

MONOGRAFÍAS  
DE LA  
REAL ACADEMIA  
DE CIENCIAS  
Exactas  
Físicas  
Químicas y  
Naturales  
DE  
ZARAGOZA

Nº 42

**Corrección de aniseiconia**

Miguel Ángel Rebolledo



2018

© Real Academia de Ciencias de Zaragoza

ISSN: 1132-6360

# **Corrección de aniseiconia**

Miguel Ángel Rebolledo

Catedrático de Óptica jubilado  
Universidad de Zaragoza  
Académico de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza



*A mi esposa María José  
y a mi hija Laura*



## PRÓLOGO

La aniseiconia es una anomalía binocular que consiste en la percepción de imágenes de diferentes tamaños, con el ojo derecho y el izquierdo. Su existencia en ocasiones dificulta la visión binocular, por estar sometido el sistema visual a un esfuerzo inhabitual a la hora de combinar las imágenes de ambos ojos. La solución a este problema es aparentemente muy fácil, teniendo en cuenta que es bien conocida la fórmula que permite calcular el aumento que introduce una lente si se conoce su espesor, los radios de curvatura de sus superficies y el índice de refracción del material con el que está hecha. Basta con diseñar unas lentes que, además de corregir los defectos refractivos, compensen la diferencia de aumentos percibida. Esto puede conseguirse incluso cuando los defectos refractivos son nulos en ambos ojos (aunque es muy poco frecuente la presencia de aniseiconia en estas condiciones) usando en este caso lentes sin potencia llamadas aumentadores afocales.

Sin embargo, la diferencia de aumentos que introducen las dos lentes produce problemas cuando la mirada se dirige en una dirección diferente a la frontal (por ejemplo hacia la parte inferior de las gafas para leer) porque obliga a los ojos a girar ángulos diferentes, utilizando para ello reservas fusionales. Este efecto se denomina aniseiconia dinámica o anisoforia y la fórmula que permite calcularla es también bien conocida. Si la demanda de reservas es excesiva empiezan los problemas, pudiendo aparecer síntomas que van desde la pérdida de estereopsis y confort visual hasta la diplopia. Por lo tanto, al usar gafas para corregir la aniseiconia estática aparece aniseiconia dinámica, que puede ser más perjudicial que la estática. Si se utilizan lentes de contacto en lugar de gafas no aparece aniseiconia dinámica pero queda sin corregir la estática, que también puede producir síntomas similares.

Para agravar más el problema la medida de la aniseiconia estática (necesaria para su corrección) no es fácil, porque al realizarla los movimientos de la mirada contaminan el resultado de la medida, en mayor o menor grado según la técnica y el protocolo que se utilice. Cuanto más falseada esté esta medida peor funcionará la corrección que se diseñe basándose en ella. Todo esto supone un desconcierto para la mayoría de los profesionales (que, al no conocer procedimientos claros, prescriben soluciones que distan mucho de ser las óptimas) y un calvario para muchos pacientes.

Teniendo en cuenta que las fórmulas básicas necesarias son conocidas y también los métodos de medida, para obtener buenos resultados en la corrección de aniseiconia es preciso realizar una gestión adecuada de los recursos de los que se dispone. De entrada hay que usar técnicas ex-

perimentales y protocolos adecuados para obtener información correcta sobre la aniseiconia del paciente. Después (basándose en estos datos) hay que diseñar soluciones ópticas que permitan obtener valores razonables para la aniseiconia estática y la dinámica simultáneamente.

Este es el objetivo de este libro, que está dedicado a estudiantes de optometría y a profesionales que tengan que resolver problemas de aniseiconia. El texto pretende que entiendan, de la forma más simple posible, los métodos prácticos que tienen a su disposición (corrección con lentes de contacto, gafas o mezcla de ambas) para conseguir un resultado adecuado. Después de la exposición fundamentada de los métodos se ha incluido una colección de casos prácticos resueltos, lo que permitirá al lector practicar las soluciones y comparar su eficiencia.

En la literatura pueden encontrarse buenos libros en los que se compendian conocimientos sobre aniseiconia y buenas revisiones bibliográficas sobre los trabajos realizados en este tema (algunos serán incluidos en la bibliografía), por lo que este libro no pretende repetir la buena labor que han hecho otros sino ir a la solución práctica de los problemas lo más rápidamente posible, pero sin menoscabo del rigor y la claridad de ideas.

Las referencias a las que he aludido en el párrafo anterior, junto con las estrictamente necesarias para fundamentar fórmulas y razonamientos, constituirán una bibliografía breve, que el lector puede ampliar a su gusto utilizando las maravillosas redes de las que disponemos en el siglo XXI.

Este libro, que es el resultado de un análisis personal sobre la aniseiconia y la forma de corregirla, ha sido posible por dos motivos. A lo largo de diez años he tenido que explicar optometría binocular, lo que incluye la aniseiconia y su corrección (explicar cosas ayuda mucho a entenderlas y poder mejorarlas). Junto a esto, las fructíferas discusiones que he llevado a cabo a lo largo de los años con el Dr. Jorge Ares han sido de enorme importancia. Su sabiduría, sus experimentos y los que han hecho nuestros alumnos han sido muy esclarecedores para mí. Todo esto ha conducido a una mejora progresiva de mis conocimientos prácticos sobre aniseiconia, que he plasmado humildemente en esta monografía. Quiero finalmente expresar mi agradecimiento al Dr. Jorge Ares por el esmero que ha puesto en su lectura y por sus consejos, que me han permitido mejorarla.

Miguel Ángel Rebolledo



# ÍNDICE

<b>Prólogo</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>Introducción</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>I La Aniseiconia y su Cálculo</b> . . . . .	<b>9</b>
1 Aniseiconia fisiológica . . . . .	9
2 Aniseiconia óptica . . . . .	10
3 Cálculo de aniseiconia estática con compensación . . . . .	13
4 Aniseiconia dinámica . . . . .	15
5 Cálculo de la aniseiconia dinámica producida por gafas . . . . .	17
6 Efectos prismáticos dinámicos . . . . .	18
<b>II Efecto de las lentes sobre la aniseiconia</b> . . . . .	<b>21</b>
1 Efecto de las lentes de contacto. . . . .	21
2 Efecto de las gafas . . . . .	23
<b>III Medida de aniseiconia</b> . . . . .	<b>27</b>
1 Estudio del tipo de compensación necesaria para la medida de aniseiconia . . . . .	27
2 Medida de aniseiconia estática $A$ . . . . .	29
3 Medida de límites de tolerancia $A^{Tot-} \%$ y $A^{Tot+} \%$ . . . . .	31
<b>IV Corrección de aniseiconia</b> . . . . .	<b>33</b>
1 Métodos para la corrección simultánea de aniseiconia estática y dinámica. . . . .	33
2 Corrección de aniseiconia con gafas . . . . .	34
3 Corrección de aniseiconia con compensación mixta . . . . .	35
<b>V Casos prácticos.</b> . . . . .	<b>41</b>
Método . . . . .	41
Ejercicio 1: Determinación de aniseiconia . . . . .	45
Ejercicio 2: Cálculo de aniseiconia con lentes de contacto sin cilindro. . . . .	45
Ejercicio 3: Cálculo de aniseiconia con gafas sin cilindro . . . . .	46
Ejercicio 4: Corrección de aniseiconia debida a anisometropía axial sin cilindro . . . . .	47
Ejercicio 5: Corrección de aniseiconia debida a anisometropía mixta sin cilindro . . . . .	54
Ejercicio 6: Afinamiento de una corrección con gafas . . . . .	57
Ejercicio 7: Corrección de aniseiconia debida a anisometropía mixta con cilindro . . . . .	58
Ejercicio 8: Verificación de aniseiconia estática de las soluciones del Ejercicio 7. . . . .	62
Ejercicio 9: Corrección de aniseiconia dependiente del meridiano . . . . .	64
Comentarios finales . . . . .	67



## INTRODUCCIÓN

La diferencia (que aparece de forma natural) entre los tamaños de las imágenes binoculares de un objeto en visión próxima y mirada oblicua, era conocida desde la segunda década del siglo XVIII. Pero hubo que esperar hasta la publicación, en 1864, del trabajo de Donders [1] para empezar a conocer los efectos, sobre la calidad de la visión binocular, de las diferencias de tamaños de imágenes debidas a anisometropía y a la compensación mediante gafas de los defectos refractivos de los anisométricos.

Durante las décadas de los años 20 y 30 del siglo XX se realizó trabajo de investigación muy abundante sobre esta diferencia de tamaños (que llamamos aniseiconía) y sus efectos, primero en el Dartmouth College y después en el Dartmouth Eye Institute de Hanover. El manual que publicó Bannon en 1954 [2] recoge los resultados de esta investigación, que sentó las bases de la investigación posterior.

Como este libro no pretende ser un tratado de aniseiconía, ya que nuestro objetivo es concentrarnos exclusivamente en su corrección, detenemos aquí la historia. No obstante, mediante las referencias bibliográficas [3] a [8] el lector puede conocer los avances que han ido teniendo lugar hasta nuestros días.

En la publicación de Halass [3] se encuentra una revisión de la literatura sobre aniseiconía y en el libro de Michaels [4] un capítulo interesante sobre anisometropía, anisoforia y aniseiconía. El libro de Remole [5] es un magnífico tratado de aniseiconía, que contiene fundamentos, métodos de cálculo y técnicas experimentales. Scheiman y Wick presentan en su libro [6] un capítulo amplio sobre medida y tratamiento de la aniseiconía. No podemos olvidarnos del capítulo de anisometropía y aniseiconía del conocido libro “Borish’s Clinical Refraction” [7] en el que se recoge información sobre historia, cálculos y medidas. Finalmente en la referencia [8] se encuentran soluciones técnicas para las compensaciones necesarias para la corrección de aniseiconía.

A pesar de los avances realizados en el conocimiento de la aniseiconía la mayor parte de los profesionales de la optometría no tienen claro el método a seguir para su corrección. Cuando un individuo sin compensar tiene aniseiconía sintomática, las lentes de contacto no suelen ser capaces de corregirla y es preciso hacerlo con gafas. Para ello hay que medir correctamente la aniseiconía estática y saber usar apropiadamente las fórmulas de corrección. La medida requiere seguir un protocolo estricto que evite obtener valores erróneos de la aniseiconía, que a su vez conducen a errores en los cálculos basados en esas medidas. Además, las gafas correctoras

introducen efectos prismáticos diferenciales en mirada oblicua (aniseiconia dinámica) que es preciso saber controlar. La carencia de métodos sistemáticos para gestionar todos estos problemas en conjunto conduce a malos resultados y desconcierta a muchos profesionales, que optan por soluciones simples pero poco adecuadas en muchos casos.

Las soluciones que se adoptan son muy diversas. A veces se opta por utilizar lentes de contacto porque no introducen aniseiconia dinámica, con lo cual se deja sin corregir la aniseiconia estática y sus consecuencias. Otras veces se utiliza la ley de Knapp, para intentar anular la aniseiconia estática colocando las lentes de las gafas en los planos focales anteriores de los ojos. Pero esta ley solamente sirve para aquellos casos en los que la aniseiconia es debida exclusivamente a defectos refractivos axiales. Además, aplicándola no se controla la aniseiconia dinámica. En otras ocasiones se modifican las potencias necesarias para la corrección o las direcciones de los ejes de los cilindros (con la consiguiente pérdida de agudeza visual), se llega incluso a adoptar la monovisión como solución, etc.

Todo esto origina deficiencias en la visión, que podrían haberse evitado con una corrección adecuada de la aniseiconia. El objetivo de esta monografía es mostrar cómo se puede llevar a cabo esta corrección de la manera más eficiente posible en cada caso.

En el capítulo I se introducen los conceptos de aniseiconia estática y dinámica y se muestra cómo aparecen de forma natural en mirada oblicua. Como esta aniseiconia fisiológica es habitualmente tolerada por el sistema visual, es la aniseiconia debida a defectos visuales o lentes compensadoras la que requiere más atención. Se comienza con el cálculo de la aniseiconia estática debida exclusivamente a defectos refractivos (aniseiconia Óptica) porque su análisis sirve de referencia para la corrección de todos los tipos de aniseiconia. Después se desarrollan las fórmulas básicas que permiten el cálculo de las aniseiconias estática y dinámica, producidas por lentes compensadoras, y de los efectos vergenciales resultantes. En particular, se establece una relación entre los dos tipos de aniseiconia, que será clave para su gestión conjunta.

En el capítulo II se desarrollan con más detalle los métodos de cálculo de la aniseiconia generada por lentes de contacto o por gafas y posteriormente se aplican al estudio de los efectos que producen en anisométricos con defectos refractivos de potencia o axial. Los resultados indican claramente que la existencia de aniseiconia obliga a buscar el tipo de compensación más adecuado para cada caso y muestran algunos caminos a seguir. Finalmente se analiza la forma de minimizar la aniseiconia dinámica (manteniendo la estática en valores tolerables) y se establecen las medidas que hay que realizar para, usando las fórmulas desarrolladas, poder emprender la corrección de la aniseiconia.

El capítulo III muestra las técnicas experimentales que pueden utilizarse para realizar las medidas que permiten llevar a cabo el proceso de corrección. La necesidad de observación nítida de los optotipos que se utilizan obliga a hacerlas con la compensación refractiva puesta. Posteriormente (mediante un proceso de cálculo) hay que obtener los valores de las magnitudes que corresponden a los ojos sin compensar. Después de analizar este proceso para diferentes tipos de compensaciones, concluimos que se obtienen resultados óptimos cuando se mide llevando la compensación en lentes de contacto. A continuación se describen con detalle las técnicas de medida. Hemos elegido aquellas técnicas que permiten obtener resultados fiables de forma realista (que puedan llevarse a cabo en cualquier gabinete comercial o clínico sin dificultad). Se hace especial hincapié en el análisis de los protocolos que deben seguirse para obtener resultados válidos.

Después de todo lo anterior ha llegado la hora, en el capítulo IV, de emprender la tarea de corregir la aniseiconia. En este capítulo se introduce una forma original de gestionar la aniseiconia estática y la dinámica de forma conjunta, para minimizar la dinámica mientras se mantiene la estática a niveles no sintomáticos. Se comienza ilustrando el método con un ejemplo y se establecen tres tipos de compensación con las que puede hacerse la corrección de aniseiconia: lentes de contacto, gafas o combinación de ambas (compensación mixta). En cada caso será preciso averiguar cuál es el tipo más adecuado. A continuación se pasa a estudiar la corrección con gafas (que es una de las alternativas posibles a las lentes de contacto cuanto éstas no permiten una buena corrección) describiendo con detalle métodos sistemáticos para llevarla a cabo. La posibilidad de corregir la aniseiconia mediante compensación mixta aparece citada en la literatura pero no descrita con detalle. Por ello desarrollamos un método original que permite realizarla mediante lentes de contacto que compensan todo el defecto refractivo de cilindro y parte del de esfera y gafas que compensan la parte restante del defecto refractivo de esfera.

En el capítulo V (que ocupa alrededor de la mitad de esta monografía) se presenta un conjunto amplio de ejercicios prácticos, que permiten aprender a corregir la aniseiconia con los tres tipos de compensación citados anteriormente. Se comienza con un apartado que resume el método que hay que seguir con cada uno de los tipos y las fórmulas necesarias. En los ejercicios se van presentando con detalle los procedimientos a seguir y los cálculos oportunos (en orden creciente de dificultad), tratando de desarrollar en el lector las habilidades necesarias para que llegue a ser capaz de corregir los casos más complicados. Para finalizar la memoria se presenta un apartado de comentarios en el que se realiza un análisis de las ideas y resultados principales.



# I. LA ANISEICONIA Y SU CÁLCULO

## 1. Aniseiconia fisiológica

Cuando se fija un objeto y se aprecia un tamaño diferente con cada ojo se dice que existe aniseiconia y se suele definir como el cociente de los tamaños percibidos con el ojo derecho y el izquierdo. Esto ocurre de forma natural al hacer fijación oblicua en objetos razonablemente próximos. Si no hay ametropías ni existen otras causas que introduzcan cambios en los tamaños percibidos, se dice que esta aniseiconia (ilustrada en la Figura 1) es fisiológica.

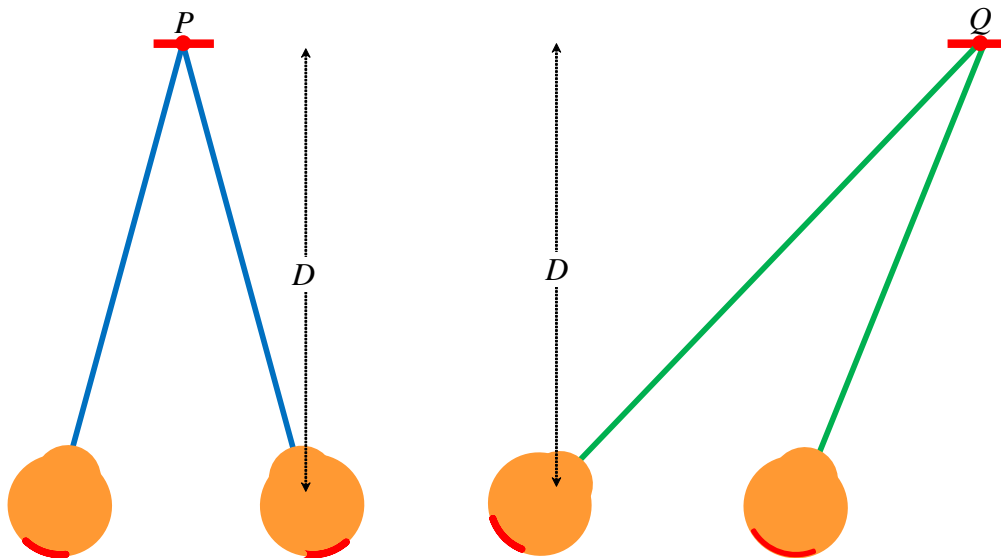


Figura 1: Aniseiconia fisiológica.

En la parte izquierda de la figura puede observarse que al fijar la mirada en el segmento rojo colocado en  $P$  (mirada frontal) los tamaños de las imágenes (en rojo sobre las retinas) son iguales, debido a que  $P$  está a la misma distancia de los dos ojos. En la parte derecha puede observarse que al fijar la mirada en el segmento colocado en  $Q$  (mirada oblicua) el ojo derecho lo ve mayor que el izquierdo debido a la diferencia de distancias. Por ello, en el segundo caso hay aniseiconia mientras que en el primero no.

Para hacernos idea de la magnitud de este efecto supongamos que  $D = 25$  cm (distancia entre el segmento observado y la línea que une los centros de rotación de los ojos) y que la distancia interpupilar es igual a 6.4 cm. Se puede encontrar fácilmente que si al pasar la fijación de  $P$  a  $Q$  hay que girar la mirada  $30^\circ$ , aparece una diferencia considerable (11.6%) entre los tamaños de las imágenes del segmento en los dos ojos. Si  $Q$  pasa a la posición simétrica a la izquierda de  $P$ , aparece una diferencia de tamaños del -11.6% (ahora es el  $OI$  el que aprecia mayor tamaño).

Conforme  $D$  aumenta, este efecto va disminuyendo hasta anularse para distancia infinita.

El sistema visual gestiona su funcionamiento de tal manera que estos valores considerables de la aniseiconia fisiológica, aparecidos de forma ocasional, se toleran sin problemas. La aparición de diferencias de aumento entre los dos ojos por otras causas (anomalías innatas o adquiridas por patología o intervención quirúrgica) origina aniseiconia adicional ( $A$ ) que puede generar síntomas al manifestarse en la dirección primaria de mirada. El valor de  $A$  es lo que consideraremos como aniseiconia en adelante.

## 2. Aniseiconia óptica

La existencia de defectos refractivos de distinta magnitud en los dos ojos (anisometropía) origina imágenes ópticas de diferente tamaño (aniseiconia óptica o anisométrica). Como veremos, la diferencia de tamaños no suele ser apreciable si el defecto es solamente de potencia y puede ser notable si el defecto es axial. Por eso, aunque el astigmatismo u otras anomalías de potencia cambien con la orientación del meridiano, la variación de la aniseiconia óptica con esta orientación puede considerarse insignificante.

Como el tamaño percibido de las imágenes ópticas depende de la densidad de receptores de luz en la retina (a mayor densidad mayor tamaño aparente), la existencia de diferencias entre las densidades en las dos retinas también puede originar aniseiconia. Esto puede ocurrir de forma natural (por ejemplo un ojo más largo puede ser también más ancho y tener menor densidad de receptores) o ser debido a patologías que pueden incluso originar diferencias de densidad dependientes del meridiano, lo que da lugar aniseiconia dependiente de la orientación.

Además, las vías visuales pueden introducir en los tamaños percibidos de las imágenes factores de escala que no sean iguales para los dos ojos, de forma natural (para tratar de compensar la aniseiconia originada por otras causas) o de forma patológica.

Visto lo anterior, un anisométrico puede tener una aniseiconia diferente a la que corresponda a su anisometropía y un isométrico puede tener aniseiconia. Aunque es poco frecuente encontrar casos de aniseiconia sintomática en isométricos, hay que desarrollar métodos de corrección que sean aplicables en todos los casos. Como la aniseiconia ( $A$ ) que hemos descrito hasta aquí aparece cuando se mantiene la visión en un objeto fijo, la denominaremos aniseiconia estática para diferenciarla de la aniseiconia dinámica que introduciremos posteriormente.

Aunque los métodos que vamos a desarrollar posteriormente para la corrección de la aniseiconia sirven independientemente de la causa de ésta, vamos a detenernos a estudiar el comportamiento de la aniseiconia óptica (utilizando el modelo de ojo de Le Grand [9]) porque nos va a



servir de ayuda en nuestra tarea.

En este caso particular la aniseiconia estática  $A$  es igual al cociente entre los tamaños reales de las imágenes de  $OD$  y  $OI$  en mirada frontal ( $A = Y'_{a(OD)}/Y'_{a(OI)}$ ). Por lo tanto,  $A$  coincide con el cociente entre los aumentos relativos ( $AR = Y'_a/Y'_e$ ) de los dos ojos respecto al ojo emétrepe. Los resultados finales de la aniseiconia se suelen expresar en porcentaje.

$$A = \frac{Y'_{a(OD)}}{Y'_{a(OI)}} = \frac{AR_{OD}}{AR_{OI}}, \quad A \% = (A - 1) \times 100 \quad (1)$$

La aniseiconia óptica se puede calcular a partir del defecto refractivo (o refracción)  $R$  de cada ojo (inverso de la distancia en metros desde el polo anterior hasta el punto remoto). El valor de  $R$  se puede obtener a partir de sus componentes de potencia  $R_{pot}$  (debida a la diferencia del poder refractor ocular  $F_a$  con el del ojo emétrepe patrón  $F_e$ ) y axial  $R_{ax}$  (debida a la diferencia de la longitud ocular con la del ojo emétrepe patrón) como  $R = R_{pot} + R_{ax}$ . El valor de  $R_{pot}$  (y por tanto de  $R$ ) varía con el meridiano si hay astigmatismo.

