

## 8. ESPACIO DE PANUM

- 8.1. Área y espacio de Panum
- 8.2. Determinación del espacio y de las áreas de Panum
- 8.3. Diplopía fisiológica
- 8.4. Leyes de dirección visual
- 8.5. Disparidad de fijación. Fijación central, fijación excéntrica.

### 8.1 ÁREA Y ESPACIO DE PANUM

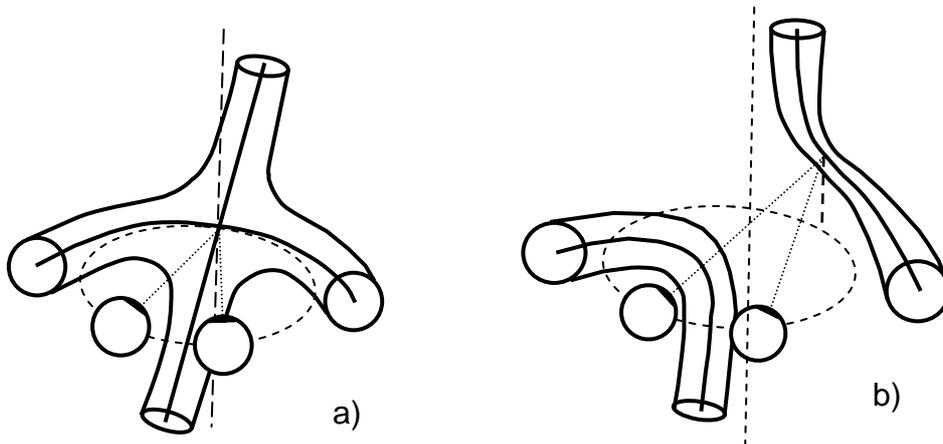
El horóptero es el producto de la existencia de una correspondencia retiniana exacta y rígida entre ambos ojos, de forma que el horóptero obtenido está constituido por dos líneas que configuran sus componentes horizontal y vertical (exceptuando el caso del punto de fijación en el infinito, para el cual el horóptero se convierte en una superficie). Sin embargo, existen puntos no ubicados sobre el horóptero que, sin estimular puntos retinianos correspondientes, dan lugar a una percepción fusionada debida a la existencia de áreas de Panum.

El **área de Panum** se define como el área en la retina de un ojo, cuyos puntos, al ser estimulados simultáneamente con un único punto de la retina del otro ojo, dan lugar a una percepción fusionada. Por lo tanto, cada punto de la retina de un ojo, tiene su área de Panum asociada en el otro ojo. Esto permite un rango de disparidades binoculares a lo largo de la que la imagen es percibida como simple y proporcionan a la correspondencia retiniana una cierta flexibilidad para la percepción fusionada de objetos no ubicados sobre el horóptero y de esta forma no se requiere una correspondencia retiniana tan precisa o estricta para la percepción de la haploplia.

Las áreas de Panum se traducen al espacio objeto en forma de espacio de Panum. Se define el **espacio de Panum** como el espacio situado entre los límites anterior y posterior de la visión haplopica, en el que se produce la percepción fusionada de los puntos objeto que no son fijados. Dichos puntos objeto forman sus imágenes sobre puntos retinianos no correspondientes pero

pertencientes a las áreas de Panum. El espacio de Panum constituye el área espacial en la que la fusión sensorial es mejor.

Hay que destacar que el espacio de Panum tiene tres dimensiones, por lo que gana una dimensión si lo comparamos con el horóptero.



**Figura 8.1.1:** Espacio de Panum para convergencia simétrica y un plano de mirada horizontal (a) y para convergencia asimétrica y un plano de mirada no horizontal (b). En ambas figuras se muestra el círculo de Vieth-Müller.

## 8.2 DETERMINACIÓN DEL ESPACIO Y LAS ÁREAS DE PANUM

El espacio de Panum se determina mediante el criterio de una imagen fusionada de un test biocular puntual. Alhazen, (s. XI), demostró que el lugar geométrico de las imágenes fusionadas no está en un plano frontal. Meissner (1954) fue el que primero utilizó este criterio sistemáticamente. Las imágenes son fusionadas cuando caen sobre puntos retinianos correspondientes, pero también son fusionadas cuando caen cerca del punto de exacta correspondencia. Este rango de disparidades dentro del cual sucede la fusión se conoce, tal y como hemos dicho, como área de Panum.

