

## FENÓMENO ESTEREOSCÓPICO Y ESTEREOGRAMAS

### AUTOR

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

### PAR REVISOR

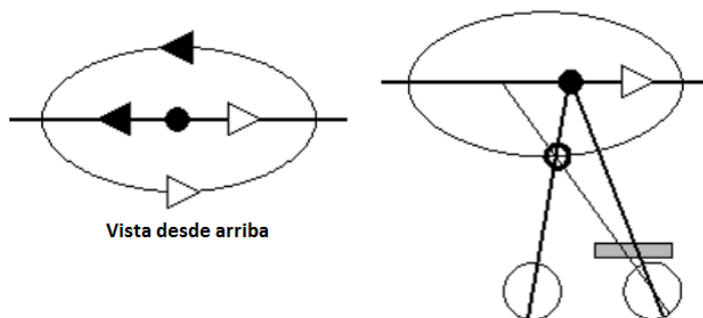
**Scott Steinman:** Southern California College of Optometry, USA

### FENÓMENO DE PULFICH (EFECTO)

Un fenómeno binocular interesante, ocurre cuando se observa un péndulo balancearse bajo las siguientes condiciones:

- El péndulo se balancea en un plano paralelo a la cara.
- Un filtro de densidad neutra (DN) sobre un ojo.

Si el filtro se coloca sobre el ojo derecho, el péndulo se observará balancearse en una trayectoria ovalada en lugar de paralela a la cara, como se ilustra en la Figura 28.1- izquierda. Este es el efecto de Pulfrich y se explica sobre la base del hecho de que el filtro DN reduce la iluminancia de la retina a un ojo, que hace que la señal neuronal de la retina que se retrase ligeramente en comparación con el otro ojo. Es importante señalar que la dirección de la trayectoria ovalada percibida (en sentido horario vs en contra de las manecillas del reloj) debe estar relacionada con el ojo con el retraso, especialmente para el diagnóstico de neuritis óptica. Refiriéndose a la Figura 28.1 - derecha, aunque ambos ojos están fijando el péndulo (punto negro), el ojo izquierdo procesa la imagen de donde actualmente está, pero el ojo derecho procesa la señal de donde el péndulo estuvo un momento antes. En efecto, es como si el ojo derecho viera el péndulo como un poco hacia la izquierda. Esto establece una disparidad retiniana en las dos imágenes. Basándose en la información de disparidad, la aparente ubicación del objeto es ligeramente más cerca del observador que la ubicación real del péndulo.



**Figura 28.1** Fenómeno de Pulfrich.

Cualquier situación que induce una diferencia entre los dos ojos de la iluminación de la retina tiene el potencial de causar el efecto de Pulfrich. Algunos ejemplos son:

- Una aniseiconia marcada
- Neuritis óptica
- Pantallas montadas en cascos o gafas de realidad virtual con luminancias diferentes.

## CROMOESTEREOPSIS

Cuando se ve un patrón vivo que incluye colores azul y rojo altamente saturados, es posible que se note que los colores parezcan estar localizados a diferentes distancias, a pesar de que en realidad están en el mismo plano. Usted puede ser capaz de apreciar que las palabras, "cromo" y "estereopsis" en la versión en color de la figura 28.2 parecen estar flotando en el espacio a diferentes distancias. Algunos observadores consideran que el texto de color rojo flota en el espacio más cercano que el azul. Algunos observan el efecto contrario. Esto se conoce como cromoestereopsis.