Según la expresión (1) el cálculo de  $A$  requiere en este caso el conocimiento del aumento relativo  $AR$  del ojo, que puede obtenerse [9] mediante (2), en la que  $R_{PE}$  es el valor de la refracción en el plano de la pupila de entrada y  $\beta'$  es el cociente entre los diámetros de la pupila de salida y la pupila de entrada del ojo emétrepe. Teniendo en cuenta que para el modelo de ojo

$$AR = \frac{F_e}{F_a + R_{PE}/\beta'}, \quad R_{PE} = R + 0.003R^2 \quad (2)$$

de Le Grand  $F_e = +59.94D$ ,  $\beta' = 0.92$  y que  $F_a = F_e - R_{pot}$ , se obtienen finalmente las fórmulas (3)-(6) para calcular  $AR$ , en las que se observa la menor influencia de  $R_{pot}$  frente a la de  $R_{ax}$ .

$$AR = \frac{1}{1 + f(R_{pot}) + g(R_{ax}) + h(R_{pot}, R_{ax})} \quad (3)$$

$$f(R_{pot}) = 1.45 \times 10^{-3}R_{pot} + 5.439 \times 10^{-5}R_{pot}^2 \quad (4)$$

$$g(R_{ax}) = 1.813 \times 10^{-2}R_{ax} + 5.439 \times 10^{-5}R_{ax}^2 \quad (5)$$

$$h(R_{pot}, R_{ax}) = 1.0878 \times 10^{-4}R_{pot}R_{ax} \quad (6)$$

Para analizar el comportamiento de la aniseiconia óptica vamos a calcularla, mediante (1) y

(3)-(6), para una variedad de casos con valores máximos de la anisometropía de  $\pm 6D$  (es difícil encontrar valores mayores) y defectos refractivos máximos de  $\pm 12D$ . Aunque las fórmulas citadas permiten el cálculo cuando aparecen simultáneamente defectos refractivos de potencia y axiales (anisometropía mixta), vamos a comenzar estudiando lo que ocurre (para ojos amétropes sin compensar) cuando los defectos son exclusivamente de potencia ( $R_{ax} = 0$ ) o exclusivamente axiales ( $R_{pot} = 0$ ).

Tabla I: Valores de la aniseiconia óptica generada por defectos refractivos de potencia.

$A_{pot} \%$		$R_{pot(OD)}(D) [R_{pot(OI)} = R_{pot(OD)} - \Delta_{pot}]$								
		-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12
$\Delta_{pot}$ (D)	+6			-0.28	-0.48	-0.67	-0.87	-1.05	-1.24	-1.42
	+3		-0.09	-0.19	-0.29	-0.39	-0.48	-0.58	-0.67	-0.76
	+1.5		-0.06	-0.11	-0.16	-0.21	-0.25	-0.30	-0.35	-0.39
	-1.5	+0.03	+0.08	+0.13	+0.18	+0.23	+0.28	+0.32	+0.37	
	-3	+0.09	+0.19	+0.29	+0.39	+0.48	+0.58	+0.67	+0.76	
	-6	+0.29	+0.48	+0.68	+0.87	+1.07	+1.26	+1.44		

En la Tabla I puede comprobarse que cuando los defectos refractivos son exclusivamente de potencia, la aniseiconia ( $A_{pot} \%$ ) generada por la anisometropía ( $\Delta_{pot}$ ) es siempre inferior a  $\pm 1.5 \%$  que, salvo en casos excepcionales, se tolera sin dificultad. Por tanto, la anisometropía de potencia no suele originar problemas de aniseiconia. Las zonas sombreadas de la tabla corresponden a valores de  $R_{pot(OI)}$  fuera del rango de  $\pm 12D$ .

Tabla II: Valores de la aniseiconia óptica generada por defectos refractivos axiales

$A_{ax} \%$		$R_{ax(OD)}(D) [R_{ax(OI)} = R_{ax(OD)} - \Delta_{ax}]$								
		-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12
$\Delta_{ax}$ (D)	+6			-11.5	-11.1	-10.7	-10.3	-10.0	-9.7	-9.4
	+3		-6.1	-5.8	-5.6	-5.3	-5.2	-5.1	-4.9	-4.7
	+1.5		-3.0	-2.9	-2.8	-2.7	-2.6	-2.5	-2.4	-2.4
	-1.5	+3.2	+3.1	+2.9	+2.8	+2.7	+2.6	+2.5	+2.5	
	-3	+6.4	+6.2	+5.9	+5.7	+5.5	+5.3	+5.1	+5.0	
	-6	+13.0	+12.5	+12.0	+11.5	+11.1	+10.7	+10.3		

En la Tabla II puede comprobarse que la aniseiconia ( $A_{ax} \%$ ) generada por anisometropía axial ( $\Delta_{ax}$ ) es muy superior a la generada por anisometropía de potencia, pudiendo originar síntomas en el individuo. Cuando la anisometropía es mixta la aniseiconia toma valores comprendidos entre  $A_{pot}$  y  $A_{ax}$  y la probabilidad de que aparezcan síntomas crece al aumentar la proporción de defectos axiales. Además, al menos parte de la aniseiconia óptica de los an-

isométricos suele compensarse con los otros tipos de aniseiconia. Por tanto (salvo en raras ocasiones) la aniseiconia  $A\%$  no excede el valor de  $A_{ax}\%$  y tiene su mismo signo, con lo que los valores de la Tabla II sirven de referencia sobre el valor máximo de la aniseiconia estática de los anisométricos.

A partir de los resultados mostrados en las Tablas I y II podemos intuir algunas conclusiones que serán comprobadas posteriormente con mayor rigor. Como la aniseiconia producida por defecto refractivo de potencia es en general imperceptible, parece lógico pensar que el uso de lentes de contacto (que no cambian las longitudes efectivas de los ojos) no produzca aniseiconia perceptible. También parece lógico pensar que el uso de gafas (que si cambian las longitudes efectivas de los ojos) introduzca aniseiconia perceptible. Por tanto, la aniseiconia imperceptible debería ser tratada con lentes de contacto y la perceptible con gafas que compensasen la aniseiconia necesaria. La cirugía refractiva sería apropiada en el primer caso y podría ser contraproducente en el segundo. En el capítulo siguiente estudiaremos con más rigor la influencia de las lentes en la aniseiconia.

### 3. Cálculo de aniseiconia estática con compensación

Cuando se colocan lentes para compensar los errores refractivos, hay que multiplicar el aumento percibido desde cada ojo por el aumento ( $AC$ ) que introduce la compensación para obtener la aniseiconia total ( $A^{Tot}$ ). De esta manera  $A^{Tot}$  (7) es el producto de  $A$  y la aniseiconia ( $A^{Com}$ ) que introducen estas lentes ( $A^{Com} = AC_{OD}/AC_{OI}$ ).

$$A^{Tot} = A \times A^{Com} \quad A^{Tot} \% = (A^{Tot} - 1) \times 100 \quad A^{Com} \% = (A^{Com} - 1) \times 100 \quad (7)$$

Si en (7) se expresan  $A^{Tot}$ ,  $A$  y  $A^{Com}$  en función de sus valores en porcentaje, en la ecuación resultante aparecen los factores  $0.01A^{Tot}$ ,  $0.01A$  y  $0.01A^{Com}$  que pueden considerarse muy pequeños frente a la unidad. Esto permite utilizar la ecuación (8) y obtener una relación sencilla entre  $A^{Tot} \%$ ,  $A \%$  y  $A^{Com} \%$  (9).

$$(1+x) \times (1+y) \simeq 1+x+y \quad (x,y \ll 1) \quad (8)$$

$$A^{Tot} \% \simeq A \% + A^{Com} \% \quad (9)$$

Para calcular  $A^{Com}$  ( $A^{Com} = AC_{OD}/AC_{OI}$ ) hay que conocer los valores de los aumentos que introducen las lentes de compensación. Para fijación de un segmento en  $VL$  y dirección fron-

tal (la Figura 2 ilustra un caso en el que el origen está en  $P_{0\infty}$  y el extremo en  $P_{e\infty}$ ), es bien conocido [5, 10, 11] que  $AC$  puede expresarse como sigue.

$$AC = FF \times FP \quad (10)$$

$$FF = \frac{1}{1 - (e/n)F_1} \quad (11)$$

$$FP = \frac{1}{1 - dF'_V} \quad (12)$$

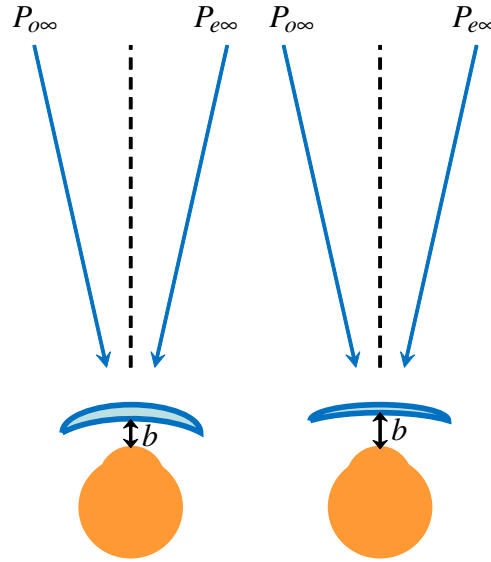


Figura 2: Fijación de un segmento en VL con compensación.

En el factor de forma ( $FF$ )  $e$  es el espesor central (en m) de la lente,  $n$  el índice de refracción y  $F_1$  la potencia (en D) de su cara anterior (también llamada curva frontal). En el factor de potencia ( $FP$ )  $F'_V$  es la potencia de vértice posterior (que puede cambiar con el meridiano si hay astigmatismo) y  $d = b + 0.003$  m, en la que  $b$  es la distancia entre la cara posterior de la lente y el polo corneal anterior del ojo (Figura 2). Hemos aproximado a 0.003 m la diferencia entre  $b$  y  $d$  (distancia de la cara posterior de la lente a la pupila del ojo) por simplicidad.

Para  $VP$  hay que multiplicar el valor de  $FP$  por un factor de proximidad [10] cuya diferencia con la unidad es muy pequeña (para un punto situado a 25 cm del plano de las gafas y una anisometropía de  $\pm 3$  D, la diferencia es menor que 0.003). Por ello se puede usar (12) tanto para  $VL$  como para  $VP$ .

En lugar de la curva frontal  $F_1$  se suele utilizar la curva frontal nominal ( $F_{1N}$ ), definida como  $F_{1N} = F_1 / [1 - (e/n)F_1]$ , que se relaciona de forma muy simple con  $F'_V$  y la potencia  $F_2$  de la cara posterior de la lente ( $F'_V = F_{1N} + F_2$ ) y permite obtener una expresión alternativa para  $FF$  (13)

que, junto con (10) y (12), conduce a la expresión final (14) que permite el cálculo de  $A^{Com}$ .

$$FF = 1 + (e/n)F_{1N} \quad (13)$$

$$A^{Com} = \frac{FF_{OD}}{FF_{OI}} \times \frac{FP_{OD}}{FP_{OI}} = \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - d_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - d_{OD}F'_{V(OD)}} \quad (14)$$

#### 4. Aniseiconia dinámica

Hasta ahora se ha analizado la aniseiconia que aparece cuando se fija la visión en un objeto fijo (aniseiconia estática). Vamos a ver ahora lo que ocurre cuando los ojos realizan barridos de mirada para identificar los distintos objetos que aparecen en el campo visual. Al barrer la mirada del punto  $P$  al punto  $Q$  situados en un objeto plano próximo (Figura 3) los ejes visuales realizan un movimiento de vergencia porque  $\theta_I \neq \theta_D$ . Este fenómeno es similar a la aniseiconia fisiológica estática (Figura 1) que origina tamaños de imagen diferentes al fijar un segmento en  $P$  y después en  $Q$ . En este caso el fenómeno es dinámico y origina giros diferentes de los dos ojos. Por eso (siguiendo a algunos autores) lo llamaremos aniseiconia dinámica fisiológica.

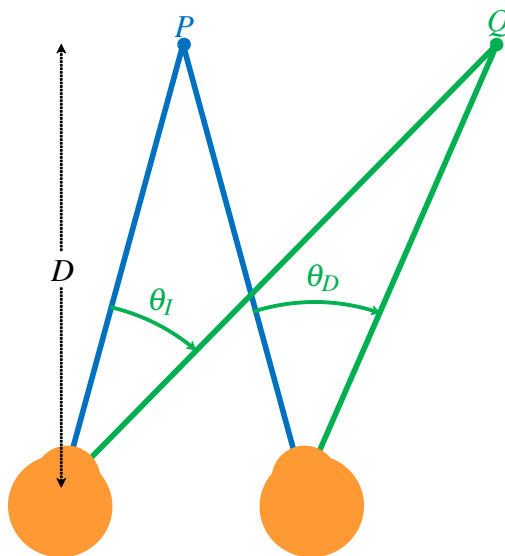


Figura 3: Aniseiconia dinámica fisiológica en VP.

Para estimar la magnitud de este efecto vamos a suponer que  $D = 25$  cm y que el barrido de mirada desde  $P$  hasta  $Q$  origina un giro de  $30^\circ$  del eje visual del ojo de cíclope. Un cálculo sencillo (para distancia interpupilar de 6.4 cm) muestra que la diferencia entre  $\theta_I$  y  $\theta_D$  (Figura 3) es de  $3.6^\circ$ , que equivale a una demanda de vergencia de  $6.3\Delta$ . Las vergencias fusionales suelen ser más que suficientes para permitir sin problemas estos barridos rápidos de la mirada. Si se

usan lentes de contacto para compensar los errores refractivos no cambia el resultado porque los ejes visuales pasan por los centros de las lentes aunque los ojos giren.

Cuando los puntos  $P$  y  $Q$  pasan a estar a distancia infinita ( $P_\infty$  y  $Q_\infty$  en la parte izquierda de la Figura 4), los ángulos  $\theta_I$  y  $\theta_D$  son iguales y ya no aparece aniseiconia dinámica fisiológica. Como en el caso de  $VP$ , si se usan lentes de contacto para compensar los errores refractivos no cambia el resultado porque las lentes de contacto no introducen aniseiconia dinámica adicional. El comportamiento es distinto cuando estos errores refractivos se compensan mediante gafas con lentes diferentes, ya que las lentes no se mueven al girar los ojos.

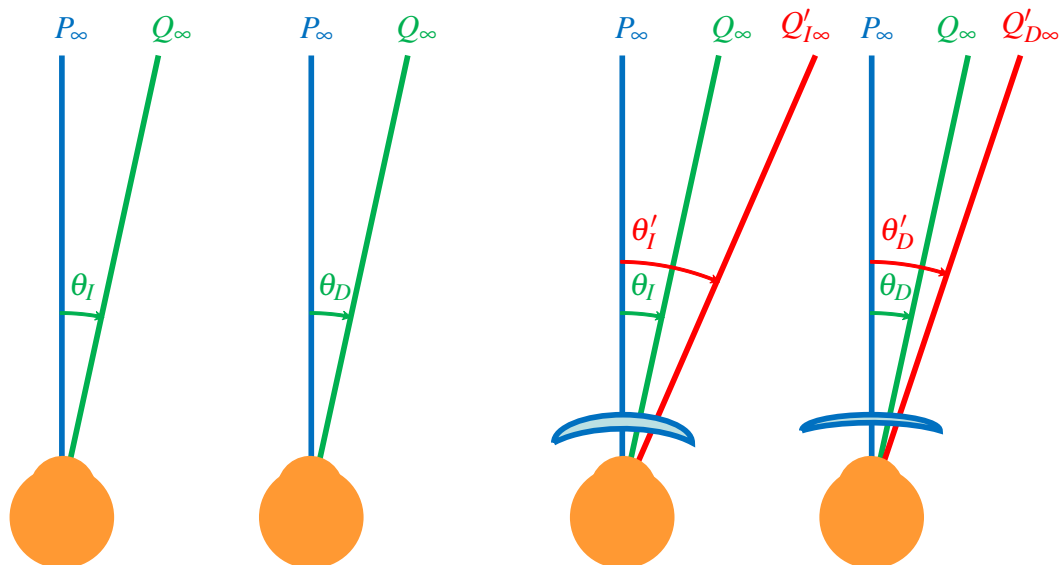


Figura 4: Aniseiconia dinámica con gafas en VL.

Cuando los ojos miran con gafas (parte derecha de la figura 4) se barre la mirada de  $P_\infty$  a  $Q'_{I\infty}$  (en lugar de  $Q_\infty$ ) con el OI y de  $P_\infty$  hasta  $Q'_{D\infty}$  (en lugar de  $Q_\infty$ ) con el OD. Esto es debido a que para mirada oblicua los rayos que llegan a los ojos pasan fuera de los ejes de las lentes y aparecen efectos prismáticos diferentes en  $OI$  y  $OD$  ( $\theta'_I \neq \theta'_D$ ). De esta manera, las gafas con lentes de potencias diferentes originan aniseiconia dinámica en VL, que puede originar síntomas añadidos a los de la aniseiconia estática cuando se mira fuera de eje de forma sostenida. Son especialmente importantes los efectos debidos al desplazamiento vertical de la mirada (por ejemplo cuando se lee) porque las reservas fusionales verticales son mucho menores que las horizontales.

## 5. Cálculo de la aniseiconia dinámica producida por gafas

Como hemos visto anteriormente, solamente cuando se usan gafas aparece aniseiconia dinámica adicional a la fisiológica. Para calcularla en  $VL$ , podemos definir [5] el aumento dinámico de cada lente como el cociente entre el ángulo barrido por el ojo con ella y sin ella ( $AC_{Din} = \theta'/\theta$ ) y la aniseiconía dinámica ( $A_{Din}$ ) como el cociente entre los ángulos barridos por el  $OD$  y el  $OI$  con las gafas puestas. Esto resulta ser igual al cociente entre los aumentos dinámicos de las lentes de los dos ojos.

$$A_{Din} = \frac{\theta'_D}{\theta'_I} = \frac{AC_{Din(OD)}}{AC_{Din(OI)}}, \quad A_{Din} \% = (A_{Din} - 1) \times 100 \quad (15)$$

Si los ángulos se expresan en radianes  $AC_{Din}$  puede escribirse [5] de la forma que sigue, siendo

$$AC_{Din} = FF \times FP_{Din} \quad (16) \quad FP_{Din} = \frac{1}{1 - sF'_V} \quad (17)$$

$FF$  el mismo factor de forma de la aniseiconia estática,  $FP_{Din}$  el factor de potencia dinámico y  $s$  la distancia desde el vértice posterior de la lente al centro de rotación del ojo ( $s = b + 0.0135$  m). Puede comprobarse que si se sustituye  $d$  por  $s$  en la expresión (12) de  $FP$  se obtiene la expresión (17) de  $FP_{Din}$ . Por lo tanto, en  $VP$  será preciso multiplicar el valor de  $FP_{Din}$  por un factor de proximidad, que se puede obtener haciendo la misma sustitución en el factor de proximidad correspondiente a  $FP$ . En este caso también es muy pequeña la diferencia de este factor con la unidad, lo que permite usar (17) tanto para  $VL$  como para  $VP$ .

Teniendo en cuenta (13) y (15)-(17) obtenemos inmediatamente una expresión para el cálculo de la aniseiconia dinámica introducida por las gafas.

$$A_{Din} = \frac{FF_{OD}}{FF_{OI}} \times \frac{FP_{Din(OD)}}{FP_{Din(OI)}} = \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F'_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F'_{1N(OI)}} \times \frac{1 - s_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - s_{OD}F'_{V(OD)}} \quad (18)$$

Aunque la fórmula anterior permite calcular de forma muy simple  $A_{Din}$ , vamos a buscar una expresión aproximada que nos ayude a hacer razonamientos cualitativos sobre la aniseiconía dinámica. Por ello haremos el cociente entre la expresión (18) y la (14) para obtener una relación (19) entre  $A_{Din}$  y la aniseiconia estática  $A^{Com} = A^{Gafa}$  introducida por las gafas.

$$A_{Din} = A^{Gafa} \times \frac{1 - d_{OD}F'_{V(OD)}}{1 - d_{OI}F'_{V(OI)}} \times \frac{1 - s_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - s_{OD}F'_{V(OD)}} \quad (19)$$

Como los valores de los productos de  $d$ ,  $s$  y  $F'_V$  que aparecen en (19) son muy pequeños

frente a la unidad, pueden utilizarse en ella las aproximaciones (8) y (20), obteniéndose la relación (21). Si en esta última expresamos  $A_{Din}$  y  $A^{Gafa}$  en función de sus valores en porcentaje

$$\frac{1+x}{1+y} \simeq 1+x-y \quad (x, y \ll 1) \quad (20)$$

$$A_{Din} \simeq A^{Gafa} \times \left[ 1 + (s_{OD} - d_{OD})F'_{V(OD)} - (s_{OI} - d_{OI})F'_{V(OI)} \right] \quad (21)$$

y volvemos a utilizar (8) se obtiene inmediatamente la relación aproximada (22).

$$A_{Din} \% \simeq A^{Gafa} \% + 100 \left[ (s_{OD} - d_{OD})F'_{V(OD)} - (s_{OI} - d_{OI})F'_{V(OI)} \right] \quad (22)$$

En esta relación puede observarse que la aniseiconia dinámica es la suma de la aniseiconia estática introducida por las gafas y de un factor que depende de la diferencia entre las potencias de vértice posterior de las dos lentes. Esta fórmula será muy útil posteriormente para sentar las bases de la optimización simultánea de las aniseiconias estática y dinámica.

## 6. Efectos prismáticos dinámicos

Como se ha dicho anteriormente, cuando los ojos miran con gafas en dirección oblicua los rayos que llegan en dirección  $\theta$  ( $\theta = \theta_D = \theta_I$  en la Figura 4) pasan fuera de los ejes de las lentes y aparecen efectos prismáticos diferentes en  $OD$  y  $OI$  que originan demanda de vergencias. Para evaluar esta demanda en dioptrías prismáticas ( $100 \times \text{tg} \Delta\theta'$ ,  $\Delta\theta' = \theta'_D - \theta'_I$ ) hay que obtener  $\Delta\theta'$ . Recordando que  $AC_{Din} = \theta'/\theta$  y usando las expresiones (13), (16) y (17) se obtiene  $\Delta\theta'$ .

$$\begin{aligned} \Delta\theta' &= \theta'_D - \theta'_I = \theta \left[ AC_{Din(OD)} - AC_{Din(OI)} \right] \\ &= \theta \left[ \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 - s_{OD}F'_{V(OD)}} - \frac{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}}{1 - s_{OI}F'_{V(OI)}} \right] \end{aligned} \quad (23)$$

El cálculo de la aniseiconia dinámica (18) y el del efecto prismático dinámico (23) son dos formas diferentes de evaluar el esfuerzo vergencial que originan las gafas en mirada oblicua. Sería, por lo tanto, interesante encontrar una relación simple entre ambos. Para ello, podemos introducir el parámetro  $\Delta\theta = \theta' - \theta$  en la definición (15) de  $A_{Din}$  y utilizar las aproximaciones (8) y (20), considerando que  $\Delta\theta/\theta$  toma valores pequeños frente a la unidad. El resultado es la



expresión que sigue.

$$A_{Din} = \frac{\theta'_D}{\theta'_I} = \frac{\theta + \Delta\theta_D}{\theta + \Delta\theta_I} = \frac{1 + \Delta\theta_D/\theta}{1 + \Delta\theta_I/\theta} \simeq 1 + \frac{\Delta\theta_D - \Delta\theta_I}{\theta} = 1 + \frac{\Delta\theta'}{\theta} \quad (24)$$

Teniendo en cuenta (24) y que  $\Delta\theta'$  es pequeño frente a la unidad, podemos obtener una fórmula sencilla que relaciona la demanda de vergencias ( $DV$ ) en dioptrías prismáticas con el valor de  $\theta$  en radianes y el de  $A_{Din}$  %.

$$DV = 100 \text{tg}(\Delta\theta') \simeq 100(\Delta\theta') = 100\theta(A_{Din} - 1) = \theta A_{Din} \% \quad (25)$$

Esta fórmula nos permite fijar un criterio sobre la máxima aniseiconia dinámica tolerable. Como los efectos debidos al desplazamiento vertical de la mirada son los más importantes (debido al pequeño valor de las reservas fusionales verticales) vamos a estimarlos para los puntos de lectura en  $VP$ . Consideraremos que estos puntos se sitúan a 1.8 cm por debajo de los ejes de las lentes de las gafas. Como la distancia habitual de la cara posterior de las lentes a los centros de rotación de los ojos es de 2.55 cm, mirar 1.8 cm por debajo del eje supone un giro de  $35.2^\circ$  (0.61 radianes). Si usamos este dato en (25) y recordamos que el valor absoluto de las reservas fusionales verticales que tiene un individuo varía aproximadamente entre  $2\Delta$  y  $4\Delta$ , resulta que se puede soportar una aniseiconia dinámica cuyo valor absoluto esté comprendido entre 3.3 % y 6.6 % aproximadamente. Aunque las reservas fusionales horizontales son más amplias, también es mayor la anchura horizontal de las gafas que la vertical y en algunos casos también se puede originar diplopía horizontal y, antes de llegar a eso, disminución de la estereopsis y del confort visual. Por tanto hay que buscar aquellas soluciones ópticas que produzcan la menor aniseiconia dinámica posible.