En la figura 8.2.1 se muestra un esquema indicando la forma habitual de medir la extensión horizontal del espacio de Panum.

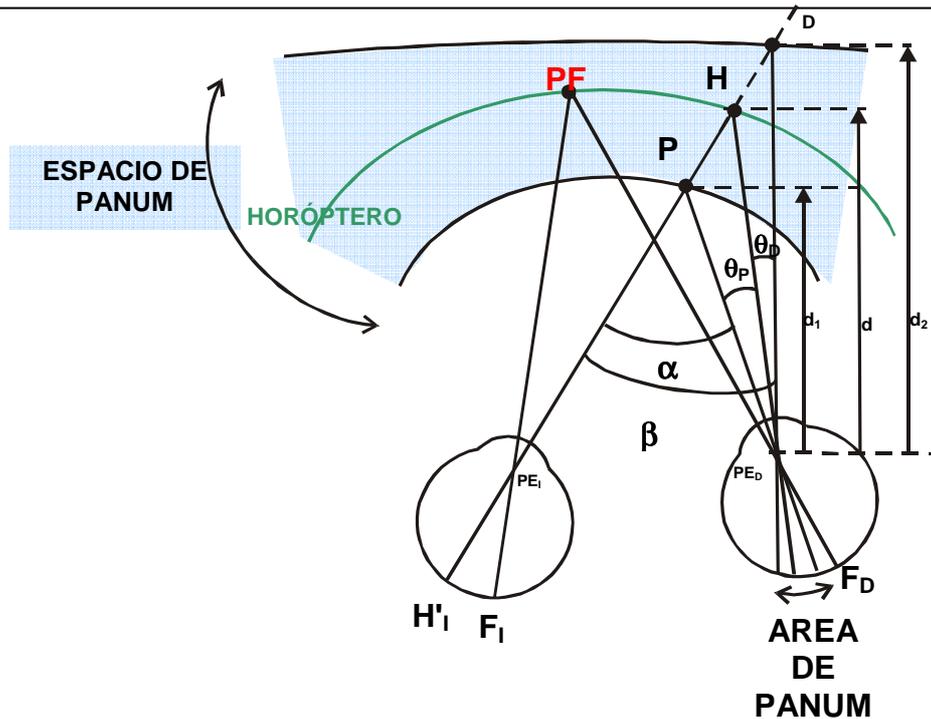


Figura 8.2.1: Esquema para la obtención del espacio y áreas de Panum.

El sujeto fija en PF y se presenta un objeto H desplazado lateralmente dentro del horóptero longitudinal. Movemos el objeto H manteniendo la dirección de la línea visual de uno de los ojos  $\overline{HH'1}$ , y se determinan las posiciones P y D en las que se produce diplopía. Para ello puede utilizarse el método de los límites: desde H alejamos la varilla hasta producirse diplopía,  $D_1$ ; desde un punto más alejado que  $D_1$  aproximamos la varilla hasta obtener visión simple,  $D_2$ ; continuamos la aproximación hasta tener diplopía de nuevo,  $P_1$ , y desde una posición más próxima que  $P_1$ , alejamos la varilla hasta obtener de nuevo visión simple,  $P_2$ .

Ahora, haciendo la media aritmética entre las posiciones  $D_1$  y  $D_2$ , determinamos D. Repitiendo el mismo proceso con  $P_1$  y  $P_2$ , conoceremos la posición de P.

El hecho de mantener el desplazamiento sobre la línea visual de uno de los ojos tiene como objetivo estimular constantemente el mismo elemento retiniano de dicho ojo, mientras que en el otro ojo variará el fotorreceptor estimulado. La

diplopía que se produce, tanto en P como en D, es de tipo fisiológico. Así, en P se da la *diplopía cruzada o heterónima*, y en D la *diplopía homónima*.

