



# EL HORÓPTERO EMPÍRICO

## AUTOR

**Thomas Salmon:** Northeastern State University, EEUU

## PAR REVISOR

**Scott Steinman:** Southern California College of Optometry, EEUU

## REVISIÓN DEL HORÓPTERO TEÓRICO

- P. ¿Qué es el horóptero?
- P. ¿Qué es el círculo de Vieth-Müller ?
- P. ¿Qué conceptos se asumen para dibujar el círculo de Vieth-Müller ?
- P. ¿Cuáles son algunas características del círculo de Vieth-Müller?

## AREA DE PANUM

Los objetos localizados exactamente en el horóptero se ven fusionados, pero, ¿qué sucede si el objeto está levemente afuera del horóptero?

Dentro de un rango de distancia corto, hacia cualquier lado del Horóptero, los objetos seguirán siendo fusionados. Siendo específicos, estos objetos caen sobre puntos retinianos no correspondientes.

- P. Basándose en las Leyes de Hering, ¿puede usted explicar por qué caen sobre puntos retinianos no correspondientes?
- P. Ya que los puntos en el horóptero no tienen disparidad (es decir, tienen la misma dirección visual en cada ojo), los puntos por fuera del horóptero tienen disparidad, la cual aumenta a medida que se alejen más del horóptero. Sin embargo, si la disparidad no es tan grande, el cerebro es capaz de lograr una fusión sensorial. La zona en cada lado del horóptero en la que aún es posible ver los objetos sencillos (es decir fusionados), se conoce como **el espacio de panum**. Esto corresponde a un área en la retina llamada **área de panum**.

El espacio de Panum es una zona pequeña a cada lado del horóptero en el punto de fijación que se expande hacia la periferia. Esto reduce la probabilidad de diplopia en la periferia al fijar objetos planos, tales como un libro o una página. Ya que el horóptero tiene una forma curva, superficies planas como un libro, se alejan mucho más del horóptero en la visión periférica, pero, se mantienen en el espacio de panum. Recuerde que los campos receptivos y la agudeza visual son menores en la periferia.

El área de Panum no tiene un tamaño determinado, pero varían según las condiciones del estímulo. Es más grande para objetos grandes en movimiento y más pequeña para objetos pequeños estacionarios.

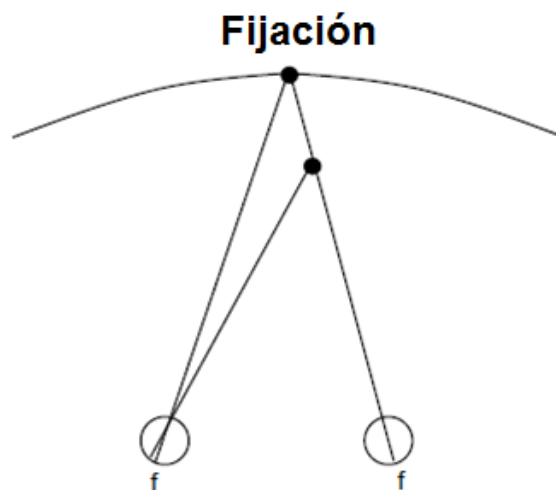
Los objetos que están lejos del horóptero y por fuera del área de Panum, generan una disparidad tan grande que no puede ser fusionada. Por tanto se perciben en diplopia. Recuerde que una disparidad grande, significa que existen grandes diferencias en las direcciones visuales para cada ojo según el objeto diplópico. Un objeto visto en dos direcciones visuales distintas es por definición diplopia.

## ESTEREOPSIS

Para pequeñas cantidades de disparidad, es decir, para objetos localizados en una región o un lado del horóptero, el cerebro analiza la disparidad y es capaz de computar la distancia relativa del objeto al horóptero. Este sentido de percepción de profundidad que es estimulado por cantidades leves de disparidad retiniana se conoce con el nombre de **Estereópsis**.