## II. EFECTO DE LAS LENTES SOBRE LA ANISEICONIA

### 1. Efecto de las lentes de contacto

La expresión (14) permite el cálculo de la aniseiconia estática introducida por las lentes compensadoras. Cuando éstas son lentes de contacto el espesor central es extremadamente pequeño, lo que da lugar a que en (14) se pueda sustituir  $FF_{OD}/FF_{OI}$  por la unidad, como vamos a ver a continuación. Para ello calcularemos este cociente en aquellas condiciones en las que tome valores más lejanos a la unidad (utilizando los máximos valores posibles para espesores y curvas frontales nominales), garantizando así que la aproximación sea válida en todos los casos.

Para ello supondremos que las LC son de silicona ( $n = 1.42$ ) y entre los valores habituales del espesor central tomaremos el máximo ( $e = 0.0015$  m). En cuanto a los valores de  $F_{1N}$  los obtendremos a partir de la expresión  $F_{1N} = F'_V - F_2$ , calculando  $F_2$  mediante la conocida fórmula  $F_2 = (1 - n)/r_2$ . Para el caso de adaptación paralela  $r_2$  es el radio de la córnea (7.8 mm) que conduce a un valor de  $-53.8$  D para  $F_2$ . El valor máximo de  $F_{1N}$  lo obtendremos con el máximo valor de  $F'_V$  del apartado 2 de la lección anterior ( $F'_V = +12$  D) con el que  $F_{1N} = +65.8$  D. Con los valores anteriores se obtiene (13) un factor de forma  $FF = 1.007$  para la LC en condiciones más adversas. Esto indica que  $FF$  es siempre muy próximo a la unidad, lo que permite utilizar las aproximaciones (8) y (20) en el siguiente desarrollo basado en (13), considerando  $e_{OD} = e_{OI} = e$  y  $n_{OD} = n_{OI} = n$ .

$$\begin{aligned} \frac{FF_{OD}}{FF_{OI}} &= \frac{1 + (e/n)F_{1N(OD)}}{1 + (e/n)F_{1N(OI)}} \simeq 1 + \frac{e}{n} [F_{1N(OD)} - F_{1N(OI)}] \\ &= 1 + \frac{e}{n} \left\{ [F'_{V(OD)} - F'_{V(OI)}] - [F_{2(OD)} - F_{2(OI)}] \right\} \end{aligned} \quad (26)$$

Para adaptación paralela, en cada ojo  $F_2$  es igual al opuesto de la potencia corneal ( $PC$ ), por lo que en (26)  $F_{2(OD)} - F_{2(OI)} = -PC_{OD} + PC_{OI}$ . Además, la potencia corneal de cada ojo amétrope es igual a la del ojo emétrope menos el defecto refractivo corneal. Por tanto  $F_{2(OD)} - F_{2(OI)}$  resulta ser igual a la diferencia de los defectos refractivos corneales del  $OD$  y el  $OI$ . Como en las LC  $b = 0$  que implica  $F'_V = R$ , resulta que en (26)  $F'_{V(OD)} - F'_{V(OI)} = R_{OD} - R_{OI}$ , que incluye las diferencias de defectos refractivos debidas a causas diversas (defectos refractivos axiales, corneales, del cristalino, ...). Por ello el segundo término del corchete en (26) compensa en parte al primer término. Con los valores de  $e$  y  $n$  establecidos anteriormente y calculando en las condiciones más desfavorables (segundo término del corchete nulo para que no compense al

primero), se obtiene un valor de  $FF_{OD}/FF_{OI}$  que se diferencia de la unidad en 0.0001 por cada dioptría de anisometropía. En consecuencia, hasta en los casos de anisometropía más alta ( $\pm 6$  D) podemos sustituir  $FF_{OD}/FF_{OI}$  por la unidad con muy buena precisión.

Considerando lo anterior en (14) se obtiene la fórmula definitiva para calcular  $A^{Com} = A^{LC}$ .

$$A^{LC} = \frac{1 - 0.003F'_{VLC(OI)}}{1 - 0.003F'_{VLC(OD)}} = \frac{1 - 0.003R_{OI}}{1 - 0.003R_{OD}} \quad (27)$$

Cuando hay astigmatismo los valores de  $R_{OD}$  y  $R_{OI}$  cambian con el meridiano y se pueden calcular en función del defecto refractivo de esfera ( $R_E$ ), del defecto refractivo de cilindro ( $R_C$ ) y del ángulo ( $\theta$ ) que forma el eje del cilindro con la línea que marca la orientación en la que se quiere realizar el cálculo de  $A^{LC}$ .

$$R = R_E + R_C \text{sen}^2 \theta \quad (28)$$

Para hacernos una idea de la magnitud de la aniseiconia introducida por lentes de contacto y de sus posibles consecuencias, vamos a considerar anisometropías de la misma magnitud que las estudiadas en las Tablas I y II. Mediante (27) calcularemos en cada caso el valor de  $A^{LC}$  que corresponde a las lentes de contacto que compensan los defectos refractivos. Los resultados (expresados en %) se encuentran en la Tabla III en color negro.

Tabla III: Aniseiconia  $A^{LC}$  % introducida por LC en anisométricos, comparada con  $A_{pot}$  % y  $A_{ax}$  %

$A^{LC}$ %, $A_{pot}$ %, $A_{ax}$ %		$R_{OD}(D)$					$[R_{OI} = R_{OD} - \Delta]$			
		-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12
$\Delta(D)$	+6			+1.77 -0.28 -11.5	+1.78 -0.48 -11.1	+1.80 -0.67 -10.7	+1.82 -0.87 -10.3	+1.83 -1.05 -10.0	+1.85 -1.24 -9.7	+1.87 -1.42 -9.4
	+3		+0.88 -0.09 -6.1	+0.88 -0.19 -5.8	+0.89 -0.29 -5.6	+0.90 -0.39 -5.3	+0.91 -0.48 -5.2	+0.92 -0.58 -5.1	+0.92 -0.67 -4.9	+0.93 -0.76 -4.7
	+1.5		+0.44 -0.06 -3.0	+0.44 -0.11 -2.9	+0.45 -0.16 -2.8	+0.45 -0.21 -2.7	+0.45 -0.25 -2.6	+0.46 -0.30 -2.5	+0.46 -0.35 -2.4	+0.47 -0.39 -2.4
	-1.5	-0.43 +0.03 +3.2	-0.44 +0.08 +3.1	-0.44 +0.13 +2.9	-0.45 +0.18 +2.8	-0.45 +0.23 +2.7	-0.45 +0.28 +2.6	-0.46 +0.32 +2.5	-0.46 +0.37 +2.5	
	-3	-0.87 +0.09 +6.4	-0.88 +0.19 +6.2	-0.88 +0.29 +5.9	-0.89 +0.39 +5.7	-0.90 +0.48 +5.5	-0.91 +0.58 +5.3	-0.92 +0.67 +5.1	-0.92 +0.76 +5.0	
	-6	-1.74 +0.29 +13.0	-1.75 +0.48 +12.5	-1.77 +0.68 +12.0	-1.78 +0.87 +11.5	-1.80 +1.07 +11.1	-1.82 +1.26 +10.7	-1.83 +1.44 +10.3		

Debajo de estos resultados se encuentran los valores de la aniseiconia  $A\%$  sin compensación que tendría el anisométrico en dos casos extremos: en azul para anisometropía de potencia y en rojo para anisometropía axial, que corresponden a los valores de  $A_{pot}\%$  de la Tabla I y  $A_{ax}\%$  de la Tabla II. La aniseiconia  $A_{Tot}\%$  que tendrían los individuos con la compensación de LC puesta se puede obtener aproximadamente (9) sumando a  $A^{LC}\%$  la aniseiconia sin compensación. Puede comprobarse que para anisometropía de potencia  $A_{Tot}\%$  es siempre inferior a  $\pm 1.5\%$  que, salvo en caso excepcionales, se tolera sin dificultad. Por tanto, en estos casos resulta adecuada la corrección con LC. Sin embargo, para anisometropía axial  $A_{Tot}\%$  puede llegar a tomar valores muy altos, lo que indica que la compensación con lentes de contacto resultaría inadecuada. Con estos resultados ya se va vislumbrando que la existencia de aniseiconia obliga a estudiar cuál es el tipo de compensación más adecuado dentro de las posibles opciones.

## 2. Efecto de las gafas

Para el caso de compensación con gafas vamos a hacer un estudio similar al realizado para lentes de contacto. El cálculo de  $A^{Gafa}$  se realizará utilizando directamente (14), calculando  $F'_V$  mediante la conocida expresión  $F'_V = R/(1 + bR)$  con  $b = 0.012$  m, suponiendo por simplicidad que no hay astigmatismo y la compensación se hace solamente con esfera y considerando  $n_{OD} = n_{OI} = n = 1.498$  (vidrio CR39).

Habitualmente el cálculo de  $FF$  requiere el uso de los valores de  $e$  y  $F_{1N}$  proporcionados por el suministrador de las lentes. Como en este apartado solamente queremos hacer una estimación, usaremos métodos aproximados comúnmente admitidos para determinar  $e$  y  $F_{1N}$ . En el caso de lentes negativas usaremos siempre un espesor central  $e = 0.001$  m, porque este espesor es suficiente (con independencia de la potencia) cuando se usa vidrio CR39. En el caso de lentes positivas calcularemos  $e$  [12] mediante la expresión (29), en la que  $\phi$  es el diámetro (expresado en m) de la lente proporcionada por el suministrador y  $e_{borde}$  es el espesor de borde de dicha lente. En nuestros cálculos tomaremos  $\phi = 0.065$  m y  $e_{borde} = 0.001$  m.

$$e \simeq \frac{(\phi/2)^2 F'_V}{2(n-1)} + e_{borde} \quad (29)$$

Para calcular  $F_{1N}$  vamos a usar [8] la fórmula de Vogel, que proporciona una aproximación a la curva frontal nominal que optimiza el comportamiento del astigmatismo oblicuo y que se expresa como se indica en (30), en función del esférico equivalente ( $F'_{Vee}$ ). Se toma  $F_{1N} = 0$

cuando se obtiene con la fórmula un valor negativo para  $F_{1N}$ .

$$F_{1N} = F'_{Vee} + 6 \quad (F'_{Vee} > 0) \quad F_{1N} = \frac{F'_{Vee}}{2} + 6 \quad (F'_{Vee} < 0) \quad (30)$$

Tabla IV: Aniseiconia  $A^{Gafa} \%$  introducida por gafas en anisométricas, comparada con  $A_{pot} \%$  y  $A_{ax} \%$

$A^{Gafa} \%, A_{pot} \%, A_{ax} \%$		$R_{OD}(D)$					$[R_{OI} = R_{OD} - \Delta]$			
		-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12
$\Delta(D)$	+6			+10.5 -0.28 -11.5	+10.3 -0.48 -11.1	+9.93 -0.67 -10.7	+11.8 -0.87 -10.3	+14.5 -1.05 -10.0	+16.0 -1.24 -9.7	+17.0 -1.42 -9.4
	+3		+5.19 -0.09 -6.1	+5.08 -0.19 -5.8	+4.92 -0.29 -5.6	+4.78 -0.39 -5.3	+6.66 -0.48 -5.2	+7.39 -0.58 -5.1	+7.99 -0.67 -4.9	+8.29 -0.76 -4.7
	+1.5		+2.57 -0.06 -3.0	+2.49 -0.11 -2.9	+2.41 -0.16 -2.8	+2.34 -0.21 -2.7	+3.38 -0.25 -2.6	+3.72 -0.30 -2.5	+3.95 -0.35 -2.4	+4.06 -0.39 -2.4
	-1.5	-2.48 +0.03 +3.2	-2.47 +0.08 +3.1	-2.39 +0.13 +2.9	-2.32 +0.18 +2.8	-3.08 +0.23 +2.7	-3.41 +0.28 +2.6	-3.74 +0.32 +2.5	-3.90 +0.37 +2.5	
	-3	-4.93 +0.09 +6.4	-4.84 +0.19 +6.2	-4.69 +0.29 +5.9	-4.56 +0.39 +5.7	-6.24 +0.48 +5.5	-6.88 +0.58 +5.3	-7.40 +0.67 +5.1	-7.66 +0.76 +5.0	
	-6	-9.53 +0.29 +13.0	-9.30 +0.48 +12.5	-9.04 +0.68 +12.0	-10.5 +0.87 +11.5	-12.7 +1.07 +11.1	-13.8 +1.26 +10.7	-14.5 +1.44 +10.3		

Los resultados se encuentran en la Tabla IV (que tiene una estructura similar a la de la Tabla III) sirviéndonos nuevamente  $A_{pot} \%$  y  $A_{ax} \%$  como valores de referencia de la aniseiconia estática  $A \%$ . Al observar la tabla se encuentra inmediatamente que  $A^{Gafa} \%$  cambia considerablemente a lo largo de cada fila, aunque el valor de la anisometropía no cambie. Sin embargo, si las lentes fuesen delgadas ( $e = 0$  y por tanto  $d_{OD} = d_{OI} = d$ ) en (14) se obtendría  $FF_{OD}/FF_{OI} = 1$  y por ello  $A^{Gafa} = FP_{OD}/FP_{OI}$ . Aplicando (8) y (20) a la expresión de este cociente (por las mismas razones utilizadas anteriormente) se ve que  $A^{Gafa}$  se podría calcular aproximadamente mediante la expresión  $1 - d[F'_{V(OD)} - F'_{V(OI)}]$ , que no cambia si  $\Delta$  se mantiene constante. Por tanto, el cambio de  $A^{Gafa} \%$  que se observa dentro de cada fila de la Tabla IV es debido fundamentalmente al cambio de los factores de forma con  $F'_V(OD)$  y  $F'_V(OI)$ , que conlleva cambios en  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N}(OD)$  y  $F_{1N}(OI)$ . Todo lo anterior nos indica que es posible producir cambios notables en  $A^{Gafa} \%$  variando los espesores centrales y las curvas frontales nominales de las lentes. Además, el signo de  $A^{Gafa} \%$  es siempre opuesto a los de  $A_{pot} \%$  y  $A_{ax} \%$  (que salvo raras ocasiones coinciden con el de  $A$ ) lo que da la posibilidad (9) de corregir

la aniseiconia modificando los factores de forma de las lentes. Las modificaciones deben ser más importantes cuanto mayor sea el valor inicial de  $A^{Tot} \%$ , que coincide aproximadamente con  $A \%$  +  $A^{Gafa} \%$  (9).

En el caso de anisometropía de potencia los valores de  $A^{Tot} \%$  son excesivos debido a que los valores grandes que toma  $A^{Gafa} \%$  no pueden compensar adecuadamente a los valores pequeños de  $A_{pot} \%$ . Esto indica que en éste y otros casos en los que  $A$  toma valores pequeños, la compensación con gafas (en lugar de usar  $LC$ ) pueden ser perjudicial. Como el astigmatismo es un defecto refractivo que apenas genera aniseiconia debería ser compensado con lentes de contacto. El uso de gafas en individuos con astigmatismo produce aniseiconia meridional (diferente para cada meridiano) que debe ser corregida junto con la aniseiconia propia del individuo.

Finalmente, la Tabla IV nos permite hacer algunas consideraciones sobre la aniseiconia dinámica. Puede observarse que  $\Delta$  y  $A^{Gafa} \%$  tienen siempre el mismo signo, lo que en la práctica hace que los dos sumandos que aparecen en el segundo término de la fórmula (22) tengan también el mismo signo y potencien sus efectos. Esto significa que  $A_{Din}$  nunca puede anularse, pero podemos tratar de minimizarla (para paliar sus efectos) minimizando  $A^{Gafa} \%$ . Según (9) esto significa minimizar  $A^{Tot} \%$  -  $A \%$ . Como  $A \%$  es un valor característico del individuo, solamente podemos minimizar  $A^{Gafa} \%$  modificando el valor  $A^{Tot} \%$  de la aniseiconia estática con la compensación puesta, dentro del intervalo de valores que el individuo es capaz de tolerar ( $A^{Tot-} \%$  para aniseiconia negativa y  $A^{Tot+} \%$  para aniseiconia positiva). Todo esto nos marca el camino de las medidas necesarias (que se explican en la lección próxima) para poder abordar la corrección de la aniseiconia.





### III. MEDIDA DE ANISEICONIA

#### 1. Estudio del tipo de compensación necesaria para la medida de aniseiconia

Como se ha visto en la lección anterior, la corrección de la aniseiconia requiere el conocimiento de la aniseiconia estática  $A$  del individuo sin compensación y de los límites ( $A^{Tot-} \%$  y  $A^{Tot+} \%$ ) de aniseiconia con compensación que es capaz de tolerar. Para medir  $A$  es preciso (como veremos posteriormente) presentar al individuo optotipos (uno para cada ojo) que debe ver nítidamente para evitar imprecisiones. Esto obliga a realizar la medida con la compensación puesta y, posteriormente, llevar a cabo un proceso de inversión para obtener la aniseiconia sin compensación. Vamos a estudiar cómo se puede hacer este proceso con la máxima precisión posible.

Comencemos con una compensación mediante lentes de contacto. Utilizando (7) y (27) se encuentra inmediatamente (31). Despejando  $A$  de esta fórmula se obtiene la expresión (32) que permite obtener  $A$  a partir de la medida de  $A^{Tot}$  (realizada compensando mediante  $LC$ ).

$$A^{Tot} = A \times \frac{1 - 0.003R_{OI}}{1 - 0.003R_{OD}} \quad (31) \quad A = A^{Tot} \times \frac{1 - 0.003R_{OD}}{1 - 0.003R_{OI}} \quad (32)$$

Como  $R_{OD}$  y  $R_{OI}$  se conocen con buena precisión, el error con el que se obtiene  $A$  es básicamente el cometido en la medida de  $A^{Tot}$ . La lente de contacto no introduce error adicional.

Existen otras alternativas al uso de lentes de contacto en la medida de aniseiconia, que se usan habitualmente en refracción subjetiva, como son el uso de gafas de prueba o foróptero. En estos casos  $FF_{OD}/FF_{OI}$  no se pueden aproximar a la unidad y en (7) hay que utilizar (14) en lugar de (27) para obtener la expresión (33) de  $A^{Tot}$ . A partir de ella se puede obtener inmediatamente la fórmula inversa. Al usar lentes de prueba es preciso conocer cómo afectan a la medida los factores de forma y de potencia de las lentes colocadas en el  $OD$  y en el  $OI$ .

$$A^{Tot} = A \times \frac{FF_{OD}}{FF_{OI}} \times \frac{FP_{OD}}{FP_{OI}} = A \times \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - d_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - d_{OD}F'_{V(OD)}} \quad (33)$$

En primer lugar vamos a analizar cómo afectan los factores de forma. Para comenzar vamos a suponer que las lentes de prueba son simétricas ( $r_1 = -r_2 = r$  y  $F_2 = F_1$ ). Como los espesores suelen ser pequeños podemos considerar [10]  $F_{1N} \simeq F_1$  y  $F'_V \simeq F_1 + F_2 = 2F_1 \simeq 2F_{1N}$ , ( $F_{1N} \simeq F'_V/2$ ). Por ello, para evaluar el cociente de factores de forma mediante (33) consideraremos  $F_{1N} = F'_V/2$ . En el caso de lentes positivas calcularemos el espesor central mediante (29) y, para

aproximarnos a los valores reales de las lentes de prueba, utilizaremos  $\phi = 0.035$  m,  $e_{\text{borde}} = 0.002$  m y  $n = 1.5$ . Para lentes negativas consideraremos  $e = 0.0015$  m.

Con todos estos datos se obtienen los resultados de la Tabla V. Como se ha hecho en los ejemplos anteriores, se han considerado defectos refractivos máximas de  $\pm 12$  D, con diferencias máximas de  $\pm 6$  D entre  $OD$  y  $OI$ . Como puede observarse en la tabla, la influencia de los factores de forma sobre la aniseiconia es mayor para los defectos refractivos positivos que para los negativos (debido al mayor espesor central que requieren las lentes de prueba positivas). Además, esta influencia no se puede considerar despreciable, lo que constituye una diferencia notable con las lentes de contacto.

Tabla V:

*Cociente de factores de forma para lentes de prueba simétricas situadas a 12 mm del polo corneal*

$\frac{FF_{OD}}{FF_{OI}}$ (%)	$R_{OD}(D)$ [ $R_{OI} = R_{OD} - \Delta$ ]									
	-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12	
$\Delta(D)$	+6			+0.38	+0.35	+0.32	+0.43	+0.68	+0.92	+1.10
	+3		+0.20	+0.18	+0.17	+0.16	+0.28	+0.41	+0.51	+0.59
	+1.5		+0.10	+0.09	+0.08	+0.08	+0.16	+0.22	+0.27	+0.30
	-1.5	-0.10	-0.09	-0.09	-0.08	-0.12	-0.19	-0.24	-0.28	
	-3	-0.20	-0.18	-0.17	-0.16	-0.27	-0.40	-0.51	-0.59	
	-6	-0.38	-0.35	-0.32	-0.43	-0.68	-0.91	-1.09		

En realidad todas las lentes usadas en las gafas de prueba no tienen la misma forma: algunas son simétricas, otras tienen la primera cara curvada y la segunda plana (los factores de forma influyen el doble que en las simétricas) y otras tienen formas intermedias entre estas dos. Por tanto, el desconocimiento de la forma exacta de la lente nos da una incertidumbre en la determinación de  $A$ , que puede llegar a ser bastante grande.

Para analizar cómo afectan los factores de potencia a la determinación de  $A$ , podemos pensar en un caso sencillo con  $d_{OD} = d_{OI} = d$ . Utilizando las aproximaciones de siempre resulta que el cociente de factores de potencia puede ponerse como  $1 + d(F'_{V(OD)} - F'_{V(OI)})$ . Según esta expresión, cada mm de imprecisión en el conocimiento de  $d$  (y equivalentemente de  $b$ ) origina en el cociente de factores de potencia una incertidumbre de 0.1 % por cada dioptría de anisometropía (0.6 % para una anisometropía de 6 D). Existe un dispositivo llamado distómetro (Figura 5) que permite medir  $b$  y que es muy útil para colocar las gafas a la distancia correcta. También puede aplicarse sin dificultad en gafas de prueba pero es muy difícil de aplicar en un foróptero. Al realizar una refracción subjetiva con gafas de prueba las lentes esféricas y las cilíndricas se introducen en ranuras diferentes. Por tanto, es preciso medir con precisión los valores de  $b$  para

ambas y tener esto en cuenta en la fórmula de inversión que nos proporciona  $A$ . Esto hay que hacerlo en ambos ojos para que el proceso resulte fiable.



