

LA FUNCIÓN SENSIBILIDAD AL CONTRASTE EN OJOS NORMALES

Luis Issolio - Elisa Colombo.

Instituto de Luminotecnia, Luz y Visión .

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán

Avda. Independencia 1800. (4000) Tucumán. Tel-Fax: 54 81 361936. E-mail: ilum@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Existen fuertes evidencias de que la Función de Sensibilidad al Contraste es una herramienta válida para el diagnóstico de patologías o disfunciones de variada naturaleza en la visión humana.

Para analizar los apartamientos se plantea la necesidad de disponer de una curva del ojo normal. En este trabajo se propone una metodología para la determinación de una franja de normalidad para el particular equipo usado y las condiciones específicas en que se desarrolla el trabajo.

Summary

There are a piece of evidence that the Contrast Sensivity Function (CSF) is a worth tool for the diagnostic of different kinds of visual pathologies.

To use the CSF in this way is necessary to set the normal curve. The proposal of this work is developpe a methodology to define a range of normality for the particular equipment used and under the specific experimental conditions.

Introducción

Este trabajo surge como parte de una investigación que tiene como objetivo diseñar un sistema basado en un equipo informatizado estándar que permita medir la **Función de Sensibilidad al Contraste (FSC)** con fines clínicos. Es decir, un sistema cuyo uso sea factible en el ámbito de un consultorio oftalmológico a fin de facilitar la tarea de diagnóstico del médico oculista.

Como punto de partida para el desarrollo de la investigación se toman los resultados de diferentes autores, que evidencian que la curva de la FSC es una herramienta válida para el diagnóstico de patologías o disfunciones de variada naturaleza en la visión humana (Arden, 1988; Barbur, 1988; Corbé 1989; Navarro y ot., 1990; Artigas y ot., 1995). La bibliografía consultada, a su vez, muestra algunas discrepancias acerca de cuáles son las patologías susceptibles de ser detectadas y de la precisión de los métodos para obtener la curva de FSC (Legge y Rubin, 1986; Pelly y ot., 1988; Rubin, 1988; Reeves y ot., 1991; Elliot y Whitaker, 1992 a y b). En este trabajo se busca determinar la FSC para ojos normales, lo que implica seleccionar metodologías, las mejores condiciones de medición y tomar decisiones sobre cómo definirla.

La función de sensibilidad al contraste

A diferencia de la Agudeza Visual, que es una determinación puntual de la capacidad visual, la Función de Sensibilidad al Contraste permite una medida global de la sensibilidad del sistema visual.

La medición de la FSC consiste en la determinación del umbral de detección de contraste para diferentes frecuencias espaciales de redes senoidales que se toman de estímulo (Campbell y Robson , 1968). La inversa de este contraste umbral es la sensibilidad al contraste. La curva que representa esta sensibilidad en función de las frecuencias espaciales es la FSC del Sistema Visual Humano.

La figura 1 muestra una curva típica de FSC, donde puede observarse que en general el sistema visual humano actúa como un filtro pasa banda que atenúa tanto las frecuencias espaciales muy altas como las muy bajas.

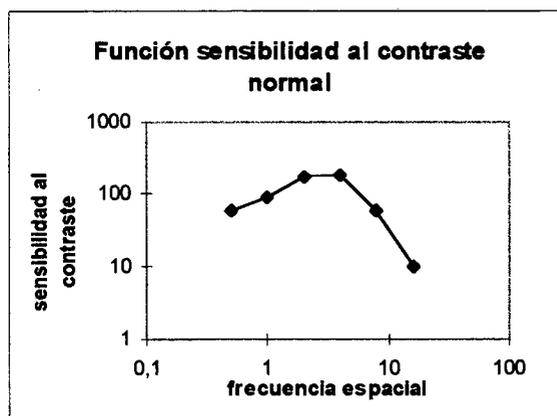


Figura 1. Curva típica de la función sensibilidad al contraste en un observado normal. El pico de la curva se ubica entre los 4 y 8 c/g para niveles de iluminación fotópicas. La máxima frecuencia posible de detectar o frecuencia de corte se sitúa alrededor de los 60 c/g.

Parámetros que afectan a la FSC y condiciones del experimento

Al momento de diseñar el test para la medición se hace necesario tener en cuenta los parámetros que afectan a la FSC.

