



## ESTEREOPSIS II

### AUTOR

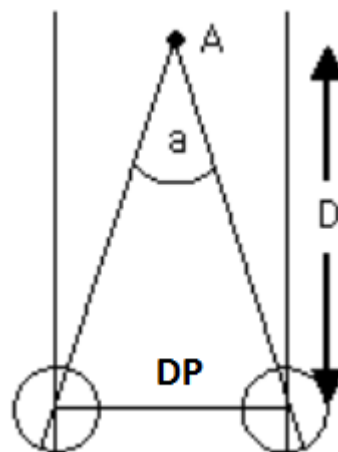
**Thomas Salmon:** Northeastern State University, USA

### PAR REVISOR

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

### DISTANCIA MÁXIMA DE LA ESTEREOPSIS

Cuál es la máxima distancia a la que la ubicación de los objetos se puede juzgar mediante la estereopsis? Por ejemplo, usando la estereopsis, se puede saber que la luna está más cerca que las estrellas? Puede un piloto decir que otra aeronave está más cerca que el horizonte usando la estereopsis? Para calcular la distancia máxima a la que la estereopsis es posible, se debe preguntar, si un objeto se encuentra en el infinito, qué tan cerca se debe aproximar al observado antes de que pueda decir que está más cerca que el infinito, utilizando sólo la estereopsis?



**Figura 27.1** Distancia máxima a la cual la estereopsis es posible.

Dado que el ángulo de paralaje binocular para el infinito es cero, el objeto A en la Figura 27.1 primero se verá en profundidad estereoscópica cuando el ángulo  $a$  sea igual al umbral de estereoagudeza. Dado que el ángulo " $a$ " que se conoce, y la DP también es conocida, es fácil de calcular la distancia D. En radianes es:

$$\angle a = \frac{PD}{D} \Rightarrow D = \frac{PD}{\angle a}$$

Si la DP = 0.064m y el ángulo ' $a$ ' es 20 segundos de arco ( $9.696 \times 10^{-5}$  radianes), la distancia D es igual a 660 metros.

La Tabla 27.1 muestra la distancia máxima de estereopsis, de acuerdo con los umbrales de estereoagudeza.

**Tabla 27.1** Distancia máxima de estereopsis para diferentes umbrales de estereoagudeza (DP = 64).

Umbral (segundos de arco)	Radianes	Distancia Máxima (m)
2	$9.696 \times 10^6$	6600
10	$4.848 \times 10^5$	1320
20	$9.696 \times 10^5$	660
40	$1.939 \times 10^4$	330
80	$3.879 \times 10^4$	165

Para DPs diferentes la distancia va a cambiar, como se muestra en la Tabla 27.2. De esto, se puede ver que, en el supuesto de un umbral estereoagudeza de 20 segundos de arco, es imposible juzgar la posición relativa de los objetos estereoscópicamente si se encuentran más de unos 700 metros de distancia. Más allá de esa distancia, los ángulos de disparidad son más pequeños que el umbral de estereoagudeza. Por lo tanto, un piloto, que ve un avión acercarse desde varios kilómetros de distancia, no es capaz de utilizar la estereopsis para juzgar la distancia a la aeronave.

**Tabla 27.2** Distancia máxima de estereopsis para diferentes DPs, asumiendo un  $\eta = 80$  segundos de arco.

DP (mm)	Distancia Máxima (m)
56	134
60	155
64	165
68	175

Vamos a reconsiderar el caso del vuelo Delta 554. El umbral en segundos de arco de 2-10 es para condiciones ideales de ensayo de laboratorio, pero la estereopsis más pequeña medible utilizando una prueba clínica es de 20 segundos de arco. En el estéreotest de la Mosca de Titmus, si la persona puede ver 9/9 objetivos tiene una estereopsis de 40 segundos de arco. Dado que la visibilidad era mala y el piloto estaba viendo en condiciones dinámicas, es probable que podemos asumir que su estereoagudeza era peor que 40 segundos de arco, tal vez 80 segundos de arco. En referencia a la Tabla 27.1, un umbral de 80 segundos de arco significa que la estereopsis sería posible sólo dentro de unos 165 metros de distancia. Si el avión estaba volando a 320 km/h, se estaría viajando a unos 100 metros por segundo, lo que corresponde a sólo 1,65 segundos de tiempo de viaje. Es decir, si el piloto fuera lo suficientemente cerca de la pista para poder utilizar la estereopsis, habría tenido sólo 1,65 segundos para corregir su posición. Es poco probable que la estereopsis reducida causada por la monovisión tuviera algún papel en el accidente.