Figura 5: *Distómetro y forma de uso.*

Del análisis que hemos llevado a cabo anteriormente se deduce claramente que:

1. El desconocimiento de la forma exacta de las lentes de prueba nos da una incertidumbre en la determinación de  $A$  que puede llegar a ser bastante grande.
2. La necesidad de control de la distancia  $b$  nos obliga a seguir protocolos de medida engorrosos que, a su vez, complican el algoritmo de inversión necesario para obtener  $A$ .

Todo esto contrasta con la simplicidad que supone la medida de la aniseiconia con lentes de contacto, en la que no aparecen este tipo de imprecisiones. Por tanto, resulta evidente que la medida de la aniseiconia estática debe llevarse a cabo usando lentes de contacto, para evitar errores importantes que supongan la necesidad de modificaciones posteriores en la prescripción correctora de las aniseiconias estática y dinámica.

## 2. Medida de aniseiconia estática $A$

De acuerdo con el apartado anterior, el individuo debe de llevar la compensación adecuada en lentes de contacto para realizar la medida de la aniseiconía  $A^{Tot}$  y, a partir de ella, obtener  $A$  mediante la fórmula de inversión (32). La aniseiconia óptica varía al cambiar la orientación del objeto cuando hay astigmatismo, aunque la variación es pequeña debido a que el astigmatismo es un defecto refractivo de potencia. Además, las lentes de contacto usadas en la medida introducen aniseiconia dependiente de la orientación si llevan cilindro, aunque la variación también es pequeña. Ante la posibilidad de que el individuo (sin compensación o con ella) pueda presentar aniseiconia dependiente de la orientación, la aniseiconia se acostumbra a medir para tres posiciones del objeto: horizontal, vertical y a  $45^\circ$ .

A la hora de seleccionar una técnica apropiada para la medida de  $A^{Tot}$  tenemos que hacer un análisis de los requisitos que tiene que cumplir la técnica. Para ello hay que recordar que hemos definido la aniseiconia estática  $A$  como el cociente entre los aumentos percibidos por el ojo derecho y el izquierdo, cuando se fija un optotipo con ambos ojos en dirección primaria de mirada. La eiconometría de comparación directa permite conseguir esto de una forma simple. Consiste en conseguir que el individuo vea por separado dos objetos orientados en la misma dirección (uno con cada ojo) de forma que pueda comparar los tamaños con los que los ve. Si se puede variar adecuadamente el tamaño real o aparente (en este último caso con un aumentador de potencia nula) de uno de ellos hasta conseguir que se perciban iguales, a partir del aumento introducido se obtiene inmediatamente  $A^{Tot}$ . Para poder comparar los tamaños hay que ver los dos objetos sin fusión (visión simultánea) por lo que es preciso que tengan formas diferentes.

La fijación del optotipo obliga a realizar la prueba dificultando el barrido de la mirada, para de esta manera impedir que intervenga la aniseiconia dinámica. Como el optotipo debe ser extenso para poder distinguir bien su tamaño, solamente podemos dificultar el barrido de mirada presentándolo durante un intervalo de tiempo lo más pequeño posible. Para que esta medida pueda hacerse en cualquier tipo de gabinete comercial o clínico, el material necesario debe ser lo más barato posible y tener la máxima movilidad. Estas condiciones se cumplen utilizando un software adecuado en un dispositivo que presente en pantalla los dos objetos aludidos anteriormente y que se visualicen adecuadamente mediante gafas polarizadas o de anaglifo. El software debe controlar el tamaño de los objetos visualizados y el tiempo de presentación del optotipo, tratando de impedir así el barrido de mirada. La Figura 6 muestra un ejemplo con anaglifos.

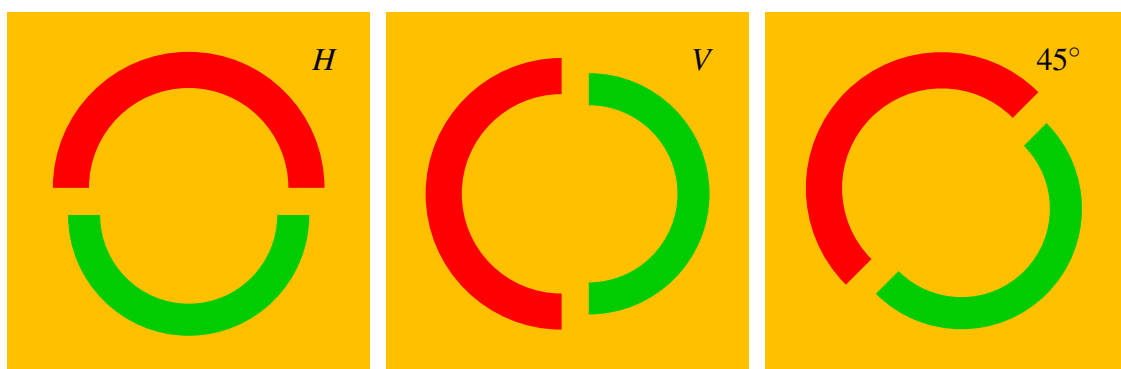


Figura 6: Ejemplo de optotipos para la medida de aniseiconia estática (en direcciones horizontal, vertical y a 45°) mediante anaglifos.

Una de las aplicaciones más utilizadas es “Aniseikonia Inspector”. De las diferentes versio-

nes de la aplicación la 3 permite un control del tiempo de visualización de los optotipos, para dificultar el barrido de la mirada. Cualquier otra aplicación que se base en optotipos polarizados o anáglifos y permita un control preciso de los tamaños y de los tiempos de presentación, resulta igualmente válida. Podrían utilizarse otros métodos de medida de  $A^{Tot}$ , siempre que se evite el barrido de mirada para así conseguir una buena fijación.

### 3. Medida de límites de tolerancia $A^{Tot- \%}$ y $A^{Tot+ \%}$ .

Como hemos dicho anteriormente, la minimización de  $A_{Din}$  requiere medir los valores límite de la aniseiconia estática que tolera el individuo con compensación ( $A^{Tot- \%}$  y  $A^{Tot+ \%}$ ). En este caso no hay que hacer ningún proceso de inversión con las medidas, pero sigue siendo conveniente hacerlas compensando con lentes de contacto para evitar efectos de aniseiconia dinámica adicional. A la hora de establecer criterios de tolerancia, parece evidente que lo mínimo que le podemos exigir a  $A^{Tot- \%}$  y  $A^{Tot+ \%}$  es que correspondan a los límites del confort visual, para que este confort se mantenga con la corrección de aniseiconia que se calcule a partir de esos parámetros. Para someter al individuo a grados diferentes de aniseiconia controlada consiguiendo fusión, éste tiene que visualizar con los dos ojos el mismo objeto pero con diferentes tamaños. Un tamaño debería ser fijo y el otro variable a conveniencia.



Figura 7: Ejemplo de optotipos para la medida de límites de aniseiconia estática con los que se mantiene confort visual, mediante anáglifos.

En primer lugar es preciso recordar el valor medido para la aniseiconia con corrección y someter al individuo a la aniseiconia opuesta para conseguir un valor inicial nulo. A partir de este punto se va introduciendo aniseiconia adicional hasta alcanzar los límites negativo ( $A^{Tot- \%}$ ) o positivo ( $A^{Tot+ \%}$ ) del confort visual. Cuando se hace este tipo de medidas se encuentra que, para un mismo individuo, los resultados son estables conforme se realizan medidas sucesivas. La

forma más simple de llevarlas a cabo es utilizando un software adecuado en un dispositivo que presente en pantalla los objetos y se visualicen mediante gafas polarizadas o de anáglifo, como ocurre con el instrumento comercial “Optotab”. La Figura 7 ilustra un ejemplo con anáglifos.

Cuando se utiliza el criterio del confort visual no se garantiza la estereopsis del individuo. A no ser que éste tenga la estereopsis muy pobre por causas irremediables, sería conveniente que la corrección de la aniseiconia garantizase la agudeza visual estereoscópica adecuada para el individuo en función de las características de su visión binocular. Si se acepta este criterio  $A^{Tot-} \%$  y  $A^{Tot+} \%$  son los límites de la aniseiconia con corrección que garantizan ese valor de la AVE. Esto se puede llevar a cabo desplazando los objetos que visualizan el ojo derecho y el izquierdo respecto a su posición centrada. El desplazamiento ( $S$ ) hay que calcularlo para que los objetos se observen (a una distancia  $D$ ) con una disparidad binocular que corresponda a la AVE que se quiere conseguir ( $S/D = AVE$  en radianes).

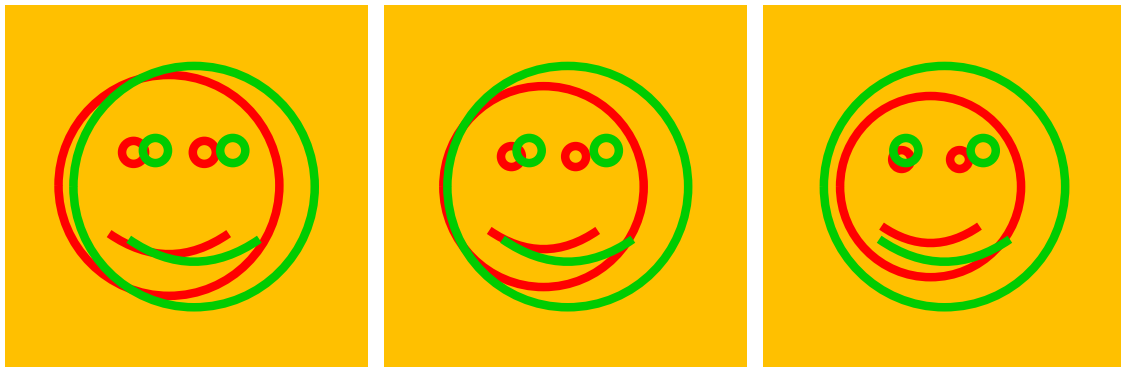


Figura 8: Ejemplo de optotipos para la medida de límites de aniseiconia estática con los que se mantiene estereopsis, mediante anáglifos.

Para determinar  $A^{Tot-} \%$  y  $A^{Tot+} \%$  se mantiene el desplazamiento  $S$  fijo (con el valor calculado) y se va introduciendo aniseiconia (como ilustra las Figura 8) aumentando el tamaño de uno de los objetos hasta que deje de percibirse estereopsis.

Una vez discutidos los métodos experimentales que permiten obtener de forma fiable los datos del individuo necesarios para corregir su aniseiconia, en la lección siguiente pasamos a estudiar los métodos de corrección.

## IV. CORRECCIÓN DE ANISEICONIA

### 1. Métodos para la corrección simultánea de aniseiconia estática y dinámica

Los efectos perjudiciales de las aniseiconias estática y dinámica obligan a tener en cuenta ambas cuando se pretende corregir estos efectos. Si la aniseiconia estática del individuo es pequeña la solución pasa por utilizar lentes de contacto, que además evitan la aparición de aniseiconia dinámica. Cuando la magnitud de la aniseiconia estática requiere el uso de gafas, además de reducir ésta hasta alcanzar valores no sintomáticos hay que reducir al máximo posible la aniseiconia dinámica. Esto implica, según (22), que de los posibles caminos para conseguir valores aceptables para la aniseiconia estática hay que seguir el que minimice la aniseiconia  $A^{Gafa}$  que introduzcan las gafas (recuérdese que los dos sumandos en el segundo término de (22) potencian sus efectos).

Para ilustrar esto vamos a considerar un individuo con  $R_{OD} = +6$  D,  $R_{OI} = +12$  D (último caso de la Tabla IV). Supongamos que al medirle su aniseiconia estática se encuentra un valor  $A\% = 8\%$ , que es inferior al  $10.3\%$  que, según la tabla, le correspondería a un anisométrico axial. El individuo es sintomático y se encuentra que es capaz de tolerar desde  $-3\%$  hasta  $+3\%$  de aniseiconia estática. Como indica la Tabla IV, las gafas calculadas con las fórmulas indicadas anteriormente introducen una aniseiconia estática  $A^{Gafa}\% = -14.5\%$ . Según la fórmula (9) esto significa que con esas gafas el individuo experimenta una aniseiconia estática  $A^{Tot}\% = -6.5\%$ , que le produce síntomas por estar fuera del intervalo de tolerancia.

Como podemos eliminar los síntomas si conseguimos que  $A^{Tot}\%$  tome valores comprendidos entre  $-3\%$  y  $+3\%$ , vamos a averiguar con cuál de ellos se minimiza la aniseiconia dinámica. Si introducimos en (9)  $A^{Tot}\% = A^{Tot-}\% = -3\%$  resulta  $A^{Gafa}\% = -11\%$ , mientras que si  $A^{Tot}\% = A^{Tot+}\% = 3\%$  se obtiene  $A^{Gafa}\% = -5\%$  (la aniseiconia dinámica es un  $6\%$  más pequeña con  $A^{Tot}\% = +3\%$  que con  $A^{Tot}\% = -3\%$  y es la menor en el intervalo entre ellas). Para conseguir esta minimización habrá que cambiar algunos parámetros característicos de las lentes de forma adecuada, como se verá posteriormente. A veces se consigue el objetivo con valores razonables de estos parámetros, pero en otras ocasiones estos se apartan del rango de valores apropiado.

En estos casos, en los que la solución que se obtiene no es razonable, deberíamos tratar de utilizar un sistema óptico corrector con más parámetros libres. Un candidato indiscutible es la combinación de lentes de contacto y gafas (compensación mixta) que, como veremos posteriormente, ofrece en muchas ocasiones una buena solución.

## 2. Corrección de aniseiconia con gafas

Siguiendo las pautas marcadas en el apartado anterior, el paso previo a la corrección es la medida de la aniseiconia estática  $A\%$  del individuo y de los límites  $A^{Tot-}\%$  y  $A^{Tot+}\%$  de tolerancia (con visión haplópica, confort visual y estereopsis adecuados) de la aniseiconia estática con corrección. El siguiente paso es usar (9) para averiguar con cuál de los valores de la aniseiconia  $A^{Tot}\%$  del individuo con gafas ( $A^{Tot}\% = A^{Tot-}\%$  ó  $A^{Tot}\% = A^{Tot+}\%$ ) se consigue un valor de  $A^{Gafa}\%$  inferior, para minimizar así  $A_{Din}$ . Llamaremos  $A^{Res}\%$  a este valor de  $A^{Tot}\%$ . El objetivo final es conseguir unas gafas que produzcan un valor  $A^{Tot}(1 + 0.01A^{Tot}\%)$  igual a la aniseiconia residual  $A^{Res}(1 + 0.01A^{Res}\%)$ .

Teniendo en cuenta la condición anterior en (33) se obtiene la ecuación (34) que nos indica

$$A^{Res} = A \times \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - d_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - d_{OD}F'_{V(OD)}} \quad (34)$$

el objetivo a conseguir para la corrección adecuada de la aniseiconia. Se comienza el proceso de corrección tomando unos valores iniciales para las distancias de las lentes a los ojos, los índices de refracción, los espesores centrales y las curvas frontales nominales. Estos valores y sus rangos de variación deben de estar de acuerdo con aquellos para los que el fabricante de las lentes garantice la calidad de la imagen. Como por estética se procura colocar las superficies anteriores de las dos lentes a la misma distancia de los ojos, en (34) hay que usar valores de  $d_{OD}$  y  $d_{OI}$  compatibles con esta condición. Observando la Figura 2 se comprende fácilmente que esto ocurre cuando se cumple la relación (35).

$$b_{OI} + e_{OI} = b_{OD} + e_{OD} \implies d_{OI} + e_{OI} = d_{OD} + e_{OD} \quad (35)$$

Para conseguir que se cumpla (34) podemos modificar  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $n_{OD}$ ,  $n_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$ ,  $F_{1N(OI)}$ ,  $d_{OD}$  y  $d_{OI}$ . Como en la práctica no siempre es posible conseguir un nivelado perfecto de las superficies frontales, es preciso disponer de un recurso para poder corregir el cambio que esa deficiencia produzca en la aniseiconia. Por este motivo, es aconsejable mantener fijos  $d_{OD}$  y  $d_{OI}$  con unos valores que permitan aumento o disminución y así poder realizar un ajuste final de  $A^{Tot}$  al valor de  $A^{Res}$ . Como la modificación de  $n_{OD}$  y  $n_{OI}$  produce cambios muy pequeños en la aniseiconía, no es muy útil usarlos como parámetros de corrección y variaremos solamente  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$ . Después de fabricar las gafas conviene medir la aniseiconia estática  $A^{Tot}$  del individuo con las gafas puestas y ajustar su valor, si es necesario, tal como se ha explicado.



Para facilitar la modificación de  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$ ,  $F_{1N(OI)}$  hasta conseguir que se cumpla (34), se dan a continuación algunas pautas a seguir. Hay que recordar que los valores iniciales de  $e_{OD}$  y  $e_{OI}$  (los recomendados como óptimos por el fabricante) no deben disminuirse, para evitar riesgo de rotura de la lente (en el caso de lentes negativas) o que ésta no pueda alcanzar el diámetro necesario (en el caso de lentes positivas). Por motivos estéticos, conviene intentar que los valores finales de  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  no se diferencien en más de tres dioptrías. Si con unos valores concretos de los parámetros el segundo miembro de (34) es menor que  $A^{Res}$ , se mejora la corrección aumentando  $e_{OD}$  y  $F_{1N(OD)}$  y disminuyendo  $F_{1N(OI)}$ . Si el segundo miembro de (34) es mayor que  $A^{Res}$ , se mejora la corrección disminuyendo  $F_{1N(OD)}$  y aumentando  $e_{OI}$  y  $F_{1N(OI)}$ . Para decidir, en cada caso, si se varía  $F_{1N(OD)}$  o  $F_{1N(OI)}$  conviene recordar que es más eficiente la variación de la curva frontal nominal que va multiplicada por el espesor mayor.

Cuando hay astigmatismo el método de corrección es el mismo pero teniendo en cuenta que la potencia efectiva del cilindro cambia con la orientación. Como la aniseiconia originada por el cilindro sigue una elipse [5] si se representa en un diagrama polar y para determinar una elipse basta con tres puntos, los cálculos en (34) se hacen para tres orientaciones (horizontal, vertical y a  $45^\circ$ ). En cada caso hay que usar el valor de  $F'_V$  calculado mediante (36), en la que  $F'_{VE}$  y  $F'_{VC}$

$$F'_V = F'_{VE} + F'_{VC} \sin^2 \theta \quad (36)$$

son las potencias de vértice posterior de esfera y cilindro de la lente y  $\theta$  es el ángulo que forma el eje del cilindro con la línea que marca la orientación en la que se quiere realizar el cálculo. Para la corrección de la aniseiconia hay que modificar  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  de forma que (34) se cumpla en las tres orientaciones con la mejor aproximación posible.

Una vez conseguido el objetivo de minimización de  $A^{Gafa} \%$  la aniseiconia dinámica que introducen las gafas puede calcularse mediante (18) ó (19), teniendo en cuenta que  $s = b + 0.0135$  m, y posteriormente se puede evaluar la demanda de vergencias que origina mediante (25).

### 3. Corrección de aniseiconia con compensación mixta

Hemos visto en el apartado 1 que la compensación de una parte del defecto refractivo mediante gafas y otra parte mediante lentes de contacto puede ser otro camino para corregir la aniseiconia. Como la compensación de defectos refractivos de potencia con lentes de contacto evita la aparición de aniseiconia sintomática, todo el defecto refractivo  $R_C$  de cilindro lo com-

pensaremos con lentes de contacto. El defecto refractivo  $R_E$  de esfera lo repartiremos en una parte ( $R_{ELC}$ ) que compensaremos con lentes de contacto y otra ( $R_{EG}$ ) que compensaremos con gafas (37).

$$R_{E(OD)} = R_{ELC(OD)} + R_{EG(OD)} \quad R_{E(OI)} = R_{ELC(OI)} + R_{EG(OI)} \quad (37)$$

El reparto adecuado de esfera debe hacerse consiguiendo (como en el caso de corrección con gafas) que  $A^{Tot} = A^{Res}$ . Para calcular  $A^{Tot}$  cuando la compensación es mixta hay que tener en cuenta las contribuciones a ésta de las lentes de contacto y de las gafas, con lo que (7) se convierte en (38). Para facilitar el cálculo vamos a usar expresiones de  $A^{LC}$  y  $A^{Gafa}$  en función

$$A^{Tot} = A \times A^{LC} \times A^{Gafa} \quad (38)$$

de los errores refractivos. En el caso de  $A^{LC}$  deberíamos considerar en (27) el cilindro y la parte de esfera que corresponda a lente de contacto. Como el cilindro suele ser pequeño y va multiplicado por 0.003 se puede prescindir de él, evitando así la dependencia del resultado con la orientación. Los pequeños errores derivados de esta aproximación pueden corregirse posteriormente (si es necesario) modificando ligeramente la distancia entre las lentes de las gafas y los polos corneales, como se ha explicado en el caso de corrección con gafas. En el caso de  $A^{Gafa}$  debemos considerar la parte de esfera que corresponde a las gafas, sustituyendo previamente  $F'_V$  por  $R/(1 + bR)$  en (14). Considerando todo lo anterior se llega a (39) y (40).

$$A^{LC} = \frac{1 - 0.003R_{ELC(OI)}}{1 - 0.003R_{ELC(OD)}} \quad (39)$$

$$A^{Gafa} = \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F'_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F'_{1N(OI)}} \times \frac{1 - 0.003R_{EG(OI)}}{1 - 0.003R_{EG(OD)}} \times \frac{1 + b_{OD}R_{EG(OD)}}{1 + b_{OI}R_{EG(OI)}} \quad (40)$$

Para calcular  $A^{Gafa}$  mediante (40) hay que fijar los espesores y curvas frontales nominales de las lentes a partir de los valores  $F'_{VEG(OD)}$  y  $F'_{VEG(OI)}$ , lo que requiere conocer  $R_{EG(OD)}$  y  $R_{EG(OI)}$  que es lo que pretendemos averiguar. Para obviar esta dificultad conviene recordar que la corrección de aniseiconia con compensación mixta no se lleva a cabo modificando los factores de forma de las lentes, sino haciendo un reparto apropiado de potencia entre lentes de contacto y gafas. Esto significa que podemos elegir los factores de forma libremente (siempre que las lentes correspondientes sean viables) y exigir que su cociente (primer factor de (40))

sea igual a uno. Una forma de conseguir esto consiste en pedir al fabricante que las dos lentes tengan índices de refracción, espesores centrales y curvas frontales iguales, con lo que resulta  $b_{OD} = b_{OI} = b$ .