La Cromoestereopsis se basa en la aberración cromática del ojo y requiere que el eje de óptico y ejes visuales de los ojos estén desfasados. Esto se ilustra en la figura 28.3. Varios buenos ejemplos de cromoestereopsis se pueden encontrar en el siguiente sitio web: <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/scolor-e.html>



Figura 28.2 Un ejemplo de cromoestereopsis

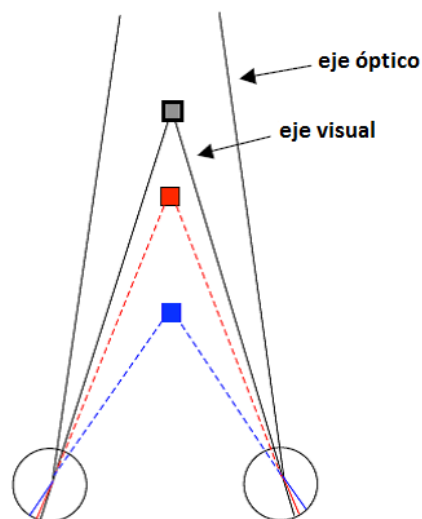


Figura 28.3 Explicación de la cromoestereopsis.

Al ubicar los agujeros estenopéicos correctamente delante de los ojos, es posible facilitar la cromoestereopsis, y estimular una fuerte sensación de profundidad estereoscópica al visualizar fotografías en color ordinarias. Una empresa ha patentado unos anteojos especiales "3-DVG" que hacen precisamente eso. Lea más sobre esto en su sitio web : <http://www.3-dvg.com/>

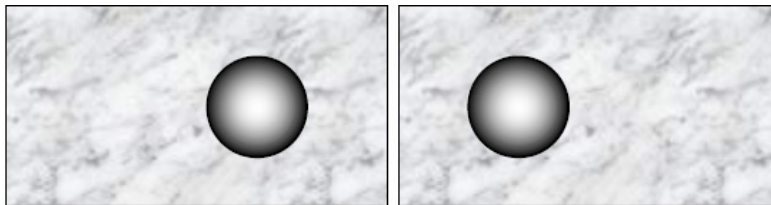
## ESTEREOGRAMAS DE FUSIÓN LIBRE

No es necesario el uso de un estereoscopio, polaroids o anteojos anáglifos para ver pares de imágenes estéreo. Con la práctica, se puede aprender a mirar las dos imágenes de un par estéreo simplemente colocando una al lado de la otra. Estos se llaman estereogramas de fusión libre. Normalmente, el ojo derecho mira de frente la imagen de la derecha, mientras que el ojo izquierdo mira directamente a la imagen de la izquierda. También es posible cruzar los ojos de manera que cada ojo ve la imagen en el lado opuesto.

El libro de texto de Steinman contiene muchos ejemplos de estereogramas de fusión libre, y así como en Borish. También se utilizan con frecuencia en los libros de texto de enfermedades oculares para ayudar a los estudiantes y los médicos en la práctica del diagnóstico de enfermedades como el glaucoma.

Se pueden crear fácilmente estereogramas de fusión libre con los siguientes pasos. Un ejemplo se muestra a continuación en la figura 28.4.

1. Dibuje un campo o marco, el cual será el fondo visto por ambos ojos.
2. Coloque un objeto dentro del marco.
3. Copie la figura por completo y péguela al lado de la original. Los dos marcos son el estímulo para los dos ojos.
4. Seleccione el objeto dentro del marco y muévelo ligeramente para un lado. Esto crea la disparidad en su ubicación respecto del fondo. Los ojos fusionan el fondo, pero el objeto se ve con una ligera disparidad de dirección en cada ojo. La disparidad estimula una perspectiva de profundidad estereoscópica.



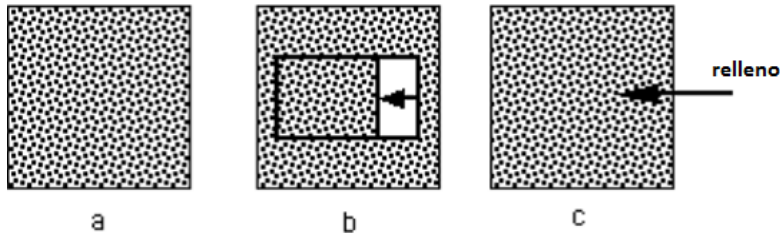
**Figura 28.4** Un estereograma simple de fusión libre. Si el ojo derecho ve el marco derecho y el izquierdo el de la izquierda, se estimulará una disparidad cruzada, viéndose una "perla negra" flotando frente al fondo de mármol.

