusión en las medidas. Para ello evaluemos su profundidad de enfoque debido a la acomodación del observador, es decir el recorrido máximo de la lente de contacto entorno a la posición del centro o del vértice (d_v) mientras aún se vea nítida la imagen a través del instrumento.

La expresión de la profundidad de enfoque debida a la acomodación de un observador situado en la pupila de salida del radioscopio (en este instrumento la pupila de salida coincide prácticamente con F' del mismo) es la siguiente:

$$d_v = PP \left(\frac{0,25}{M} \right)^2 \quad [1]$$

Donde PP es la vergencia del punto próximo del observador y M es el aumento visual del instrumento (el resultado se obtiene en metros).

Aplicando la expresión [1] en el caso de un observador emétrope con una amplitud de acomodación de 4 D (PP = 4 D) que utiliza un radioscopio de 100x ($M = 100$), se obtiene una profundidad de enfoque de $25 \mu\text{m}$. Este resultado muestra que el recorrido máximo que podemos efectuar a la LC para que se vea nítida la imagen del centro o del vértice es de $25 \mu\text{m}$. Como este valor es extremadamente pequeño, se asegura una casi perfecta ubicación de la misma y, en consecuencia, permite hallar con mucha precisión el radio de curvatura puesto que el error máximo que podemos efectuar será de $50 \mu\text{m}$.

Con el fin de facilitar al usuario el correcto enfoque, los radioscopios llevan incorporadas dos ruedas de enfoque, una de ellas permite realizar un desplazamiento grueso de la platina donde se sitúa la LC y la otra permite un desplazamiento fino de la misma. Los valores estándar del límite de desplazamiento vertical de la platina de un radioscopio suele ser de 20 mm, por lo que el rango de medidas del radio

de curvatura va de 0 hasta 20 mm, y el intervalo de medición, fijado por el desplazamiento fino de la platina, suele ser de 0,01 mm.

Aparte del desplazamiento vertical, el soporte donde se coloca la LC permite un movimiento lateral en todas direcciones que facilita el centrado de la LC respecto al eje óptico del microscopio. Esta característica también permite medir el radio de curvatura de los bordes de la lente de contacto.

Influencia del aumento del radioscopio

Antes se ha comentado que el radioscopio aumenta la imagen del test. El valor del aumento se obtiene, al igual que en el microscopio, multiplicando el valor del aumento lateral del objetivo por el valor del aumento visual del ocular.

$$M = m_{ob} M_{oc}$$

Muchas veces se aprovecha esta capacidad de agrandar la imagen para examinar el estado de la lente de contacto y detectar si presenta algún tipo de anomalía como muescas, arañazos o cualquier otro deterioro que haría desaconsejable su uso. Por este motivo, algunos fabricantes de radioscopios ofrecen distintos objetivos y oculares que intercambiados entre sí proporcionan distintos valores de aumento.

Los valores más corrientes de aumento del objetivo son de 10x y 6,5x, aunque algún fabricante ofrece un objetivo de 2,5x, y los valores más habituales de aumento de los oculares son de 10x y 15x. Las combinaciones más usuales de ambos elementos suelen dar unos aumentos totales para el radioscopio que se sitúan entre 65x y 100x, aunque podemos encontrar valores más extremos, por ejemplo 25x y 150x.

A parte de la variación del tamaño de la imagen hay otros parámetros que se ven afectados cuando se varía el aumento del radioscopio y que se deben tener en cuenta en el momento de usarlo. Estos parámetros son: el campo observado y la profundidad de enfoque.

Para analizar las repercusiones del cambio de aumento en el campo observado se debe tener en cuenta que sus valores son inversamente proporcionales. Como ejemplo



supongamos que al observar a través de un radioscopio 100x (formado por un objetivo de 10x y un ocular de 10x) vemos un campo de 2 mm. Si se cambia el objetivo por uno de 2,5x, el aumento resultante será de 25x, por consiguiente, el campo observado será de 8 mm.