Si finalmente sustituimos (39) y (40) en (38) y usamos la aproximación (8) en los productos  $(1 - 0.003R_{ELC}) \times (1 - 0.003R_{EG})$ , estos se pueden sustituir por  $1 - 0.003(R_{ELC} + R_{EG}) = 1 - 0.003R_E$  y se obtiene la expresión (41) que permite calcular  $A^{Tot}$ . Imponiendo en (41) la condición  $A^{Tot} = A^{Res}$  se obtiene una ecuación, que depende de  $R_{EG(OD)}$  y  $R_{EG(OI)}$ , con la que se obtienen infinitos pares de soluciones.

$$A^{Tot} = B \times \frac{1 + bR_{EG(OD)}}{1 + bR_{EG(OI)}} \text{ donde } B = A \times \frac{1 - 0.003R_{E(OI)}}{1 - 0.003R_{E(OD)}} \quad (41)$$

Si ahora utilizamos las expresiones (15), (16) y (17) y recordamos que  $FF_{OD}/FF_{OI} = 1$  y  $b_{OD} = b_{OI} = b$  (que implica  $s_{OD} = s_{OI} = s$ ) encontramos la expresión (42), que permite calcular la aniseiconia dinámica que corresponde a las gafas asociadas a cada una de las soluciones.

$$A_{Din} = \frac{1 - sF'_{VEG(OI)}}{1 - sF'_{VEG(OD)}} \quad (42)$$

Para poder hacer algunos razonamientos generales de forma simple podemos utilizar las aproximaciones (8) y (20) nuevamente en (41) y (42), obteniendo inmediatamente (43) y (44).

$$A^{Tot} \simeq B \times [1 + b(R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)})] \quad (43)$$

$$A_{Din} \simeq 1 + s(F'_{VEG(OD)} - F'_{VEG(OI)}) \quad (44)$$

Como  $B$  es una constante, la condición  $A^{Tot} = A^{Res}$  en (43) implica que  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}$  mantiene su valor con independencia de la solución que elijamos entre las infinitas posibles. Como consecuencia  $F'_{VEG(OD)} - F'_{VEG(OI)}$  y por ello la aniseiconia dinámica (44) también mantienen su valor. Por lo tanto ninguna de las soluciones de (41) presenta ventajas respecto a las otras y podemos elegirla por razones técnicas. Una de las posibilidades es hacer nula la potencia de una de las lentes y dejar al fabricante que seleccione el espesor y curvatura más apropiados para la lente con potencia no nula, con la condición de usar estos mismos parámetros para la otra lente, que no presentará astigmatismo oblicuo por no tener potencia.

Para elegir el valor de  $A^{Res}$  hay que medir  $A^{Tot-} \%$  y  $A^{Tot+} \%$  (como en el apartado anterior) y averiguar con cuál de las posibilidades ( $A^{Tot} \%$  =  $A^{Tot-} \%$  ó  $A^{Tot} \%$  =  $A^{Tot+} \%$ ) se

consigue un valor de  $A_{Din}$  inferior. Observando (44) se ve claramente que  $A_{Din}$  se minimiza cuando  $|F'_{VEG(OD)} - F'_{VEG(OI)}|$  (y por tanto  $|R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}|$ ) toman el valor más pequeño posible. Vamos a ilustrar esto con el mismo ejemplo del apartado 1:  $R_{OD} = +6$  D,  $R_{OI} = +12$  D,  $b = 0.0012$  m,  $A\% = 8\%$  ( $A = 1.08$ ),  $A^{Tot-}\% = -3\%$  ( $A^{Tot-} = 0.97$ ) y  $A^{Tot+}\% = +3\%$  ( $A^{Tot+} = 1.03$ ). Sustituyendo en (43) el valor  $B = 1.0602$  obtenido de (41) se encuentra  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = -7.1$  D para  $A^{Tot} = 0.97$  y  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = +2.5$  D para  $A^{Tot} = 1.03$ . Por lo tanto  $A^{Res} = 1.03$  ( $A^{Res}\% = +3\%$ ) es el valor que minimiza la aniseiconia dinámica y que hay que utilizar en (41) para obtener las soluciones en el caso indicado.

Si con el valor apropiado de  $A^{Res}$  exigimos en (41) que  $A^{Tot} = A^{Res}$  y hacemos nula la potencia en una de las lentes de las gafas se obtiene dos soluciones, que se detallan a continuación. Para poder calcular la aniseiconia dinámica hay que usar (42) y sustituir  $F'_V$  por su expresión en función de  $R$ .

$$\text{SOLUCIÓN 1: } R_{EG(OD)} = 0, \quad R_{EG(OI)} = \frac{B - A^{Res}}{bA^{Res}} \quad (45)$$

$$R_{ELC(OD)} = R_{E(OD)}, \quad R_{ELC(OI)} = R_{E(OI)} - R_{EG(OI)} \quad (46)$$

$$A_{Din} = 1 - s \times \frac{R_{EG(OI)}}{1 + bR_{EG(OI)}} \quad (47)$$

$$\text{SOLUCIÓN 2: } R_{EG(OI)} = 0, \quad R_{EG(OD)} = \frac{A^{Res} - B}{bB} \quad (48)$$

$$R_{ELC(OI)} = R_{E(OI)}, \quad R_{ELC(OD)} = R_{E(OD)} - R_{EG(OD)} \quad (49)$$

$$A_{Din} = \left( 1 - s \times \frac{R_{EG(OD)}}{1 + bR_{EG(OD)}} \right)^{-1} \quad (50)$$

En las fórmulas anteriores se observa que al cambiar de ojo la lente de potencia nula en las gafas, cambia el signo de la potencia de la otra lente. Este hecho junto con los valores de las potencias de las lentes de contacto en las dos soluciones, ayudan a elegir la más apropiada en cada caso. Una vez tomada la decisión, hay que calcular  $F'_{VEG}$  a partir de  $R_{EG}$  para la lente de potencia no nula. En el caso de las lentes de contacto, los valores de  $R_{ELC}$  y  $R_{CLC} = R_C$  dan directamente los valores de las potencias de vértice posterior. Una vez calculada  $A_{Din}$  mediante (47) ó (50) se puede evaluar la demanda de vergencias que origina mediante (25).

Según todo lo anterior, la compensación mixta permite la corrección de aniseiconia mediante un método de cálculo muy simple que proporciona una solución técnica sencilla. Cuando llegemos a la resolución de casos prácticos podremos comparar estos resultados con los que proporciona la corrección con gafas exclusivamente. Para comprobar la validez de las aproximaciones realizadas en las soluciones anteriores, la aniseiconia producida por la compensación mixta puede calcularse mediante (38), sustituyendo en ella las expresiones de  $A^{LC}$  (27) y  $A^{Gafa}$  (14) y utilizando la nomenclatura adoptada en la compensación mixta.



## V. CASOS PRÁCTICOS

### Método

Antes de comenzar el desarrollo de casos prácticos, vamos a resumir el método que hay que seguir para llevar a cabo la corrección de aniseiconia y las fórmulas que hay que utilizar para ello. A estas fórmulas (o a fórmulas equivalentes que se obtienen inmediatamente) les daremos una nueva numeración en este apartado. El cambio se expresará en la forma  $(n^\circ) \rightarrow \{n^\circ \text{ nuevo}\}$ .

Si se quiere simular casos de aniseiconia originada exclusivamente por anisometropía (para practicar la corrección de la aniseiconia) conviene recordar [(1)  $\rightarrow$  {1}] que la aniseiconia estática de los ojos se define como el cociente entre sus aumentos relativos, que pueden calcularse mediante (3)-(6)  $\rightarrow$  {2}-{5} en función de las componentes de potencia  $R_{pot}$  y axial  $R_{ax}$  del defecto refractivo  $R$ .

$$A = \frac{AR_{OD}}{AR_{OI}} \quad \{1\}$$

$$AR = \frac{1}{1 + f(R_{pot}) + g(R_{ax}) + h(R_{pot}, R_{ax})} \quad \{2\}$$

$$f(R_{pot}) = 1.45 \times 10^{-3} R_{pot} + 5.439 \times 10^{-5} R_{pot}^2 \quad \{3\}$$

$$g(R_{ax}) = 1.813 \times 10^{-2} R_{ax} + 5.439 \times 10^{-5} R_{ax}^2 \quad \{4\}$$

$$h(R_{pot}, R_{ax}) = 1.0878 \times 10^{-4} R_{pot} R_{ax} \quad \{5\}$$

La resolución de un caso real debe iniciarse con la medida de la aniseiconia estática  $A^{Tot}$  del individuo, cuando lleva puestas lentes de contacto que compensan los defectos refractivos de sus ojos ( $R_{OD}$  y  $R_{OI}$ ). A partir de  $A^{Tot}$  se obtiene  $A$  mediante (32)  $\rightarrow$  {6}. Hay que hacer esta

$$A = A^{Tot} \times \frac{1 - 0.003R_{OD}}{1 - 0.003R_{OI}} \quad \{6\}$$

medida para tres orientaciones (horizontal, vertical y a  $45^\circ$ ), lo que permite detectar posibles cambios de  $A$  con la orientación. Una vez conocida  $A$  se obtiene  $A\% = 100(A - 1)$ . Cuando hay astigmatismo los valores de  $R_{OD}$  y  $R_{OI}$  cambian con el meridiano y se pueden calcular mediante (28)  $\rightarrow$  {7}, en función del defecto refractivo  $R_E$  de esfera, del defecto refractivo  $R_C$  de cilindro y del ángulo  $\theta$  que forma el eje del cilindro con la línea que marca la orientación en la que se

quiere realizar el cálculo.

$$R = R_E + R_C \sin^2 \theta \quad \{7\}$$

Por otra parte, hay que medir los valores límite de la aniseiconia estática que tolera el individuo compensado con lentes de contacto ( $A^{Tot-} \%$  y  $A^{Tot+} \%$ ) y recordar el valor medido para la aniseiconia estática ( $A^{Tot} \%$ ). Si  $A^{Tot} \%$  se encuentra dentro del intervalo de valores que va desde  $A^{Tot-} \%$  hasta  $A^{Tot+} \%$ , las lentes de contacto corrigen adecuadamente la aniseiconia estática y con ellas no aparece aniseiconia dinámica. En caso contrario hay que proceder a estudiar la corrección de la aniseiconia con gafas o con compensación mixta.

### CORRECCIÓN CON LENTES DE CONTACTO

Como se ha dicho en el párrafo anterior, si se ha medido directamente  $A^{Tot} \%$  con el individuo compensado mediante lentes de contacto y ésta toma un valor comprendido entre  $A^{Tot-} \%$  y  $A^{Tot+} \%$ , las lentes de contacto corrigen la aniseiconia estática y no producen aniseiconia dinámica. También se puede averiguar si la corrección de aniseiconia puede hacerse con lentes de contacto a partir del valor de  $A$ . Basta con utilizar (31)→{8} para encontrar el valor de  $A^{Tot}$  y aplicar después el criterio anterior. Si hay astigmatismo hay que utilizar {7} como se ha indicado anteriormente.

$$A^{Tot} = A \times \frac{1 - 0.003R_{OI}}{1 - 0.003R_{OD}} \quad \{8\}$$

### CORRECCIÓN CON GAFAS

Cuando la compensación se realiza con gafas, la minimización de  $A_{Din}$  se consigue utilizando (9) →{9} para averiguar qué valor de  $A^{Tot} \%$  ( $A^{Tot} \%$  =  $A^{Tot-} \%$  ó  $A^{Tot} \%$  =  $A^{Tot+} \%$ )

$$A^{Gafa} \% \simeq A^{Tot} \% - A \% \quad \{9\}$$

conduce a un valor menor de  $|A^{Gafa} \%|$ . Este valor de  $A^{Tot} \%$  se denomina  $A^{Res} \%$  y puede utilizarse en (34)→{10} para (al final del proceso de corrección) conseguir  $A^{Tot} = A^{Res}$ .

$$A^{Res} = A \times \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - d_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - d_{OD}F'_{V(OD)}} \quad \{10\}$$

Además, para que las superficies anteriores de las dos lentes estén a la misma distancia de los ojos debe de cumplirse (35)→{11}. En las fórmulas anteriores hay que recordar {12} y que  $d = b + 0.001$  m.

$$b_{OI} + e_{OI} = b_{OD} + e_{OD} \implies d_{OI} + e_{OI} = d_{OD} + e_{OD} \quad \{11\}$$



$$F'_V = \frac{R}{1 + bR} \quad \{12\}$$

Los valores iniciales de los espesores centrales y las curvas frontales nominales, así como los rangos de valores en los que pueden variarse, deben obtenerse del fabricante de las lentes para garantizar la calidad de las imágenes. Para que se llegue a cumplir {10} hay que fijar los valores de  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$  (de forma que quede posibilidad de acercamiento o alejamiento de las gafas para un afinamiento final de la corrección) y variar  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$ ,  $F_{1N(OI)}$ .

Hay que recordar que los valores iniciales de  $e_{OD}$  y  $e_{OI}$  no deben disminuirse y que (por motivos estéticos) conviene intentar que los valores finales de  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  no se diferencien en más de tres dioptrías. Si con unos valores concretos de los parámetros el segundo miembro de {10} es menor que  $A^{Res}$ , se mejora la corrección aumentando  $e_{OD}$  y  $F_{1N(OD)}$  y disminuyendo  $F_{1N(OI)}$ . Si el segundo miembro de {10} es mayor que  $A^{Res}$ , se mejora la corrección disminuyendo  $F_{1N(OD)}$  y aumentando  $e_{OI}$  y  $F_{1N(OI)}$ . Para decidir, en cada caso, si se varía  $F_{1N(OD)}$  o  $F_{1N(OI)}$  conviene recordar que es más eficiente la variación de la curva frontal nominal que va multiplicada por el espesor mayor.

Cuando hay astigmatismo hay que usar en {10} el valor de  $F'_V$  calculado mediante (36)→{13}, en la que  $F'_{VE}$  y  $F'_{VC}$  son las potencias de vértice posterior de esfera y cilindro de la lente y  $\theta$  tiene el mismo significado que en {7}. Para la corrección de la aniseiconia hay que modificar  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  de forma que {10} se cumpla en las tres orientaciones (horizontal, vertical y a 45°) con la mejor aproximación posible.

$$F'_V = F'_{VE} + F'_{VC} \text{sen}^2 \theta \quad \{13\}$$

Una vez conseguida la condición  $A^{Tot} = A^{Res}$ , la aniseiconia dinámica que introducen las gafas puede calcularse mediante (18)→{14}, teniendo en cuenta que  $s = b + 0.0135$  m, y la demanda de vergencias que origina mediante (25)→{15}.

$$A_{Din} = \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - s_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - s_{OD}F'_{V(OD)}} \quad \{14\} \quad DV = \theta A_{Din} \% \quad \{15\}$$

Por simplicidad, en los casos prácticos que vamos a desarrollar tomaremos  $n_{OD} = n_{OI} = n = 1.498$  (vidrio CR39) y fijaremos los valores iniciales de  $e_{OD}$ ,  $e_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  siguiendo las pautas utilizadas en cálculos de apartados anteriores:  $e = 0.001$  m para lentes negativas y calculado mediante (29)→{16} para lentes positivas (con  $\phi = 0.065$  m y  $e_{borde} = 0.001$  m) y valores de  $F_{1N}$  obtenidos a partir de (30)→{17}. Se toma  $F_{1N} = 0$  cuando se obtiene con la

fórmula un valor negativo para  $F_{1N}$ .

$$e \simeq \frac{(\phi/2)^2 F'_V}{2(n-1)} + e_{\text{borde}} \quad \{16\}$$

$$F_{1N} = F'_{Vee} + 6 \quad (F'_{Vee} > 0) \quad F_{1N} = \frac{F'_{Vee}}{2} + 6 \quad (F'_{Vee} < 0) \quad \{17\}$$

### CORRECCIÓN CON COMPENSACIÓN MIXTA

Cuando se lleva a cabo la compensación mixta propuesta y discutida anteriormente (lentes de contacto con parte de la esfera y todo el cilindro, más gafas con una lente de potencia nula y la otra solo con esfera) la minimización de  $A_{Din}$  se consigue utilizando (43)→{18} para averiguar qué valor del porcentaje  $A^{Tot} \%$  ( $A^{Tot} \%$  =  $A^{Tot-} \%$  ó  $A^{Tot} \%$  =  $A^{Tot+} \%$ ) conduce a un valor

$$A^{Tot} \simeq B \times [1 + b(R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)})] \quad \{18\}$$

menor de  $|R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}|$  (el valor de  $B$  se obtiene a partir de (41)→{19}). Este valor de

$$B = A \times \frac{1 - 0.003R_{E(OI)}}{1 - 0.003R_{E(OD)}} \quad \{19\}$$

$A^{Tot} \%$  se denomina  $A^{Res} \%$  y permite obtener las dos soluciones posibles mediante las fórmulas (45)-(50)→{20}-{25}, en las que aparecen los defectos refractivos  $R_E$  de esfera (el defecto refractivo  $R_C$  de cilindro se añade posteriormente a las lentes de contacto). A lo anterior hay que añadir {12} para obtener  $F'_{VEG(OD)}$ ,  $F'_{VEG(OI)}$  y {15} para obtener  $DV$ .

$$\text{SOLUCIÓN 1:} \quad R_{EG(OD)} = 0, \quad R_{EG(OI)} = \frac{B - A^{Res}}{bA^{Res}} \quad \{20\}$$

$$R_{ELC(OD)} = R_{E(OD)}, \quad R_{ELC(OI)} = R_{E(OI)} - R_{EG(OI)} \quad \{21\}$$

$$A_{Din} = 1 - s \times \frac{R_{EG(OI)}}{1 + bR_{EG(OI)}} \quad \{22\}$$

$$\text{SOLUCIÓN 2:} \quad R_{EG(OI)} = 0, \quad R_{EG(OD)} = \frac{A^{Res} - B}{bB} \quad \{23\}$$

$$R_{ELC(OI)} = R_{E(OI)}, \quad R_{ELC(OD)} = R_{E(OD)} - R_{EG(OD)} \quad \{24\}$$

$$A_{Din} = \left( 1 - s \times \frac{R_{EG(OD)}}{1 + bR_{EG(OD)}} \right)^{-1} \quad \{25\}$$

Para comprobar la validez de las aproximaciones realizadas en las soluciones anteriores, la aniseiconia producida por la compensación mixta puede calcularse mediante (38)→{26} y utilizando (14) para calcular  $A^{Gafa}$  y (27) para calcular  $A^{LC}$ .

$$A^{Tot} = A \times A^{LC} \times A^{Gafa} \quad \{26\}$$

### Ejercicio 1: Determinación de aniseiconia

A un individuo con defectos refractivos  $R_{E(OD)} = +1.75 D$ ,  $R_{E(OI)} = +3.75 D$ ,  $R_{C(OD)} = 0$  y  $R_{C(OI)} = 0$  se le mide la aniseiconia estática con las lentes de contacto que compensan estos defectos y se obtiene  $A^{Tot} \% = +1.7\%$  con independencia de la orientación. Queremos determinar el valor de su aniseiconia estática ( $A\%$ ) sin compensación.

Para llevar a cabo este ejercicio utilizamos la fórmula {6} y la relación entre  $A$ ,  $A^{Tot}$  y  $A\%$ ,  $A^{Tot} \%$ , como se detalla a continuación.

$$A^{Tot} = 1 + 0.01 \times A^{Tot} \% = 1 + 0.01 \times 1.7 = 1.017$$

$$A = A^{Tot} \times \frac{1 - 0.003R_{OD}}{1 - 0.003R_{OI}} = 1.017 \times \frac{1 - 0.003 \times 1.75}{1 - 0.003 \times 3.75} = 1.017 \times 1.0061 = 1.0230$$

$$A \% = 100 \times (A - 1) \% = 100 \times 0.0230 \% = 2.3\%$$

### Ejercicio 2: Cálculo de aniseiconia con lentes de contacto sin cilindro

Al individuo del ejercicio anterior se le compensa con lentes de contacto correspondientes a su error refractivo y se quiere calcular la aniseiconia que tiene con esa compensación.

Partimos del resultado del ejercicio anterior ( $A = 1.0230$ ) y utilizamos {8}, como se detalla a continuación.

$$A^{Tot} = A \times \frac{1 - 0.003R_{OI}}{1 - 0.003R_{OD}} = 1.0230 \times \frac{1 - 0.003 \times 3.75}{1 - 0.003 \times 1.75} = 1.0230 \times 0.9940 = 1.0169$$

$$A^{Tot} \% = 100 \times (A^{Tot} - 1) \% = 100 \times 0.0169 \% \simeq 1.7\%$$

El resultado coincide con el valor de  $A^{Tot} \%$  que ha servido de punto de partida al ejercicio anterior.

### Ejercicio 3: Cálculo de aniseiconia con gafas sin cilindro

Al mismo individuo del ejercicio anterior se le compensa con gafas y se quiere calcular la aniseiconia que tiene con ellas. Para decidir los parámetros de las gafas adecuadas se utiliza el método aproximado explicado anteriormente.

Comenzamos utilizando {12} para calcular  $F'_{V(OD)}$  y  $F'_{V(OI)}$ , con  $b_{OD} = b_{OI} = 0.012$  m.

$$F'_{V(OD)} = \frac{R_{OD}}{1 + b_{OD}R_{OD}} = \frac{1.75}{1 + 0.012 \times 1.75} D = 1.71 D$$

$$F'_{V(OI)} = \frac{R_{OI}}{1 + b_{OI}R_{OI}} = \frac{3.75}{1 + 0.012 \times 3.75} D = 3.59 D$$

Para obtener  $e_{OD}$  y  $e_{OI}$  utilizamos {16} con  $\phi = 0.065$  m,  $e_{borde} = 0.001$  m y  $n = 1.498$ .

$$e_{OD} \simeq \frac{(\phi/2)^2 F'_{V(OD)}}{2(n-1)} + e_{borde} = \frac{(0.065/2)^2 \times 1.71}{2 \times 0.498} + 0.001 \text{ m} = 0.0028 \text{ m}$$

$$e_{OI} \simeq \frac{(\phi/2)^2 F'_{V(OI)}}{2(n-1)} + e_{borde} = \frac{(0.065/2)^2 \times 3.59}{2 \times 0.498} + 0.001 \text{ m} = 0.0048 \text{ m}$$

Calculamos  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  mediante la expresión en {17} para lentes positivas.

$$F_{1N(OD)} = F'_{Vee(OD)} + 6 = 1.71 D + 6 D = 7.71 D$$

$$F_{1N(OI)} = F'_{Vee(OI)} + 6 = 3.59 D + 6 D = 9.59 D$$

Para que las superficies anteriores de las lentes estén a la misma distancia de los ojos se tiene que cumplir {11}. Como  $e_{OI} = e_{OD} + 0.002$  m, {11} obliga a que  $b_{OD} = b_{OI} + 0.002$  m. Si elegimos  $b_{OI} = 0.012$  m hay que tomar  $b_{OD} = 0.014$  m. Si finalmente redondeamos las potencias de vértice posterior ( $F'_{V(OD)}$ ,  $F'_{V(OI)}$ ) y las curvas frontales nominales ( $F_{1N(OD)}$ ,  $F_{1N(OI)}$ ) de forma que sean múltiplos de 0.25 D, los parámetros de las gafas adecuadas quedan como se indica en la tabla siguiente.

