

# Capítulo 9

## Prismas oftálmicos

M. Vera

Los prismas son sistemas ópticos afocales que dispersan y desvían la luz. En óptica oftálmica se utilizan por su efecto de desviación de la luz en distintas formas, dependiendo de las características del usuario y la magnitud de la corrección necesaria, que trataremos en el capítulo 12. En este capítulo se exponen los principios en los que se fundamentan las aplicaciones visuales de los prismas.

### 9.1 Principios ópticos de los prismas oftálmicos

Un prisma plano es un cuerpo transparente limitado por dos dioptrios planos no paralelos. El ángulo que forman estos dos dioptrios planos se denomina ángulo apical o de refringencia ( $\alpha$ ), y la intersección entre las dos caras del prisma se denomina arista; la cara opuesta a la arista es la base del prisma.

Cualquier superficie plana perpendicular a la base y a la arista es una sección principal del prisma (figura 9.1).

Cuando un rayo de luz incide sobre un prisma se refracta dos veces según la ley de la refracción. Si el prisma está inmerso en aire, el rayo se desvía en dirección a la base del prisma.

La inclinación del rayo emergente respecto al incidente se conoce como ángulo de desviación ( $\delta$ ) (figura 9.2).

Los prismas de aplicación visual, conocidos como prismas oftálmicos, poseen un ángulo de refringencia ( $\alpha$ ) menor de  $10^\circ$ , y por ello pueden ser considerados como prismas delgados. Además, por su colocación frente a los ojos, se puede considerar con buena aproximación, que la luz incide perpendicularmente a la primera superficie, con lo cual se cumple la siguiente relación entre el ángulo de desviación ( $\delta$ ) y el de refringencia ( $\alpha$ ):

$$\delta = (n - 1) \alpha \quad (9.1)$$

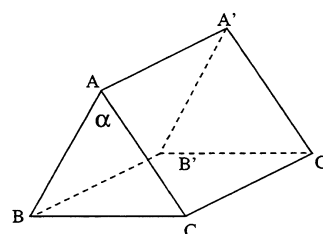


Fig. 9.1 Prisma plano. ABC es la sección principal

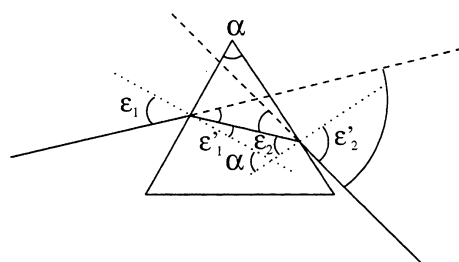


Fig. 9.2 Ángulo de desviación del prisma

En esta expresión se pone de manifiesto que la potencia de desviación depende tanto del ángulo apical como del índice de refracción del prisma  $n$ .

### 9.2 Potencia prismática

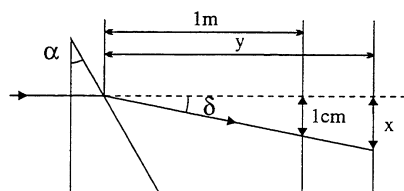


Fig. 9.3

La propiedad más importante de los prismas oftálmicos es la potencia de desviación, y por ello es lógico que habitualmente se exprese mediante el ángulo de desviación en lugar del ángulo apical ( $\alpha$ ). En cuanto a las unidades, normalmente se utiliza la dioptría prismática ( $\Delta$ ) en lugar del grado ( $^\circ$ ). C.F. Prentice (1888) definió por primera vez la dioptría prismática como aquel prisma que produce una desviación de 1 cm en una pantalla situada a 1 metro (figura 9.3).

$$\Delta = 100 \operatorname{tg} \delta \tag{9.2}$$

Si consideramos que para un prisma de índice 1,523, 1 $\Delta$  equivale aproximadamente a 0,57 $^\circ$  de desviación ( $\delta$ ), se obtiene una relación, que no es lineal, entre el ángulo apical expresado en grados y el ángulo de desviación expresado en dioptrías prismáticas que se muestra en la tabla 9.1:

154

Tabla 9.1 Equivalencia entre ángulo apical y potencia de desviación

$\alpha$ ( $^\circ$ )	$\delta$ ( $\Delta$ )	$\alpha$ ( $^\circ$ )	$\delta$ ( $\Delta$ )	$\alpha$ ( $^\circ$ )	$\delta$ ( $\Delta$ )
1	0,9	11	9,9	21	20,4
2	1,7	12	10,8	22	21,1
3	2,6	13	11,8	23	22,9
4	3,5	14	12,8	24	24,2
5	4,4	15	13,8	25	25,6
6	5,3	16	14,8	26	27
7	6,2	17	15,9	27	28,5
8	7,1	18	16,9	28	30,1
9	8	19	18,1	29	31,8
10	8,9	20	19,2	30	33,6

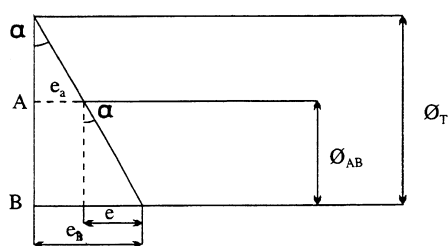


Fig. 9.4 Esquema para el cálculo de los espesores de un prisma

### 9.3 Espesores de los prismas

De una forma sencilla se puede determinar la relación entre la potencia de un prisma y la diferencia de espesores para un diámetro dado (figura 9.4).

Para conocer la diferencia de espesores entre la sección A y la sección B del prisma, denotada como «e», según (9.1) y (9.2) tenemos que:

$$\Delta = 100 \operatorname{tg} \delta [(n - 1) \alpha] \tag{9.3}$$

Para prismas delgados se puede aproximar la tangente del ángulo al ángulo en radianes, con lo que obtenemos las siguientes relaciones:

$$tg \alpha \cong \alpha (rad) = \frac{e}{\phi_{AB}} = \frac{e_B}{\phi_T} \tag{9.4}$$

Y sustituyendo (9.4) en (9.3) se deduce que:

$$e = \frac{\Delta\phi_{AB}}{100 (n - 1)} \tag{9.5}$$

Del mismo modo, se puede hallar el espesor total del prisma, de (9.4) y (9.5):

$$e_B = \frac{\Delta\phi_T}{100 (n - 1)} \tag{9.6}$$

Según esto, para un prisma de forma circular, de índice de refracción crown 1,523, y de diámetro 65 mm, por cada dioptría prismática de potencia presenta una diferencia de espesores de 1,24 mm.

### 9.4 Orientación de los prismas oftálmicos

Para describir el efecto de un prisma oftálmico no basta con conocer su potencia, sino que es necesario saber en qué dirección y sentido produce la desviación. Para ello se utiliza el sistema TABO (figura 9.5), mediante el que se especifica la posición de la base del prisma respecto a la cara del usuario, con el mismo sistema de referencia que el eje del astigmatismo, hallándose la orientación 0° a la izquierda de ambos ojos.

En óptica oftálmica se suele denominar a las bases que se hallan en la dirección vertical como base superior, abreviada BS, a 90° y base inferior (BI) a 270°, mientras que las bases que se hallan en dirección horizontal se conocen como base nasal (BN) y base temporal (BT).

La orientación en grados de las bases horizontales depende del ojo que se trate; por ello debe especificarse siempre, ya que una base a 180° corresponde a una BT para el ojo derecho (OD) y a una BN para el ojo izquierdo (OI), tal como puede observarse en la figura precedente (figura 9.5).

Las bases oblicuas se expresan mediante su orientación en grados (°) siempre entre 0° y 180°, como por ejemplo: OD BNI x 150°, que sería la misma dirección que para el OI BTI x 150°.

Para las bases que se hallan en las bisectrices de los cuadrantes, no hace falta especificar la orientación en grados, sino que basta con decir OD BTS, y se sobrentiende que la base se halla a 135°, mientras que para el OI BTS, debemos entender que se encuentra a 45°.

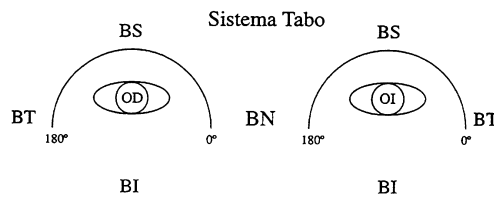


Fig. 9.5 Sistema TABO para designar la orientación de la base del prisma

## 9.5 Formación de imágenes a través de un prisma

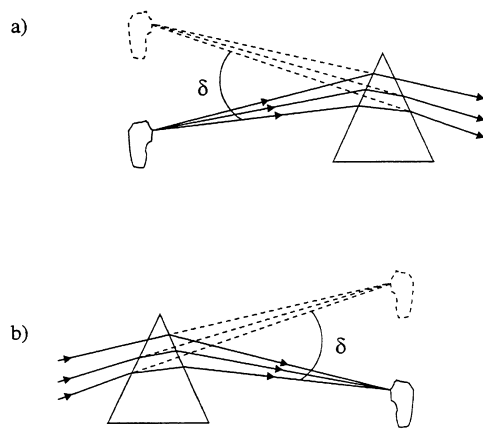


Fig. 9.6 Formación de imágenes a través de un prisma

Cualquier rayo de luz que atraviesa un prisma se desvía hacia su base. Si el haz que emerge del prisma es divergente se obtiene una imagen virtual que se halla en el espacio objeto en dirección a la arista del prisma. Esto es lo que ocurre al observar directamente a través de un prisma, y coincide con la situación en que se utilizan los prismas oftálmicos (figura 9.6a).

En cambio, cuando el haz emergente del prisma es convergente, la imagen es real (porque procede de un objeto virtual), pudiendo ser recogida en una pantalla, y se forma en dirección a la base del prisma. Este es el caso de la medida de la potencia prismática en el frontofocómetro (figura 9.6b).

## 9.6 Efecto de los prismas oftálmicos en la visión

Uno de los efectos indeseados de los prismas oftálmicos en la visión son las aberraciones que presentan, sobretodo para potencias prismáticas elevadas. La aberración cromática (dispersión de la luz) es una de las más manifiestas, además de la distorsión de la imagen, que se produce debido a la falta de constancia del ángulo de desviación desde la base al vértice, y se manifiesta más en la dirección de la base del prisma.

El problema aparece cuando el efecto de estas aberraciones es muy distinto en los dos ojos, pues se obtienen distintas agudezas visuales y se compromete la visión binocular en el caso en que pueda haberla. En el capítulo 12 se exponen las características ópticas de los distintos tipos de prismas oftálmicos para obtener la máxima calidad de visión, y minimizar estos efectos.

Ya hemos visto cómo, al observar un objeto a través de un prisma oftálmico, éste se percibe desplazado en la dirección de la arista. De acuerdo con este efecto, los prismas oftálmicos se utilizan principalmente con dos propósitos. Para provocar una determinada rotación en uno o los dos ojos, o para variar la posición espacial de las imágenes de objetos reales, como se analizará en el capítulo 12.

Al anteponer un prisma a un ojo que se hallaba formando una imagen en su fovea, la imagen cambia de posición, y se desplaza en el sentido de la base del prisma. Para mantener la fijación del objeto, el ojo debe girar hacia la arista del prisma (figura 9.7).