Luminancia: cuando disminuye la luminancia el pico de máxima sensibilidad se desplaza hacia frecuencias más bajas, llegando incluso a obtenerse la forma de una curva pasa bajo. Este trabajo se realizó con una luminancia media de 51,4 cd/m², es decir, en condiciones fotópicas, para las cuales el máximo de sensibilidad se sitúa entre 4

y 8 c/g. Este valor de luminancia es fácilmente obtenible en cualquier monitor de tubo de rayos catódicos.

Excentricidad: dado que la FSC describe el funcionamiento del SVH en cuanto a la transmisión de frecuencias espaciales la FSC se determina en general para visión foveal donde tenemos el rango mas amplio de frecuencias, siendo esa la condición de este trabajo.

Orientación de la red: la sensibilidad es mayor cuando la red está orientada horizontal o verticalmente que cuando es oblicua. Este efecto es más pronunciado en el intervalo de las altas frecuencias espaciales y es, por lo tanto, dependiente de la frecuencia de la red. En este trabajo se usaron redes horizontales.

Tamaño del test : la influencia que tiene el tamaño sobre la FSC solamente es apreciable cuando se varía el ángulo subtendido por el test por debajo de los 2 grados. Para valores mayores la detección resulta prácticamente independiente del tamaño. En este trabajo se han utilizado tests de 4 grados (14cm de diámetro a 2m de distancia).

Número de ciclos de la red: existe un número crítico de ciclos por debajo del cual la visibilidad de la red se ve disminuida. Con niveles de luminancia fotópicos este número crítico es de 6 c/g (Artigas y ot., 1995) o 7c/g (Kelly, 1977). Como las curvas de la FSC suelen medirse con un tamaño fijo de test para todas las frecuencias espaciales, resulta evidente que el efecto del número de ciclos visibles sólo influye en la medición de las bajas frecuencias. Sin embargo, si se mantienen las condiciones experimentales de las mediciones de referencia de normalidad al pasar a la medición clínica los resultados son comparables (Ginzburg, 1984). Dado los límites en el tamaño del estímulo en monitores de tubo de rayos catódicos, en nuestro experimento las frecuencias de 0.5 c/g y 1 c/g estuvieron por debajo de este número crítico.

Tiempo de exposición: la FSC depende del tiempo del que dispone el observador para realizar la tarea visual: si éste aumenta se observa un incremento monótono de los valores de sensibilidad, que además es diferente según la frecuencia considerada. No obstante, para frecuencias bajas, la sensibilidad con tiempo ilimitado es menor que en el caso de tiempos de exposición cortos, manteniéndose el comportamiento esperado en las frecuencias altas (Artigas y ot., 1995). En el presente experimento se ha elegido un tiempo de presentación del estímulo de 500 msec y la intensidad temporal de todos los puntos del estímulo es modulada por una gaussiana.

Descripción del equipo usado.

Para la generación de los estímulos se dispuso de un sistema VSG, Generador de Estímulos Visuales de CRS (Cambridge Research System) junto a un monitor Eizo T650i. Este sistema permite generar imágenes con una resolución en contrastes de hasta 14 bits y trabajar con una velocidad de cuadro de hasta 120 Hz. Se realizó la corrección gamma del monitor, trabajándose con una luminancia máxima de 103 cd/m² y obteniéndose una media de 51,4 cd/m² una vez corregido (Issolio, 1995).

Diseño del experimento

Método de medición

Dada la importancia de definir con el mayor rigor posible la curva de FSC normal es preciso optar por el método que introduzca menor error, sin importar el tiempo que demande cada experimento. Se descartó el método de ajuste, que permite realizar la medición en un tiempo no muy largo, para evitar errores de polarización ya que el observador tiende a ir por encima o por debajo del umbral. Por el contrario el método de la elección forzada entre dos alternativas (2AFC) permite obtener el umbral evitando este sesgo (Macmillan y Creelman, 1991). Se optó por el uso de 2AFC con estímulos constantes, que fueron a su vez determinados a partir del método de ajuste.

El estímulo

Se generaron redes senoidales monocromáticas con seis frecuencias cubriendo gran parte del espectro separadas por octavas: 0,5, 1, 2, 4, 8 y 16 ciclos por grado, presentadas dentro de un círculo a uno u otro lado del centro de la pantalla.