	$b(m)$	$F'_V(D)$	$F'_V(D)$ <i>Redondeado</i>	$e(m)$	$F_{1N}(D)$	$F_{1N}(D)$ <i>Redondeado</i>
<i>OD</i>	0.014	+1.71	+1.75	0.0028	+7.71	+7.75
<i>OI</i>	0.012	+3.59	+3.50	0.0048	+9.59	+9.50

Para calcular la aniseiconia estática residual del individuo con esas gafas utilizamos {10}.

$$A^{Res} = A \times \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - d_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - d_{OD}F'_{V(OD)}}$$

$$= 1.0230 \times \frac{1 + (0.0028/1.498) \times 7.75}{1 + (0.0048/1.498) \times 9.50} \times \frac{1 - (0.012 + 0.003) \times 3.50}{1 - (0.014 + 0.003) \times 1.75} = 0.9836$$

$$A^{Res} \% = 100 \times (A^{Res} - 1) \% = 100 \times (-0.0164) \% = -1.6 \%$$

Para calcular la aniseiconia dinámica utilizamos {14}. Esta fórmula es similar a la anterior y aparece  $s = b + 0.0135$  m en lugar de  $d = b + 0.003$  m.

$$A_{Din} = \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - s_{OI}F'_{V(OI)}}{1 - s_{OD}F'_{V(OD)}}$$

$$= \frac{1 + (0.0028/1.498) \times 7.75}{1 + (0.0048/1.498) \times 9.50} \times \frac{1 - (0.012 + 0.0135) \times 3.50}{1 - (0.014 + 0.0135) \times 1.75} = 0.9420$$

$$A_{Din} \% = 100 \times (A_{Din} - 1) \% = 100 \times (-0.058) \% = -5.8 \%$$

Vamos a evaluar la demanda de vergencias fusionales verticales ( $DV$ ) que supone esta aniseiconia dinámica para un punto de lectura a 1.8 cm por debajo del eje. Para ello utilizamos {15} con  $\theta = 0.61$  radianes.

$$DV \simeq \theta A_{Din} = 0.61 \times (-5.8) \Delta = -3.5 \Delta$$

El valor de  $DV$  (demanda de vergencias) puede calcularse para otros puntos de las gafas sin más que hacer una estimación previa del ángulo  $\theta$ . Suele calcularse para el punto de lectura porque las vergencias fusionales verticales son inferiores a las horizontales y las demandas de vergencias horizontales originan por ello menos problemas. No obstante, es preciso medir las reservas fusionales horizontales y verticales para saber si las gafas van a originar algún problema.

#### **Ejercicio 4: Corrección de aniseiconia debida a anisometropía axial sin cilindro**

Vamos a considerar un anisométrico axial con  $R_{E(OD)} = -3.75$  D,  $R_{E(OI)} = -6.75$  D,  $R_{C(OD)} = 0$ ,  $R_{C(OI)} = 0$ . Vamos a resolver el caso con tres supuestos para los valores medidos de su tolerancia  $A^{Tot\pm} \%$  a la aniseiconia estática:  $\pm 1 \%$  (supuesto 1),  $\pm 3 \%$  (supuesto 2) y

$\pm 5\%$  (supuesto 3). En estos tres supuestos, queremos estudiar la posibilidad de corregir la aniseiconia con lentes de contacto, gafas o compensación mixta.

Comenzamos calculando la aniseiconia estática del individuo. Para ello utilizamos {1}-{5}, recordando que en este caso  $R_{pot}=0$  (lo que implica que  $A$  no depende del meridiano) y  $R_{ax} = R$ . Teniendo en cuenta en {3} y {5} que  $R_{pot}=0$  resulta que  $f(R_{pot}) = h(R_{pot}, R_{ax}) = 0$ , lo que simplifica los cálculos que siguen.

$$\begin{aligned} g(R_{ax(OD)}) &= 1.813 \times 10^{-2} R_{ax(OD)} + 5.439 \times 10^{-5} R_{ax(OD)}^2 \\ &= 1.813 \times 10^{-2} (-3.75) + 5.439 \times 10^{-5} (-3.75)^2 = -0.06722 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AR_{OD} &= \frac{1}{1 + f(R_{pot(OD)}) + g(R_{ax(OD)}) + h(R_{pot(OD)}, R_{ax(OD)})} \\ &= \frac{1}{1 + 0 - 0.06722 + 0} = 1.0721 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g(R_{ax(OI)}) &= 1.813 \times 10^{-2} R_{ax(OI)} + 5.439 \times 10^{-5} R_{ax(OI)}^2 \\ &= 1.813 \times 10^{-2} (-6.75) + 5.439 \times 10^{-5} (-6.75)^2 = -0.1199 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AR_{OI} &= \frac{1}{1 + f(R_{pot(OI)}) + g(R_{ax(OI)}) + h(R_{pot(OI)}, R_{ax(OI)})} \\ &= \frac{1}{1 + 0 - 0.1199 + 0} = 1.1362 \end{aligned}$$

$$A = \frac{AR_{OD}}{AR_{OI}} = \frac{1.0721}{1.1362} = 0.9436$$

$$A\% = 100 \times (A - 1)\% = 100 \times (-0.564)\% = -5.64\%$$

### CORRECCIÓN CON LENTES DE CONTACTO

Utilizando {8} con  $A = 0.9436$ ,  $R_{OD} = -3.75$  D y  $R_{OI} = -6.75$  D se obtiene  $A^{Tot} = 0.9520$  y de aquí  $A^{Tot}\% = -4.8\%$ . Por lo tanto, el supuesto 3 ( $A^{Tot\pm}\% = \pm 5\%$ ) se puede corregir con lentes de contacto porque el  $-4.8\%$  de aniseiconia residual es menor que el  $-5\%$  que tolera el individuo. Como sabemos, la aniseiconia dinámica es nula cuando la compensación se hace con lentes de contacto. Trataremos de resolver los supuestos 1 y 2 con otros métodos.

## CORRECCIÓN CON GAFAS

Comenzamos decidiendo los parámetros de las gafas adecuadas al caso, mediante el método aproximado explicado anteriormente, con  $n = 1.498$ . Utilizando {12} y tomando  $b_{OD} = b_{OI} = 0.012$  m obtenemos  $F'_{V(OD)} = -3.93$  D y  $F'_{V(OI)} = -7.34$  D. Como las lentes son negativas tomamos  $e_{OD} = e_{OI} = 0.001$  m. Al ser los espesores centrales iguales, las caras anteriores de las lentes quedan a la misma distancia de los ojos con  $b_{OD} = b_{OI} = b = 0.012$  m. Mediante la expresión en {17} para lentes negativas obtenemos  $F_{1N(OD)} = +4.04$  D y  $F_{1N(OI)} = +2.33$  D. Estos parámetros son el punto de partida para la corrección y hay que modificarlos adecuadamente hasta que llegue a cumplirse la relación {10}, respetando la relación {11}. Conviene recordar que los valores de  $F'_{V(OD)}$  y  $F'_{V(OI)}$  están ligados a los valores de  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$  mediante {12} y no pueden variarse arbitrariamente. Sin embargo, los valores de  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  pueden ser cambiados por el calculador sin estar ligados a ninguna fórmula, por lo que usaremos valores que sean múltiplos de 0.25 D.

Para averiguar el valor que tiene que tomar  $A^{Res}$  en {10} vamos a usar {9}. Aunque esta fórmula es aproximada sirve perfectamente para decidir entre las opciones posibles de  $A^{Res}$ .

Supuesto 1 ( $A^{Tot\pm} \% = \pm 1 \%$ ): Según los cálculos que siguen hay que tomar  $A^{Res} \% = -1 \%$  ya que está asociado al valor más pequeño de  $|A^{Gafa} \%|$  (4.64 %).

$$\begin{aligned} A^{Tot} \% &= A^{Tot+} \%, & A^{Gafa} \% &\simeq A^{Tot} \% - A \% = 1 \% - (-5.64) \% = 6.64 \% \\ A^{Tot} \% &= A^{Tot-} \%, & A^{Gafa} \% &\simeq A^{Tot} \% - A \% = -1 \% - (-5.64) \% = 4.64 \% \end{aligned}$$

Supuesto 2 ( $A^{Tot\pm} \% = \pm 3 \%$ ): Según los cálculos que siguen hay que tomar  $A^{Res} \% = -3 \%$  ya que está asociado al valor más pequeño de  $|A^{Gafa} \%|$  (2.64 %).

$$\begin{aligned} A^{Tot} \% &= A^{Tot+} \%, & A^{Gafa} \% &\simeq A^{Tot} \% - A \% = 3 \% - (-5.64) \% = 8.64 \% \\ A^{Tot} \% &= A^{Tot-} \%, & A^{Gafa} \% &\simeq A^{Tot} \% - A \% = -3 \% - (-5.64) \% = 2.64 \% \end{aligned}$$

El proceso de corrección se muestra mediante filas numeradas en la tabla que se presenta a continuación. Los valores de  $A_{Din}$  se calculan mediante {14}. Se recoge también el valor de  $F_2$  (recuérdese que  $F_2 = F'_V - F_{1N}$ ) para evitar que tome valores no apropiados cuando se varía  $F_{1N}$  (para ello procuraremos que  $F_2$  no baje de  $-0.5$  D ni suba de  $-14$  ó  $-15$  D).

<i>Tabla de corrección con gafas</i>										
$N^\circ$		$b(m)$	$F_V'(D)$	$e(m)$	$F_{1N}(D)$	$F_2(D)$	$A^{Res}$	$A^{Res} \%$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$
1	<i>OD</i>	0.012	-3.93	0.001	+4.00	-7.93	0.9904	<b>-0.96</b>	1.0805	<b>+8.05</b>
	<i>OI</i>	0.012	-7.34	0.001	+2.25	-9.59				
2	<i>OD</i>	0.012	-3.93	0.001	0	-3.93	0.9878	<b>-1.22</b>	1.0776	<b>+7.76</b>
	<i>OI</i>	0.012	-7.34	0.001	+2.25	-9.59				
3	<i>OD</i>	0.012	-3.93	0.001	0	-3.93	0.9847	<b>-1.53</b>	1.0742	<b>+7.42</b>
	<i>OI</i>	0.012	-7.34	0.001	+7	-14.34				
4	<i>OD</i>	0.0137	-3.95	0.001	0	-3.95	0.9704	<b>-2.96</b>	1.0587	<b>+5.87</b>
	<i>OI</i>	0.012	-7.34	0.0027	+7	-14.34				
5	<i>OD</i>	0.01509	-3.97	0	+4.00	-7.97	1.0000	<b>0.00</b>	1.0909	<b>+9.09</b>
	<i>OI</i>	0.01509	-7.52	0	+2.25	-9.77				
6	<i>OD</i>	0.01509	-3.97	0.001	+4.00	-7.97	1.0011	<b>+0.11</b>	1.0922	<b>+9.22</b>
	<i>OI</i>	0.01509	-7.52	0.001	+2.25	-9.77				

La fila 1 corresponde a las gafas que hemos considerado adecuadas para el individuo, con los valores de  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  redondeados a múltiplos de 0.25 D. El valor  $A^{Res} \% = -0.96 \%$  está lejos del  $-3 \%$  que optimiza la aniseiconia dinámica en el supuesto 2 pero es ligeramente inferior a  $-1 \%$  que la optimiza en el supuesto 1, por lo que las gafas iniciales lo resuelven.

Supuesto 1: Como hemos visto, queda resuelto con las gafas iniciales. Conviene analizar el valor  $A_{Din} \% = 8.05 \%$  que corresponde a estas gafas. Si aplicamos la fórmula {15} al punto de lectura ( $\theta = 0.61$  radianes) se encuentra que  $DV = 4.9\Delta$ . Lo más probable es que esta demanda de vergencias fusionales verticales dificulte la visión binocular del individuo, pudiendo llegar a producir diplopía. En ese caso podría disminuirse el tamaño de las gafas y acercar los puntos de lectura a los ejes de las lentes. Si fuese necesario, podrían también introducirse efectos prismáticos compensatorios.

Supuesto 2: En este supuesto hay que conseguir pasar de  $A^{Res} \% = -0.96 \%$  ( $A^{Res} = 0.9904$ ) a  $A^{Res} \% = -3 \%$  ( $A^{Res} = 0.97$ ). Para disminuir el valor de  $A^{Res}$  podemos disminuir  $F_{1N(OD)}$  o aumentar  $e_{OI}$  o  $F_{1N(OI)}$ . El aumento de  $e_{OI}$  lo utilizaremos como último recurso, para tratar de evitar un espesor de borde excesivo. Comenzaremos disminuyendo  $F_{1N(OD)}$  (hasta su valor mínimo que es 0) en lugar de aumentar  $F_{1N(OI)}$ , porque así se obtienen valores de  $F_2$  más moderados. La fila 2 muestra los resultados, en los que se observa que el valor de  $A^{Res} \% (-1.22 \%)$



no alcanza el objetivo deseado. Para seguir disminuyendo  $A^{Res}$  aumentamos  $F_{1N(OI)}$  hasta un valor máximo de 7 ( $F_2 = -14.34$  D) para evitar que  $F_2$  se salga del rango de valores elegido. En la fila 3 se muestra que  $A^{Res} \%$  ( $-1.53 \%$ ) no alcanza el objetivo. Si queremos seguir disminuyendo  $A^{Res}$  es preciso aumentar  $e_{OI}$ , teniendo en cuenta que se debe cumplir la relación {11}. La fila 4 muestra que es necesario llegar al valor  $e_{OI} = 0.0027$  m para conseguir minimizar la aniseiconia dinámica ( $A_{Din} \%$  = 5.87 %). La aplicación de {15} para el punto de lectura conduce a  $DV = 3.6\Delta$  que es más probable que sea tolerado por el individuo que el valor correspondiente al supuesto 1. Si se considera excesivo el espesor de borde correspondiente a  $e_{OI} = 0.0027$  m pueden buscarse soluciones con  $e_{OI}$  inferior, teniendo en cuenta que si las reservas fusionales son inferiores a  $DV$  puede procederse como se ha indicado en el supuesto 1.

Puede observarse que la mayor tolerancia de la aniseiconia estática en el supuesto 2 (que aleja a  $A^{Res}$  de cero) permite disminuir la aniseiconia dinámica y sus consecuencias. En este sentido, conviene hacer un análisis de la conocida ley de Knapp. Esta ley dice que, en anisometropías axiales, si la lente correctora se puede considerar delgada y se coloca en el foco anterior (F) del ojo, la imagen retiniana tiene el mismo tamaño que la del ojo emétrope. Como los ojos emétopes no tienen aniseiconia estática resulta que  $A^{Res} = 1$  y  $A^{Res} \%$  = 0 %. Según el modelo de ojo de Le Grand [9] el punto principal objeto ( $H$ ) del ojo se encuentra a 1.59 mm a la derecha del polo anterior y la focal objeto del ojo (distancia  $HF$ ) tiene un valor de  $-16.68$  mm. Por lo tanto, para que se cumpla la ley debe ser  $b = 16.68 - 1.59 \text{ mm} = 15.09$  mm (0.01509 m). En la fila 5 se utiliza este valor para  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$  y se usan las gafas de la fila 1 pero con espesores nulos ( $e_{OD} = e_{OI} = 0$ ). Puede comprobarse que en estas condiciones se cumple la ley de Knapp. La fila 6 ilustra el resultado con las gafas reales de la fila 1. Se observa que los espesores de las lentes originan un poco de aniseiconia estática.

En las filas 5 y 6 de la tabla puede comprobarse que la aplicación de la ley de Knapp produce mayor aniseiconia dinámica que la aplicación de las soluciones encontradas para los supuestos 1 y 2. Este empeoramiento de la aniseiconia dinámica al aplicar la ley de Knapp todavía es más notable en el supuesto 3, ya que usando lentes de contacto se elimina la aniseiconia dinámica y la aniseiconia estática toma un valor tolerado por el individuo.

### CORRECCIÓN CON COMPENSACIÓN MIXTA

Para poder aplicar las fórmulas {20}-{25}, que permiten el cálculo de las compensaciones que corrigen la aniseiconia, tenemos que averiguar el valor de  $A^{Res}$  que minimiza  $A_{Din}$ . Para

esto hay que despejar  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}$  en {18} y averiguar qué valor de  $A^{Tot}$  ( $A^{Tot} = A^{Tot-}$  ó  $A^{Tot} = A^{Tot+}$ ) conduce a un valor menor de  $|R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}|$ . Este valor de  $A^{Tot}$  es  $A^{Res}$ . Previamente hay que calcular  $B$  mediante {19}. Tomaremos  $b = 0.012$  m en {18}.

$$B = A \times \frac{1 - 0.003R_{E(OI)}}{1 - 0.003R_{E(OD)}} = 0.9436 \times \frac{1 - 0.003 \times (-6.75)}{1 - 0.003 \times (-3.75)} = 0.9520$$

Supuesto 1 ( $A^{Tot\pm} \% = \pm 1 \%$ ,  $A^{Tot+} = 1.01$ ,  $A^{Tot-} = 0.99$ ): Según los cálculos que siguen hay que tomar  $A^{Res} = 0.99$  ya que está asociado al valor más pequeño de  $|R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}|$  (3.33 D).

$$\begin{aligned} A^{Tot} = A^{Tot+}, \quad R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} &\simeq \frac{A^{Tot}/B - 1}{b} \\ &= \frac{1.01/0.9520 - 1}{0.012} D = 5.08 D \\ A^{Tot} = A^{Tot-}, \quad R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} &\simeq \frac{A^{Tot}/B - 1}{b} \\ &= \frac{0.99/0.9520 - 1}{0.012} D = 3.33 D \end{aligned}$$

Supuesto 2 ( $A^{Tot\pm} \% = \pm 3 \%$ ,  $A^{Tot+} = 1.03$ ,  $A^{Tot-} = 0.97$ ): En este caso hay que tomar  $A^{Res} = 0.97$  ya que está asociado al valor más pequeño de  $|R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}|$  (1.58 D).

$$\begin{aligned} A^{Tot} = A^{Tot+}, \quad R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} &\simeq \frac{A^{Tot}/B - 1}{b} \\ &= \frac{1.03/0.9520 - 1}{0.012} D = 6.83 D \\ A^{Tot} = A^{Tot-}, \quad R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} &\simeq \frac{A^{Tot}/B - 1}{b} \\ &= \frac{0.97/0.9520 - 1}{0.012} D = 1.58 D \end{aligned}$$

Con las fórmulas {20}-{25} y los valores de  $R_{E(OD)}$ ,  $R_{E(OI)}$ ,  $b$ ,  $B$  y  $A^{Res}$  se obtienen las dos soluciones correspondientes a cada supuesto, que se recogen en la tabla que sigue. Puede observarse en la tabla que en ambos supuestos la solución 2 es peor porque requiere más potencia en las lentes de contacto, por lo que es preferible elegir la solución 1.

Tabla de corrección con compensación mixta							
Supuesto	Solución	$R_{EG(OD)}(D)$	$R_{EG(OI)}(D)$	$R_{ELC(OD)}(D)$	$R_{ELC(OI)}(D)$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$
1	1	0	-3.20	-3.75	-3.55	1.0848	+8.48
1	2	+3.33	0	-7.08	-6.75	1.0888	+8.88
2	1	0	-1.55	-3.75	-5.20	1.0402	+4.02
2	2	+1.58	0	-5.33	-6.75	1.0411	+4.11

Para esta solución, en el supuesto 1 se observa que  $A_{Din} \%$  es algo mayor con la compensación mixta (8.48 %) que con la compensación con gafas (8.05 %), por lo que en este sentido es mejor la solución con gafas. Para el supuesto 2 el valor de  $A_{Din} \%$  es mayor con gafas (5.87 %) que con compensación mixta (4.02 %), por lo que esta última compensación resulta ventajosa. Para el punto de lectura resulta  $DV = 2.5 \Delta$  que es un valor mucho menos problemático el que se obtiene con gafas. Para finalizar hay que calcular los valores de  $F'_V$  mediante {12} y redondearlos a múltiplos de 0.25 D.

La tabla siguiente muestra la compensación con gafas (solamente con esfera) que corresponde al supuesto 1. Si las reservas fusionales requeridas por el uso de las gafas (debido al valor de  $A_{Din}$ ) fuesen excesivas se podría disminuir el tamaño de las gafas y acercar los puntos de lectura a los ejes de las lentes y también introducir efectos prismáticos. Los valores de  $F_2$  están dentro del intervalo recomendado.

	$b(m)$	$F'_V(D)$	$e(m)$	$F_{1N}(D)$	$F_2(D)$
OD	0.012	-4.00	0.001	+4.00	-8.00
OI	0.012	-7.25	0.001	+2.25	-9.50

En el supuesto 2 los valores de la compensación mixta requerida (solamente con esfera) se encuentran en la siguiente tabla. Los espesores y curvas frontales nominales de las lentes de las gafas serían elegidos por el fabricante, con la condición de que fuesen iguales en las dos lentes (recuérdese que debe cumplirse  $FF_{OD}/FF_{OI} = 1$ ). Las gafas se colocarían con  $b = 0.012$  m.

$F'_{VG(OD)}(D)$	$F'_{VG(OI)}(D)$	$F'_{VLC(OD)}(D)$	$F'_{VLC(OI)}(D)$
0	-1.50	-3.75	-5.25

Como último comentario a este caso, hay que decir que el conocimiento del tipo de anisometropía o de otros defectos que contribuyan a la aniseiconia del paciente no es necesario para la resolución del caso, ya que la única información útil para ello está contenida en el valor de

la aniseiconia estática y los valores de los defectos refractivos de los ojos. Esta ampliación de información solamente se da para ilustrar la variedad de los casos que son resueltos.

### **Ejercicio 5: Corrección de aniseiconia debida a anisometropía mixta sin cilindro**

A un individuo con anisometropía mixta se le miden unos defectos refractivos  $R_{E(OD)} = +5.00 D$ ,  $R_{E(OI)} = +0.50 D$ ,  $R_{C(OD)} = 0$ ,  $R_{C(OI)} = 0$  y un valor de la aniseiconia estática (que no depende apreciablemente del meridiano)  $A\% = -5\%$  (valor intermedio entre  $A_{pot}\% = -0.78\%$  y  $A_{ax}\% = -7.59\%$ ). En el resultado de la medida de su tolerancia  $A^{Tot\pm}\%$  a la aniseiconia estática vamos a considerar tres supuestos:  $\pm 1\%$ ,  $\pm 3\%$  y  $\pm 5\%$ . Queremos estudiar la posibilidad de corregir la aniseiconia con lentes de contacto, gafas o compensación mixta. Posteriormente comprobaremos de forma directa la aniseiconia residual que se obtiene con las compensaciones mixtas.

#### CORRECCIÓN CON LENTES DE CONTACTO

Utilizando {8} con  $A = 0.95$ ,  $R_{OD} = +5.00 D$  y  $R_{OI} = +0.50 D$  se obtiene  $A^{Tot} = 0.9630$  y de aquí  $A^{Tot}\% = -3.7\%$ . Por lo tanto, el supuesto 3 ( $A^{Tot\pm}\% = \pm 5\%$ ) se puede corregir con lentes de contacto porque el individuo aguanta perfectamente el  $-3.7\%$  de aniseiconia residual. La aniseiconia dinámica es nula. A continuación se resuelven los supuestos 1 y 2 con otros métodos.

#### CORRECCIÓN CON GAFAS

Para elegir los parámetros de las gafas iniciales comenzamos utilizando {12} con  $n = 1.498$  y  $b_{OD} = b_{OI} = 0.012 m$ . Se obtiene  $F'_{V(OD)} = +4.72 D$  y  $F'_{V(OI)} = +0.50 D$ . Como las lentes son positivas utilizamos {16} para calcular sus espesores (con  $\phi = 0.065 m$  y  $e_{borde} = 0.001 m$ ) obteniendo los valores  $e_{OD} = 0.006 m$  y  $e_{OI} = 0.0015 m$ . Mediante la expresión en {17} para lentes positivas obtenemos  $F_{1N(OD)} = +10.72 D$  y  $F_{1N(OI)} = +6.50 D$ . A continuación usamos {9} con  $A\% = -5\%$  para averiguar el valor que tiene que tomar  $A^{Res}$  en {10}.