## HIPER ESTEREOPSIS

El Ejército de los EE.UU. está desarrollando nuevos sistemas de imagen y pantalla montada en el casco para pilotos de helicóptero. Un ejemplo es la pantalla del casco del Sistema Integrado de Visión (por sus siglas en Inglés HIDSS) diseñado para el helicóptero Comanche RAH-66 (ahora cancelado). Fue diseñado para que la información del avión y las armas se superpone a la visión del piloto, para que pueda ver el campo de batalla y de datos al mismo tiempo. La figura 27.2 muestra otro ejemplo de un sistema óptico en desarrollo de visión nocturna de un gran campo de visión.



**Figura 27.2** Anteos Experimental de sistema óptico de visión nocturna de la Armada.

Qué pasaría con el sentido de la visión estereoscópica, si el piloto estuviera viendo a través de los telescopios instalados en los lados del casco, aumentando la DP efectiva a unos 120 mm? Esto aumentaría drásticamente los ángulos de paralaje binocular lo que aumentaría las disparidades de la retina. Esto daría una mejoría radical al sentido de la estereopsis o hiper estereopsis y extendería el alcance máximo de estereopsis de la persona de unos 660 metros a más de 1.200 metros. La persona también sería capaz de juzgar intervalos de profundidad mucho más pequeños en la estereopsis.

## DISPARIDAD VERTICAL

Cuando ambos ojos ven un objeto en la línea media, el tamaño vertical parece ser el mismo para ambos ojos. El tamaño angular del objeto también será el mismo para ambos ojos. Si el objeto se mueve a la derecha o a la izquierda de la línea media, estará más cerca de un ojo que el otro. En ese caso, el tamaño angular vertical será diferente para los dos ojos. Esto se llama la disparidad geométrica vertical. Por ejemplo, mientras mantiene la cabeza firme, mueva un lápiz hacia su campo de visión izquierdo. Al mirarlo alternativamente con cada ojo debe notar que el lápiz se ve un poco más grande con el ojo izquierdo que con el derecho. En teoría, la disparidad geométrica vertical no debe contribuir a la estereopsis, pero cuando el tamaño vertical de la imagen de un ojo se magnifica, las superficies vistas binocularmente parecen inclinarse o curvarse. Los pacientes pueden experimentar esto cuando comienzan a usar anteojos nuevos. Puede ser que las disparidades verticales afecten indirectamente la percepción de profundidad, lo que Ogle llamó el efecto inducido. Se estudiará más sobre esto en el tema de aniseiconía.

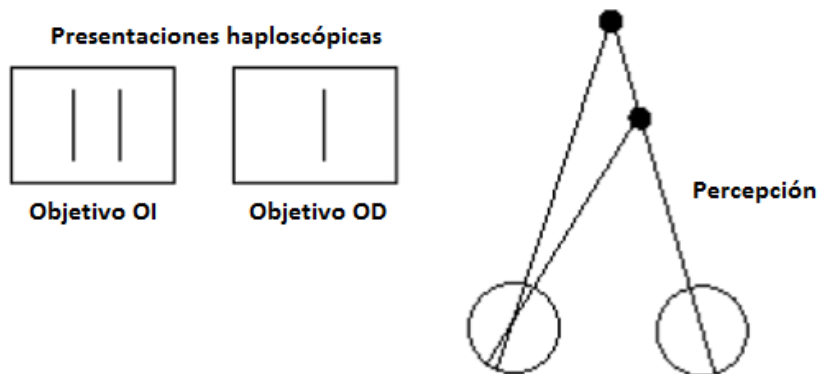
## SUBCATEGORÍAS DE ESTEREOPSIS

Al igual que con muchas otras funciones visuales, la percepción de profundidad estereoscópica probablemente se integra de varias sub funciones. La estereopsis se ha dividido en estereopsis fina y gruesa. La estereopsis fina responde a frecuencias espaciales más altas (detalles finos), disparidades retinales de menos de 30 minutos de arco, y de objetos fijos o en movimiento lento. La estereopsis fina se encuentra principalmente en la visión foveal y está soportada por el sistema parvo celular. El sistema provee la estereopsis de alta calidad (estereopsis patente) y también puede contribuir al buen control de la disparidad de vergencia.