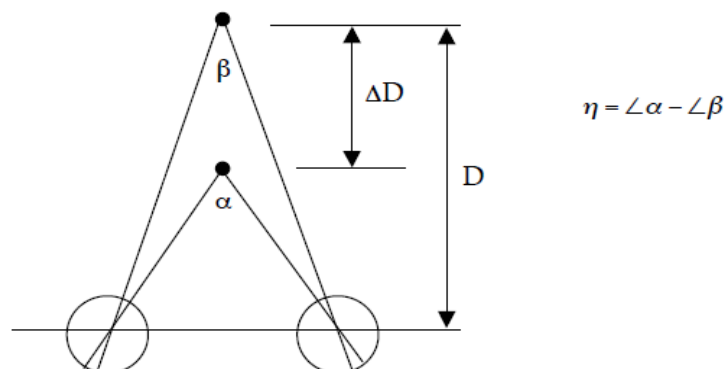
En 1838, Wheatstone descubrió esto al observar que una pequeña cantidad de disparidad retiniana en las imágenes de un objeto generaba una gran percepción de profundidad. *Los objetos localizados en el horóptero, no tienen disparidad, y por tanto, parecen estar situados a la misma distancia relativa del observador y el punto de fijación.*

Si, por otro lado, al fijar un punto en el horóptero, otro objeto es movido hacia el observador por fuera del horóptero, una pequeña cantidad de disparidad retiniana se generará sobre las imágenes retinianas del objeto cercano. Esto se ilustra en la figura 19.1.



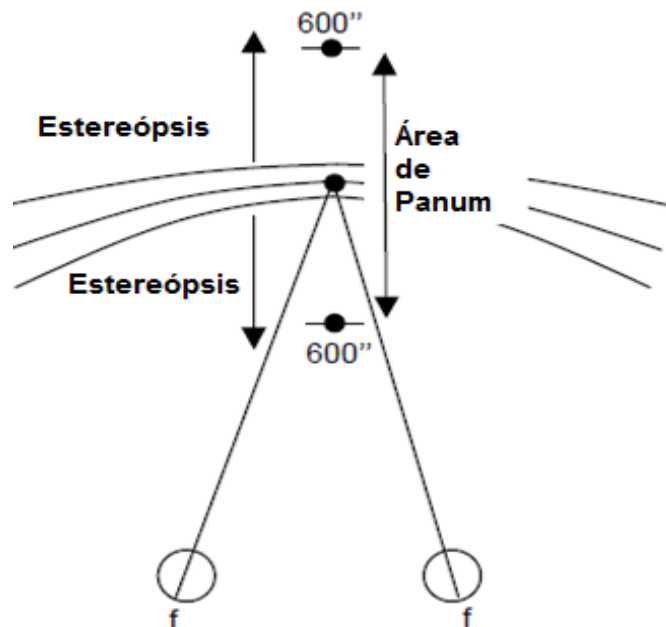
**Figura 19.1** El mover un objeto un poco afuera del horóptero genera una pequeña cantidad de disparidad retiniana que estimula la percepción de profundidad estereoscópica.

Si la disparidad es muy pequeña, no será suficiente para generar un sentido de profundidad estereoscópica. La mínima distancia que un objeto puede ser movido por fuera del horóptero y estimular el sentido de la Estereópsis, es lo que se conoce con el nombre de umbral para la Estereópsis. La disparidad generalmente se expresa en términos angulares; por ejemplo, 40 segundos de arco. Esto puede computarse como lo muestra la figura 19.2 al igual que la diferencia entre el ángulo de convergencia y el punto de fijación para un estímulo estereoscópico (ángulo  $\alpha$  y  $\beta$ )



**Figura 19.2** Geometría de la disparidad. La letra ( $\eta$ ) es usada para disparidad.

La figura 19.3 muestra el rango, a cada lado del horóptero, para la estereópsis y el área de Panum. Esto es para un objeto estacionario que está localizado cerca al punto de fijación. El área de Panum se extiende aproximadamente  $\pm 600$  segundos de arco (10 minutos de arco) hacia cada lado del horóptero. Note que dentro del rango estrecho cerca al horóptero, no existe Estereópsis. Esto sucede porque la disparidad es muy pequeña para estimular la Estereópsis.