Las rotaciones oculares que provocan los prismas oftálmicos se pueden clasificar en monolares y binoculares. Con un ojo ocluido, la anteposición de un prisma produce una ducción. En condiciones de visión binocular los prismas provocan movimientos binoculares conjugados

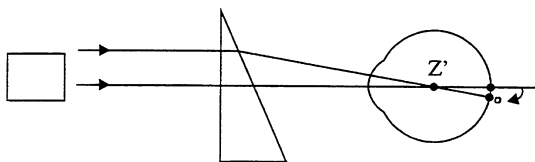


Fig. 9.7 Rotación del ojo provocada por el prisma oftálmico

o disyuntivos (vergencias). Conjugados cuando las bases de los prismas que se anteponen a los ojos son cardinalmente coincidentes y disyuntivos cuando las bases son cardinalmente opuestas, como se ampliará en el capítulo 11.

El ángulo que debe girar el ojo para mantener la fijación depende no sólo de la potencia del prisma, sino también de la distancia a la que se encuentra el objeto observado. Esta propiedad se conoce como potencia efectiva de los prismas.

### 9.7 Potencia efectiva de los prismas

En visión a infinito, el ángulo de giro del ojo corresponde al ángulo de desviación del prisma, cosa que no ocurre así en visión próxima. Estudiaremos los dos casos por separado.

#### Objeto lejano

Como se muestra en la figura 9.8, el ángulo de rotación del ojo ( $\theta$ ) es igual al ángulo de desviación ( $\delta$ ) del prisma.

Por tanto, si el objetivo del prisma oftálmico es conseguir que el ojo rote un determinado ángulo  $\theta$ , su potencia de desviación ( $\Delta$ ) debe ser la misma.

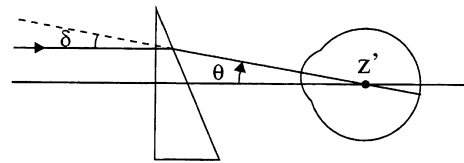


Fig. 9.8 Rotación del ojo para objeto lejano

$$\Delta = 100 \operatorname{tg} \delta \Rightarrow \Delta = 100 \operatorname{tg} \theta \quad (9.7)$$

#### Objeto cercano

Tal como puede apreciarse en la figura 9.9, si el objeto se halla lo suficientemente alejado, el ángulo  $\sigma$  puede despreciarse frente a  $\delta$ , ya que  $l \gg a'$ , y se cumple que:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{y}{-a} \Rightarrow \frac{\Delta}{100} = \frac{y}{-a} \Rightarrow y = \frac{-a \Delta}{100} \quad (9.8)$$

En cambio, si el objeto está cerca, no se puede despreciar  $a'$ , ya que  $\delta$  es mayor que  $\theta$ . En ese caso, la expresión queda como sigue:

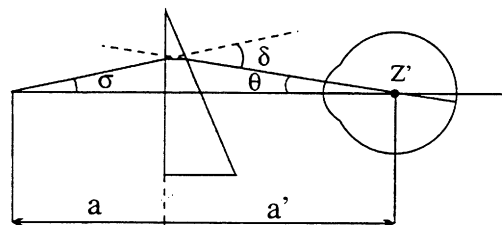


Fig. 9.9 Rotación del ojo ante un objeto cercano

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{y}{-a + a'} \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{-a \Delta}{100 (-a + a')} \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta}{100} \left( \frac{-a}{-a + a'} \right)$$

$$\Delta = 100 \operatorname{tg} \theta \left( \frac{-a + a'}{-a} \right) \Rightarrow \Delta = 100 \operatorname{tg} \theta \left( 1 - \frac{a'}{a} \right) \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta}{100 \left( 1 - \frac{a'}{a} \right)} \quad (9.8)$$

donde  $(1 - a'/a)$  es el factor de proximidad.

### 9.8 Combinación de prismas

En los exámenes optométricos se realizan pruebas con prismas horizontales y verticales, lo que hace muy conveniente saber expresar cualquier prisma en sus componentes horizontal y vertical, así como saber combinar los prismas. Para ello resulta cómodo tratar los prismas como si fueran vectores, de módulo el valor del prisma y argumento la dirección y sentido de la base.

Las normas que se van a describir serán válidas también para combinar efectos prismáticos que serán tratados en el capítulo 10.

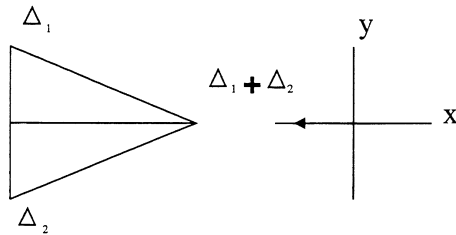


Fig. 9.10 Combinación de prismas de bases coincidentes

158

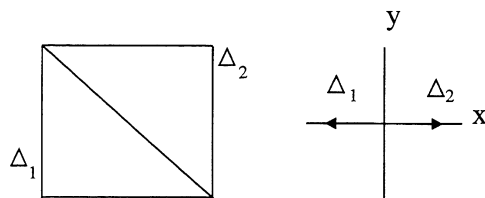


Fig. 9.11 Combinación de prismas de bases opuestas

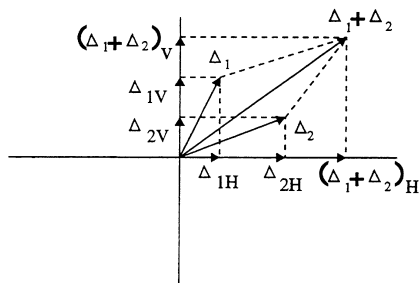


Fig. 9.12 Combinación de prismas de bases perpendiculares

a) Si las bases del prisma son coincidentes, el prisma resultante es la suma de los prismas que se combinan, y la base resultante se hallará en la misma dirección y sentido que las de los prismas combinados. Por ejemplo, si combinamos un prisma 2ΔBT (OD) con un prisma 2ΔBT (OD) el prisma resultante es 4ΔBT (figura 9.10).

b) Si las bases son opuestas, el módulo del prisma resultante es la diferencia de los prismas que se combinan, coincidiendo la base resultante con la del prisma de módulo mayor. Por ejemplo, al combinar 1ΔBT (OD) con 1ΔBN (OD) el prisma resultante es de 0Δ (figura 9.11).

c) Si las bases son perpendiculares, el prisma equivalente es un prisma oblicuo. Tal y como se muestra en la figura 9.12, la combinación de estos dos prismas perpendiculares entre sí puede tratarse como si fuera una suma vectorial de dos vectores de módulo el valor del prisma.

El valor del prisma oblicuo resultante ( $\Delta_R$ ) viene dado por

$$\Delta_R = \sqrt{\Delta_V^2 + \Delta_H^2} \quad (9.10)$$

Su base se halla en una dirección  $\theta$ , resultante de la combinación de las bases de los dos prismas:

$$\text{tg } \theta = \frac{\Delta_V}{\Delta_H} \quad (9.11)$$

Por ejemplo, al combinar, para el ojo derecho, 1ΔBN con 2ΔBS, el prisma resultante es de 2.23ΔBNS x 63°.

Del mismo modo que podemos componer dos prismas o efectos prismáticos para obtener un prisma equivalente o resultante, podemos descomponer cualquier prisma o efecto prismático en sus componentes horizontales y verticales a través de las siguientes expresiones:

$$\Delta_H = \Delta_R \cos \theta \quad (9.12)$$

$$\Delta_V = \Delta_R \sin \theta \quad (9.13)$$

Por ejemplo, 7ΔBIT x 45° se puede descomponer en 5ΔBT y 5ΔBI.

d) Si las bases son oblicuas (figura 9.13), se descompone cada una de ellas en su componente horizontal y vertical mediante el teorema del coseno. Se combinan los dos prismas horizontales y verticales según los apartados a) y b), y se obtienen dos prismas perpendiculares entre sí, que se pueden combinar según el apartado c).

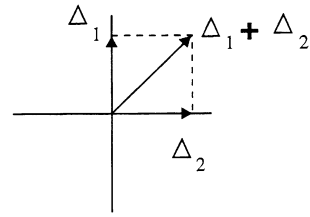


Fig. 9.13. Combinación de prismas de bases oblicuas

### Bibliografía

CORBÉ,C.; MENU, J.P.; CHAINE, G. *Traité d'optique physiologique et clinique*. París, Doin Editeurs, 1993.  
 FANNIN, T.E.; GROSVENOR T. *Clinical optics*. Boston, Butterworths, 1987.  
 JALIE, M. *The Principles of Ophthalmic Lenses*. Londres, The Association of British Dispensing Opticians, 1988.  
 SCHIKORRA A. «Lentes monofocales astigmáticas y prismáticas». *Ver y Oír* n<sup>os</sup> 38 a 53, Puntex, 1989.  
 TWYMAN, F. *Prism and lens making*. Nueva York, IOP Publishing, 1989.

# Capítulo 10

## Efectos prismáticos y descentramientos

M. Lupón

### 10.1 Lentes descentradas

El centro óptico de una lente oftálmica se define como el punto de la misma en el cual no existe ningún efecto prismático. Normalmente, si la lente no se fabrica descentrada a propósito (lente prismática), este centro óptico coincide con el punto de máximo espesor de centro en lentes positivas y con el punto de mínimo espesor de centro en lentes negativas. Para cualquier otro punto, las lentes oftálmicas tienen un comportamiento análogo al de un prisma, puesto que desvían la luz. Teniendo en cuenta que una lente oftálmica positiva o negativa puede considerarse como formada por un conjunto de prismas de ángulo variable, el efecto prismático aumenta al alejarnos del centro óptico a la periferia puesto que el ángulo apical ( $\alpha$ ) aumenta (figura 10.1).

De este modo, las lentes esféricas positivas se comportan, en cuanto a efectos prismáticos, como una serie de prismas unidos por sus bases, mientras que las lentes esféricas negativas se comportan como una serie de prismas unidos por sus aristas, como se muestra en la figura 10.2.

Cuando se desplaza una lente al mismo tiempo que se observa a través de ella por un punto que no es el centro óptico, la imagen del objeto se desvía en sentido contrario al que se desplaza la lente en el caso de las lentes positi-

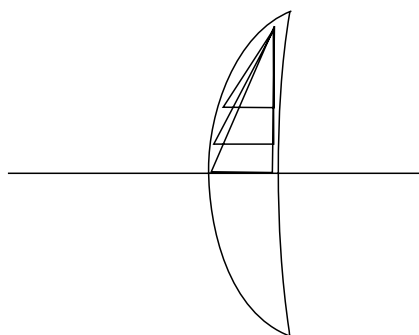


Fig. 10.1 Representación de una lente convergente como una serie de prismas de ángulo apical variable

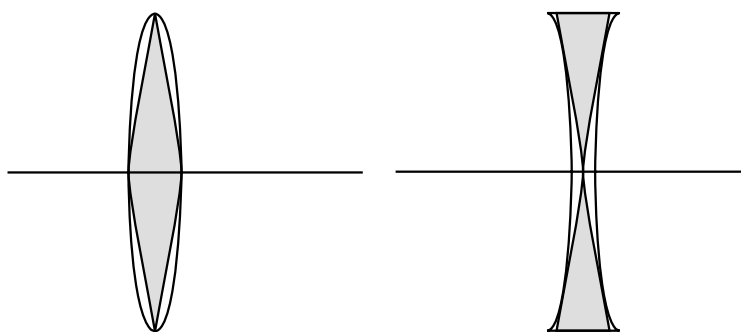


Fig. 10.2 Representación prismática de una lente esférica convergente y una lente esférica divergente



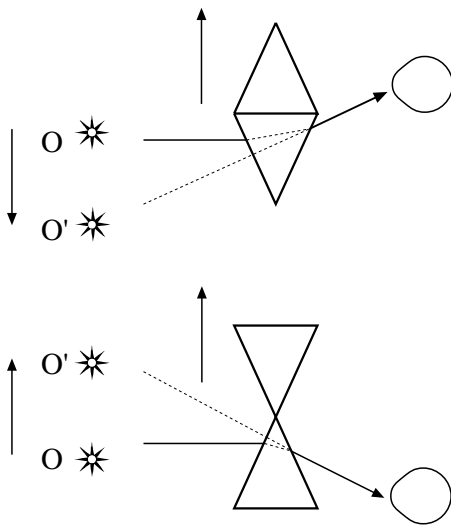


Fig. 10.3 Dirección del desplazamiento de la imagen al mover una lente convergente y una divergente

162

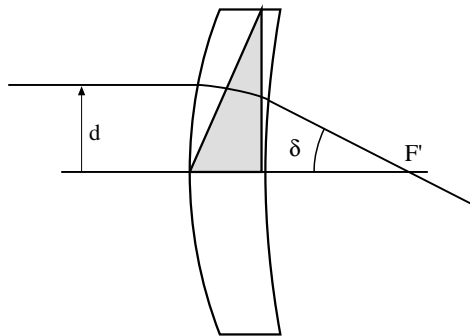


Fig. 10.4

vas, mientras que en el caso de las lentes negativas ocurre lo contrario, el desplazamiento de la imagen y de la lente son en el mismo sentido (figura 10.3).