El tamaño del espacio de Panum para una excentricidad determinada vendrá dado por el valor angular  $\theta_D + \theta_P$ :

$$EP = \theta_D + \theta_P \cong \frac{\text{dip}}{d_1} - \frac{\text{dip}}{d_2}$$

$$EP \cong \text{dip} \left( \frac{d_2 - d_1}{d_2 d_1} \right) = \text{dip} \frac{\Delta d}{d^2} \quad (\text{radianes})$$

$$EP \cong \frac{10800}{\pi} \text{dip} \frac{\Delta d}{d^2} \quad (\text{minutos de arco})$$

en donde:

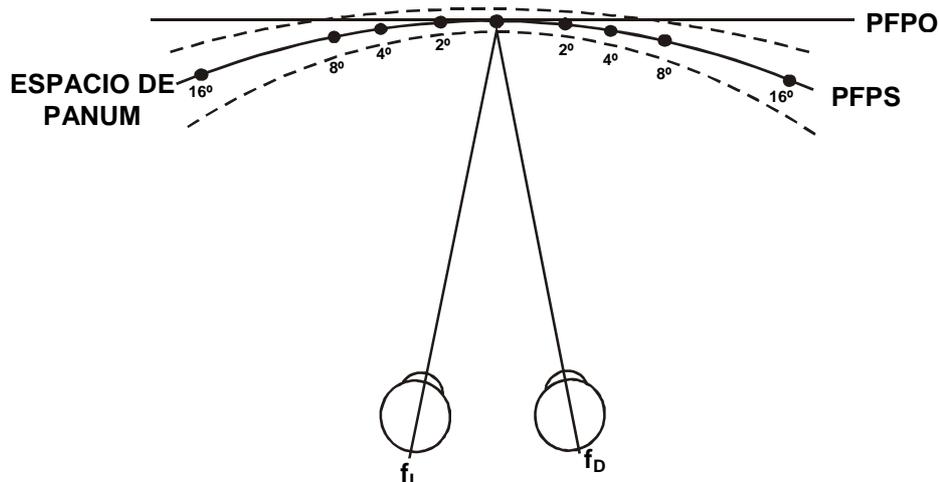
- dip es la distancia interpupilar,
- $\Delta d$  es la distancia que separa las posiciones P y D donde se produce la diplopía
- d es la distancia del objeto a la línea interpupilar (posición del objeto sobre el horóptero).

Los puntos P y D determinan los límites de visión haplópica para un punto de fijación determinado, y para una excentricidad concreta. Si vamos hallando estos límites para cada valor de excentricidad, delimitaremos la extensión del espacio de Panum. El valor angular ( $\theta_P + \theta_D$ ) nos permite conocer la proyección de los límites de visión haplópica (P y D) sobre la retina. Tal y como podemos observar en la figura 8.2.1 la proyección del espacio de Panum sobre la retina, para una excentricidad dada, se convierte en el área de Panum. Así pues, para una excentricidad dada, el valor angular del espacio y del área de Panum es el mismo. El concepto de área aparece al analizar la región del espacio en la que tenemos visión simple en la dimensión vertical. De todas formas, todo el interés del espacio y las áreas de Panum se suele centrar en las dimensiones horizontales, y muy pocos autores hacen referencia a estudios hechos en dimensiones verticales.

## DIMENSIONES DEL ESPACIO DE PANUM

El tamaño del espacio de Panum es variable, dependiendo de las condiciones bajo las que se mida. Pequeñas exposiciones y el control preciso de la fijación reducen su tamaño al determinado por el mecanismo de resolución binocular. Si las exposiciones son prolongadas y no se controla de forma precisa la fijación, aumenta el tamaño del espacio de Panum.

Al parecer, el movimiento de los ojos es el causante de la mayor parte de esta expansión. Por ejemplo, utilizando exposiciones largas mientras se mide la disparidad de fijación con aumentos de vergencia, Hebbord estimó que el tamaño del área de Panum foveal era de 23', mientras que Woo (1974) demostró que se incrementaba de 1 a 4 minutos de arco cuando la exposición pasaba de 5 a 100 ms. En la figura 8.2.2 se esquematizan las dimensiones del espacio de Panum en un plano horizontal.