**Figura 19.3** Relación entre el horóptero, el área de Panum y la zona de Estereópsis.

## EL HORÓPTERO EMPÍRICO

El círculo de Vieth-Müller representa el horóptero teórico, pero, siempre es posible medir el horóptero en un consultorio. Cuando se mide el horóptero se denomina con el nombre de **horóptero empírico**. Muchas técnicas han sido inventadas para medir el horóptero de una persona.

### Técnica PFPA

Hering logró medir el horóptero empírico alineando una serie de puntos localizados en cada lado del punto de fijación. En este caso, los puntos que son equidistantes al observador parecen caer en un plano paralelo a la cara del observador. Un horóptero medido con esta técnica es conocido con el nombre de horóptero **plano fronto-paralelo aparente (PFPA)**. Entre los métodos para medir el horóptero, éste es el más popular, ya que es bastante sencillo. La **Fig.4-5 de Steinman ilustra la técnica PFPA**.

Además del método PFPA se han desarrollado otras técnicas para medir el horóptero empírico. Entre estas están el horóptero de medida de umbral diplópico, el horóptero de estéreo agudeza y el horóptero de nonius.

### Técnica de medición de umbral diplópico

Dado que el verdadero horóptero debería estar ubicado en el centro del área de Panum, otra forma para medir el horóptero empírico es encontrar los límites del área de Panum y luego computar su centro. El paciente fija un bastón central y los bastones periféricos se mueven hacia adentro o hacia afuera hasta que se perciba diplopia. Esto se repite muchas veces; los umbrales de diplopia cercana y lejana son demarcados para delinear el área de Panum y el punto central se computa para encontrar el horóptero (**Steinman Fig 4-7, 4,8**). El problema con esta técnica es que es difícil para los pacientes decir cuando ven doble, especialmente en la periferia, donde se alarga el área de Panum.

### Horóptero de estereoagudeza

Otra forma para medir el horóptero es medir los límites proximales y distales de la zona estereoscópica. (**Steinman Fig. 4-9**)

### Horóptero de Nonius

La técnica de nonius es considerada como la más precisa para medir el horóptero empírico. Esta técnica recibe ese nombre en honor a Nuñez, un portugués matemático que desarrolló una escala de vernier en 1500. Tschermak, en 1900 fue la primera persona en usar esta técnica binocular de vernier para medir el horóptero. El aparato de Nonius es similar al implemento de Howard-Dolman, excepto en que la parte superior de las mitades de las líneas son vistas por un solo ojo y la mitad inferior es vista por el otro ojo. Esto puede lograrse usando filtros polarizadores o máscaras. Al fijar el bastón central, el paciente debe alinear la mitad superior e inferior de cada bastón periférico (Ver **Fig. 24-7, in Bishop**, Binocular Vision, and in Adler's Physiology of the Eye, 8th edition, p. 626); para referencias adicionales, ver Steinman **Fig. 4-2** (p. 84).

Este es un tipo de ejercicio de Vernier y por lo tanto es muy preciso. Ya que las mitades superiores e inferiores se ven de manera monocular, los bastones nunca se fusionan y estimulan puntos no correspondientes (diferentes direcciones visuales) a medida que están por fuera del horóptero. Por lo tanto parecieran estar mal alineados. Los bastones solo se verán alineados cuando tengan la misma dirección óculo-céntrica, que es como se define el horóptero teórico. El horóptero de nonius es por lo tanto considerado como el método más directo y puro para medir el horóptero real. En todas estas técnicas, el horóptero generalmente no se mide más allá de 15 ° de excentricidad. Incluso a 12°, las técnicas de PFPA y diplopia son muy difíciles de emplear, pero el alineamiento de nonius sigue siendo posible.