Respecto a la profundidad de enfoque basta con analizar la ecuación [1] para apreciar que se ve afectada por el aumento. Para apreciar mejor la repercusión de este hecho comparemos el valor hallado en el apartado dedicado a la precisión con el que se obtiene para el mismo sujeto pero suponiendo que el aumento es de 25x. Para este aumento se obtiene una profundidad de enfoque debido a la acomodación de $400\ \mu\text{m}$ frente a las $25\ \mu\text{m}$ halladas antes. Atendiendo a estos valores, podemos decir que al disminuir el aumento se aprecia mayor campo y mayor la profundidad de enfoque lo que se traduce en una disminución de la precisión de la medida del radio de curvatura de la lente de contacto.

Reflexión acerca del tamaño de las imágenes

En la bibliografía se suele comparar el tamaño de la "imagen real" con el de la "aérea" con la finalidad de distinguirlas y así poder establecer una pauta para realizar las medidas. En este contexto, suelen ser familiares frases como "el tamaño de la imagen real es menor que el de la imagen aérea". Sin embargo, si se reflexiona un poco, se aprecia que esta frase no puede ser cierta ya que antes se ha justificado que el tamaño de ambas imágenes es igual.

No obstante, según el radioscopio utilizado puede dar la "sensación" de que ambas imágenes son de distinto tamaño. ¿Qué está ocurriendo? La respuesta la hallamos en la confusión frecuente entre el tamaño de la imagen y el campo observado. Es decir, si se compara el grosor de las líneas de la imagen del test obtenida cuando la LC está sobre el vértice con el obtenido cuando la LC está sobre el centro de curvatura, se aprecia que ambos tamaños son iguales. En cambio, según el radioscopio utilizado, el campo observado puede que no sea el mismo, es decir puede ocurrir que la porción de imagen observada no sea la misma según estemos observando el vértice o centro. En la figura 8 (a) se ha dibujado

un ejemplo, donde el grosor de la línea es de 0,5 mm tanto en el vértice como en el centro mientras que el campo observado pasa de 8 mm (vértice) a sólo 5 mm (centro).

Además, la iluminación de la imagen no suele ser uniforme. Es decir, a partir de una cierta distancia radial del centro la imagen se va oscureciendo progresivamente hasta desaparecer (fig. 8 b). Este fenómeno es lo que se denomina que el campo no está bien determinado y ocurre cuando el diafragma de campo no está situado sobre el test. En la mayoría de instrumentos ópticos se intenta que esto no ocurra pero en el caso del radioscopio muchas veces se propicia para que el usuario pueda distinguir claramente la imagen real y la aérea y así le sea más fácil realizar la medida.

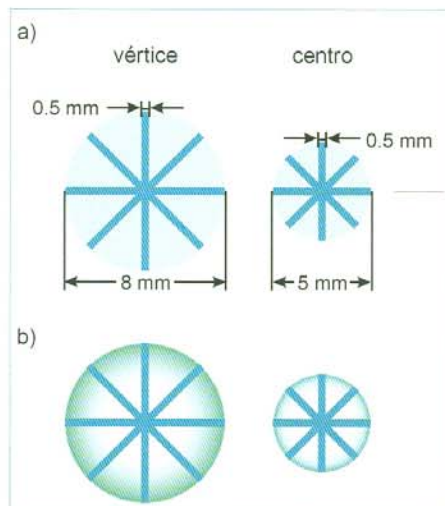


Fig. 8. Representación de las imágenes del vértice y del centro. a) El grosor de las líneas es el mismo en cambio el campo observado es distinto. b) Variación de la iluminación de la imagen cuando el campo no está bien determinado.

¿Por qué al realizar las medidas se pone una gota de agua entre la LC y el soporte?

La respuesta es: para eliminar las imágenes del test que no correspondan al vértice y centro de la cara posterior de la LC.