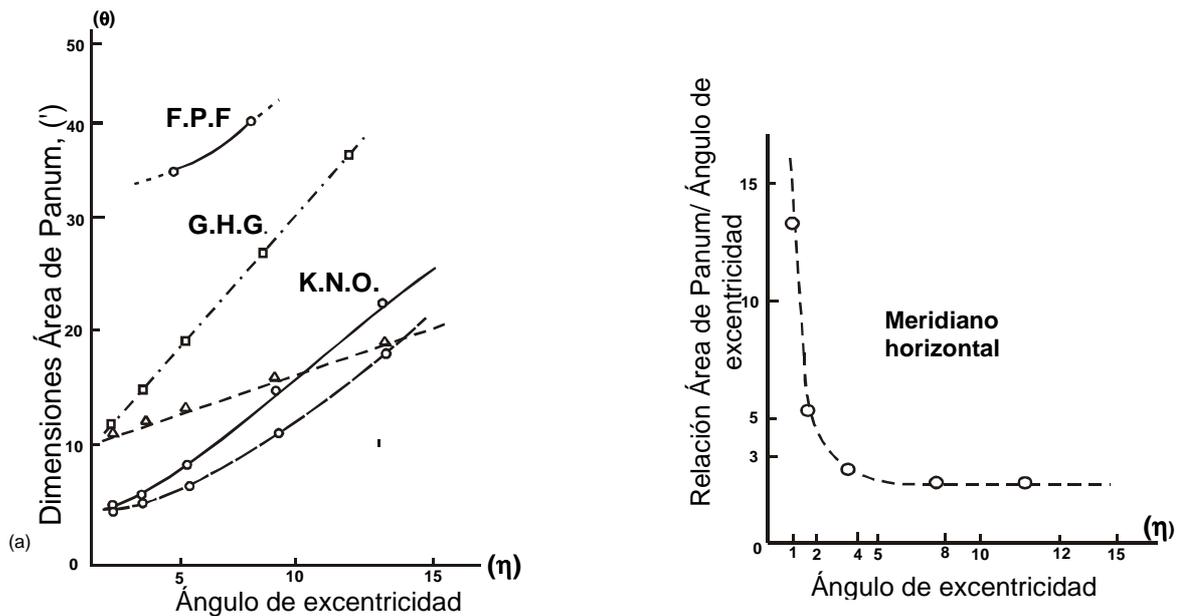


**Figura 8.2.2:** Representación del espacio de Panum en el plano de mirada.

La dimensión de las áreas de Panum en función del ángulo de excentricidad queda representada en la figura 8.3.2. En la figura 8.2.3 (a), se observa que el tamaño de las áreas de Panum aumenta al alejarnos de la fovea. En la figura 8.2.3 (b) tenemos representada la relación entre la extensión del área de Panum y el ángulo de excentricidad en tantos por ciento. Se aprecia un rápido

decrecimiento desde la mácula para, estabilizarse a partir de la excentricidad de 5° (ello implica que a partir de 5° de excentricidad el crecimiento del área de Panum es proporcional al ángulo de excentricidad).

La extensión vertical de las áreas de Panum se mide mediante un haploscopio, que permite controlar fácilmente la separación de los detalles vistos por los dos ojos. Estas dimensiones verticales son ligeramente menores y, por lo tanto, la forma de las áreas de Panum es elíptica.



**Figura 8.2.3:** Dimensión de las áreas de Panum en función de la excentricidad (a) y relación porcentual entre el tamaño del área de Panum y el ángulo de excentricidad (b).

### 8.3 DIPLOPIA FISIOLÓGICA

Los conceptos que se detallan a continuación tienen que contemplarse desde la perspectiva de la visión binocular/biocular:

- *Haplopia*: consiste en la percepción de un objeto, o de su equivalente haploscópico, en una única dirección visual, existiendo fusión. O, lo que es lo mismo, visión simple y fusionada.

- Diplopía: consiste en la percepción de un objeto, o de su equivalente haploscópico, en dos direcciones visuales diferentes.

Esta definición de diplopía es la más corriente, y es también conocida como diplopía heterotópica o heterolocal. El concepto contrario sería el de diplopía homotópica u homolocal, que consiste en la percepción de dos objetos distintos en una misma dirección, como superpuestos (un ejemplo de ella sería el del esquema representativo de la ley de las direcciones visuales idénticas). Es necesario remarcar que la definición de haplopia, de no incorporar el concepto de fusión, sería equivalente a la de diplopía homotópica.

Habiendo diferenciado los conceptos de haplopia y diplopía, pasamos a definir la *diplopía fisiológica* como la diplopía que tiene lugar, en condiciones normales de visión binocular, para los objetos que estimulan puntos retinianos no correspondientes situados fuera de las áreas de Panum.