## COMPARACIÓN DEL HORÓPTERO EMPÍRICO Y TEÓRICO

La figura 19.4 muestra como una gran cantidad de horópteros empíricos, medidos en diferentes distancias de fijación con el método PFPA, son comparados con el círculo de Vieth-Müller (horóptero teórico). Recuerde que en teoría, el horóptero debería ser un círculo, aunque el diámetro del círculo aumentará en distancias de fijación más grandes. Al infinito, debería llegar a ser una línea plana. El horóptero empírico se aleja del horóptero teórico en muchas formas:

- Los bastones (puntos) no se localizan en el círculo de Vieth-Müller.
- La partida desde el círculo de Vieth-Müller es diferente para diferentes distancias de fijación.
- La forma del horóptero empírico cambia para diferentes distancias de fijación y no siempre es circular.

Para distancias de fijación cortas el arco es cóncavo hacia el observador. En alguna distancia, conocida como la **distancia abathica**, el horóptero PFPA se vuelve plano. La distancia abathica puede ser de 1 a 6 metros, dependiendo del paciente. Más allá de dicha distancia el horóptero PFPA se vuelve convexo. La diferencia entre el horóptero medido y el teórico para esa distancia se conoce como desviación **Hering-Hillebrand**. Esto se muestra en la figura 19.4.

La técnica de nonius arroja resultados un poco distintos a los obtenidos con el método PFPA, pero, generalmente no coincide con el círculo Vieth-Müller, aunque son más cercanos que los métodos de PFPA o diplopia. El horóptero de nonius también se vuelve más plano con una distancia mayor.

Teóricamente, para que exista una fijación simétrica en la línea media, el horóptero existe solo en el plano horizontal y en plano vertical que pasa a través del punto de fijación. Todos los otros puntos en el espacio estimularán zonas retinianas dispares. Con una fijación asimétrica, el horóptero se distorsiona en una curva compleja (**Fig.2.5, 6 de Tyler**, en el capítulo de Christopher Tyler, the horóptero and binocular fusion, in binocular vision, editado por Regan, 1991) Los horópteros mostrados en Tyler muestran puntos con disparidad cero en un espacio tridimensional conocidos como **puntos horópteros**.

Nuestro objetivo es entender los principios básicos de la fusión binocular, y con este propósito, es suficiente limitar la concepción del horóptero solo al plano horizontal. El horóptero generalmente se mide alineando bastones verticales, como en el equipo de **Howard Dolman**

Ya que se emplean bastones verticales para medir el horóptero, el horóptero horizontal algunas veces es llamado **Horóptero longitudinal** (ver Steinman **Fig 4.2 o Fig 24.4 en Adler's** Physiology of the eye, ninth edition, 1992, p, 776)

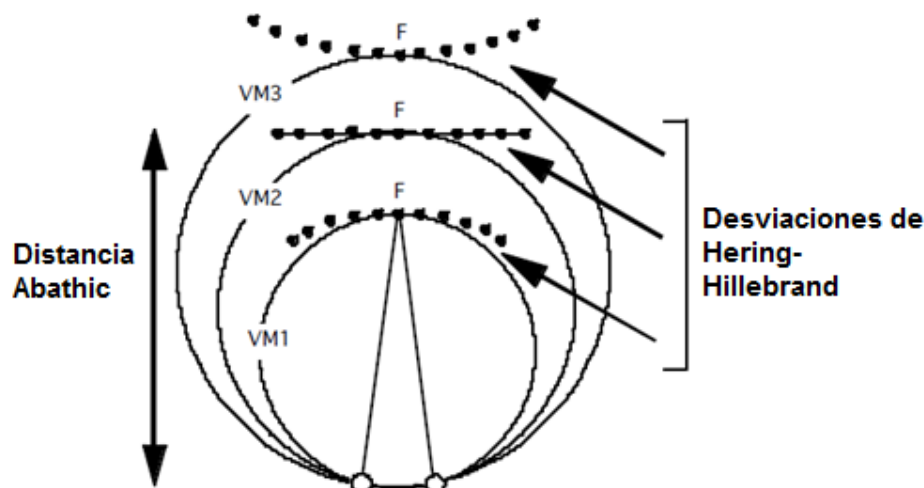
## RAZÓN DE LA DESVIACIÓN HERING-HILLEBRAND