Supuesto 1 ( $A^{Tot\pm}\% = \pm 1\%$ ): Para  $A^{Tot}\% = A^{Tot+}\%$  se encuentra  $A^{Gafa}\% = 6\%$  y para  $A^{Tot}\% = A^{Tot-}\%$  se encuentra  $A^{Gafa}\% = 4\%$ . Por tanto  $A_{Din}$  se minimiza cuando exigimos  $A^{Res}\% = A^{Tot-}\% = -1\%$  en {10}.

Supuesto 2 ( $A^{Tot\pm}\% = \pm 3\%$ ): Para  $A^{Tot}\% = A^{Tot+}\%$  se encuentra  $A^{Gafa}\% = 8\%$  y para  $A^{Tot}\% =$

$A^{Tot-\%}$  se encuentra  $A^{Gafa\%} = 2\%$ . Por tanto  $A_{Din}$  se minimiza cuando exigimos  $A^{Res\%} = A^{Tot-\%} = -3\%$  en  $\{10\}$ .

El proceso de corrección se lleva a cabo (como en el ejercicio 4) variando los espesores y curvas frontales nominales de las lentes hasta que se cumpla  $\{10\}$  respetando la condición  $\{11\}$ . Los valores sucesivos de  $F_V'$  se calculan mediante  $\{12\}$  y la aniseiconia dinámica mediante  $\{14\}$ . La tabla que sigue muestra la evolución del proceso de corrección. La fila 1 corresponde a las gafas que hemos considerado adecuadas para el individuo, con los valores de  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  redondeados a múltiplos de 0.25 D y las caras anteriores alineadas  $\{11\}$ . El valor de  $A^{Res\%}$  (4.92%) está muy lejos de los valores necesarios ( $-1\%$  ó  $-3\%$ ) para corregir la aniseiconia estática y minimizar la aniseiconia dinámica. Por otra parte, el valor de  $A_{Din\%}$  es muy elevado (16.05%). Como el objetivo es conseguir  $A^{Res} = 0.99$  en el supuesto 1 y  $A^{Res} = 0.97$  en el supuesto 2 y para las gafas iniciales se tiene  $A^{Res} = 1.0942$ , es preciso disminuir oportunamente  $A^{Res}$ .

Nº		$b(m)$	$F_V'(D)$	$e(m)$	$F_{1N}(D)$	$F_2(D)$	$A^{Res}$	$A^{Res\%}$	$A_{Din}$	$A_{Din\%}$
1	OD	0.012	+4.72	0.006	+10.75	-6.03	1.0492	<b>+4.92</b>	1.1605	<b>+16.05</b>
	OI	0.0165	+0.50	0.0015	+6.50	-6.00				
2	OD	0.012	+4.72	0.006	+10.75	-6.03	1.0147	<b>+1.47</b>	1.1223	<b>+12.23</b>
	OI	0.012	+0.50	0.006	+10.75	-10.25				
3	OD	0.012	+4.72	0.006	+10.75	-6.11	1.0032	<b>+0.32</b>	1.1095	<b>+10.95</b>
	OI	0.012	+0.50	0.006	+13.75	-13.25				
4	OD	0.0153	+4.64	0.006	+10.75	-6.11	0.9903	<b>-0.97</b>	1.0954	<b>+9.54</b>
	OI	0.012	+0.50	0.0093	+13.75	-13.25				
5	OD	0.018	+4.59	0.006	+10.75	-6.16	0.9804	<b>-1.96</b>	1.0843	<b>+8.43</b>
	OI	0.012	+0.50	0.012	+13.75	-13.25				
6	OD	0.018	+4.59	0.006	+10.75	-6.16	0.9699	<b>-3.01</b>	1.0727	<b>+7.27</b>
	OI	0.012	+0.50	0.012	+15.25	-14.75				

Supuesto 1: Para disminuir  $A^{Res}$  podemos disminuir  $F_{1N(OD)}$ , aumentar  $e_{OI}$  o  $F_{1N(OI)}$ , o aumentar ambos. Al hacer esto último disminuye  $A^{Res}$  y aumenta la estética de las gafas, al irse igualando los espesores y curvas frontales nominales de ambas lentes. Cuando estos parámetros llegan a igualarse (fila 2)  $A^{Res\%} = 1.47\%$  y todavía estamos lejos de nuestro objetivo. En la fila 3 se muestra lo que ocurre cuando se aumenta  $F_{1N(OI)}$  hasta que su diferencia con  $F_{1N(OD)}$  alcance 3D. Como el valor  $A^{Res\%}$  (0.32%) no alcanza todavía su objetivo aumentamos el valor de  $e_{OI}$  hasta conseguirlo ( $A^{Res\%} = -0.97\%$ ) en las condiciones indicadas en la fila 4. Los va-

lores de  $F_2$  son razonables pero el valor de  $A_{Din} \%$  es elevado (9.54 %) y para el punto de lectura {15} resulta  $DV=5.8 \Delta$ , que es una cifra muy elevada. Lo más probable es que esta demanda de vergencias fusionales verticales origine problemas al individuo y haya que tratar de resolverlos mediante acercamiento de los puntos de lectura a los ejes y efectos prismáticos.

Supuesto 2: Para bajar más el valor de  $A^{Res}$  seguimos aumentando  $e_{OI}$ . Como este aumento origina otro aumento en  $b_{OD}$ , llega un momento en que las caras anteriores de las lentes quedan demasiado lejos de los ojos. Por eso en la fila 5 se llega hasta  $e_{OI} = 12$  mm, que implica una distancia de 24 mm entre las caras anteriores y los ojos. Como el valor de  $A^{Res} \%$  (-1.96 %) no llega al -3 % necesario, aumentamos  $F_{1N(OI)}$  lo que sea necesario hasta conseguir el objetivo. La fila 6 muestra los resultados. Los valores de  $F_2$  están dentro del intervalo fijado pero  $A_{Din} \%$  (7.27 %) es elevado ( $DV = 4.4 \Delta$  para el punto de lectura) pero inferior al del supuesto 1. Esta demanda de vergencias fusionales podría ser excesiva, aunque habría que comprobarlo midiendo las reservas fusionales del individuo.

### CORRECCIÓN CON COMPENSACIÓN MIXTA

Tomando en {19}  $A = 0.95$ ,  $R_{E(OD)} = +5.00$  D y  $R_{E(OI)} = +0.50$  D resulta  $B = 0.9630$ . La relación  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} \simeq (A^{Tot}/B - 1)/b$  (deducida de {18}) permite averiguar el valor de  $A^{Res}$ , necesario para el cálculo de las soluciones.

Supuesto 1:  $A^{Tot} = A^{Tot+} = 1.01$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = 4.07$  D y  $A^{Tot} = A^{Tot-} = 0.99$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = 2.34$  D. Por tanto  $A^{Res} = 0.99$ .

Supuesto 2:  $A^{Tot} = A^{Tot+} = 1.03$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = 5.80$  D y  $A^{Tot} = A^{Tot-} = 0.97$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = 0.61$  D. Por tanto  $A^{Res} = 0.97$ .

Con las fórmulas {20}-{25} y los valores de  $R_{E(OD)}$ ,  $R_{E(OI)}$ ,  $B$ ,  $A^{Res}$  y  $b = 0.012$  m se obtienen las dos soluciones correspondientes a cada supuesto, que se recogen en la tabla que sigue. En este caso la solución 1 es peor en ambos supuestos y adoptamos la solución 2. Para el supuesto 1 se tiene  $A_{Din} \%$  = 9.54 % con gafas y  $A_{Din} \%$  = 6.15 % con compensación mixta. Para el supuesto 2 es  $A_{Din} \%$  = 7.27 % con gafas y  $A_{Din} \%$  = 1.55 % con compensación mixta. Resulta evidente que en este caso la solución mixta es la mejor en los dos supuestos.

Tabla de corrección con compensación mixta							
Supuesto	Solución	$R_{EG(OD)}(D)$	$R_{EG(OI)}(D)$	$R_{ELC(OD)}(D)$	$R_{ELC(OI)}(D)$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$
1	1	0	-2.27	+5.00	+2.77	1.0595	+5.95
1	2	+2.33	0	+2.67	+0.50	1.0615	+6.15
2	1	0	-0.60	+5.00	+1.10	1.0154	+1.54
2	2	+0.60	0	+4.40	+0.50	1.0155	+1.55

Una vez calculados los valores de  $F'_V$  mediante {12} y redondeados a múltiplos de 0.25 D, se tienen los resultados que se recogen en la siguiente tabla.

Supuesto	$F'_{VG(OD)}(D)$	$F'_{VG(OI)}(D)$	$F'_{VLC(OD)}(D)$	$F'_{VLC(OI)}(D)$
1	+2.25	0	+2.75	+0.5
2	+0.5	0	+4.5	+0.5

Para calcular de forma directa la aniseiconia residual que producen estas compensaciones usaremos {26}, después de calcular  $A^{Gafa}$  con (14) y  $A^{LC}$  con (27). Hay que recordar que en la compensación mixta  $e_{OD} = e_{OI}$  y  $F_{1N(OD)} = F_{1N(OI)}$ . Al hacer los cálculos para el supuesto 1 (objetivo  $A^{Res} = 0.99$ ) se obtiene  $A^{Gafa} = 1.0349$  y  $A^{LC} = 1.0068$ , con lo que resulta  $A^{Res} = 0.9898$ . Para el supuesto 2 (objetivo  $A^{Res} = 0.97$ ) se obtiene  $A^{Gafa} = 1.0076$  y  $A^{LC} = 1.0122$ , con lo que resulta  $A^{Res} = 0.9689$ . En ambos casos la diferencia entre el valor obtenido para  $A^{Res}$  y el exigido para obtener la solución es insignificante.

### Ejercicio 6: Afinamiento de una corrección con gafas

El individuo del caso anterior ( $R_{E(OD)} = +5.00 D$ ,  $R_{E(OI)} = +0.50 D$ ,  $R_{C(OD)} = 0$ ,  $R_{C(OI)} = 0$  y  $A \% = -5 \%$ ) en el supuesto 2 ( $A^{Res} \% = -3 \%$ ) no puede utilizar la compensación mixta recomendada debido a su intolerancia a las lentes de contacto. Se le pretende aplicar la solución encontrada con gafas ( $F'_{V(OD)} = +4.59 D$ ,  $F'_{V(OI)} = +0.50 D$ ,  $e_{OD} = 0.006 m$ ,  $e_{OI} = 0.012 m$ ,  $F_{1N(OD)} = +10.75 D$ ,  $F_{1N(OI)} = +15.25 D$ ,  $b_{OD} = 0.018 m$ ,  $b_{OI} = 0.012 m$ ), pero el fabricante recomienda que  $F_{1N(OI)}$  no sobrepase el valor de 13.75 D y que no se modifique el resto de los parámetros. Calcular los valores que deben tomar  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$  para que se siga cumpliendo el objetivo  $A^{Res} \% = -3 \%$ .

Para resolver el problema tenemos que utilizar {10} como en otras ocasiones. Como al variar  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$  lo hacen  $F'_{V(OD)}$  y  $F'_{V(OI)}$ , es más cómodo sustituir {12} en {10} para conseguir una expresión de  $A^{Res}$  en función de  $R_{OD}$  y  $R_{OI}$  que no varían con  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$ . Se obtiene lo que

sigue.

$$A^{Res} = A \times \frac{1 + (e_{OD}/n_{OD})F_{1N(OD)}}{1 + (e_{OI}/n_{OI})F_{1N(OI)}} \times \frac{1 - 0.003R_{OI}}{1 - 0.003R_{OD}} \times \frac{1 + b_{OD}R_{OD}}{1 + b_{OI}R_{OI}}$$

$$A^{Res} = 0.95 \times \frac{1 + (0.006/1.498) \times 10.75}{1 + (0.012/1.498) \times 13.75} \times \frac{1 - 0.003 \times 0.50}{1 - 0.003 \times 5.00} \times \frac{1 + 5.00 \times b_{OD}}{1 + 0.50 \times b_{OI}}$$

$$= 0.9408 \times \frac{1 + 5.00 \times b_{OD}}{1 + 0.50 \times b_{OI}}$$

Hay que conseguir que  $A^{Res}$  se aproxime lo más posible a 0.97 por exceso ( $A^{Res} \%$  lo más próximo posible a  $-3 \%$  por defecto), variando  $b_{OD}$  y  $b_{OI}$  de forma que se cumpla {11}. Se encuentra fácilmente que la solución es  $b_{OD} = 0.0155$  m,  $b_{OI} = 0.0095$  m, que se obtiene acercando las gafas a los ojos 2.5 mm respecto a la posición inicial. Con estos valores se obtiene  $A^{Res} \% = -2.97 \%$  que cumple con el objetivo de corrección.

### Ejercicio 7: Corrección de aniseiconia debida a anisometropía mixta con cilindro

En este caso los defectos refractivos del individuo son  $R_{E(OD)} = -2.25$  D,  $R_{E(OI)} = +2.00$  D,  $R_{C(OD)} = -2.00$  D,  $\beta_{OD} = 80^\circ$ ,  $R_{C(OI)} = -0.75$  D,  $\beta_{OI} = 86^\circ$  ( $\beta$  es el ángulo que forma el eje del cilindro con la horizontal) y un valor de la aniseiconia estática (que no depende apreciablemente del meridiano)  $A \%$  =  $+5 \%$  (valor intermedio entre  $A_{poi} \%$   $\simeq 0.66 \%$  y  $A_{ax} \%$   $\simeq 8 \%$ ). Como en los casos anteriores consideraremos tres supuestos para  $A^{Tot\pm} \%$ :  $\pm 1 \%$ ,  $\pm 3 \%$  y  $\pm 5 \%$  y estudiaremos la posibilidad de corregir la aniseiconia con lentes de contacto, gafas o compensación mixta.

#### CORRECCIÓN CON LENTES DE CONTACTO

Como en este caso el defecto refractivo tiene cilindro,  $R_{OD}$  y  $R_{OI}$  varían con el ángulo  $\theta$  que forma el eje del cilindro con la dirección en la que queremos realizar el cálculo. Como hemos dicho anteriormente, lo habitual es hacer los cálculos en las direcciones horizontal,  $45^\circ$  con la horizontal y vertical. Conociendo el ángulo  $\beta$  que forma el eje del cilindro con la horizontal es inmediato encontrar los valores de  $\theta$  y a partir de ellos los de  $R$  mediante {7}. Los resultados se encuentran en la siguiente tabla.

	$\theta_H(^\circ)$	$R_H(D)$	$\theta_{45}(^\circ)$	$R_{45}(D)$	$\theta_V(^\circ)$	$R_V(D)$
OD	80	-4.1897	35	-2.9080	10	-2.3103
OI	86	+1.2536	41	+1.6772	4	+1.9964



Utilizando ahora los valores de  $R_{OD}$  y  $R_{OI}$  para cada dirección y el valor  $A = 1.05$  en {8}, se obtienen los valores de la aniseiconia del individuo (para las tres direcciones) cuando sus defectos refractivos se compensan con lentes de contacto.

$A^{TotH}$	$A^{TotH} \%$	$A^{Tot45}$	$A^{Tot45} \%$	$A^{TotV}$	$A^{TotV} \%$
1.0331	+3.31	1.0357	+3.57	1.0365	+3.65

Según la tabla anterior resulta evidente que en el supuesto 1 en el que  $A^{Tot\pm} \% = \pm 5 \%$  el individuo puede tolerar mucha más aniseiconia que la que percibe con las lentes de contacto, por lo que éstas son la solución para su problema. Como en casos anteriores, resolveremos los supuestos 2 y 3 con otros métodos.

### CORRECCIÓN CON GAFAS

Comenzamos, como en casos anteriores, con el diseño de las gafas iniciales. Utilizamos {12} (con  $n = 1.498$  y  $b_{OD} = b_{OI} = 0.012$  m) para calcular las potencias de vértice posterior de esfera y cilindro apropiadas para cada ojo y, a partir de ellas, su esférico equivalente. Se obtiene  $F'_{VE(OD)} = -2.31$  D,  $F'_{VC(OD)} = -2.05$  D,  $F'_{Vee(OD)} = -3.34$  D y  $F'_{VE(OI)} = +1.95$  D,  $F'_{VC(OI)} = -0.76$  D,  $F'_{Vee(OI)} = +1.57$  D. Como la lente del OD es negativa tomamos  $e_{OD} = 0.001$  m. Al ser la lente del OI positiva, la fórmula {16} proporciona un espesor que cambia con la orientación, porque  $F'_{V(OI)}$  cambia como indica {13}. Es preciso seleccionar el máximo espesor, que corresponde al valor máximo de  $F'_{V(OI)}$  (1.95 D). Se obtiene así (con  $\phi = 0.065$  m y  $e_{borde} = 0.001$  m)  $e_{OI} = 0.0031$  m. El cálculo de  $F_{1N}$  se hace mediante {17}, utilizando los valores de  $F'_{Vee(OD)}$  y  $F'_{Vee(OI)}$ . Se obtiene  $F_{1N(OD)} = +4.33$  D y  $F_{1N(OI)} = +7.57$  D.

Como en casos anteriores, debemos averiguar el valor que debemos exigir a la aniseiconia residual  $A^{Res} \%$  entre las posibilidades  $A^{Res} \% = A^{Tot+} \%$  y  $A^{Res} \% = A^{Tot-} \%$  (utilizando {9} con  $A \% = +5 \%$ ) de forma que  $A^{Gafa} \%$  tome el menor valor posible.

Supuesto 1 ( $A^{Tot\pm} \% = \pm 1 \%$ ): Para  $A^{Tot} \% = A^{Tot+} \%$  se encuentra  $A^{Gafa} \% = -4 \%$  y para  $A^{Tot} \% = A^{Tot-} \%$  se encuentra  $A^{Gafa} \% = -6 \%$ . Por tanto elegimos  $A^{Res} \% = A^{Tot+} \% = +1 \%$ .

Supuesto 2 ( $A^{Tot\pm} \% = \pm 3 \%$ ): Para  $A^{Tot} \% = A^{Tot+} \%$  se encuentra  $A^{Gafa} \% = -2 \%$  y para  $A^{Tot} \% = A^{Tot-} \%$  se encuentra  $A^{Gafa} \% = -8 \%$ . Por tanto elegimos  $A^{Res} \% = A^{Tot+} \% = +3 \%$ .

Como tanto  $F'_{V(OD)}$  como  $F'_{V(OI)}$  varían con la orientación de acuerdo con {13}, lo mismo le ocurre al segundo miembro de {10}. Teniendo en cuenta esto, el proceso de corrección hay que llevarlo a cabo variando los espesores y curvas frontales nominales de las lentes de forma

que el segundo miembro de {10} se aproxime lo más posible (sin superarlo) al valor de  $A^{Res}$  en las orientaciones horizontal, a  $45^\circ$  y vertical. Los valores de  $F'_V$  para cada orientación pueden calcularse introduciendo en {12} los valores calculados anteriormente para  $R_H$ ,  $R_{45}$  y  $R_V$ . Como siempre, los valores de los espesores de las lentes y sus distancias a los ojos deben respetar la condición {11} y la aniseiconia dinámica se calcula mediante {14}.

<i>Tabla de corrección con gafas</i>										
$N^\circ$		$b(m)$	$F'_V(D)$	$e(m)$	$F_{1N}(D)$	$F_2(D)$	$A^{Res}$	$A^{Res} \%$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$
1	OD	0.0141	-4.45	0.001	+4.25	-8.70	0.9457	<b>-5.43</b>	0.8517	<b>-14.83</b>
			-3.03			-7.28		<b>-3.85</b>		0.8730
-2.39			-6.64			<b>-3.29</b>		0.8804		<b>-11.96</b>
	OI	0.012	+1.24	0.0031	+7.50	-6.26				
			+1.64			-5.86				
			+1.95			-5.55				
2	OD	0.0141	-4.45	0.001	+10	-14.40	0.9591	<b>-4.09</b>	0.8638	<b>-13.62</b>
			-3.03			-13.03		<b>-2.49</b>		0.8854
-2.39			-12.39			<b>-1.92</b>		0.8929		<b>-10.71</b>
	OI	0.012	+1.24	0.0031	+2.50	-1.26				
			+1.64			-0.86				
			+1.95			-0.55				
3	OD	0.012	-4.41	0.0054	+10	-14.41	0.9935	<b>-0.65</b>	0.8948	<b>-10.52</b>
			-3.01			-13.01		<b>+0.61</b>		0.9136
-2.38			-12.38			<b>+0.99</b>		0.9194		<b>-8.06</b>
	OI	0.0143	+1.23	0.0031	+2.50	-1.27				
			+1.64			-0.86				
			+1.94			-0.56				
4	OD	0.012	-4.41	0.0098	+10	-14.41	1.0161	<b>+1.61</b>	0.9152	<b>-8.48</b>
			-3.01			-13.01		<b>+2.72</b>		0.9328
-2.38			-12.38			<b>+2.98</b>		0.9374		<b>-6.26</b>
	OI	0.0187	+1.22	0.0031	+2.50	-1.28				
			+1.63			-0.87				
			+1.92			-0.58				

En la tabla anterior se puede seguir el proceso de corrección. En las columnas que corresponden a magnitudes que varían con la orientación, se sitúan de arriba abajo los valores correspondientes a orientaciones horizontal, a  $45^\circ$  y vertical. La fila 1 corresponde a las gafas iniciales con los valores de  $F_{1N(OD)}$  y  $F_{1N(OI)}$  redondeados a múltiplos de 0.25 D y las caras anteriores alineadas {11}, con las que se consigue  $A^{Res} = 0.9457$ . Al estar este valor muy por debajo de los objetivos de la corrección ( $A^{Res} = 1.01$  en el supuesto 1 y  $A^{Res} = 1.03$  en el supuesto 2) va a ser necesario incrementarlo haciendo cambios importantes en los parámetros de las gafas (aumentando  $e_{OD}$  y  $F_{1N(OD)}$  o disminuyendo  $F_{1N(OI)}$ ). Lo lógico es comenzar dismi-

nuyendo  $F_{1N(OI)}$  (porque va multiplicado por el espesor mayor) de forma que  $F_2$  no esté en ninguna dirección ( $H, 45^\circ, V$ ) por debajo del límite de  $-0.5$  D. Como con esto no es suficiente, aumentamos  $F_{1N(OD)}$  procurando que no se sobrepase el límite superior de  $F_2$ . Los resultados se muestran en la fila 2 de la tabla, en la que se puede comprobar que nos encontramos todavía muy lejos de los objetivos propuestos, con valores muy altos de la aniseiconia dinámica. Lo único que puede hacerse a partir de ahora es aumentar  $e_{OD}$ . En la fila 3 puede verse el resultado que corresponde al supuesto 1. El cambio de  $A^{Res}$  con la dirección implica que hay que aproximarla lo mejor posible al valor del objetivo (1.01) para aquella dirección (en este caso la vertical) en la que tome mayor valor. El objetivo se cumple en las otras direcciones porque los valores están dentro del intervalo (0.99, 1.01). En la fila 4 se muestran los resultados correspondientes al supuesto 2, que se han obtenido aumentando  $e_{OD}$  hasta que los valores de  $A^{Res}$  se aproximen lo mejor posible al valor 1.03.

### CORRECCIÓN CON COMPENSACIÓN MIXTA

Los defectos refractivos de cilindro hay que corregirlos mediante lentes de contacto, como se explicó en la parte teórica. Por ello, en los cálculos que siguen solamente tendremos en cuenta los defectos refractivos de esfera. Tomando en {19}  $A = 1.05$ ,  $R_{E(OD)} = -2.25$  D y  $R_{E(OI)} = +2$  D se obtiene  $B = 1.0367$ . Como anteriormente, usamos la relación  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} \simeq (A^{Tot}/B - 1)/b$  (con  $b = 0.012$  m) para averiguar el valor de  $A^{Res}$ , necesario para el cálculo de las soluciones.