La diplopía fisiológica puede clasificarse en:

- *Homónima*: diplopía en la que la imagen vista por el ojo derecho se encuentra a la derecha de la imagen vista por el ojo izquierdo. Esta diplopía es la asociada a los objetos que se encuentran más allá del espacio de Panum (fig. 8.4.1).
- *Heterónima*: diplopía en la que la imagen vista por el ojo derecho se encuentra a la izquierda de la imagen vista por el ojo izquierdo. Esta diplopía es la asociada a los objetos que se encuentran entre el observador y el límite anterior del espacio de Panum (fig. 8.4.1).

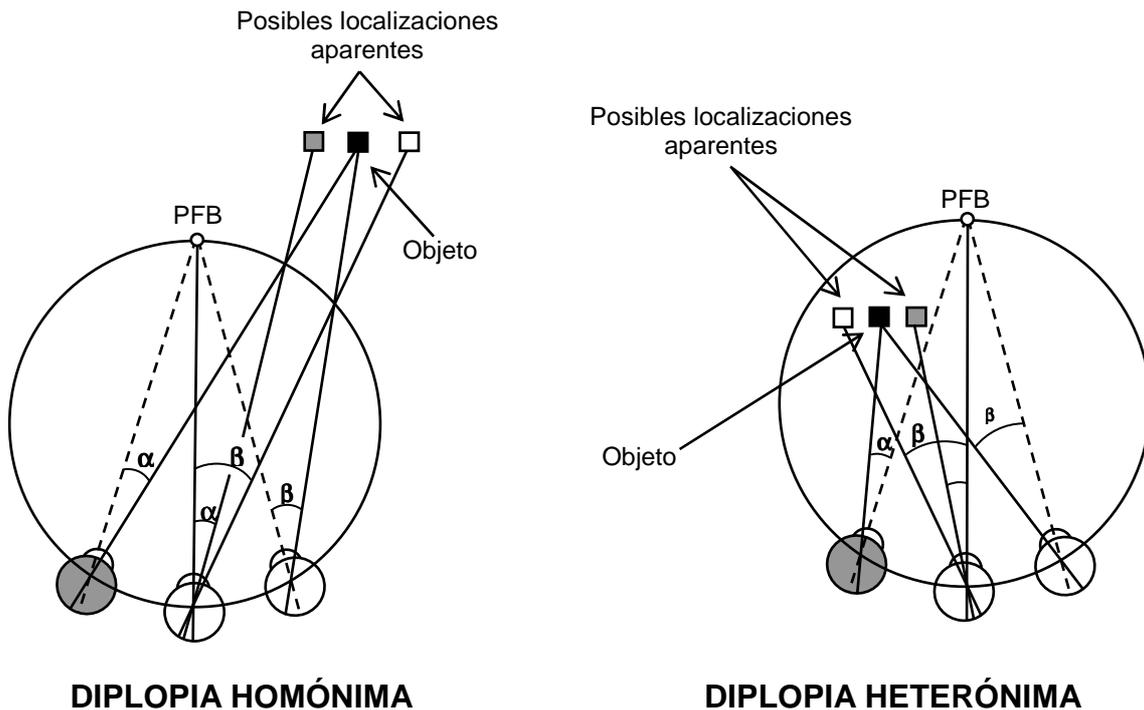


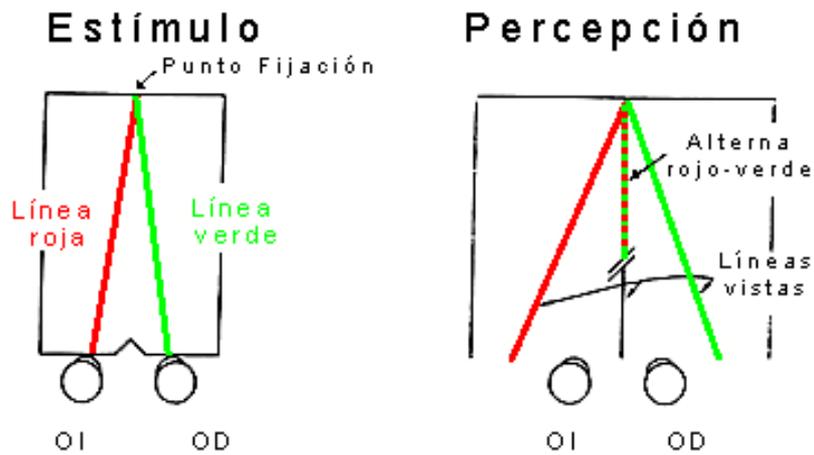
Figura 8.3.1: Esquema de los tipos de diplopía fisiológica.