## ESTEREOGRAMAS DE PUNTOS AL AZAR

Con el fin de percibir un objeto en la estereopsis, es necesario que el objeto primero sea visible o reconocible a cada ojo monocularmente? Por ejemplo, para ver un cuadrado estereoscópicamente, el cuadrado debe ser también identificable en cada imagen retiniana monocular?

Julesz, quien investigó la estereopsis en la década de 1960, demostró que la visibilidad monocular no es necesaria para la visión estereoscópica. Lo hizo mediante la creación de estereogramas de puntos aleatorios, en el que el patrón visto por el ojo derecho es sólo un patrón de puntos aleatorios sin forma aparente. Cuando se ve binocularmente, las disparidades binoculares en el patrón de puntos al azar entre las imágenes derecha e izquierda estimula una percepción estereoscópica de un objeto.

**Steinman en la Fig. 7-28 y la figura de Adler 24-7** ilustran cómo diseñar un estereograma de puntos aleatorios, y un ejemplo se muestra a continuación en la figura 28.5. Steinman muestra un estereograma-random dot completo en la fig. 7-29.



**Figura 28.5** El mismo patrón de puntos al azar es preparado para ambos ojos, pero el patrón de un ojo (a) debe ser modificado. Una porción se cambia (b) para crear una disparidad; luego el espacio dejado se llena con puntos aleatorios (c).

En la mayoría de situaciones naturales de visión, los objetos monocularmente visibles y sus características se fusionan binocularmente. El sistema visual es capaz de igualar las características correspondientes en las imágenes del ojo derecho e izquierdo para generar una sensación de profundidad estereoscópica. Este juego, punto por punto, el cual ocurre entre los detalles similares en la imagen de la derecha y la izquierda, se denomina **estereopsis local**.

Los estereogramas de puntos aleatorios demuestran que, el sistema visual también es capaz de procesar las disparidades a través de una amplia zona de la escena, incluso cuando no hay ningún objeto disponible para la coincidencia estereoscópica local. Es decir, hay una gran zona de puntos dentro de la imagen de un ojo que tiene disparidad relativa a la región correspondiente en la imagen del otro ojo. El procesamiento mayor de la disparidad global entre las imágenes de los dos ojos se llama **estereopsis global**.

## AUTOESTEREOGRAMAS

Es posible poner los dos patrones de puntos aleatorios en la misma página, o incluso dentro de la misma imagen, siempre y cuando cada ojo mire a diferentes partes de la imagen. Esto conduce a la idea del **autoestereograma**. Sobre la base de los mismos principios de los estereogramas de puntos aleatorios, el Dr. Christopher Tyler y el Dr. Clarke desarrollaron autoestereogramas. Ejemplos de estos son las figuras "MagicEye", que pueden provocar una sensación de profundidad estereoscópica sin necesidad de utilizar polarizados, un estereoscopio o separar las imágenes del ojo derecho e izquierdo. En efecto, las imágenes de los ojos izquierdo y derecho son ambas contenidas dentro de una única imagen. El principio requiere:

- Un patrón repetitivo.
- Los ojos deben divergir o converger una amplitud repetitiva.
- Así las diferentes imágenes, derecha e izquierda, contendrán disparidades.
- Las disparidades dan la percepción de profundidad estereoscópica.