### 10.2 Ley de Prentice

La ley de Prentice establece una relación para conocer el efecto prismático que se produce en una lente en cualquier punto distinto al centro óptico.

Sabemos que la potencia prismática se relaciona con el ángulo de desviación del prisma mediante la siguiente expresión, descrita en el capítulo 9:

$$\Delta = 100 \operatorname{tg} \delta \quad (10.1)$$

Por analogía, a partir de la figura 10.4, se puede establecer una relación entre la desviación producida por una lente y la potencia de ésta, que nos permitirá deducir la ley de Prentice.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{d}{f'} \quad (10.2)$$

$$\Delta = 100 d P \quad (10.3)$$

$$\Delta = d (\text{cm}) P \quad (10.4)$$

La ley de Prentice (10.4), pues, nos permite calcular de forma sencilla, el efecto prismático que existe en cualquier punto de una lente a partir de la potencia de la lente y la distancia en centímetros que existe desde dicho punto al centro óptico de la lente.

### 10.3 Efectos prismáticos por descentramiento de lentes esféricas

Con la ley de Prentice podemos conocer cuál es el valor del efecto prismático en un punto cualquiera de una lente; en cambio, no podemos determinar la orientación de la base del prisma inducido. Por ello, estableceremos un convenio de signos analizando la orientación de la base en cuatro puntos (a,b,c y d) de una lente esférica positiva y una lente esférica negativa situados en los ejes de abscisas y ordenadas (figura 10.5).

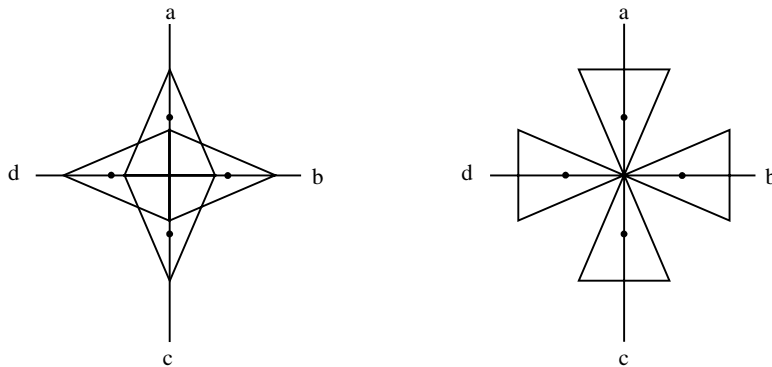


Fig. 10.5 Gráfico para establecer el convenio de signos según la ley de Prentice

En la tabla 10.1 se especifican las bases del efecto prismático. Se puede observar que las bases verticales siguen la terminología empleada en el sistema TABO, no obstante esto no ocurre para las bases horizontales.

Al adaptar la terminología de bases derechas e izquierdas a la utilizada en el sistema TABO donde se emplean bases nasales y temporales, es necesario considerar si la lente estará situada delante del ojo derecho o del izquierdo, puesto que las bases horizontales serán opuestas. Así, una base derecha en una lente para ojo derecho es base nasal mientras que en una lente para ojo izquierdo es base temporal y una base izquierda para ojo derecho es base temporal mientras que para ojo izquierdo es base nasal, como se ha visto en el capítulo 9 (figura 9.5).

En función del signo obtenido al aplicar la ley de Prentice para calcular un efecto prismático, se establece un convenio de signos que permite determinar la orientación de la base del prisma inducido al mirar por un punto cualquiera de una lente (tabla 10.2).

Al aplicar la ley de Prentice junto con el convenio de signos, obtenemos de modo rápido el valor y la orientación del efecto prismático en cualquier punto de una lente. Por ejemplo, el efecto prismático de un punto situado 1 cm hacia arriba respecto al centro óptico en una lente de +1,00 D es de 1ΔBI. Si el punto está situado 1 cm hacia la derecha del centro óptico de la lente y es para un ojo derecho, el efecto prismático es de 1ΔBT.

Tabla 10.1

	<i>Lentes positivas</i>	<i>Lentes negativas</i>
a	Base inferior	Base superior
b	Base izquierda	Base derecha
c	Base superior	Base inferior
d	Base derecha	Base izquierda

Tabla 10.2

<i>Signo al aplicar Prentice</i>	<i>O.D.</i>	<i>O.I.</i>
+	BT	BN
-	BI	BI

### 10.4 Efectos prismáticos por descentramiento de lentes astigmáticas

Para conocer el efecto prismático que existe en cualquier punto de una lente astigmática, estudiaremos por separado las lentes cilíndricas puras y las esferocilíndricas. Además, enunciaremos en este apartado algunos métodos gráficos útiles para resolver problemas de efectos prismáticos en este tipo de lentes.

**Lentes cilíndricas**

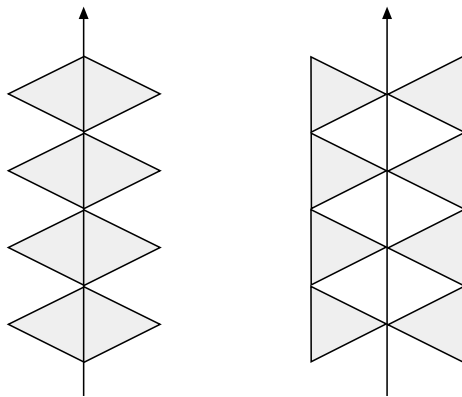


Fig 10.6

En una lente cilíndrica, la potencia en la dirección del eje es nula y en la dirección del contraeje es la del cilindro, de lo cual deducimos que en la dirección del eje no podemos inducir ningún efecto prismático. Una lente cilíndrica convergente puede ser representada como un conjunto de prismas con sus bases sobre el eje del cilindro y una cilíndrica divergente como un conjunto de prismas con sus aristas en el eje (figura 10.6).

A continuación hallaremos el efecto prismático en un punto P (x, y) de una lente cilíndrica con un eje oblicuo (figura 10.7), cuya fórmula esferocilíndrica es  $\alpha C$ . En la dirección del eje  $\alpha$  la potencia es nula, y en la del contraeje la potencia es C. Cuando el eje de la lente sea oblicuo, el efecto prismático resultante también lo será, y lo expresaremos en sus componentes de base horizontal y base vertical.

Sea d la distancia mínima entre el eje y P. El efecto prismático en el punto P es:

$$\Delta_C = d C \quad (10.5)$$

En la figura 10.7 se observa que

$$d = MP = QP \cos \alpha \quad (10.6)$$

donde

$$\begin{aligned} QP &= z - y \\ z &= x \operatorname{tg} \alpha \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (10.6) obtenemos que

$$d = (x \operatorname{tg} \alpha - y) \cos \alpha = x \sin \alpha - y \cos \alpha \quad (10.7)$$

con lo cual, el efecto prismático en el punto P queda como:

$$\Delta_C = C(x \sin \alpha - y \cos \alpha) \quad (10.8)$$

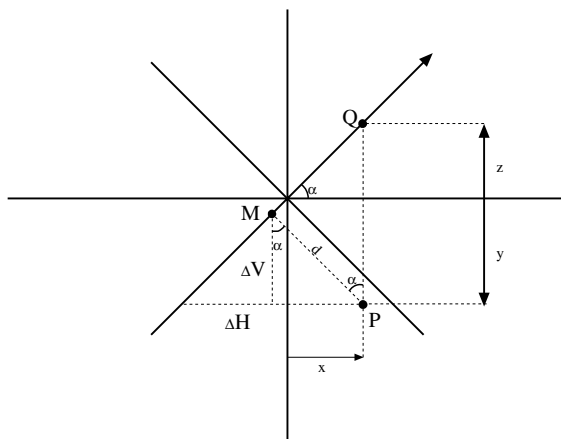


Fig. 10.7 Esquema para hallar el efecto prismático en cualquier punto de una lente cilíndrica con eje oblicuo

Descomponiendo dicho efecto prismático en sus componentes horizontal y vertical, obtenemos que

$$\Delta_H = \Delta_C \sin \alpha = C \sin \alpha (x \sin \alpha - y \cos \alpha) \quad (10.9)$$

$$\Delta_V = \Delta_C \cos \alpha = -C \cos \alpha (x \sin \alpha - y \cos \alpha) \quad (10.10)$$

A la ecuación (10.10) se antepone un signo negativo para mantener el convenio de bases establecido en las lentes esféricas, ya que para bases verticales, cuando la potencia cilíndrica  $C$  y la distancia vertical  $y$  son positivas, la potencia prismática resulta positiva e implica una base inferior, cuando en realidad es base superior.

### Lentes esferocilíndricas

Si descentramos una lente esferocilíndrica de fórmula  $C E$ , tendremos un efecto prismático debido a la esfera y otro debido al cilindro.

$$\Delta = \Delta_E + \Delta_C = d E + d C \quad (10.11)$$

Desglosando el efecto prismático resultante en sus componentes horizontal y vertical obtenemos

$$\Delta_H = x E + C \sin \alpha (x \sin \alpha - y \cos \alpha) \quad (10.12)$$

$$\Delta_V = y E - C \cos \alpha (x \sin \alpha - y \cos \alpha) \quad (10.13)$$

donde  $x$  e  $y$  son las coordenadas horizontal y vertical del punto  $P$  respecto del centro óptico de la lente,  $E$  la potencia esférica de la lente esferocilíndrica,  $C$  el valor del cilindro y  $\alpha$  la orientación del eje. Podríamos haber llegado a la misma conclusión considerando la lente esferocilíndrica como dos lentes cilíndricas con sus ejes perpendiculares.

A partir de las ecuaciones (10.12) y (10.13), podemos conocer las coordenadas  $(x,y)$  de un punto cualquiera en el que existe un efecto prismático determinado:

$$x = \frac{E \Delta_H + C \Delta_H \cos^2 \alpha + \Delta_V C \sin \alpha \cos \alpha}{E(E + C)} \quad (10.14)$$

$$y = \frac{E \Delta_V + C \Delta_V \sin^2 \alpha + \Delta_H C \sin \alpha \cos \alpha}{E(E + C)} \quad (10.15)$$

### Resolución mediante métodos gráficos

Cuando se trata de hallar el efecto prismático en un punto cualquiera de una lente astigmática con el eje oblicuo es mucho más sencillo y rápido emplear los métodos gráficos que el método analítico descrito anteriormente.

