



# SENSIBILIDAD AL CONTRASTE – FRECUENCIAS BAJAS

## AUTOR

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

## PAR REVISOR

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

## ESTE CAPITULO INCLUYE UNA REVISIÓN DE:

- La sensibilidad al contraste y frecuencias espaciales bajas
- Propiedad de análisis de Fourier del sistema visual
- Filtrado espacial Neurológico
- Agudeza visual en comparación con sensibilidad al contraste
- Artículos

## REVISIÓN

La figura 16-1, debajo, muestra un MTF y dos FSC hipotéticos para un ojo humano. Son esencialmente lo mismo para las frecuencias espaciales bajas, pero difieren de gran manera en las frecuencias altas. Consulte esta figura y conteste las siguientes preguntas.

P: ¿Cuál de las tres curvas indica el ojo con mejor calidad óptica? ¿Y el peor?

R. \_\_\_\_\_

P: Explique que limita la resolución de cada uno de los tres casos.

R. \_\_\_\_\_

## REVISIÓN (CONT)

P. Supongamos que la distancia de centro a centro de los conos de la fóvea es 2 micras y que un lapso de 300 micras en la superficie de la retina corresponde al ángulo visual de 1 grado. Calcule la máxima agudeza visual de Snellen que este ojo es capaz de percibir si todos sus defectos refractivos (incluyendo aberraciones de alto orden) están perfectamente corregidos.

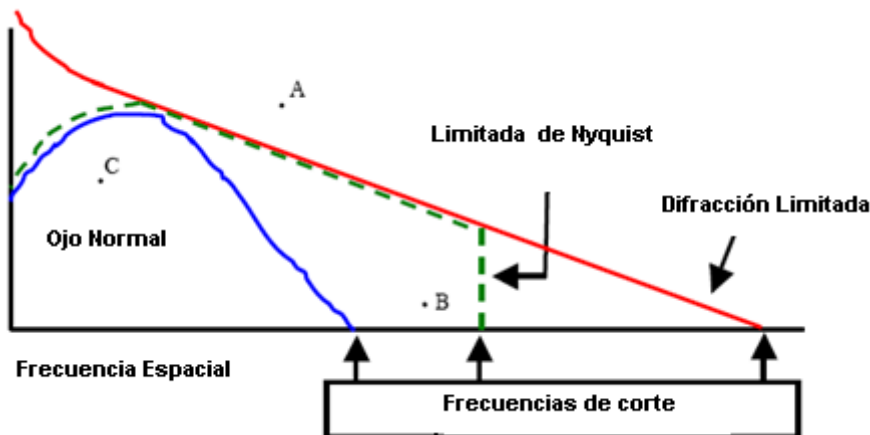


Figura 16-1: Ejemplo de un MTF ocular y dos FSC limitadas por dos factores diferentes

## MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Cualquier punto en la FSC define dos parámetros clave que determinan la visibilidad de una rejilla de onda sinusoidal - su contraste y la frecuencia espacial (tamaño). Recordemos que los puntos fuera de la FSC (puntos A y B, Fig. 16-1) corresponden a rejillas que no pueden ser vistas por el ojo, pero los puntos dentro de la FSC (Punto C) son visibles.

P. ¿Si los puntos A y B representan los objetos que la persona no puede ver, que se puede hacer para que sean visibles?

R.

P. ¿Puede dar ejemplos de cómo se utilizan estos principios para mejorar la consulta clínica en optometría?

R.

## SENSIBILIDAD AL CONTRASTE Y FRECUENCIAS ESPACIALES BAJAS

Una diferencia importante entre el MTF y la FSC del ojo humano es la disminución en las frecuencias espaciales bajas. Esto es evidente en la figura 16-1, que muestra dos FSC y un MTF hipotético. ¿Qué causa la disminución de la sensibilidad al contraste por debajo de 4 ciclos / grado? Esto debe ser debido a factores neurales y no ópticos, ya que el MTF, que muestra la calidad óptica y no el procesamiento neural, no presenta una disminución de las frecuencias bajas.

Una posible explicación en la disminución de las frecuencias bajas en sensibilidad al contraste se ilustra en Schwartz figura. 7-14.

Muestra el campo receptivo para una célula ganglionar, que es el área en el campo visual de una persona que provoca una respuesta de una célula de ganglionar.

Se encuentra organizada por una zona central de excitación (signo +) y un área circundante inhibitoria (signo -). Cuando la luz incide sobre la zona de excitación, la visión se estimula; cuando cae en el área inhibitoria, la sensibilidad disminuye. Esto se denomina inhibición lateral. La célula ganglionar responderá más fuertemente cuando la frecuencia espacial de las franjas es tal que una raya blanca es tan amplia como la zona de excitación, y las rayas negras caen sobre la zona inhibitoria. Los científicos han encontrado que esto corresponde a frecuencias espaciales de tamaño medio, tal como 4 c/g aproximadamente.