#### 8.4 LEYES DE DIRECCIÓN VISUAL

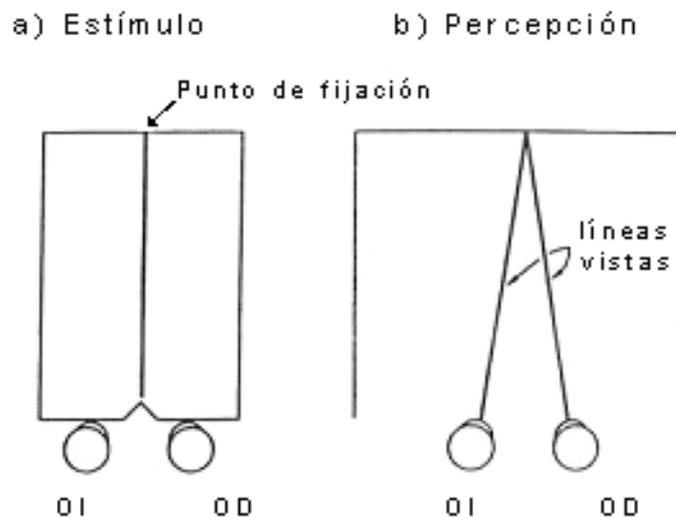
En 1792 Wells enunció sus proposiciones y mostró sus experimentos, pasando a ser un punto clave en la comprensión de las actuales leyes de la dirección visual. Antes de entrar a definir las tres proposiciones de Wells es necesario definir el *eje común*. El eje común es la línea que pasa por el eje cíclope y por el punto de fijación binocular (PFB).

- *Proposición I:* Los objetos situados en el eje visual no se perciben en esta línea sino en el eje común.
- *Proposición II:* Los objetos situados en el eje común no se perciben en esta línea, sino en el eje visual del ojo con el que no se están viendo.
- *Proposición III:* Los objetos situados en cualquier línea que pasa el PFB y que corta a la línea interpupilar en cualquier sitio, no se perciben en esta línea, sino en otra que pasa por el PFB y corta a la línea interpupilar en un punto que dista a media dip (distancia interpupilar) respecto a la

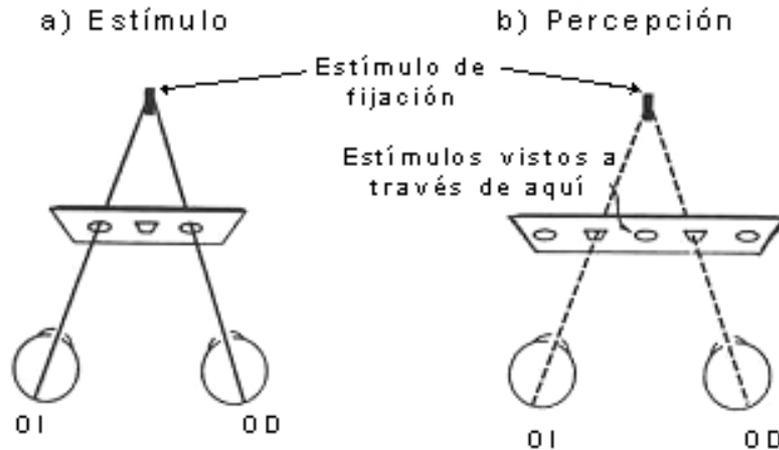
intersección original, hacia la izquierda si son los objetos vistos por el ojo derecho, o hacia la derecha si los objetos son vistos por el ojo izquierdo.



**Figura 8.4.1.** Demostración de las proposiciones I y III. Cuando el estímulo es visto binocularmente y fijado en la intersección de las líneas roja y verde, lo percibe alternando el rojo y el verde.



**Figura 8.4.2.** Demostración de la proposición II. Cuando el estímulo es visto binocularmente y fijado al final de la línea, lo percibe como si fueran dos líneas tal como muestra en la figura b.



**Figura 8.4.3.** Demostración de las proposiciones I, II y III. Ventanas mágicas. Cuando el estímulo es visto binocularmente como se muestra en a), lo percibe tal y como se observa en b).