Los describiremos con un ejemplo: se pretende conocer el efecto prismático en un punto de coordenadas respecto al centro óptico de la lente (1,-1) mm. La lente, que está destinada a un ojo derecho, tiene la siguiente potencia esferocilíndrica: 70° + 5.00 -1.00 D.

#### Método del eje - contraeje

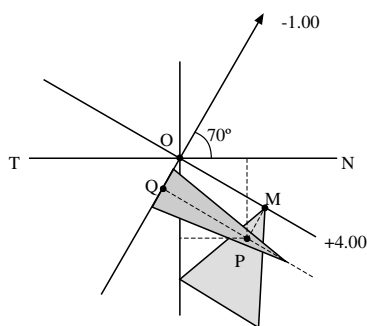


Fig. 10.8

Para resolver cuál es el efecto prismático en el punto P, consideraremos la lente como la combinación de dos cilindros puros con sus ejes perpendiculares (+4.00 x 70° ≈ -1.00 x 160°).

En primer lugar (figura 10.8), se trazan los ejes de coordenadas y la cruz óptica de la lente esferocilíndrica, indicando la orientación del eje y la potencia en cada meridiano, y se localiza el punto P(x,y) a escala.

Tomando las mínimas distancias (en cm) desde el eje y el contraeje hasta el punto P (QP=OM y MP respectivamente) podemos conocer la orientación de las bases de los prismas inducidos por cada uno de los meridianos en función de la potencia que hay en cada dirección. En nuestro ejemplo, en la dirección del eje se halla una BIT x 70° mientras que en la dirección del contraeje es una BST x 160°. A partir de la ley de Prentice podemos calcular dichos efectos prismáticos:

$$\Delta_{\text{eje}} = MP P_{\text{eje}}; \quad \text{donde } MP = 0.57 \text{ mm y } P_{\text{eje}} = -1.00 \text{ D} \quad \Rightarrow \quad \Delta_{\text{eje}} = 0.057 \Delta_{\text{BIT}} \times 70^\circ$$

$$\Delta_{\text{ceje}} = QP P_{\text{ceje}}; \quad \text{donde } QP = 1.20 \text{ mm y } P_{\text{ceje}} = +4.00 \text{ D} \quad \Rightarrow \quad \Delta_{\text{ceje}} = 0.48 \Delta_{\text{BST}} \times 160^\circ$$

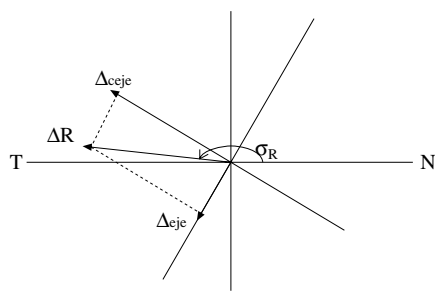


Fig. 10.9

A continuación, se hace la composición de los dos efectos prismáticos a escala (figura 10.9) y sobre el papel se mide el valor del efecto prismático resultante y su orientación. En nuestro caso, el efecto prismático resultante es  $\Delta_R = 0.5 \Delta_{\text{BST}} \times 167^\circ$ .

#### Método de la esfera y el cilindro

Se trata de considerar la lente como la combinación de una esfera y un cilindro (-1.00 ≈ +5.00x70°), y no como la combinación de dos lentes cilíndricas, como ocurría en el método anterior. En primer lugar, se representa el eje de coordenadas y se localiza a escala el punto P (figura 10.10). Midiendo la distancia OP podemos conocer el efecto prismático en este punto debido a la esfera:

$$\Delta_E = OP E; \quad \text{donde } OP = 1.42 \text{ mm y } E = -1.00 \text{ D} \quad \Rightarrow \quad \Delta_E = 0.14 \Delta_{\text{BIN}} \times 135^\circ$$

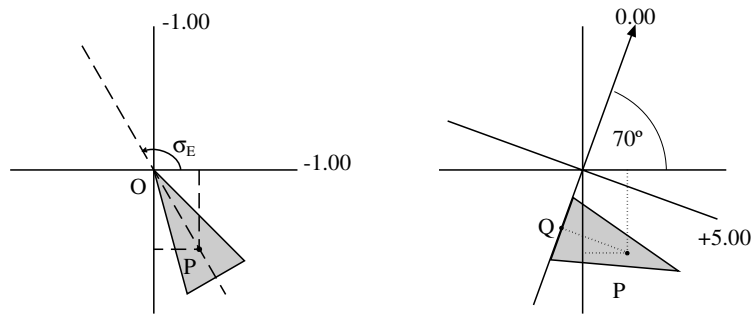


Fig. 10.10

A continuación se representa el cilindro y se toma la distancia mínima desde el eje del cilindro hasta el punto P (QP). Luego

$$\begin{aligned} \Delta_C &= QP C; \\ \text{donde } QP &= 1.30\text{mm y} \\ C &= +5.00 \times 70^\circ D \Rightarrow \\ \Delta_C &= 0.65 \Delta_{BST} \times 160^\circ \end{aligned}$$

Finalmente se componen los dos efectos prismáticos y se mide el valor y la orientación del efecto prismático resultante (figura 10.11), que para nuestro ejemplo es  $\Delta_R = 0.5 \Delta_{BST} \times 167^\circ$ .

Llevando a cabo la resolución analítica del problema, de las ecuaciones (10.12) y (10.13) se obtienen los valores de las componentes horizontal y vertical del efecto prismático resultante,  $\Delta_H = 0.5 \Delta_{BT}$  y  $\Delta_V = 0.12 \Delta_{BS}$ . A continuación se componen mediante las expresiones (9.10) y (9.11), y se obtiene que el efecto prismático resultante es  $\Delta_R = 0.51 \Delta_{BST} \times 166.5^\circ$ , resultado que concuerda significativamente con el obtenido por los métodos gráficos.

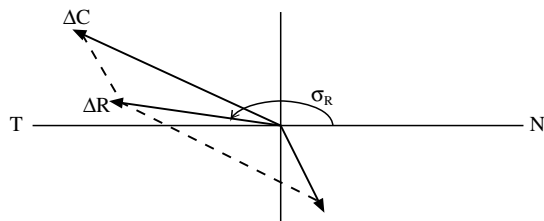


Fig. 10.11

## Bibliografía

- CORBÉ,C.; MENU, J.P.; CHAINE, G. *Traité d'optique physiologique et clinique*. París, Doin Editeurs, 1993.  
 FANNIN, T.E.; GROSVENOR T. *Clinical Optics*. Boston, Butterworths, 1987.  
 JALIE, M. *The Principles of Ophthalmic Lenses*. Londres, The Association of British Dispensing Opticians, 1988.  
 SCHIKORRA A. «Lentes monofocales astigmáticas y prismáticas». *Ver y Oír* n<sup>os</sup> 38 a 53. Puntex, 1989.  
 TWYMAN, F. *Prism and lens making*. Nueva York, IOP Publishing, 1989.

# Capítulo 11

## Desequilibrios prismáticos

M. Fransoy

### 11.1 Concepto de desequilibrio prismático

Cuando existe un efecto prismático en una o en las dos lentes de una prescripción, se produce como consecuencia una variación en la alineación relativa de los ejes visuales que se conoce como *desequilibrio prismático* ( $\delta\Delta$ ).

Por ejemplo (figura 11.1), si el efecto prismático en el ojo derecho es de  $1\Delta\text{BT}$ , y en el ojo izquierdo existe un efecto prismático de  $2\Delta\text{BT}$ , el desequilibrio prismático que soporta el usuario de la prescripción es de  $3\Delta\text{BT}$  (OD/OI).

Para calcular un desequilibrio prismático, hay que conocer primero la dirección en que se desvían los objetos observados debido a los efectos prismáticos monoculares.

Teniendo en cuenta que los prismas desvían la luz incidente hacia su base, mientras que la imagen se percibe hacia la arista del mismo, diremos que los efectos prismáticos, a nivel binocular, son cardinalmente coincidentes si producen desviación en la misma dirección, y que son cardinalmente opuestos cuando producen desviación en dirección contraria (tabla 11.1).

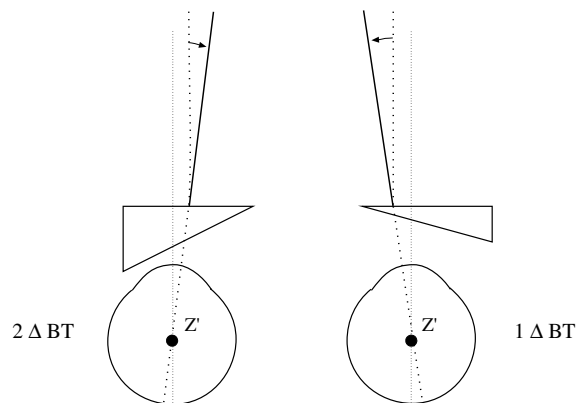


Fig. 11.1 Desequilibrio prismático como consecuencia de la diferencia entre efectos prismáticos monoculares

Tabla 11.1

Bases cardinalmente opuestas		Bases cardinalmente coincidentes	
Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
OD/OI	OD/OI	OD/OI	OD/OI
BS/BI	BT/BT	BS/BS	BN/BT
BI/BS	BN/BN	BI/BI	BT/BN

En este capítulo se tratan los desequilibrios prismáticos inducidos por errores de centrado, puesto que, tal como se ha visto en el capítulo 10, las lentes actúan como prismas fuera de su centro óptico. El desequilibrio prismático se obtiene como resultado de restar los efectos prismáticos monoculares, atendiendo al convenio de signos propuesto en la tabla 10.2.

## 11.2 Consecuencias de los errores de centrado

En ausencia de prescripción prismática, las lentes deben montarse en la montura de tal forma que su centro óptico coincida con el centro pupilar del usuario en su dirección principal de mirada, para que se cumpla el principio básico de la refracción, tal como se ha visto en el capítulo 7. Cuando el centro óptico no coincide con el centro pupilar, se producen dos tipos de consecuencias:

a) *Monoculares*: las imágenes formadas por la lente sufren un empeoramiento de calidad, debido a la incidencia de aberraciones oblicuas como el error de potencia, el astigmatismo marginal y la aberración cromática.

b) *Binoculares*: la lente actúa como un prisma desviando la luz, de manera que el objeto fijado deja de formar su imagen en la fovea, entorpeciendo la fusión porque las imágenes no se encuentran ya en los puntos retinianos correspondientes. Para superar esta situación es necesario un movimiento ocular de refovealización conocido como vergencia fusional inducida, cuyo objetivo es el de posibilitar la visión binocular simple (figura 11.2).

170

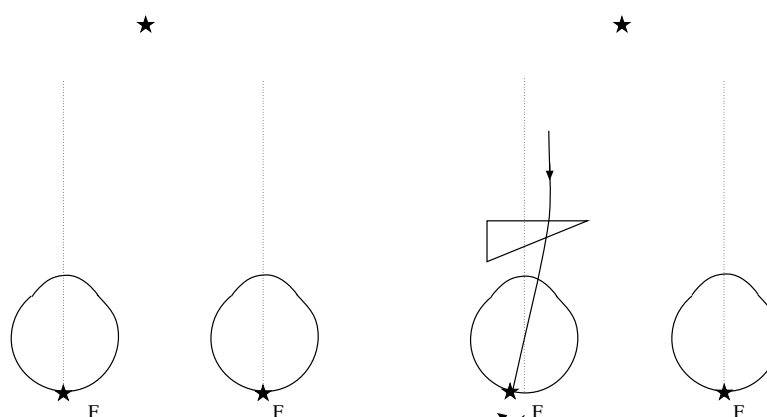


Fig. 11.2 Movimiento de fusión: convergencia fusional inducida por un efecto prismático de base temporal.