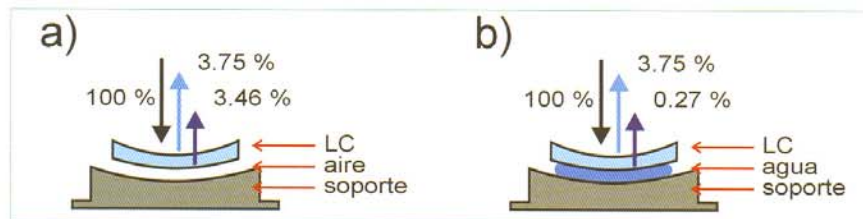


Fig. 9. Coeficientes de reflexión que se presentan en las dos caras de la lente de contacto. En a) hay aire entre la lente y el soporte y en b) hay una gota de agua entre ambos.

Efectivamente, cuando la luz procedente del test incide sobre la LC, una pequeña porción de luz es reflejada por la primera cara dando lugar a las imágenes del centro y vértice de la primera superficie de la LC pero una mayor parte de luz es transmitida hacia la segunda cara. Cuando esta luz llega a la segunda superficie vuelve a reflejarse en ella y la podremos observar tras atravesar la primera cara (fig. 9). Entonces, cuando desplazemos la LC para efectuar las medidas podremos observar no sólo las dos imágenes procedentes del centro y del vértice de la primera superficie sino que también veremos otras dos imágenes procedentes del centro y del vértice de la segunda superficie.

La cantidad de luz reflejada, suponiendo incidencia normal, viene dada por la ecuación:

$$R = \frac{(n - n')^2}{(n + n')^2} \quad [2]$$

Donde n es el índice de refracción del medio en el que incide la luz y n' es el índice de refracción del segundo medio.

Como R depende del índice de refracción de los medios implicados, los valores obtenidos pueden variar mucho. Veamos con un ejemplo la importancia de este hecho. Para ello supongamos que tenemos una lente de contacto RPG de índice de refracción igual a 1,48. Aplicando la ecuación [2] se puede calcular la cantidad de luz reflejada a través de la primera superficie de la lente de contacto. Teniendo en cuenta los índices de refracción implicados ($n = 1$ (aire) y $n' = 1,48$ (LC)), se obtiene que la cantidad de luz reflejada es del 3,75%. Nótese que este pequeño porcentaje de luz es suficiente para ver las imágenes del test reflejadas en la primera cara de la LC.

Si analizamos la cantidad de luz reflejada en la segunda superficie, sin poner una gota de agua, los índices de refracción implicados ahora son $n = 1,48$ (LC) y $n' = 1$ (aire), luego, al aplicar la

ecuación [2] se obtiene que la cantidad de luz reflejada es del 3,75% de luz incidente (fig. 9a). Así, al realizar las medidas se aprecian cuatro imágenes: dos corresponderán al vértice y centro de la primera superficie de la lente de contacto y las otras dos, ligeramente menos luminosas, serán la imagen del vértice y centro de la segunda superficie a través de la primera superficie de la LC. El orden de aparición de dichas imágenes varía en función de la potencia de la lente de contacto.

Si analizamos la cantidad de luz reflejada en la segunda superficie, pero ahora con una gota de agua, se obtiene un coeficiente de reflexión del 0,27% ya que en este caso los índices de refracción son: $n = 1,48$ (LC) y $n' = 1,333$ (agua) (fig. 9b). Con este valor podemos afirmar que las imágenes proporcionadas por reflexión en la segunda superficie son tan tenues que no se aprecian. Si comparamos este valor con el obtenido con aire vemos que el porcentaje de luz reflejada ha caído drásticamente un orden de magnitud.

Si en vez de agua se utiliza una gota de solución salina, el porcentaje variará en función del índice de refracción de la misma. Como resumen podemos decir que al poner una gota de líquido (agua o solución salina) estamos limitando el número de imágenes del test a las dos que realmente interesan, la del vértice y centro de la LC.