Esto también se conoce como el fenómeno de fondo de pantalla, y se puede observar cuando se mira a fondo de pantalla con un patrón repetitivo. Citando en el capítulo de Tyler en Regan (Capítulo 3 - Visión ciclópea):

*"Para generar un autoestereograma, es posible ir más allá del fenómeno básico de fondo de pantalla y controlar el perfil de disparidad mediante la variación de la amplitud de la repetición en cada punto en el campo. Cualquier superficie estereoscópica con variaciones en las direcciones horizontal y vertical puede ser generada por este medio"*

Los estereogramas de puntos al azar y autoestereogramas demuestran el importante principio de que la percepción de una forma estereoscópica no tiene que estar precedida por la percepción monocular de dicha forma. A continuación se enumeran varios sitios web que tienen buenos ejemplos de estereogramas, incluyendo autoestereogramas, pares estéreo y estereogramas de puntos al azar. Algunas imágenes se conocen como **estereogramas de imagen única (SIS por sus siglas en inglés)** o **estereogramas de puntos aleatorios de una sola imagen (SIRDS por sus siglas en inglés)**. Muchos otros sitios interesantes están disponibles en la web.

<http://www.colorstereo.com/>  
<http://www.magicseye.com/>  
<http://www.st.rim.or.jp/~oso/3dcg.html>  
<http://www.vision3d.com/sqwall.html>

## ESTEREOPSIS Y OTRAS CLAVES DE PROFUNDIDAD

Como la estereopsis es estimulada por la disparidad retiniana sencilla, la inversión de la disparidad debe invertir la dirección de la profundidad percibida. Sin embargo, si se muestra un estereograma que cuenta con abundantes señales de profundidad monocular, revertir la disparidad puede no tener ningún efecto sobre la profundidad y la distancia de los objetos.

Supongamos que se fija un estereograma polarizado mostrando agricultores que trabajan en un campo como la disparidad normalmente los mostrará en un primer plano, con el campo que se extiende más allá y las montañas en la distancia. Si se invierte los anteojos, las montañas aparecerá más cercanas y los agricultores más allá?, pues esto no es lo que ocurre.

P Por qué?

R

## PRUEBAS CLÍNICAS DE ESTEREOPSIS

Varias pruebas clínicas han sido desarrolladas para evaluar el umbral estereoagudeza de los pacientes. Estas pueden ser categorizadas como pruebas de profundidad real o pruebas de profundidad proyectada. La prueba real de profundidad utilizar objetos que se separan en el espacio por una cierta distancia para estimular una cantidad específica de disparidad retiniana. Algunos son similares a los dispositivos de Howard-Dolman utilizados en el laboratorio para medir horópteros y umbrales estereoscópicos reales. Ver Fig. 20-18 en Borish. Para su uso en clínica está el Frisby Test, el cual puede medir hasta 20 segundos de arco y sus resultados se pueden comprobar reversando la disparidad o cambiando la ubicación del estímulo, también se puede utilizar con facilidad en niños pequeños y bebés a manera de prueba de mirada preferencial.

Pruebas de profundidad proyectada utilizan imágenes planas que se fusionan durante la visualización con polarizados o en un estereoscopio. Estas crean disparidad retiniana, que estimula una sensación de profundidad estereoscópica. Los ejemplos incluyen la prueba Stereo Fly Titmus (la mosca), y la prueba de Reindeer.

La investigación (Hofstetter) ha demostrado que el umbral de estereoagudeza media para la población en general es de 14,4 segundos de arco. Sugiere que el 98 % de la población debe tener una estereoagudeza máxima (umbral de disparidad de estereopsis) entre 2 y 38 segundos de arco. Con base en esto, 40 segundos de arco se pueden utilizar como el punto de corte general para adultos para aprobar o reprobar la prueba, aunque algunas pruebas estéreo incluyen estímulos de hasta 20 segundos de arco.

**Commented [M1]:** Luisita sugiero que se adicione este texto, me parece importante mencionar este test porque además de contener disparidad real, es de mayor accesibilidad (ás conocido) que el de Howard-Dolman

## BIBLIOGRAFÍA

- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 7.
- Schwartz S. **Visual Perception** - 2nd Edition. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.
- 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.
- Kaufmann PL, Alm A and Francis HA. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Schor CM and Cuifreda 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.