Supuesto 1 ( $A^{Tot \pm \%} = \pm 1\%$ ):  $A^{Tot} = A^{Tot+} = 1.01$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = -2.15$  D y  $A^{Tot} = A^{Tot-} = 0.99$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = -3.75$  D. El valor mínimo de  $|R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)}|$  corresponde a  $A^{Tot} = A^{Tot+}$ . Por tanto  $A^{Res} = 1.01$ .

Supuesto 2 ( $A^{Tot \pm \%} = \pm 3\%$ ):  $A^{Tot} = A^{Tot+} = 1.03$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = -0.54$  D y  $A^{Tot} = A^{Tot-} = 0.97$  conduce a  $R_{EG(OD)} - R_{EG(OI)} = -5.36$  D. Por tanto  $A^{Res} = 1.03$ .

Sustituyendo los valores de  $R_{E(OD)}$ ,  $R_{E(OI)}$ ,  $B$ ,  $A^{Res}$  y  $b = 0.012$  m en las fórmulas {20}-{25} se obtienen los resultados que se recogen en la tabla que sigue. Las soluciones 1 y 2 no presentan diferencias importantes como en casos anteriores. Como hay que elegir una solución, tomaremos la 1. Vamos a comparar ahora los resultados obtenidos para corrección con gafas (filas 3 y 4 de la tabla de corrección) con los de corrección con compensación mixta (filas 1 y 3 de la tabla de corrección). Se encuentra que se obtiene una aniseiconia dinámica notablemente

inferior con la compensación mixta y que hay una diferencia muy notable entre las gafas que corrigen la aniseiconia con uno u otro tipo de compensación. Si se compensa con gafas hay que usar esferocilindros con espesores centrales  $e_{OD} = 5.4$  mm ,  $e_{OI} = 3.1$  mm para el supuesto 1 y  $e_{OD} = 9.8$  mm ,  $e_{OI} = 3.1$  mm para el supuesto 2. Si se usa compensación mixta una de las lentes no tiene potencia, la otra es esférica y ambas tienen el mismo espesor central. Si se usan los valores de  $R_{EG(OD)}$  y  $R_{EG(OI)}$  en {12} y con los resultados se calculan los espesores mediante {16}, para el supuesto 1 ( $R_{EG(OI)} = 2.20$  D) se encuentra  $e_{OD} = e_{OI} = 3.3$  mm y para el supuesto 2 ( $R_{EG(OI)} = 0.54$  D) se obtiene  $e_{OD} = e_{OI} = 1.6$  mm. Por lo tanto, en este caso la compensación mixta es muy ventajosa respecto a la compensación con gafas.

<i>Tabla de corrección con compensación mixta</i>							
Supuesto	Solución	$R_{EG(OD)}(D)$	$R_{EG(OI)}(D)$	$R_{ELC(OD)}(D)$	$R_{ELC(OI)}(D)$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$
1	1	0	+2.20	-2.25	-0.20	0.9453	-5.47
1	2	-2.15	0	-0.10	+2.00	0.9468	-5.32
2	1	0	+0.54	-2.25	+1.46	0.9863	-1.37
2	2	-0.54	0	-1.71	+2.00	0.9864	-1.36

Si en la fórmula {12} ponemos los valores de  $R_{EG(OI)}$  de la tabla anterior y  $b = 0.012$  m obtenemos  $F'_{VEG(OI)}$  (2.14 D para el supuesto 1 y 0.54 D para el supuesto 2). Los defectos refractivos  $R_{ELC(OD)}$  ,  $R_{ELC(OI)}$  de la tabla anterior y los valores del enunciado para  $R_{CLC(OD)}$  ,  $R_{CLC(OI)}$  proporcionan directamente las potencias de vértice posterior correspondientes, al ser  $b = 0$ . La tabla siguiente recoge los datos de las prescripciones correctoras. La demanda de vergencias para el punto de lectura ( $\theta = 0.61$  radianes) se obtiene mediante {15} a partir de la aniseiconia dinámica ( $-3.3\Delta$  para el supuesto 1 y  $-0.8\Delta$  para el supuesto 2).

<i>Tabla de prescripciones correctoras con compensación mixta</i>							
Supuesto		$F'_{VEG}(D)$	$F'_{VELC}(D)$	$F'_{VCLC}(D)$	$\beta^\circ$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$
1	<i>OD</i>	0	-2.25	-2.00	80	0.9453	-5.47
	<i>OI</i>	+2.25	-0.25	-0.75	86		
2	<i>OD</i>	0	-2.25	-2.00	80	0.9863	-1.37
	<i>OI</i>	+0.50	+1.50	-0.75	86		

### **Ejercicio 8: Verificación de aniseiconia estática de las soluciones del Ejercicio 7**

*En este ejercicio practicaremos el cálculo de la aniseiconia estática con compensación mixta, comprobando de forma directa la aniseiconia residual que se obtiene con las compensa-*

ciones mixtas del ejercicio anterior.

Para ello utilizaremos la fórmula {26}, que nos obliga a calcular la aniseiconia originada por las lentes de contacto y la originada por las gafas. Para la primera nos basaremos en {8} y para la segunda en {10}.

Supuesto 1 ( $A^{Res} = 1.01$ )

	$F'_{VEG}(D)$	$F'_{VELC}(D)$	$F'_{VCLC}(D)$	$\beta(^{\circ})$
<i>OD</i>	0	-2.25	-2.00	80
<i>OI</i>	+2.25	-0.25	-0.75	86

Para obtener  $A^{Gafa}$  podemos sustituir en {10}  $e_{OD} = e_{OI}$ ,  $n_{OD} = n_{OI}$ ,  $F_{1N(OD)} = F_{1N(OI)}$  ( $FF_{OD}/FF_{OI} = 1$ ) y  $F'_V = F'_{VEG}$ ,  $d_{OD} = d_{OI} = d$  como se indica a continuación.

$$A^{Gafa} = \frac{1 - dF'_{VEG(OI)}}{1 - dF'_{VEG(OD)}} = \frac{1 - 0.0015 \times 2.25}{1 - 0.0015 \times 0.00} = 0.9663$$

Como las lentes de contacto llevan cilindro, para obtener  $A^{LC}$  (en direcciones  $H$ ,  $45^{\circ}$  y  $V$ ) mediante {8} hay que calcular previamente los valores de  $R_H$ ,  $R_{45}$  y  $R_V$  (para  $OD$  y  $OI$ ) mediante {7}. Para ello hay que tener en cuenta que  $R_{E(OD)} = -2.25$  D,  $R_{C(OD)} = -2.00$  D,  $\beta_{OD} = 80^{\circ}$ ,  $R_{E(OI)} = -0.25$  D,  $R_{C(OI)} = -0.75$  D y  $\beta_{OI} = 86^{\circ}$ . Los resultados se recogen en la tabla que sigue.

	$\theta_H(^{\circ})$	$R_H(D)$	$\theta_{45(^{\circ})}$	$R_{45}(D)$	$\theta_V(^{\circ})$	$R_V(D)$
<i>OD</i>	80	-4.1897	35	-2.9080	10	-2.3103
<i>OI</i>	86	-0.9964	41	-0.5728	4	-0.2536

Usando estos valores en {8} se obtiene  $A^{LCH} = 0.9905$ ,  $A^{LC45} = 0.9931$  y  $A^{LCV} = 0.9939$ . Utilizando ahora la fórmula {26} con  $A = 1.05$  y los valores obtenidos para  $A^{Gafa}$  y  $A^{LC}$  ( $H$ ,  $45^{\circ}$  y  $V$ ) se obtiene  $A^{ResH} = 1.0050$ ,  $A^{Res45} = 1.0076$  y  $A^{ResV} = 1.0084$ . Estos valores están muy próximos al objetivo (el mayor de ellos debería valer 1.01), lo que constata que las aproximaciones utilizadas para el cálculo de las soluciones son correctas.

Supuesto 2 ( $A^{Res} = 1.03$ )

	$F'_{VEG}(D)$	$F'_{VELC}(D)$	$F'_{VCLC}(D)$	$\beta(^{\circ})$
<i>OD</i>	0	-2.25	-2.00	80
<i>OI</i>	+0.50	+1.50	-0.75	86

Procediendo como en el supuesto 1 se obtiene  $A^{Gafa}=0.9925$  y la siguiente tabla.

	$\theta_H(^{\circ})$	$R_H(D)$	$\theta_{45(^{\circ})}$	$R_{45}(D)$	$\theta_V(^{\circ})$	$R_V(D)$
<i>OD</i>	80	-4.1897	35	-2.9080	10	-2.3103
<i>OI</i>	86	+0.7536	41	+1.1772	4	+1.4964

En este caso  $A^{LCH} = 0.9854$ ,  $A^{LC45} = 0.9879$  y  $A^{LCV} = 0.9887$ , que conducen a  $A^{ResH} = 1.0269$ ,  $A^{Res45} = 1.0295$  y  $A^{ResV} = 1.0303$ . Estos valores están también muy próximos al objetivo (el mayor de ellos debería valer 1.03), lo que vuelve a constatar el buen funcionamiento de las fórmulas deducidas para la corrección con compensación mixta.

### **Ejercicio 9: Corrección de aniseiconia dependiente del meridiano**

Hasta ahora hemos considerado que la aniseiconia estática del individuo no depende de la orientación. Esto ocurre cuando esta aniseiconia es puramente óptica porque el astigmatismo (que es el único defecto refractivo que varía con la orientación) produce una aniseiconia imperceptible. En este ejercicio final volvemos a considerar el caso del ejercicio 7, pero suponiendo que a la aniseiconia óptica se le añaden componentes no ópticas dependientes de la orientación. Para simplificar la realización de este ejercicio, el valor medio de  $A_H \%$ ,  $A_{45} \%$  y  $A_V \%$  coincide con el valor de  $A \%$  del ejercicio 7. El enunciado del ejercicio queda como sigue.

*Los defectos refractivos de un individuo son  $R_{E(OD)} = -2.25 D$ ,  $R_{E(OI)} = +2.00 D$ ,  $R_{C(OD)} = -2.00 D$ ,  $\beta_{OD} = 80^{\circ}$ ,  $R_{C(OI)} = -0.75 D$ ,  $\beta_{OI} = 86^{\circ}$  y su aniseiconia estática depende de la orientación de forma que  $A_H \% = 5.5 \%$ ,  $A_{45} \% = 5 \%$  y  $A_V \% = 4.5 \%$ . Consideraremos tres supuestos ( $A^{Tot\pm} \%$ :  $\pm 1 \%$ ,  $\pm 3 \%$  y  $\pm 5 \%$ ) y estudiaremos la posibilidad de corregir la aniseiconia con lentes de contacto, gafas o compensación mixta.*

### CORRECCIÓN CON LENTES DE CONTACTO

Como los defectos refractivos de este caso son los mismos que los del 7, se mantienen los valores de  $R_H$ ,  $R_{45}$  y  $R_V$  y se introducen de la misma manera en {8} para calcular  $A^{TotH}$ ,  $A^{Tot45}$  y  $A^{TotV}$ . La diferencia en este cálculo estriba en que en lugar de usar siempre el valor  $A = 1.05$  hay que usar los valores  $A_H = 1.055$ ,  $A_{45} = 1.05$  y  $A_V = 1.045$ . Con esto se obtiene  $A^{TotH} \% = 3.80 \%$ ,  $A^{Tot45} \% = 3.57 \%$  y  $A^{TotV} \% = 3.16 \%$ . Por tanto el supuesto 3 se resuelve mediante lentes de contacto.

CORRECCIÓN CON GAFAS

<i>Tabla de corrección con gafas</i>														
$N^{\circ}$		$b(m)$	$F_V'(D)$	$e(m)$	$F_{1N}(D)$	$F_2(D)$	$A^{Res}$	$A^{Res} \%$	$A_{Din}$	$A_{Din} \%$				
1	OD	0.0141	-4.45	0.001	+4.25	-8.70	0.9502	<b>-4.98</b>	0.8517	<b>-14.83</b>				
			-3.03			-7.28					0.9615	<b>-3.85</b>	0.8730	<b>-12.70</b>
			-2.39			-6.64					0.9625	<b>-3.75</b>	0.8804	<b>-11.96</b>
	OI	0.012	+1.24	0.0031	+7.50	-6.26								
			+1.64			-5.86								
			+1.95			-5.55								
2	OD	0.012	-4.41	0.0062	+10	-14.41	1.0023	<b>+0.23</b>	0.8985	<b>-10.15</b>				
			-3.01			-13.01					1.0100	<b>+1.00</b>	0.9171	<b>-8.29</b>
			-2.38			-12.38					1.0087	<b>+0.87</b>	0.9227	<b>-7.73</b>
	OI	0.0151	+1.23	0.0031	+2.50	-1.27								
			+1.64			-0.86								
			+1.94			-0.56								
3	OD	0.012	-4.41	0.0103	+10	-14.41	1.0235	<b>+2.35</b>	0.9175	<b>-8.25</b>				
			-3.01			-13.01					1.0296	<b>+2.96</b>	0.9349	<b>-6.51</b>
			-2.38			-12.38					1.0271	<b>+2.71</b>	0.9395	<b>-6.05</b>
	OI	0.0192	+1.22	0.0031	+2.50	-1.28								
			+1.62			-0.88								
			+1.92			-0.58								

También se mantienen los valores de los parámetros característicos de las gafas iniciales. La obtención del objetivo para  $A^{Res} \%$  se hace como en el caso 7 pero utilizando en {9} el valor medio de  $A_H \%$ ,  $A_{45} \%$  y  $A_V \%$  en lugar de  $A \%$ . Como este valor medio coincide con el 5% utilizado en el caso 7, las conclusiones son las mismas y resulta  $A^{Res} \% = +1 \%$  para el supuesto 1 y  $A^{Res} \% = +3 \%$  para el supuesto 2.

La única diferencia entre el proceso de corrección en este ejercicio y en el 7 es que ahora hay que utilizar en la fórmula {10} los valores  $A_H = 1.055$ ,  $A_{45} = 1.05$  y  $A_V = 1.045$  en lugar del valor fijo  $A = 1.05$ . En la tabla anterior puede verse que se consiguen los objetivos de aniseiconia residual. Naturalmente cambian los valores de algunos parámetros característicos de las gafas respecto a los del ejercicio 7.

## CORRECCIÓN CON COMPENSACIÓN MIXTA

La corrección con compensación mixta que hemos desarrollado se basa en una distribución de los defectos refractivos de esfera entre lentes de contacto y gafas, que se calculan para un valor de  $A$ . Como los resultados cambian con el valor de  $A$ , para extender este método de corrección al caso en que  $A$  cambia con la orientación lo más lógico es hacer el cálculo tomando para  $A$  el valor medio de  $A_H$ ,  $A_{45}$  y  $A_V$ . Como este valor medio coincide con 1.05, que es el valor de  $A$  en el ejercicio 7, las soluciones coinciden con las encontradas en dicho ejercicio. Solamente nos queda calcular la aniseiconia residual que se obtiene en las direcciones  $H$ ,  $45^\circ$  y  $V$  y hacer algún retoque en la distancia  $b$  (como se hizo en el ejercicio 6) si es necesario.

El cálculo de la aniseiconia residual del caso del ejercicio 7 se ha hecho en el ejercicio 8 obteniendo  $A^{ResH}$ ,  $A^{Res45}$  y  $A^{ResV}$ . Para calcular estos valores en nuestro caso basta con dividir los del ejercicio 8 por 1.05 (valor de  $A$ ) y multiplicarlos por  $A_H$ ,  $A_{45}$  y  $A_V$  respectivamente. Mostramos a continuación los resultados.

Supuesto 1 ( $A^{Res} = 1.01$ ).

$A^{ResH} = 1.0098$ ,  $A^{Res45} = 1.0076$  y  $A^{ResV} = 1.0036$ , que consiguen cumplir el objetivo.

Supuesto 2 ( $A^{Res} = 1.03$ ).

$A^{ResH} = 1.0318$ ,  $A^{Res45} = 1.0295$  y  $A^{ResV} = 1.0254$ . En este caso el valor de  $A^{ResH}$  está un poco por encima del objetivo, por lo que es preciso cambiar la distancia entre las gafas y los ojos para ajustarlo. Para ello conviene recordar que  $A^{ResH} = A_H \times A^{LCH} \times A^{Gafa}$  y exigir la condición  $A^{ResH} = 1.03$ . Como  $A_H = 1.055$  y  $A^{LCH} = 0.9854$ , tenemos que conseguir que  $A^{Gafa}$  tome el valor  $1.03 / (1.055 \times 0.9854) = 0.9908$  variando  $d$  en la expresión utilizada para  $A^{Gafa}$  en el ejercicio 8, con las potencias de vértice posterior del supuesto 2 (potencia nula en el  $OD$  y 0.5 D en el  $OI$ ).

$$A^{Gafa} = \frac{1 - dF'_{VEG(OI)}}{1 - dF'_{VEG(OD)}} = \frac{1 - d \times 0.50}{1 - d \times 0.00} = 0.9908$$

Se obtiene como resultado  $d = 0.0184$  m ( $b = 0.0154$  m). Naturalmente, los nuevos valores de  $A^{Res45}$  y  $A^{ResV}$  también cumplirán el objetivo de tolerancia de aniseiconia porque ya lo cumplían antes del cambio de  $b$ .



## Comentarios finales

En los ejercicios anteriores se ha pretendido, por una parte, mostrar el manejo de las fórmulas que permiten calcular tanto la aniseiconia estática como la dinámica, así como las demandas de vergencias asociadas a esta última. Por otra parte, se han practicado las técnicas de corrección de aniseiconia que se han explicado en la parte teórica, usando compensación con lentes de contacto, con gafas o con mezcla de ambas (compensación mixta). En el caso de compensación con gafas los cambios realizados en los espesores y curvas frontales nominales durante el proceso de corrección se han acompañado de razonamientos, para tratar de desarrollar las habilidades del lector. Es fácil de comprender que estos cambios pueden hacerse de diferentes maneras desde un punto de vista teórico. En la realidad habrá que hacerlos de forma que se sigan lo más fielmente posible las recomendaciones del fabricante de las lentes. Se ha comprobado también que, una vez construidas las gafas, puede corregirse la aniseiconia resultante (si no es igual a la prevista) mediante acercamiento o alejamiento a los ojos. Como en la deducción del método que se ha desarrollado aquí para el caso de compensación mixta se ha introducido algunas aproximaciones, hemos comprobado su validez calculando la aniseiconia residual de forma directa.

El método de corrección que hemos desarrollado es diferente del utilizado habitualmente. Normalmente se disminuye la aniseiconia estática hasta que alcanza un valor que se considera no sintomático. Después viene la posibilidad de actuar sobre las demandas de vergencias que origina la aniseiconia dinámica. En esta monografía se establece la gestión conjunta de la aniseiconia estática y la dinámica, basada en la minimización de esta última mientras se mantiene la primera en tolerancia. Por tanto, no se trata de disminuir la aniseiconia estática hasta que llegue al extremo más próximo del intervalo de tolerancia ( $A^{Tot-}$ ,  $A^{Tot+}$ ) sino hasta que llegue al valor que minimiza  $A_{Din}$  (que a veces corresponde al extremo más lejano del intervalo). En los ejercicios anteriores se ha hecho especial hincapié en cómo conseguir esto.

Si la tolerancia del paciente permite corregir la aniseiconia estática mediante lentes de contacto, se evita la aniseiconia dinámica y desaparecen los problemas. En caso contrario hay que utilizar gafas o compensación mixta. Para establecer conclusiones sobre las dos posibilidades, vamos a analizar los resultados de los ejercicios 4, 5 y 7 (el 9 no se ha elegido por dar resultados muy próximos a los del 7) en los supuestos 1 y 2, que no son viables mediante lentes de contacto.

En la tabla que sigue se recogen los valores de la aniseiconia dinámica que se obtiene con

ambos métodos. Puede observarse que, salvo en el primer caso, la compensación mixta permite corregir la aniseiconia obteniendo una aniseiconia dinámica notablemente menor.

Ejercicio	Supuesto	Compensación	Compensación
		con gafas	mixta
		$A_{Din} \%$	$A_{Din} \%$
4	1	+8.1	+8.5
4	2	+5.9	+4.0
5	1	+9.5	+6.2
5	2	+7.3	+1.6
7	1	-10.5	-5.5
7	2	-8.5	-1.4

Conviene también comparar las características de las gafas que hay que usar con cada método. Como ejemplo vamos a usar el parámetro  $e_{cb}$ , que definimos como el espesor central para lentes positivas y el espesor de borde para lentes negativas. En la tabla siguiente se muestran los resultados. Para el caso de compensación con gafas, los espesores centrales se han tomado de las tablas contenidas en los ejercicios 4, 5 y 7 y los espesores de borde se han calculado a partir de los espesores centrales contenidos en esas tablas. En el caso de compensación mixta, se han calculado los espesores centrales y de borde (conviene recordar que los espesores son iguales para los dos ojos) a partir de los defectos refractivos  $R_{EG}$  de las tablas. Puede observarse que los espesores son notablemente inferiores cuando se usa compensación mixta. A esto hay que añadir que las gafas usadas en la compensación mixta no llevan cilindro, lo que añade simplicidad a esta solución.

Ejercicio	Supuesto	Compensación		Compensación
		con gafas		mixta
		$e_{cb(OD)}$ (mm)	$e_{cb(OI)}$ (mm)	$e_{cb}$ (mm)
4	1	4.8	7.6	4.3
4	2	4.8	9.3	2.6
5	1	6	9.3	3.4
5	2	6	12	1.6
7	1	5.4	3.1	3.3
7	2	9.8	3.1	1.6

Teniendo en cuenta todo lo anterior, parece que la solución que hemos desarrollado con compensación mixta aventaja a la solución clásica con gafas.

## Referencias

- [1] Donders, F. C. (1864). On the anomalies of accommodation and refraction of the eye. London: New Sydenham Society.
- [2] Bannon, R. (1954). Clinical manual on aniseikonia. Buffalo: American Optical Co.
- [3] Halass, S. (1966). Aniseikonia – a survey of the literature. Am. J. of Optometry 43, 505-524.
- [4] Michaels, D. D. (1985). Visual Optics and refraction: A clinical approach. St. Louis: Mosby.
- [5] Remole, A., Robertson, K. M. (1996). Aniseikonia and anisophoria. Current concepts and clinical applications. Waterloo: Runestone Pub.
- [6] Scheiman, M., Wick, B. (1996). Tratamiento clínico de la visión binocular. Madrid: CIAGAMI.
- [7] Benjamin, W. J. (Ed.-2006). Borish's clinical refraction. St. Louis: Elsevier.
- [8] Brooks, C.V., Borish, I.M. (2007). System for Ophthalmic Dispensing. St Louis: Butterworth Heinemann/Elsevier.
- [9] Romero, J., García, J. A., García y Beltrán, A. (1996). Curso introductorio a la óptica fisiológica (Óptica ocular y psicofísica de la visión). Granada: COMARES.
- [10] Tunnacliffe, A. H. (1993). Introduction to visual optics. Canterbury: ABDO College of Education.
- [11] Atchinson, D. A., Smith, G. (2000). Optics of the human eye. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [12] Jalie, M. (2016). The principles of ophthalmic lenses. Old Woking: ABDO.