Mientras que los efectos prismáticos de base temporal inducen convergencia fusional, como se aprecia en la figura 11.2, los de base nasal inducen divergencia fusional. En la dirección vertical, los efectos prismáticos de base superior provocan un descenso (giro del globo hacia abajo) y los de base inferior una elevación, como se vio en el capítulo 9.

Como resumen podemos indicar que los errores de centrado provocan desequilibrios prismáticos que a su vez inducen un movimiento de vergencia para evitar la diplopia.

A continuación se presentan unos ejemplos.



*Ejemplo de desequilibrio prismático horizontal ( $\delta\Delta_H$ ):*

Un usuario cuya refracción es Rx: -5,00D (AO), y cuyas distancias nasopupilares (DNP) son 32/32 mm, lleva sus gafas centradas a una semidistancia entre centros ópticos DNC = 34/34 mm. Para calcular el desequilibrio prismático que soporta, primero hemos de conocer los efectos prismáticos monoculares, y para ello aplicamos la ley de Prentice, teniendo en cuenta el convenio de signos expuesto en el capítulo 10:

$$\begin{aligned} \Delta_{OD} &= 0,2 \text{ cm} \cdot (-5) \text{ D} = -1 \equiv 1\Delta\text{BN} & \Delta_{OI} &= -0,2 \text{ cm} \cdot (-5) \text{ D} = +1 \equiv 1\Delta\text{BN} \\ \delta\Delta_{HOD} &= (-1) - (+1) = -2 \equiv 2\Delta\text{BN OD, o también} & \delta\Delta_{HOI} &= (+1) - (-1) = 2 \equiv 2\Delta\text{BN OI} \end{aligned}$$

El desequilibrio prismático es  $\delta\Delta_H = \Delta_{OD} - \Delta_{OI} = \Delta_{OI} - \Delta_{OD} = 2\Delta\text{BN}$  (bases cardinalmente opuestas), que obligará al usuario a diverger para evitar la diplopia (figura 11.3).

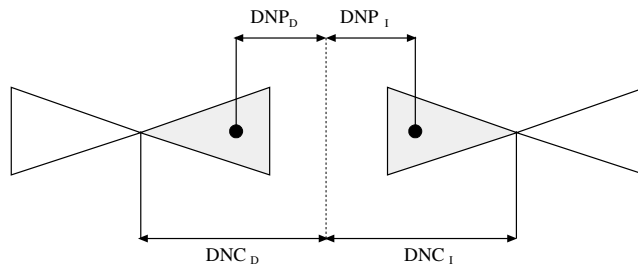


Fig. 11.3 Situación de las pupilas del usuario respecto los centros ópticos de las lentes. Utilización de la divergencia fusional para evitar la diplopia

*Ejemplo de desequilibrio prismático vertical ( $\delta\Delta_V$ ):*

Un usuario cuya refracción es Rx: -4,50 D (AO), y cuyas distancias nasopupilares (DNP) son 32/32 mm, lleva sus gafas centradas a una semidistancia entre centros ópticos DNC = 32/32 mm. El centro óptico de la lente derecha se halla 2 mm por encima de la pupila, mientras que el de la lente izquierda se encuentra a 5 mm por encima de la pupila izquierda, tal como se puede apreciar en la figura 11.4.

$$\begin{aligned} \Delta_{OD} &= -0,2 \cdot (-4,5) = +0,90 \equiv 0,9\Delta\text{BI} & \Delta_{OI} &= -0,5 \cdot (-4,5) = +2,25 \equiv 2\Delta\text{BI} \\ \delta\Delta_{VOD} &= 0,90 - 2,25 = -1,35 \equiv 1,35\Delta\text{BS}_{OD} & \delta\Delta_{VOI} &= 2,25 - 0,90 = +1,35 \equiv 1,35\Delta\text{BI}_{OI} \\ \delta\Delta_V &= 1,35\Delta\text{BI}_{OI} = 1,35\Delta\text{BS}_{OD} \end{aligned}$$

El efecto prismático es mayor en el ojo izquierdo, y las bases son cardinalmente coincidentes. En este caso denotaremos el desequilibrio prismático como  $1,35 \Delta\text{BI}_{OI}$ . Esto significa que, para superarlo, el usuario debe realizar un movimiento de vergencia vertical, elevando el ojo izquierdo 1,35  $\Delta$  más que el ojo derecho. Podemos comprobar que este desequilibrio produce el mismo efecto de vergencia que producirían  $1,35 \Delta\text{BS}_{OD}$ .

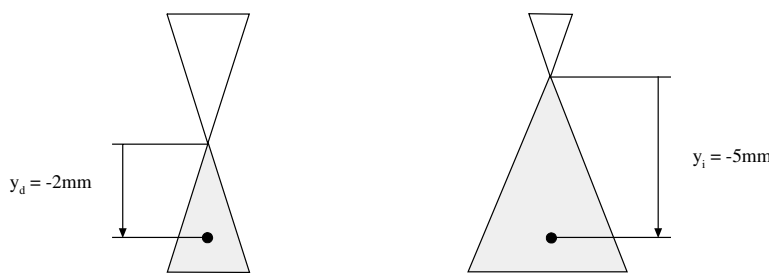


Fig. 11.4 Situación de las pupilas del usuario respecto los centros ópticos de las lentes

### 11.3 Tolerancia de centrado

Se hace necesario establecer los límites en que los descentramientos de las lentes pueden ser tolerados, con dos objetivos principales: para establecer un criterio de calidad en la evaluación del centrado de las prescripciones posterior al montaje (apartado 11.4), y para tener más elementos de juicio a la hora de decidir cómo centrar las lentes en función de las características de la prescripción del usuario (apartado 11.5).

Teniendo en cuenta las consecuencias que se derivan de un mal centrado, se pueden imponer dos tipos de restricciones como criterios de centrado correcto:

a) *Monocularmente*: la distancia entre el centro pupilar del usuario y el centro óptico de la lente no puede ser mayor que 3 mm, para que las aberraciones oblicuas no empeoren la calidad de la imagen.

b) *Binocularmente*: según la norma RAL-RG-915, se puede considerar que la importancia del error de centrado depende de la potencia de la lente, del tipo de vergencia fusional que induce, y de la distancia de observación para la que se utilizan las lentes. En visión lejana (VL), es más fácil converger que *diverger más allá del paralelismo*. Por ello se consideran menos críticos los errores de centrado que inducen convergencia, o sea, los de base temporal (esto ocurre con las lentes negativas descentradas hacia dentro respecto a las pupilas del usuario, o las positivas descentradas hacia fuera). En cambio, en visión próxima (VP) es más fácil diverger que converger aún más. Por ello se consideran menos críticos los errores de centrado que inducen divergencia fusional, o sea, los de base nasal (que se producen en las lentes negativas descentradas hacia fuera respecto a la pupila, o en las positivas descentradas hacia dentro). En la dirección vertical siempre es crítico un desalineamiento en altura de los centros ópticos del par de lentes respecto al borde inferior interno del aro de la montura, puesto que

siempre inducirá una vergencia vertical, que no es una habilidad motriz innata de los músculos extraoculares, con lo cual, o será imposible de producirse, o producirá problemas de fatiga inmediatamente. Este razonamiento se resume de forma esquemática en la tabla 11.2.

Tabla 11.2 Tolerancias de centrado según la norma RAL-RG-915

Pvp	Dirección horizontal ( $\Delta$ )		Dirección vertical ( $\Delta$ )
	más crítico VL BN / VP BT	menos crítico VL BT / VP BN	siempre crítico
0,25-1 D	0,25	0,5	0,25
1,25-6 D	0,5	1	0,25
6,50-12 D	0,5	1	0,50
> 12 D	1	1,5	0,50

172

### 11.4 Aplicación de la tolerancia de centrado

Conocer la tolerancia a los errores de centrado es muy útil como criterio de control de calidad en el montaje de las gafas. Una gafa montada es apta para ser entregada al usuario cuando la vergencia fusional inducida por el error de centrado no supera los valores establecidos por RAL-RG-915, y no se producen aberraciones que interfieren en la calidad de visión, esto es, se respeta el criterio monocular. En general, las tolerancias binoculares resultan más restrictivas que las monoculares, por lo cual, al evaluar un centrado se empezará por el análisis binocular.

Cualquier buen montaje debe finalizar con la evaluación del centrado, sin embargo, existen algunas situaciones en las que aplicar las normas de tolerancia es especialmente necesario:

- a) Para detectar errores sistemáticos o accidentales durante el proceso de montaje y su repercusión en la visión binocular del usuario.
- b) Ante una imposibilidad técnica de producir el centrado que especifica la prescripción, debido a una insuficiencia de diámetro de una o las dos lentes de que disponemos.
- c) Habiendo montado la lente de un ojo erróneamente, estudiar cómo de debe montar la del otro para que binocularmente la prescripción pueda considerarse bien centrada.

Analizaremos estas tolerancias en varios casos particulares:

*Ejemplo nº 1* (figura 11.5): Queremos conocer entre qué valores se pueden situar los centros ópticos de ambas lentes (distancia entre centros = DEC) para que el centrado pueda considerarse correcto, sabiendo que el usuario tiene unas distancias nasopupilares de DNP = 32/32 mm y su refracción, igual en los dos ojos, es de Rx: + 5,00 D (AO).

En VL el desequilibrio prismático horizontal máximo ( $\delta\Delta_H$ ) tolerado según la norma RAL-RG-915, es 0,5 $\Delta$ BN en la dirección crítica y 1 $\Delta$ BT en la menos crítica. Calculamos a qué descentramientos (d = distancia desde el centro óptico al centro pupilar) corresponden estos desequilibrios mediante la ley de Prentice. Como la potencia de ambas lentes es la misma, se puede calcular de la siguiente forma:

$$d_{\text{crítico}} = 0,5 \Delta \text{ BN} / 5 \text{ D} = 0,1\text{cm} \Rightarrow \text{distancia CO-CP}$$

$$d_{\text{no crítico}} = 1 \Delta \text{ BT} / 5 \text{ D} = 0,2\text{cm} \Rightarrow \text{distancia CO-CP}$$

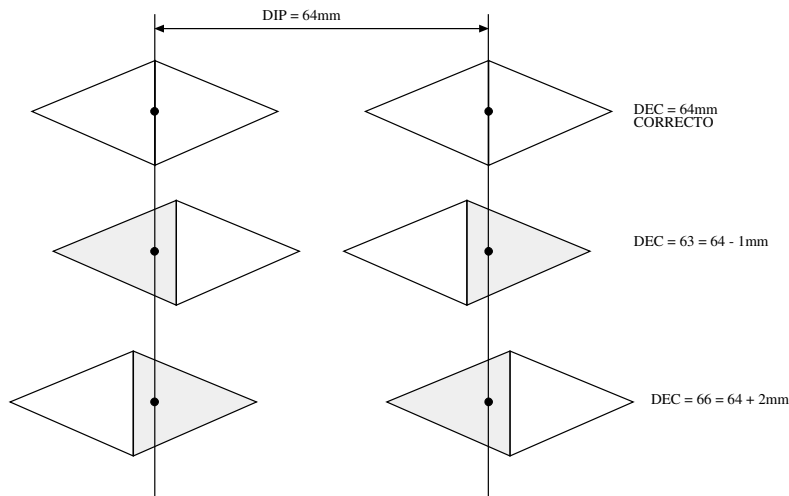


Fig. 11.5

El centrado correcto oscila entre 63 mm y 66 mm, y no puede encontrarse ningún centro óptico a más de 3 mm respecto al centro pupilar (no sería correcto DNC = 30/36 mm). En este ejemplo se comprueba que en lentes positivas utilizadas en visión de lejos, es cuantitativamente más tolerable el descentramiento hacia fuera que hacia dentro.