## SENSIBILIDAD AL CONTRASTE Y FRECUENCIAS ESPACIALES BAJAS (CONT.)

Nótese, sin embargo, que si las rayas se vuelven más anchas (frecuencia espacial más baja), la parte blanca estimulará tanto la región inhibitoria y de excitación, y la respuesta global disminuirá. Esto puede explicar la disminución en la sensibilidad para las frecuencias espaciales bajas.

## PROPIEDAD DE ANALISIS DE FOURIER DEL SISTEMA VISUAL

Los experimentos indican que el sistema visual presenta canales neuronales que procesan las frecuencias espaciales específicas. Esto se ilustra por Schwartz, 2004 Fig. 7-15, que muestra múltiples curvas estrechas del FSC. Cada uno representa un canal que es sensible a un determinado rango estrecho de frecuencias espaciales en la imagen. Blakemore y Campbell (1969) llevaron a cabo un experimento interesante para probar esto. Tenían los sujetos mirando una rejilla de onda sinusoidal de una sola frecuencia espacial (como, 6 c/g). Esto haría que el sistema visual se adaptara, y se convirtiera relativamente insensible a esa frecuencia espacial específica. Después midieron el FSC, y el resultado se ilustra en Schwartz, 2004 Fig. 7-16A.

La muesca de la curva de FSC muestra sensibilidad reducida a un rango estrecho de frecuencias espaciales cerca de 6 c/g. Esto sólo puede explicarse si el sistema visual procesa esa frecuencia espacial (6 c/g) independiente de las otras.

P. ¿Qué pasaría si no hubieran canales específicos de frecuencia espacial y la imagen retiniana se transmitiera al cerebro como un todo? ¿Qué efecto tendría la adaptación a una rejilla del FSC?

R. \_\_\_\_\_

### REJILLA DE ONDA CUADRADA

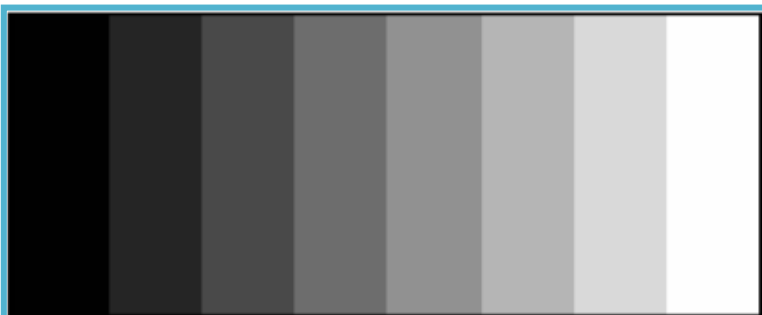
Recordemos que si una rejilla de patrón cuadrado (Schwartz fig. 7-4) es estudiada por medio del análisis de Fourier, nos daremos cuenta que contiene componentes de rejilla de onda sinusoidal (. Schwartz Fig 7-5). El espectro de Fourier completo de una onda de patrón de rejilla cuadrada contiene un número infinito de ondas sinusoidales, y sumándose todas, ellas reconstruirían perfectamente la onda cuadrada. La figura 7-5 en Schwartz muestra sólo la rejilla de frecuencia de onda sinusoidal más baja. A medida que se añaden frecuencias adicionales, el perfil se vuelve más como una onda cuadrada, con bordes "agudos".

Volviendo al famoso experimento de Blakemore, ellos observaron un resultado muy interesante cuando tenían al sujeto mirando fijo a una rejilla de onda cuadrada de 6 c/g (en vez de onda sinusoidal). El resultado se ilustra en la figura 7-16 B de Schwartz. Ahora hay dos muescas en el FSC, indicando una sensibilidad reducida en ambas 6 y 18 c/g.

### BANDAS MACH

Los experimentos realizados por Blakemore y Campbell (1969) proporcionaron gran evidencia de que el sistema visual humano funciona como un analizador de Fourier y procesa la información visual a lo largo de canales de frecuencia espaciales separados.

Las bandas de Mach también se toman como evidencia para el procesamiento de Fourier por el sistema visual. Un ejemplo se ilustra en Schwartz, 2004 Fig. 7-17. El perfil de luminancia del patrón en la fig. 7-17 A se muestra en B. Nótese la región brillante de la izquierda, la disminución de luminancia en el centro, y una región oscura a la derecha. A pesar de que no existe en el perfil de luminancia real (B), parece que hay una estrecha banda brillante a la izquierda del centro y una banda oscura a la derecha del centro (C). Este fenómeno se denomina **bandas de Mach**, y se pueden explicar con el análisis de Fourier del comportamiento del sistema visual humano. La figura 16-2 muestra otros ejemplos de las bandas Mach.