La sesión experimental

Cada sesión de 128 presentaciones de estímulos se la hace con total aleatoriedad tanto en la frecuencia, el contraste y el lugar donde aparece la red, garantizándose además que de las 8 presentaciones de cada contraste 4 aparecen en la derecha y 4 en la izquierda de la pantalla.

La tarea del observador consiste en registrar si el estímulo aparece a la derecha o a la izquierda.

En cada sesión de medición se presentaron 2 de las 6 frecuencias, escogidas en forma aleatoria, para cada una de ellas se mostraron 8 contrastes predeterminados que van desde claramente apreciables hasta imperceptibles. A su vez cada uno de estos 8 contrastes aparece en 8 ocasiones, con lo que se totalizan 128 presentaciones del estímulo senoidal para cada sesión de medición. Con 3 sesiones de este tipo se completa una medición por observador. Por otra parte, cada medición se repitió al menos tres veces para cada observador.

Los observadores

Se realizaron mediciones en 3 observadores, una mujer de 27 años y dos hombres de 28 años, en los tres casos en forma monocular y previa determinación de la ausencia de problemas refractivos.

La curva psicométrica

Los valores obtenidos para cada medición de un observador para una dada frecuencia resultan como probabilidades de detección que varían entre 50% (al no ver el estímulo el observador tiene igual probabilidad de acertar o no) y 100% (cuando es totalmente visible).

Con los resultados obtenidos y previamente normalizados se ajustó una curva psicométrica, función matemática con forma de ojiva, que modelamos con la siguiente ecuación:

$$P = 1 / (1 + \exp (-(C - \mu) / \sigma)) \quad (1)$$

donde:

P es la probabilidad de detección.

C es el contraste.

μ es el valor del umbral de detección y coincide con el valor de contraste para una probabilidad P del 50%.

σ es el valor de la dispersión de la ojiva e indica cuan preciso es el observador en la determinación del umbral.

A modo de ejemplo, en la figura 2 se grafican las curvas psicométricas obtenidas para el observador LID.

A partir de esta ecuación obtenemos el valor del umbral y la dispersión para cada frecuencia en cada observador, estos resultados se muestran en la tabla 1. Estos valores de contraste umbral obtenidos están expresados como amplitud de la modulación de la luminancia del monitor en forma de porcentaje de la luminancia máxima. Para el cálculo de la sensibilidad al contraste debemos expresarlo en términos de contraste según Michelson, es decir:

$$C_M = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min}) \quad (2)$$

siendo L_{max} y L_{min} los valores de luminancia entre los que fluctúa la red.

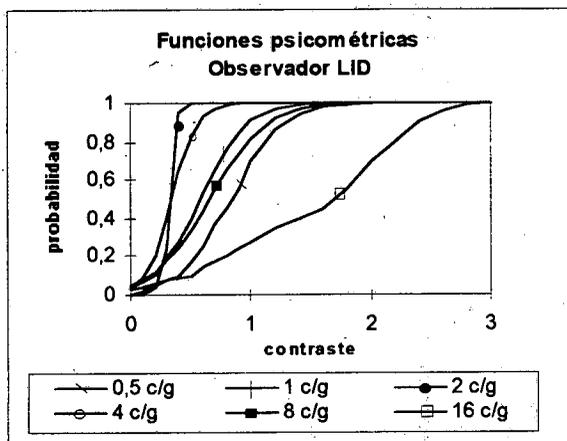
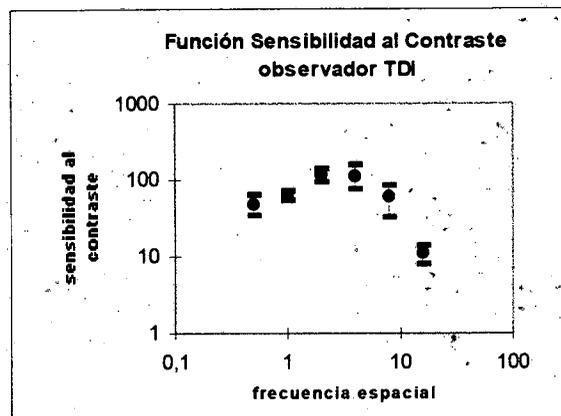
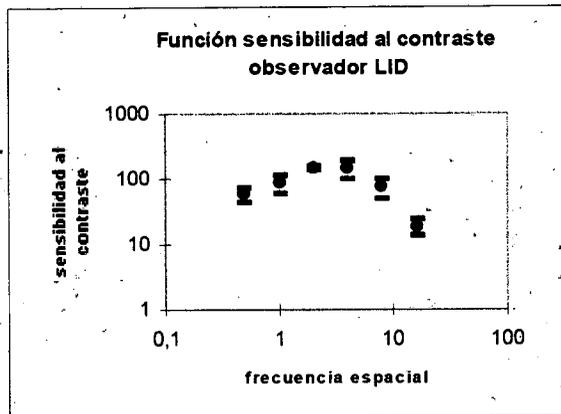
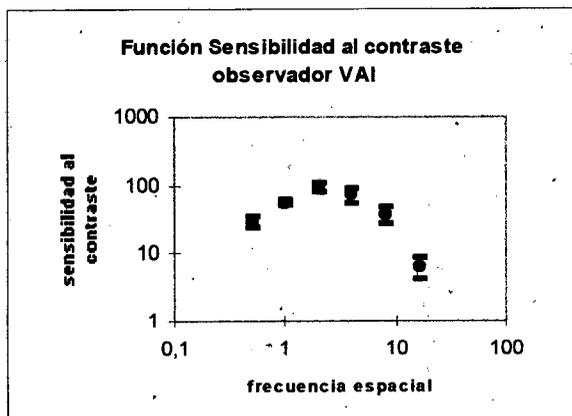