*Ejemplo nº 2* (figura 11.6): Después de montar la lente del ojo derecho comprobamos que ha quedado mal centrada ( $DNC_D = 30$  mm). ¿Cómo podemos centrar la lente del ojo izquierdo para compensar el efecto prismático que existe en la lente derecha, para que el desequilibrio prismático inducido sea tolerable?

*Datos:* Rx OD: +4,00 D  
 OI: 0° +1,00 +2,00 D  
 DNP: 32 / 32 mm

Calculamos primero el efecto prismático que se ha inducido en el ojo derecho.

$$\Delta_{OD} = -0,2 \text{ cm} \cdot 4,00 \text{ D} = 0,8 \Delta\text{BN}$$

Si el $\Delta_{OD}$ es	y el $\delta\Delta_H$ máximo tolerable	el $\Delta_{OI}$ debe ser	lo que para el OI corresponde a una distancia $x = \Delta_{OI}/PvP_h = \text{CO-CP}$
0,8 $\Delta\text{BN}$	0,5 $\Delta\text{BN}$	0,3 $\Delta\text{BT}$	$x = -0,15$ ; CO 1,5 mm hacia temporal
0,8 $\Delta\text{BN}$	0	0,8 $\Delta\text{BT}$	$x = -0,40$ ; CO 4 mm hacia temporal
0,8 $\Delta\text{BN}$	1 $\Delta\text{BT}$	1,8 $\Delta\text{BT}$	$x = -0,90$ ; CO 9 mm. hacia temporal

174

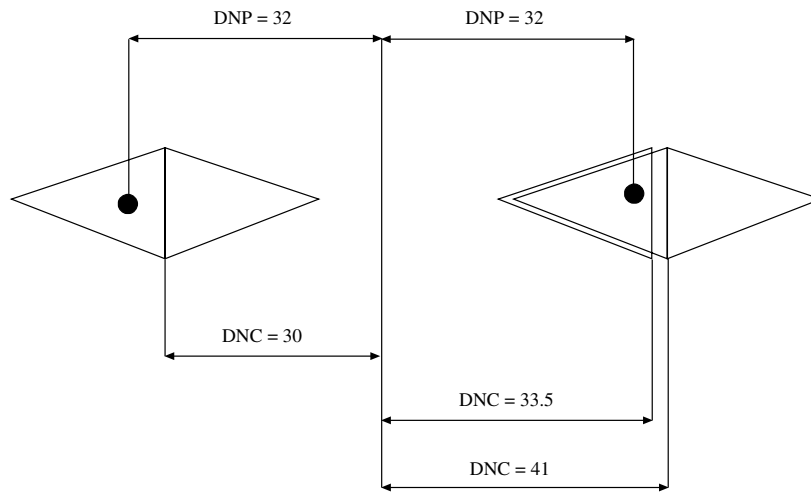


Fig. 11.6

Tabla 11.3

$DNC_D$	$DNC_I$	Valor del $\delta\Delta$ inducido
32	32	0
30	34,5	0,5 $\Delta\text{BN}_{OD}$
30	36	0
30	41 (excede la tolerancia monocular)	1 $\Delta\text{BT}_{OI}$

En la tabla 11.3 se muestran los valores de DNC correspondientes a cada una de las situaciones de desequilibrio prismático inducido.

### 11.5 Decisión de centrado según la prescripción

Otra de las aplicaciones de las tolerancias de centrado es la decisión de centrado según la utilización de las lentes. En algunos casos se puede provocar un centrado especial para favorecer la función binocular del sujeto. En este apartado hablaremos en todo momento de sujetos ortofóricos, es decir con una perfecta función del sistema oculomotor.

#### Monofocales para una única distancia

Podemos considerar los miopes débiles y los presbíteros emétopes como usuarios de lentes monofocales para una única distancia, lejos y cerca respectivamente. En ambos casos, los errores de centrado mejor tolerados son aquellos en que la distancia entre los centros ópticos (DEC) es menor que la distancia interpupilar (DIP).

#### Monofocales para todo uso

Normalmente, el usuario de monofocales utiliza sus gafas para todas las distancias de observación, aunque una de ellas será la distancia prioritaria.

Al utilizar una gafa para todas las distancias hemos de decidir cómo realizamos el centrado, ya que si los centros ópticos coinciden con la posición de las pupilas en visión de lejos, cuando el usuario mira de cerca se producen desequilibrios prismáticos indeseados, ya que las pupilas convergen 2,5 mm y descienden 10 mm sobre el plano de las gafas, si consideramos la distancia de vértice estándar 12 mm.

La decisión de centrado se tomará en función de la distancia prioritaria de utilización de las gafas, así como del análisis de los desequilibrios prismáticos tanto horizontales como verticales que se producen al mirar a cualquier otra distancia. Para este análisis es conveniente distinguir dos estados refractivos distintos, la isometropía y la anisometropía.

a) En el caso de la *isometropía* (idéntica refracción en ambos ojos) ocurre que si centramos los monofocales de lejos, en visión próxima no existen desequilibrios prismáticos verticales, porque se crean efectos iguales prismáticos en ambos ojos (figura 11.7).

En el caso de los desequilibrios prismáticos horizontales, observamos que los miopes presentan mayor margen de tolerancia que los hipermetropes, ya que al centrar de lejos, de cerca se produce desequilibrio de base nasal, que es la dirección menos crítica, con lo cual, a veces resulta positivo centrar las lentes entre la DIP de lejos y la de cerca:  $DIP_L > DEC > DIP_C$  (figura 11.8). En cambio, en los hipermetropes, el margen de tolerancia es menor puesto que se inducen bases temporales ( $0,5\Delta$ ), por lo que en la decisión hay que tener más en cuenta la ocupación principal y centrar exactamente para esa distancia.

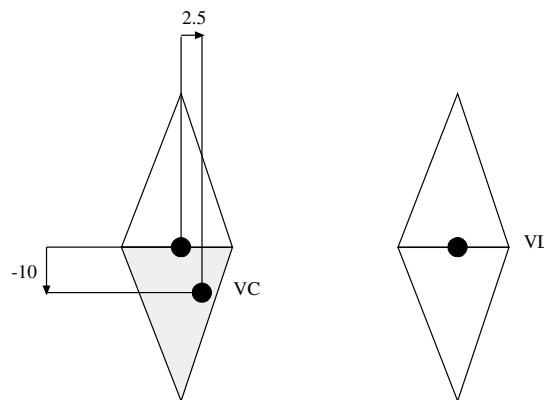


Fig. 11.7

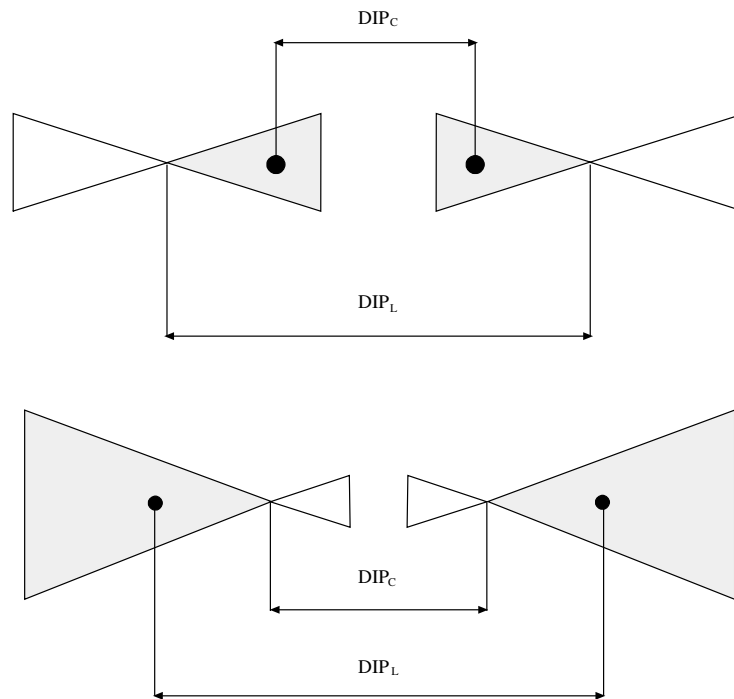


Fig. 11.8

176

b) La segunda condición refractiva a que hacíamos referencia es la *anisometropía* a partir de 0,50 D, en la que los desequilibrios prismáticos verticales son los más importantes.

Una regla práctica que debe recordarse al decidir para qué distancia deben centrarse las lentes es que por cada dioptría de anisometropía se produce un desequilibrio prismático vertical de  $1\Delta$  (recordemos que la posición de las pupilas desciende 1 cm en el plano de las gafas).

En cambio, los desequilibrios prismáticos verticales pueden aliviarse centrando lo más exactamente posible en la distancia prioritaria de observación.

Veamos un ejemplo (figura 11.9): A un usuario cuya refracción es OD: -2,00D y OI: -4,00D, le centramos las lentes en visión de lejos, y calculamos los desequilibrios inducidos al mirar de cerca:

En la dirección horizontal: El  $\delta\Delta_H = 1,5 \Delta_{BN} \text{ OD/OI}$ , no es tolerable

$$\Delta_{H \text{ OD}} = -0,25 \cdot (-2,00) = 0,5 \Delta_{BN}$$

$$\Delta_{H \text{ OI}} = 0,25 \cdot (-4,00) = 1 \Delta_{BN}$$

En la dirección vertical: El  $\delta\Delta_V = 2 \Delta_{BI} \text{ OI} = 2 \Delta_{BS} \text{ OD}$ , no es tolerable

$$\Delta_{V \text{ OD}} = -1 \cdot (-2,00) = 2 \Delta_{BI}$$

$$\Delta_{V \text{ OI}} = -1 \cdot (-4,00) = 4 \Delta_{BI}$$

En esta situación es más importante aliviar los desequilibrios verticales, puesto que éstos son siempre críticos. Un método que permite eliminar este desequilibrio vertical en visión próxima, estando las lentes centradas para visión lejana, es el *Slab-off* o prisma tallado, que genera una lente bicéntrica.

El proceso *Slab-off* consiste en tallar a la lente de potencia más negativa o menos positiva, el prisma de base superior necesario para que en la zona de la lente por donde intercepta la pupila en visión próxima el efecto prismático sea igual en los dos ojos. En este caso, a la lente del ojo izquierdo se le tallaría un prisma de  $2\Delta BS$  para que quedase en  $2\Delta BI$  igual que la lente izquierda, y así el desequilibrio prismático vertical, tanto en VL como en VP, sería nulo (figura 11.9). Este recurso, utilizado antiguamente en bifocales (véase el capítulo 13), no se utiliza prácticamente en lentes monofocales.

En la figura 11.9 se muestra el principio de tallado del *Slab-off*. C es el centro de curvatura de la superficie cóncava, y ABC es el eje óptico de la lente. En el punto R se talla ST perpendicular a la línea SRC, creando un segundo centro óptico. El punto R se ha escogido de manera que el efecto prismático en el punto Z sea idéntico al del otro ojo en el mismo punto.