**Figura 16-2:Bandas Mach**

## FILTRADO ESPACIAL NEUROLÓGICO

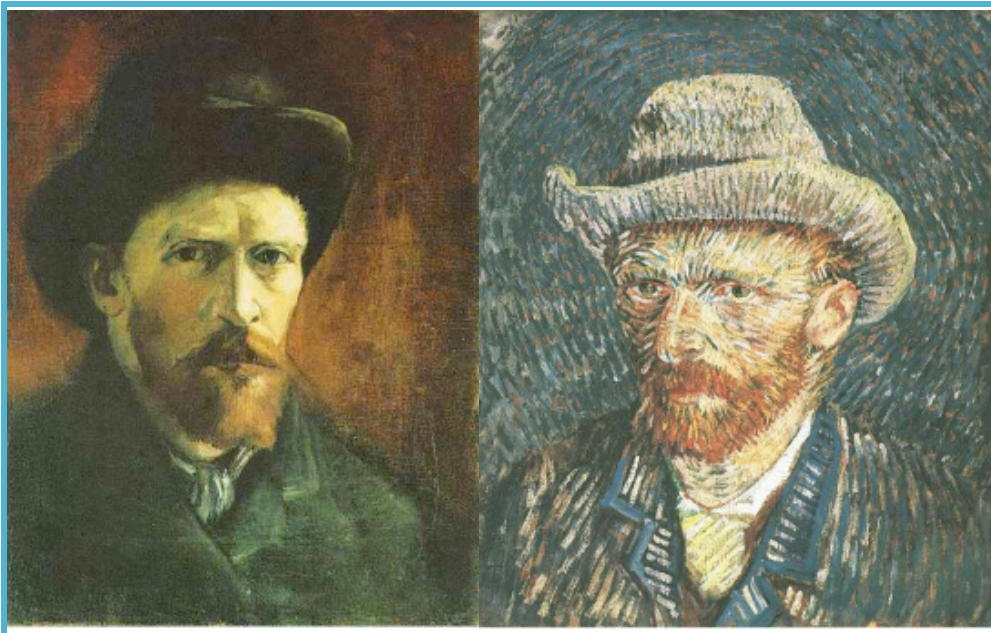
Todos los sistemas ópticos, incluyendo el ojo humano, realizan una transformada de Fourier de la luz pasando a través del sistema. La distribución de la luz en la pupila provoca la transformada de Fourier del patrón de luminancia del objeto, y la imagen retiniana es la transformada inversa de Fourier de la distribución de la luz en la pupila.

**P. ¿Qué le pasaría a la imagen retiniana, si un paciente toma pilocarpina para el glaucoma y tiene una pupila muy pequeña, solo de un 1 mm ?**

**R.**

Como se describió anteriormente, la parte neural del sistema visual también actúa como un analizador de Fourier. Analiza la imagen retiniana en sus componentes de frecuencia espacial (rejillas sinusoidales), y separa de estos los procesos de canales de frecuencia espacial. El cerebro debe entonces realizar una transformada inversa de Fourier para volver a montar la imagen que percibimos.

Supongamos que la persona presenta alguna condición neurológica que afecta las partes del sistema visual que llevan ciertas frecuencias espaciales. En ese caso, la persona podría ver una imagen filtrada espacialmente del mundo. En la preparación de filtros de paso de bandas, la imagen inusual resultante tiene una apariencia similar a un cuadro de Van Gogh (Fig.16-3). Vincent van Gogh tenía múltiples problemas de salud que podrían haber afectado su cerebro, incluyendo epilepsia, trastorno bipolar, intoxicación por alcohol, toxicidad por digoxina y otras sustancias, y sífilis. Muchas personas especularon que tenía una condición visual que afectaba la forma en que pintaba. Debido al parecido de algunos de sus cuadros al filtrado de paso de bandas, van Gogh pudo haber tenido daños en ciertas neuronas en su sistema visual que, en efecto, filtraban espacialmente las imágenes que veía.



**Figure 16-3:** Autorretratos de Van Gogh de 1886 (Izquierda) y 1888 derecha. Se suicidó en 1890. La pintura de la derecha parece que hubiera sido filtrada por bandas

## FILTRADO ESPACIAL NEUROLÓGICO (CONT.)

Figura 16-4, abajo, muestra uno de sus cuadros más famosos, "Noche estrellada "



**Figura 16-4:** Noche estrellada, por van Gogh. Copiado del siguiente sitio web: <http://www.vangoghgallery.com/painting/starryindex.html>

## AGUDEZA VISUAL VERSUS SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

Aprendimos anteriormente que la agudeza visual clínica de alto contraste mide solo un punto en el FSC, pero no dice nada sobre el resto de la visión espacial. ¿Significa esto que debemos dejar de usar la prueba de agudeza visual de Snellen y a cambio examinar a todos con la FSC de rejillas de onda sinusoidal? Depende cual sea el objetivo del examen visual. La mayoría de los pacientes que visitan al optómetra tienen un defecto refractivo no corregido y el trabajo del optómetra es corregir el desenfoque óptico.