¿Por qué no coinciden los métodos empíricos, incluso el de nonius, con el círculo de Vieth Müller? Esto puede deberse a las irregularidades en la distribución de las direcciones visuales en ambos ojos o a la distorsión óptica en la imagen retiniana. Esto no se tiene en cuenta en el círculo de Vieth-Müller. Recuerde lo que se asume para el círculo Vieth-Müller

- Ambas retinas son esféricas
- Ambas retinas tienen una distribución simétrica de señales locales a lo largo de las zonas nasales y temporales.
- La retina izquierda y derecha tienen el mismo tamaño y localización geométrica

### Retinas esféricas

Asumir que los ojos son redondos es lo más común, sin embargo, esto no puede asumirse para todos, especialmente para ojos miopes. Éstos pueden tener globos oculares elongados, lo que puede distorsionar el horóptero. No obstante, la desviación Hering-Hillebrand se ve incluso en ojos normales.

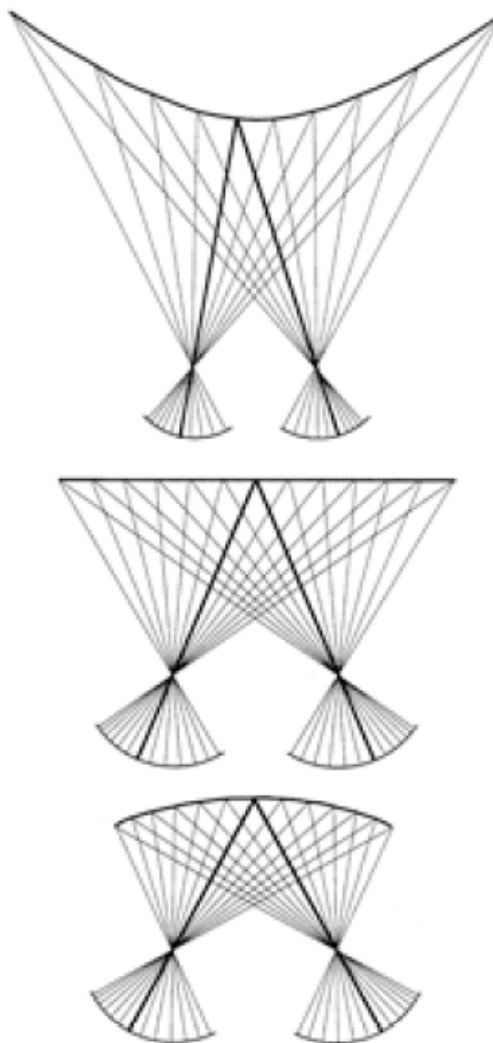


**Figura 19.4** Ejemplos del horóptero PFA (puntos) medido en diferentes distancias de fijación. También vea **Steinman Fig. 4-17**.

### Asimetría retiniana

Una explicación para la desviación de Hering-Hillebrand es la distribución asimétrica de las direcciones visuales óculo-céntricas (señales locales) en cada retina. Recuerde que al construir el horóptero, la dirección visual asociada con la retina nasal en un ojo se une a la dirección visual de la dirección temporal del otro ojo. Los estudios histológicos muestran que los fotorreceptores se agrupan de una manera más densa en la retina nasal que en la temporal. Esta asimetría nasal-temporal puede ser una causa de por qué se aleja el horóptero al círculo de Vieth-Müller. Eso también puede explicar porque la forma del horóptero puede cambiar de cóncava a plana y luego a convexa, con diferentes distancias de fijación (Figura 19.5).