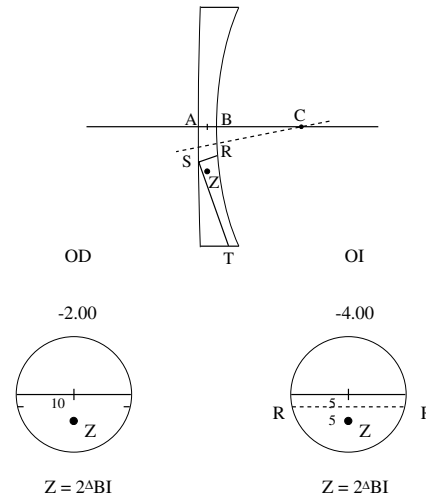


Fig. 11.9

**Bibliografía**

JALIE, M. *The Principles of Ophthalmic Lenses*. Londres, The Association of British Dispensing Opticians, 1988.  
 SCHULTZ, W. «Técnica de Centrado». *Ver y Oír* n° 29, Puntex, 1989.  
 PICKWELL, D. *Binocular Vision Anomalies. Investigation and treatment*. Londres, Butterworths, 1989.

# Capítulo 12

## Adaptación de prescripciones prismáticas

*M. Fransoy*

Una de las dificultades de la adaptación de prescripciones prismáticas es encontrar el sistema técnicamente óptimo de incorporar los prismas oftálmicos a la prescripción óptica si la hubiese, o simplemente a la montura. En este capítulo se exponen los principales métodos que se utilizan con el fin de proporcionar la máxima comodidad al usuario de estas prescripciones, que, por otra parte, no suelen resultar demasiado estéticas.

### 12.1 Notación de las prescripciones prismáticas y orientación de las bases

179

La nomenclatura que se utiliza para describir las prescripciones prismáticas, el sistema TABO, se ha expuesto en el capítulo 9, y mediante éste se da el valor de la prescripción en dioptrías prismáticas, acompañado de la orientación de la base. Cuando se prescriben prismas a amétropes, el valor del efecto prismático debe acompañar a la graduación, como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$\text{O.D. } 180^\circ -1,50 +4,25 \approx 2 \Delta \text{ BNS } \times 30^\circ$$

### 12.2 Propósito de las prescripciones prismáticas

En óptica oftálmica, la utilización de prismas tan sólo puede ser justificada en visión binocular. El efecto de los prismas frente a los ojos es el de variar la alineación relativa entre los ejes visuales de un ojo respecto al otro. Aunque existe gran diversidad de criterios sobre la prescripción de prismas, las dos finalidades principales de la aplicación visual de los prismas para compensar alteraciones de la visión binocular son:

*a)* Provocar una rotación del ojo en dirección a la arista del prisma, para conseguir que el eje visual quede en su posición correcta (figura 12.1a). Esto ocurre en el caso de los entrenamientos visuales, para aumentar los rangos de vergencia fusional en el caso de heteroforias, y también en el caso de los estrabismos con motilidad ocular normal.

*b)* Desplazar las imágenes de los objetos a una posición tal que pueda ser observada cómodamente por el usuario (figura 12.1b). En este caso, el prisma sitúa la imagen del objeto sobre el eje visual del sujeto, ya sea para evitar que el ojo realice un esfuerzo muscular que no puede realizar, caso de las



forias descompensadas sintomáticas, porque el sujeto carece de la vergencia de fusión suficiente, o bien porque se trate de un ojo sin motricidad, como es el caso de estrabismos paralíticos.

En ambos casos ocurre que la imagen se desplaza en dirección al vértice del prisma, mientras que el sentido en que debe orientarse la base de los prismas en uno y otro caso es opuesta, puesto que se persiguen dos finalidades totalmente distintas.

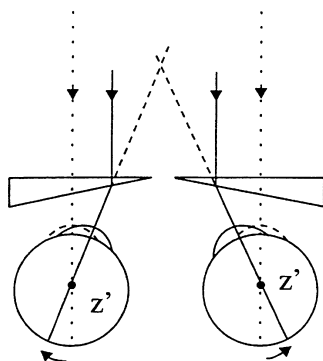


Fig. 12.1a Convergencia producida por una prescripción de base temporal

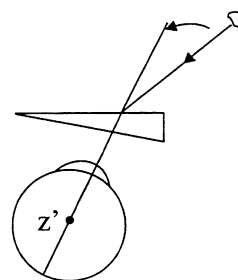


Fig. 12.1b Desplazamiento de la imagen hacia la posición convergente del eje visual, producida por un prisma de base nasal

### 12.3 Distribución de prismas entre los dos ojos

Cuando el valor de la prescripción supera las  $6\Delta$ , se suele repartir el prisma entre los dos ojos, siguiendo los mismos criterios que se utilizan para calcular el desequilibrio prismático binocular a partir de los efectos monoculares: los efectos prismáticos cuyas bases son cardinalmente opuestas se suman, y se restan los efectos cuyas bases son cardinalmente coincidentes. Así, una determinada prescripción prismática puede distribuirse de cualquier forma entre los dos ojos, siempre que el resultado obtenido sea el mismo, aunque lo más usual es dejar la misma cantidad de prisma en ambos ojos. Por ejemplo,  $10 \Delta BS_{OD}$  pueden repartirse en  $3 \Delta BS$  al OD y  $7 \Delta BI$  al OI, aunque lo óptimo es colocar  $5 \Delta BS$  en el OD y  $5 \Delta BI$  en el OI. En el caso de existir compensación horizontal y vertical en uno o los dos ojos, existen diversas posibilidades. Por ejemplo, es equivalente colocar en el OD  $2 \Delta BT \approx 4 \Delta BI$ , que en el OI  $2 \Delta BT \approx 4 \Delta BS$ , que en uno de los dos ojos el prisma oblicuo resultante de la combinación, en este caso, OD  $4,50 \Delta BTI \times 63^\circ$  u OI  $4,50 \Delta BTS \times 63^\circ$ .

### 12.4 Prescripción por descentramiento

Cuando una prescripción prismática se halla asociada a una prescripción esférica o astigmática, se puede conseguir el efecto prismático deseado durante el proceso de montaje, situando el punto de la lente que cumple dicho efecto prismático delante de la pupila del usuario. El punto en cuestión se convertirá en el centro de montaje de la lente. Este método resulta muy eficaz para ametropías elevadas asociadas a prescripciones prismáticas bajas o moderadas, puesto que para ametropías bajas, el centro de montaje queda muy alejado del centro óptico de la lente, con lo que el diámetro de la lente resulta insuficiente para realizar el montaje correctamente. Es el método de primera opción, al no suponer ningún coste adicional para el usuario, puesto que con la misma lente compensadora se consigue el prisma deseado.

Para determinar la posición del centro de montaje en la práctica profesional, basta con colocar la lente en el frontofocómetro y situar la imagen del test en el retículo de manera que el efecto prismático sea el deseado. Cabe recordar que en el frontofocómetro debe verse la imagen del test coincidiendo con la dirección y sentido de la base del prisma. Al marcar el centro de montaje, las lentes convergentes deben desplazarse en el mismo sentido de la base deseada, mientras que las lentes negativas deben desplazarse en sentido opuesto al de la base. La utilización del frontofocómetro para marcar el centro de montaje, así como para conocer el efecto prismático en un punto dado, presenta una limitación importante y es la escasa precisión del instrumento, ya que en el retículo sólo están marcados los trazos correspondientes a intervalos de  $1\Delta$ . Además, mediante la lectura directa en el retículo sólo se puede llegar a producir efectos prismáticos hasta  $5$  ó  $6 \Delta$ , dependiendo del modelo. Algunos fabricantes incorporan al frontofocómetro prismas de Risley, para poder trabajar con potencias prismáticas superiores. En la figura 12.2 se muestra la imagen del test cuando va a ser marcado el centro de montaje de la lente OD  $+4,00$  D, para producir un efecto prismático de  $2 \Delta$  BS, mientras que en la figura 12.3 se observa la imagen del test cuando se va a marcar el centro de montaje de la lente OI  $-4,00$  D, para que el efecto prismático producido sea de  $3 \Delta$  BTI.

Cuando se precisa conocer la posición del centro de montaje o un efecto prismático con mayor precisión que la proporcionada por el frontofocómetro, se puede obtener analíticamente, mediante el cálculo exacto. Basta con aplicar las expresiones (10.14) y (10.15), utilizando estrictamente el convenio de signos, y obtenemos las coordenadas  $(x,y)$  del punto que cumple un determinado efecto prismático.

### 12.5 Descentramientos y heteroforia

Si al evaluar el centrado de unas gafas (DEC o DNC), se observa que no corresponde con las medidas de centrado del usuario (DIP o DNP) y que el montaje sería incorrecto para un usuario ortofórico, tomando como criterio estrictamente las normas de tolerancia RAL-RG-915, entonces se debe tener en cuenta que puede tratarse de un centrado con un propósito especial, el de inducir algún efecto prismático que ayude a mejorar la funcionalidad de la visión binocular del usuario. Esto puede suceder en el caso de las heteroforias descompensadas, en que se aprovecha el centrado de las lentes para aliviar los síntomas del usuario, al inducir los efectos prismáticos convenientes.

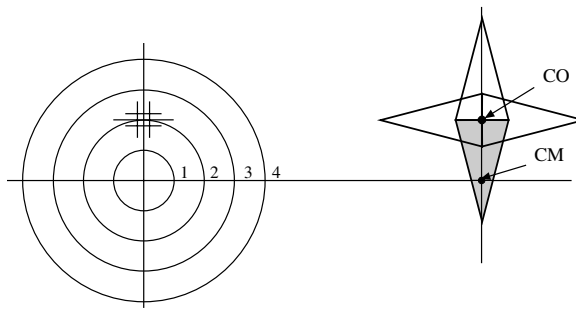


Fig. 12.2 Determinación y marcado del centro de montaje mediante el frontofocómetro. Las lentes convergentes deben desplazarse en el mismo sentido de la base deseada

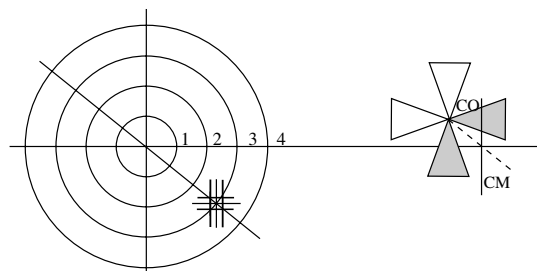


Fig. 12.3 Determinación del centro de montaje mediante el frontofocómetro. Las lentes negativas deben desplazarse en sentido opuesto al de la base

La heteroforia es aquella condición en que los dos ejes visuales tienden naturalmente a interceptarse por delante o por detrás del punto de fijación, produciéndose la endo o la exoforia respectivamente. Esto puede suceder tanto en visión lejana como en visión próxima, y cuando ocurre con la misma intensidad para todas las distancias de fijación se habla de foria básica. Las forias pueden causar síntomas de incomodidad cuando no existe suficiente reserva de vergencia fusional para compensar la tendencia a la desviación, y en ese caso se denominan forias descompensadas. Aunque no es el objetivo de este apartado, cabe decir que hay tres tipos de soluciones para esta problemática en función de cada caso: la variación en la prescripción esférica, la prescripción prismática o la terapia visual.

Aquí expondremos los criterios necesarios para ayudar a aliviar los síntomas de las forias descompensadas mediante el centrado especial de las lentes (lo que es equivalente a considerar la prescripción prismática). El método es llevar la imagen del objeto al punto de comodidad del usuario, en lugar de obligar a realizar una rotación al ojo. Por ejemplo, una endoforia está descompensada cuando no existe suficiente reserva de vergencia fusional negativa (divergencia) para eliminar la tendencia a la desviación. Para aliviar los síntomas se pueden producir efectos prismáticos de base temporal, que trasladan la imagen del objeto a la posición convergente de los ejes visuales. Del mismo modo, la exoforia se alivia mediante prismas de base nasal.