**P. ¿Cómo afectan los defectos refractivos la visión espacial?**

**R.** Recordemos que el desenfoque causa una reducción en la sensibilidad de frecuencias espaciales altas. Por lo tanto la parte de la FSC más sensible a los defectos de desenfoque es el extremo derecho de la FSC, es decir, la frecuencia espacial alta de corte. Esto es lo que prueba la agudeza visual de Snellen (alto contraste, letras pequeñas), por lo tanto es una manera útil de evaluar la calidad de la corrección refractiva

**P:** ¿Qué pasaría si trata de realizar una refracción subjetiva a un paciente miope viendo una rejilla de onda sinusoidal de frecuencias bajas?

**R.** Depende de la magnitud del desenfoque, podría no tener efecto en las frecuencias espaciales bajas. Por lo tanto, si la persona se corrige o no se corrige, la rejilla se vería igual. Esto sería una prueba insensible para un paciente con desenfoque por miopía. Así que para fines de corrección de un defecto refractivo, hay poco beneficio al examinar la visión de frecuencias espaciales bajas

## AGUDEZA VISUAL VERSUS SENSIBILIDAD AL CONTRASTE (CONT.)

Por otra parte, ¿qué pasa si el paciente se queja de disminución visual, pero cuando lo/la examine a el/ella puede ver 20/20? Usted no debe ser tan rápido para dar de alta a sus síntomas. Tal vez él / ella está teniendo una disminución visual en alguna otra parte del FSC que en el corte de frecuencias altas. Del mismo modo que sería absurdo refractar usando una cartilla de frecuencias espaciales bajas, sería absurdo examinar la visión de frecuencias altas para una condición que afecta las frecuencias medias o bajas.

Un ejemplo de esto viene de un artículo de la revista American Journal of Ophthalmology, por el Dr. Mark Bullimore (profesor de la Facultad de Optometría de la Universidad Estatal de Ohio y ex editor de Optometría y Ciencias de la Visión, la revista científica de la Academia Americana de Optometría). Del resumen:

*Resultados: Doce meses después de la queratectomía fotorrefractiva, la mejor corrección con anteojos para agudeza visual de contraste alto con pupilas naturales no mostró diferencias significativas a los valores preoperatorios.... la mejor corrección con anteojos para agudeza visual de contraste bajo con pupilas naturales tuvo una disminución significativa comparada al valor base..... La pérdida en contraste bajo fue mayor con las pupilas dilatadas. ...*  
*Conclusión: Las reducciones en el rendimiento visual ocurrieron después la queratectomía fotorrefractiva con una zona de 6 mm. ... Estos cambios son mayores para agudeza visual de contraste bajo con las pupilas dilatadas. ... .... la mejor agudeza visual corregida con anteojos de contraste bajo es una medida sensible para evaluar el rendimiento visual después de la cirugía refractiva. (Bullimore MA, MD Olson, Maloney RK Rendimiento Visual Después De Queratectomía Fotorrefractiva Con Una Zona De Ablación de 6 mm. Am J Ophthalmol 1999;.. 1281-7)*



## SELECCIÓN DE LECTURAS Y REFERENCIAS

- Schwartz SH. **Percepción Visual - Una orientación clínica, 3<sup>a</sup> Edición.** Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- Blakemore C y Campbell FW. En 1969, la existencia de las neuronas en el sistema visual humano selectivamente sensibles a la orientación y el tamaño de las imágenes de la retina. *Journal of Physiology* 203: 237-260.
- Kato N, Toda I, Hori-Komai Y, Sakai C y K. Tsubota. **Resultados de cinco años de LASIK para la miopía.** *Oftalmología.* 2008; 115 (5): 839-844.
- Alió JL, Piñero D, Muftuoglu O. **Retratamiento corneal guiado por frente de onda para síntomas significativos de vision nocturna despues de cirugia refractiva con laser.** *Revista Americana de oftalmologia.* 2008 Jan; 145 (1): 65-74.
- Fernández-Sánchez V, Ponce ME, Lara F, Montés-Micó R, Castejón-Mochón JF, López-Gil N. **Efectos de la aberracion de tercer orden en la vision humana.** *Diario de Catarata y Cirugía Refractiva.* 2008 agosto; 34 (8): 1339-1344