La **Estereopsis gruesa** responde principalmente a los objetos de frecuencia espacial baja (objetos grandes), opera con las disparidades de la retina más grandes (30 a 600 minutos de arco), y objetos en movimiento. Está activa tanto en la fovea como en la visión periférica y también puede estar relacionada con el control de la disparidad de vergencia gruesa. Esto parece estar apoyado por el sistema magno celular. Otros centros neurológicos pueden especializarse en otras subcategorías de la estereopsis. Por ejemplo, la estereopsis de movimiento en profundidad, la estereopsis del movimiento lateral y la estereopsis estática parecen ser procesadas de manera diferente. Estos pueden subdividirse en procesos independientes que se ocupan de las disparidades cruzadas y descruzadas. El daño de ciertas áreas en el cerebro puede crear formas específicas de ceguera estereoscópica. Por ejemplo, una persona carecer de estereopsis gruesa del movimiento en profundidad, pero tener estereopsis estática completamente normal.

## PANUM LIMITROFE

Es posible crear una sensación de profundidad estereoscópica utilizando un estímulo muy simple, se ilustra en la figura 27.3 a continuación. La imagen vista por el ojo derecho es una sola línea, mientras que el ojo izquierdo ve dos líneas. El sistema visual fusiona la línea única (visto por el OD) con las dos líneas vistas por el OI para estimular una sensación de estereopsis. Esto da la percepción de dos objetos situados en profundidad, como se muestra en la figura. A lo que se conoce como **caso límite de Panum** porque es el estímulo mínimo necesario para provocar una sensación de estereopsis. Si elimina una de las líneas, entonces cesa la sensación de estereopsis.



**Figura 27.3** Caso de Panum límite.

## ESTEREOPSIS EN EL DIAGNÓSTICO DE ALTERACIONES

En el Capítulo 7, Steinman describió los diferentes tipos de estereoscopios y métodos usados para crear una sensación de percepción estereoscópica de profundidad.

- El estereoscopio de Wheatstone usa espejos para poner una imagen plana diferente delante de cada ojo
- El estereoscopio de Brewster usa lentes y efectos prismáticos
- Métodos variados que usan filtros polarizados
- Figuras anaglíficas y filtros
- Anteojos-estereo de cristal líquido

La estereopsis es importante en el diagnóstico clínico de condiciones tales como el glaucoma. Mientras que la oftalmoscopia directa le da una vista ampliada de la cabeza del nervio óptico, a veces es difícil apreciar la profundidad real de la excavación sin estereopsis. Esta es una ventaja importante de la biomicroscopía del fondo de ojo (usando un lente de 90D, 78D o lente super campo). Si se fusiona correctamente la imagen del fondo de ojo, la estereopsis le dará una imagen vívida y tridimensional de la profundidad de la copa óptica.

Un lente de 78D proporciona una vista más ampliada del fondo de ojo que una lente de 90D, y un lente de 60D proporciona una ampliación aún mayor. Los lentes de potencia más baja también aumentan la profundidad estereoscópica más que el factor que cabe esperar sólo de la ampliación transversal.

**P** Por qué?

Las fotos estereoscópicas del fondo de ojo son también de gran ayuda en el manejo del glaucoma por la misma razón. Con el fin de tomar un par de fotos estereoscópicas de la cabeza del nervio, primero se toma una foto normal de la cabeza del nervio, luego se mueve ligeramente la cámara a un lado y se toma una segunda foto.

**P** Por qué?

**R** El par de fotos se observa en un estereoscopio que presenta una foto cada ojo. Si se toman correctamente, la disparidad entre las dos imágenes simula la sensación de profundidad estereoscópica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999. Chapter 10.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 7.
- Cline D, Hofstetter HW and Griffin JR. **Dictionary of visual science. 4th Edition**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1997.
- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006. Chapter 21.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- Kaufmann PL, Alm A and Francis HA. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Schor CM and Ciuffreda KJ. **Vergence eye movements: Basic and clinical aspects**. Butterworth, Michigan. 1983.
- Von Noorden GK. **Binocular Vision and Ocular Motility - 5th Edition**. Mosby, St. Louis. 1996.
- Ciuffreda KJ and Tannen B. **Eye Movement Basics for the Clinician**. Mosby, St. Louis, 1995.
- Griffin JF. **Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy, 3rd Edition**, Butterworth-Heinemann, 1995.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.