## Endoforias

*Caso de endoforia sintomática en visión de lejos y asintomática en visión de cerca:* el efecto prismático aliviador debe ser de base temporal, y únicamente en visión lejana. Esto se consigue centrando las lentes negativas para la distancia interpupilar de cerca. En cambio en el caso de las lentes positivas es imposible de conseguir, ya que si queremos producir un efecto prismático de base temporal en visión de lejos, en visión de cerca será aún mayor. Como resumen, el caso de endoforia descompensada en visión lejana se puede aliviar únicamente cuando se halla asociada a la miopía. (figura 12.4).

182

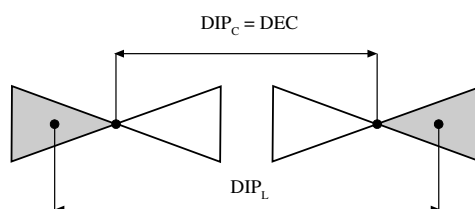


Fig. 12.4 Alivio de síntomas de la endoforia descompensada en visión lejana asociada a miopía  
 $DIP_L$ : distancia interpupilar de lejos,  $DIP_C$ : distancia interpupilar de cerca, y  
 $DEC$ : distancia entre centros ópticos de las lentes

*Caso de endoforia descompensada y sintomática en visión próxima y asintomática en visión lejana:* en este caso se trata de conseguir provocar un efecto prismático de base temporal sólo en visión próxima.

Por el mismo razonamiento que en el caso anterior, esto es posible centrando las lentes positivas para la distancia interpupilar de lejos, y no se consigue en el caso de lentes negativas, ya que producir un efecto de base temporal en visión próxima implica que en visión lejana debe ser mayor (figura 12.5).

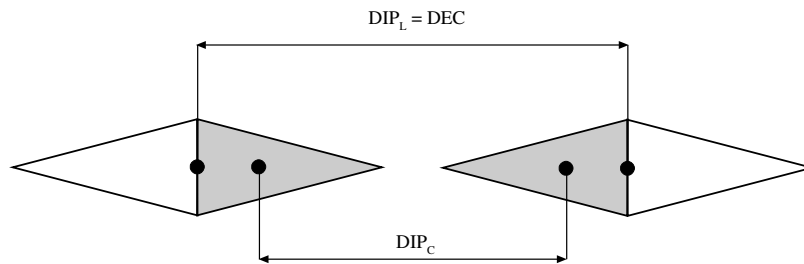


Fig. 12.5 Alivio de síntomas de la endoforia descompensada en visión próxima asociada a hipermetropía

## Exoforias

*Caso de exoforia descompensada en visión de lejos, y asintomática en visión próxima:* se deben producir prismas de base nasal únicamente en visión de lejos, y esto sólo ocurre centrando las lentes positivas en visión próxima (figura 12.6).

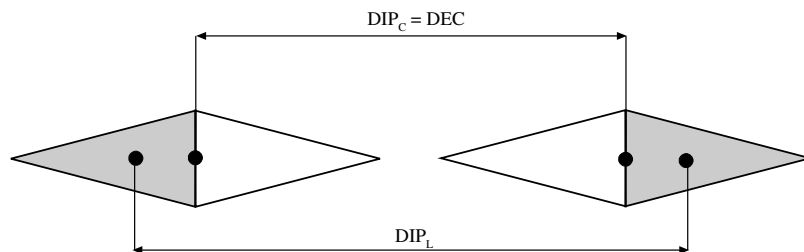


Fig. 12.6 Alivio de síntomas de la exoforia descompensada en visión lejana asociada a hipermetropía

*Caso de exoforia descompensada en visión de próxima, y asintomática en visión de lejos:* se deben producir prismas de base nasal únicamente en visión de próxima, y esto sólo ocurre centrando las lentes negativas en visión lejana (figura 12.7).

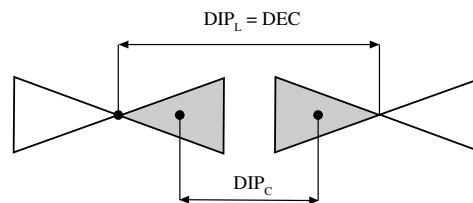


Fig. 12.7 Alivio de síntomas de la exoforia descompensada en visión próxima asociada a miopía

## 12.6 Lentes prismáticas. Prisma incorporado

Para conseguir el efecto prismático deseado por descentramiento de las lentes oftálmicas, es necesario disponer de diámetros grandes, sobretodo cuando el valor de la potencia compensadora es bajo. Cuando el diámetro limita este descentramiento se recurre a pedir al fabricante una lente que lleve la potencia prismática incorporada. Los prismas incorporados, también denominados lentes prismáticas, se uti-

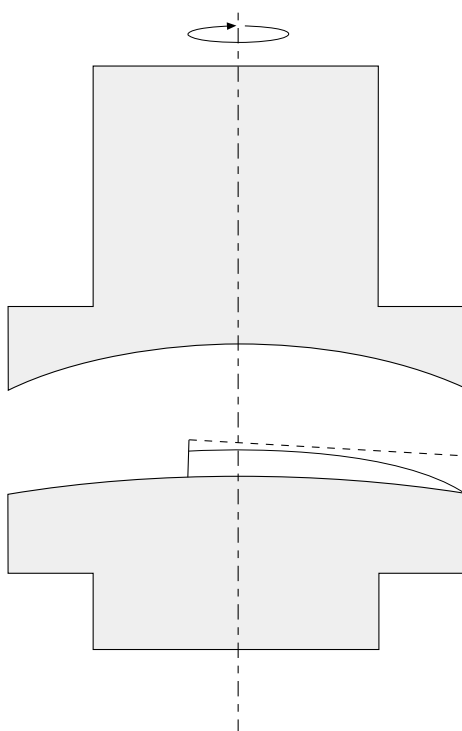


Fig. 12.8 Proceso de fabricación de las lentes prismáticas

lizan, pues, cuando la corrección prismática debe ir acompañada de una corrección óptica, ya sea monofocal o multifocal, y es imposible conseguir dicho efecto prismático por descentramiento de las lentes. El cálculo de la lente prismática se realiza teniendo en cuenta la potencia del prisma que se incorpora a la lente, dando como resultado lentes con un espesor delgado y uno grueso. Para su fabricación se coloca el bloque descentrado respecto al eje de giro del generador y al centro de rotación de los moldes, como se muestra en la figura 12.8.

La relación de espesores en lentes prismáticas (figura 12.9), análoga a la que se estableció en el capítulo 9 para los prismas planos, se expresa como sigue:

$$e_{\text{grueso}} - e_{\text{delgado}} = \frac{\Phi_{\text{lente}} \nabla}{100 (n_{\text{lente}} - 1)} \quad (12.1)$$

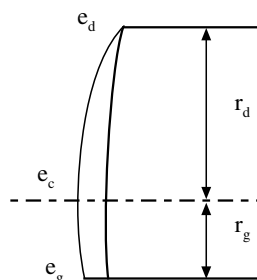


Fig. 12.9 Distribución de espesores en las lentes prismáticas

184

Este tipo de lentes resultan poco estéticas y sobretodo molestas por su elevado peso para potencias prismáticas elevadas, ya que el prisma añade un espesor adicional al que correspondería a la lente convencional.

Por ello es aconsejable utilizar las lentes prismáticas para potencias compensadoras bajas, con material orgánico para disminuir el peso, y montadas en monturas de calibre pequeño, evitando las monturas al aire.

La problemática del elevado espesor de borde es similar al que se ha expuesto para las prescripciones fuertemente miópicas en el capítulo 6, y por tanto, para disimular estos espesores se pueden aplicar las mismas técnicas que se han enumerado para las lentes negativas.

## 12.7 Prismas de Fresnel

Los prismas de Fresnel son una alternativa para solucionar el problema que presentan las elevadas prescripciones prismáticas, puesto que introducen la ventaja de disminuir el espesor y el peso respecto a las lentes prismáticas que acabamos de tratar. Los prismas de Fresnel son un conjunto de pequeños prismas con el mismo ángulo apical e igual espesor en la base (pequeño), de forma que la arista de uno está en contacto con la base del siguiente y así sucesivamente hasta conseguir el diámetro desea-

do. El efecto resultante es el de un prisma con el mismo ángulo apical y diámetro pero con un espesor muy reducido (1mm) tal y como se muestra en la figura 12.10. En los surcos se produce dispersión y difracción, tanto mayor cuanto menor es la anchura de cada prisma.

Existen dos modelos de prismas de Fresnel, los *Wafer-Prism* y los *Press-on*.

a) Los *Wafer-Prism*, que resultan mecánicamente difíciles de adaptar, se caracterizan por ofrecer una buena calidad óptica. Poseen un diámetro de 30 mm aproximadamente, se fabrican desde 15 Δ hasta 35 Δ. Van montados en un aro de material plástico que les permite acoplarse a las gafas mediante un adhesivo transparente.

b) Los *Press-on* se fabrican en discos de material plástico flexible, lo que permite recortarlos de la forma y a la medida del aro y adherirlos sin dificultad. La adherencia se debe a un fenómeno de tensión superficial entre la cara lisa del *Press-on* y la superficie pulida de la lente, sin necesidad de utilizar ningún pegamento. Para elevadas potencias negativas se adhieren en la superficie externa puesto que es la más plana, y por la misma razón, en las lentes positivas se adhieren en la superficie interna. Se fabrican hasta 30 Δ, lo cual permite adaptar prescripciones de hasta 60 Δ.

Resultan ideales para prescripciones temporales, que deben ser revisadas a menudo, y para cuando se debe prescribir distinto prisma de lejos que de cerca o distinto según las direcciones del espacio, lo que se denomina prisma por sectores. Ante todas las ventajas expuestas, no hay que olvidar los inconvenientes, entre los que cabe citar la reducción de agudeza visual que se experimenta al mirar a través de ellos, que puede resultar una penalización para el ojo portador, la dispersión cromática para elevadas potencias prismáticas, y las reflexiones en los surcos arista-base, lo que hace que resulte mejor adherirlos en base inferior y en la cara interna. Además, con el tiempo pierden su flexibilidad y amarillean.

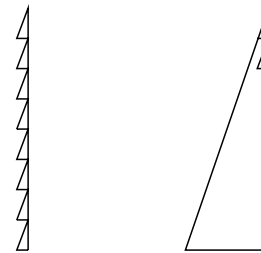


Fig. 12.10 Fundamento de los prismas de Fresnel

## Bibliografía

- CORBÉ,C.; MENU, J.P.; CHAINE, G. *Traité d'optique physiologique et clinique*. París, Doin Editeurs, 1993.  
 COTTER, S. *Prismas ópticos. Aplicaciones clínicas*. Madrid, Mosby/Doyma Libros, 1996.  
 FANNIN, T.E.; GROSVENOR T. *Clinical Optics*. Boston, Butterworths, 1987.  
 JALIE, M. *The Principles of Ophthalmic Lenses*. Londres, The Association of British Dispensing Opticians, 1988.  
 SCHIKORRA A. «Lentes monofocales astigmáticas y prismáticas». *Ver y Oír* n<sup>os</sup> 38 a 53, Puntex, 1989.  
 TWYMAN, F. *Prism and lens making*. Nueva York, IOP Publishing, 1989.