Además de las asimetrías en las señales locales en un ojo, la distribución entre ambos ojos puede no ser congruente. Esto también podría causar distorsión del horóptero. Un mapeo asimétrico de la retina a la corteza en ambos ojos, también podría hacer que el horóptero se aleje de la teoría del círculo de Vieth-Müller.

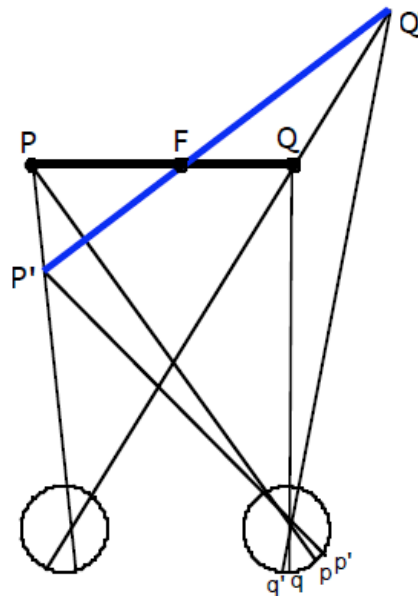


**La Figura 19.5.** Muestra la distorsión esperada del horóptero causada por compresión de las señales locales temporales. (From Fig. 2.16 in Howard & Rogers, *Binocular Vision*, p. 54 and <http://www.perceptionweb.com/perc0599/editorial.html>)

### Distorsión óptica

La distorsión óptica puede contribuir a la desviación Hering-Hillebrand, especialmente si la magnificación óptica entre ambos ojos es distinta. Si la imagen de un ojo se magnifica, el horóptero PFPA se inclinará hacia el punto de fijación, como lo muestra la figura 19.6 (redibujada de la 11.6 en lectura). Los verdaderos puntos finales en el plano fronto-paralelo se indican con los puntos P y Q. Asumiendo que no hay magnificación de la imagen, la imagen retiniana de estos puntos serían los puntos p y q en ambas retinas. Una imagen magnificada a la derecha se representa con los puntos p' y q'. Al seguir las proyecciones de estos puntos hacia afuera del ojo y encontrar la intersección con su línea visual correspondiente izquierda, se puede determinar la localización percibida del plano fronto-paralelo. **El lado magnificado aparenta estar más lejos.**

Ya que el plano fronto-paralelo parece estar inclinado más allá del ojo con mayor magnificación, el paciente moverá esos bastones más cerca para hacerlos coincidir con el plano fronto-paralelo. Por tanto, si el horóptero está inclinado, indica una magnificación retiniana mayor en el lado inclinado más cercano al ojo.



**Figura 19.6** La distorsión óptica hace que el plano fronto-paralelo se incline. (See Borish Fig. 5-18)

### Disparidad de fijación

La disparidad de fijación también puede hacer que el horóptero empírico se aleje del horóptero teórico. En una disparidad de fijación, los ejes visuales de ambos ojos fallan al converger sobre el punto de fijación, ya que aun están hipo o hiper-convergiendo con respecto al punto de fijación, por lo tanto aun tienen una disparidad residual. Steinman explica esto claramente en la pag.87-88.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006.
- Ciuffreda KJ and Tannen B. **Eye Movement Basics for the Clinician**. Mosby, St. Louis, 1995.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- Griffin JF. **Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy, 3rd Edition**, Butterworth-Heinemann, 1995.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Kaufmann, PL. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- McCormack GL. In **Borish's Clinical Refraction WB Saunders**, Philadelphia. (1998),
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Schor CM and Ciuffreda KJ. **Vergence eye movements: Basic and clinical aspects**. Butterworth, Michigan. 1983.
- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 4, pp 83-100.
- Tyler CW. **The horopters and binocular fusion**. In Regan D, Binocular Vision. London: Macmillan; 1991
- Von Noorden GK. **Binocular Vision and Ocular Motility - 5th Edition**. Mosby, St. Louis. 1996.