Medida del radio de curvatura de una lente de contacto con un radioscopio

Para hallar el valor del radio de curvatura de la cara cóncava de una LC (cara posterior) primero se sitúa la LC en la platina de medición, donde anteriormente se ha colocado una gota de agua o solución salina. Después se desplaza la platina lo más cerca posible del objetivo para ir alejándola hasta que se observa la imagen nítida del test, la



cual corresponde a la imagen "real" (fig. 7). Se anota la posición de la platina indicada en el sistema de medida, ya que ésta indicará la posición del vértice de la superficie. Al alejar más la platina, aparecerá la imagen del filamento, y luego volverá a verse otra imagen del test que corresponderá a la imagen "aérea", es decir al centro de la LC, y se vuelve anotar la posición de la platina. El radio de curvatura de la LC se hallará restando los dos valores anotados.

El radioscopio también puede efectuar medidas del radio de curvatura de la cara convexa de la LC (cara anterior) (fig. 10) siguiendo el mismo procedimiento. En este caso, el proceso también se inicia colocando una gota de agua o solución salina en el soporte de la LC, luego se desplaza la platina lo más cerca posible del objetivo y después se va alejando hasta encontrar las imágenes del centro y del vértice. Nótese que en este caso el orden de las imágenes es inverso al caso anterior, es decir primero se halla la imagen "aérea" que corresponde al centro y luego la imagen "real" la cual corresponde al vértice.

Si la LC es tórica, también se pueden medir los dos radios de curvatura de la superficie. Para ello se aplica el mismo procedimiento que para las lentes esféricas, pero la diferencia estriba en que deben medirse los dos meridianos por separado. Para una

superficie cóncava, primero se observa la imagen "real" y se ve el test completamente enfocado. En cambio, al alejar la lente, se hallan dos posiciones de enfoque parcial del test, correspondientes a cada uno de los meridianos. La distancia del vértice a la primera de dichas posiciones corresponde al radio de curvatura de uno de los meridianos, mientras que la distancia del vértice a la segunda de las posiciones, corresponde al radio de curvatura del meridiano perpendicular.

Conclusiones

El radioscopio es un instrumento ideado y construido para realizar medidas de radios de curvatura pequeños, del orden de unos pocos milímetros, de superficies reflectantes cuya principal aplicación se halla en el campo de la contactología. El instrumento se estructura alrededor de un microscopio de pocos aumentos (100x aproximadamente) complementado con un test y un sistema para determinar la posición de la platina de forma precisa.

Su principal aplicación se centra en la medida del radio de curvatura de la cara interna de las lentes de contacto rígidas o semirrígidas, pero también puede medir los radios de curvatura de las bandas periféricas o de lentes de contacto blandas y puede utilizarse para hacer inspección del estado superficial de las lentes de contacto.

El sistema está diseñado para minimizar el error en la determinación del vértice y del centro de curvatura que se está midiendo y es un elemento imprescindible en cualquier gabinete de adaptación de lentes de contacto.

Agradecimientos

A Estitxu Olalde por su colaboración en el dibujo de los numerosos esquemas.

Bibliografía

1. Henson DB. Optometric Instrumentation. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. 1996.
2. Antó J, Tomás N. Óptica Instrumental. Barcelona: Edicions UPC. 1996
3. Hecht E. Óptica. 3ª ed. Addison-Wesley Iberoamericana. 2000

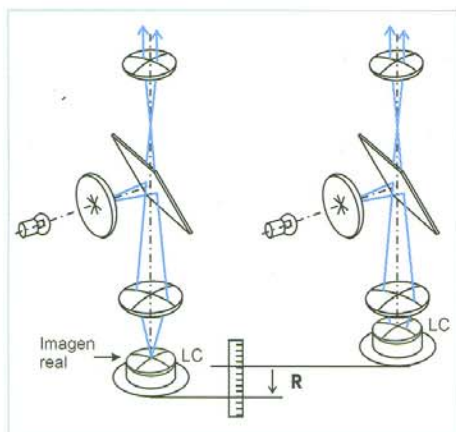


Fig. 10. Posiciones de lectura del radio de curvatura de la cara convexa de una lente de contacto. En a) cuando se determina la posición del vértice de la LC y b) cuando se halla la posición del centro de curvatura de la LC.