### 8.5 DISPARIDAD DE FIJACIÓN

Se conoce como *disparidad de fijación* a la diferencia entre el ángulo binocular que subtiende el punto de fijación y el ángulo que realmente forman las dos líneas visuales principales.

Se trata de un ligero desalineamiento manifiesto de las líneas visuales principales aún y existiendo visión binocular simple y fusión sensorial central. Este desalineamiento puede ser horizontal, vertical o torsional; sea como sea, la magnitud de la desviación tiene lugar dentro de las áreas fusionales de Panum, resultando con ello la percepción simple de los objetos fijados. La disparidad de fijación no es una desviación heterotrópica porque se encuentra en los límites fisiológicos de la visión bifoveal normal.

Ogle sugirió que la magnitud de la disparidad de fijación dependía de la cantidad de inervación de los músculos extraoculares durante la fusión. Esta inervación está relacionada con la magnitud de la heteroforia, la magnitud de la convergencia fusional compensadora y la complejidad y detalles del objeto observado.

Su análisis clínico pocas veces contempla la disparidad de fijación torsional. Nosotros restringiremos su estudio al plano de mirada; se cuantifica dando la

diferencia entre el ángulo que forman las dos líneas visuales principales y el ángulo binocular que subtende el punto de interés:

$$DF = C_{\text{real}} - C_{\text{estímulo}}$$

en donde:

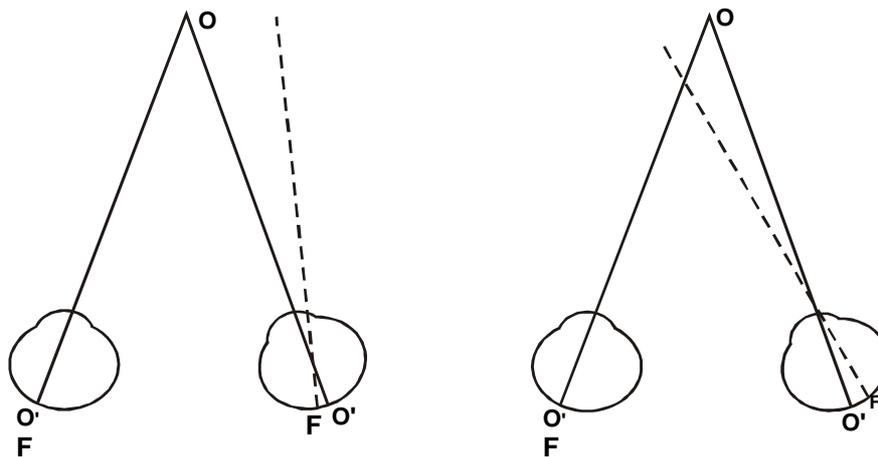
DF es la disparidad de fijación en minutos de arco,

$C_{\text{real}}$  es el ángulo que forman las dos líneas visuales principales, y

$C_{\text{estímulo}}$  es al ángulo binocular que subtende el punto de interés.

Si  $DF < 0$  hablamos de exodisparidad e implica que el sujeto presenta un déficit de convergencia respecto a la requerida para fijar binocularmente el objeto de interés (figura 8.5.1 (a)).

Si  $DF > 0$  hablamos de endodisparidad o esodisparidad, e implica que el sujeto presenta un exceso de convergencia respecto a la requerida para fijar binocularmente el objeto de interés (figura 8.5.1 (b)).



**Figura 8.5.1:** Exodisparidad (a) y endodisparidad (b) de fijación.

La disparidad de fijación es un concepto íntimamente ligado al sistema motor, en el sentido de que los sujetos no son conscientes de que sus ojos no están situados como deberían estar, sino ligeramente desviados, de manera que la imagen del punto de fijación no cae exactamente sobre la fóvea. Esta situación da discomfort y produce molestias al paciente. (Es frecuente confundir la disparidad de fijación con la disparidad binocular o retiniana. Esta última no tiene relación con el sistema oculomotor, y podría considerarse como el estímulo que se le produce al sistema visual cuando se realizan experiencias sensoriales relacionadas con la estereopsis.)

La medida de la disparidad de fijación puede ser hecha para cualquier distancia de fijación. Los instrumentos para este tipo de medición tienen todos los mismos principios generales: bajo condiciones de iluminación natural, el paciente fusiona un test de fusión plano. Estos tipos de test incorporan unas miras vernier, vistas cada una con un ojo mediante unos filtros polarizados cruzados. De esta forma el paciente puede notar pequeños desalineamientos. Estas miras vernier también sirven como indicios de supresión: si una línea no es vista, indica supresión central. Generalmente se utilizan dos tipos de instrumentos; los que dan una medida directa de la disparidad de fijación como, por ejemplo, el disparómetro de Sheedy, la carta de Wesson y la carta de Woolf, y los que solamente miden la foria asociada (“asociada” como contraposición a la foria “disociada”, sin fusión), como la unidad de Mallett y el test vectográfico. La foria asociada es la cantidad de prisma necesario para neutralizar la disparidad de fijación. Conocer el signo de la disparidad de fijación y la cantidad de prisma necesario para reducirla a cero es de importancia clínica.

Anteponer un prisma delante de uno de los ojos puede inducir disparidad de fijación. De hecho, un prisma de base nasal induce endodisparidad puesto que, debido a las áreas de Panum, el ángulo que forman las líneas visuales principales es menor que el que deberían formar para que la imagen del punto de fijación se formara sobre la fóvea de cada ojo. Mediante un prisma de base temporal se obtiene exodisparidad. Anteponiendo prismas de base lateral de distinto valor y signo, y determinando en cada caso el valor de la disparidad de fijación, se puede obtener, para una distancia de observación determinada, la

curva de disparidad de fijación (también conocidas como curvas de disparidad de fijación con vergencia forzada) (figura 8.5.2).

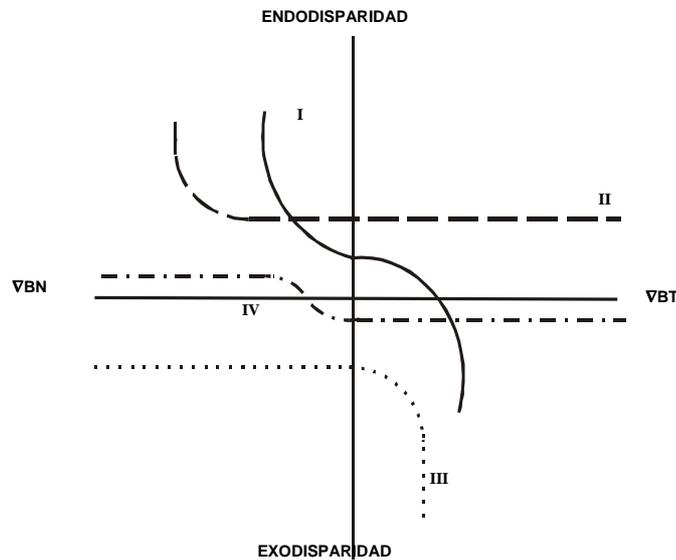


Figura 8.5.2: Los cuatro tipos de curvas de disparidad de fijación descritos por Ogle.

Ogle et al. Demostró que las curvas de disparidad de fijación pueden ser también generadas mediante lentes para estimular la vergencia forzada. Sin embargo Wick y Joubert encontraron cuatro tipos de curvas de disparidad inducida con lentes que son análogas, pero no totalmente consistentes con las halladas por Ogle et al. Mediante simulación con prismas.

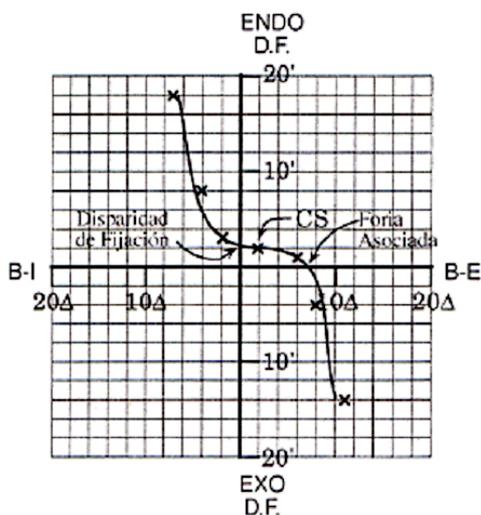


Figura 8.5.3: En esta curva tipo I se muestra la foria asociada (corte eje horizontal) y la disparidad de fijación (corte eje vertical)

Hablaremos de *fijación central* cuando la imagen del objeto de interés cae dentro de las áreas de Panum y de *fijación excéntrica* cuando la imagen del objeto de interés cae fuera de las áreas de Panum.