Figura 2. Curvas psicométricas ajustadas para las seis frecuencias en el observador LID.



Figuras 3, 4 y 5. Función sensibilidad al contraste para los tres observadores. Valores medidos con sus correspondientes desviaciones estándar.

Resultados

A partir de este valor de contraste se calcula la sensibilidad al contraste como la inversa del mismo, que se acota con el valor de la dispersión. La tabla 2 sintetiza estos resultados que pueden visualizarse en forma gráfica en las figuras 3, 4 y 5.

Los errores experimentales de los valores umbrales están siempre por debajo del 10%, llegando incluso a valores menores al 3%.

La relación entre el error del umbral y este ($\Delta\mu/\mu$) es en todos los casos menor al cociente de la dispersión sobre el valor del umbral (σ/μ), que en promedio es del orden del 25%, valor que es significativamente menor en la zona de mayor sensibilidad, es decir, para las frecuencias intermedias.

Conclusiones y propuestas

Se ha definido una metodología de medición y las condiciones para llevarla adelante y se propone las siguientes pautas a seguir en la medición de la población.

1.- El orden de la dispersión nos conduce a la idea de determinar una franja de normalidad más que una curva normal, es decir un sector delimitado por una curva

mínima y una máxima donde se ubiquen todos los casos, a partir del conjunto de los valores de la población medida, considerando la desviación estándar.

2.- En cuanto a las características del estímulo y con el objeto de lograr optimizar los resultados se recomienda trabajar en condiciones fotópicas, visión foveal, orientación horizontal o vertical, un tamaño que supere los dos grados y un tiempo de exposición de 500 mseg.

3.- Se propone el uso del método psicofísico de elección forzada entre dos alternativas (2AFC) a partir de estímulos de valores constantes determinados previamente.

4.- La población deberá incluir entre 50 y 100 observadores (Brown y Lovie-Kitchin, 1989).

5.- Es necesario realizar las correcciones refractivas que necesite cada observador.

6.- No se debe incluir la medición de los dos ojos de un mismo observador debido al sesgo que introduce el hecho de que la FSC involucra todo el camino visual, lo que indica que la información es redundante o lo que es lo mismo que los datos no son independientes (Brown y Lovie-Kitchin, 1989).

7.- La calibración del monitor es fundamental para obtener condiciones de linealidad.

Si bien este trabajo se ha realizado con un sistema especial la metodología presentada marca pautas claras para que cada usuario pueda determinar la franja de normalidad para el particular equipo utilizado y para las condiciones específicas en que desarrolle su trabajo.

Tabla 1. Umbrales de detección y desviación estándar acotados para los tres observadores en las seis frecuencias consideradas

	LID		TDI		VAI	
	$\mu \pm \Delta\mu$	$\sigma \pm \Delta\sigma$	$\mu \pm \Delta\mu$	$\sigma \pm \Delta\sigma$	$\mu \pm \Delta\mu$	$\sigma \pm \Delta\sigma$
0.5 c/g	0.829 ± 0.04	0.205 ± 0.048	1.024 ± 0.074	0.284 ± 0.084	1.663 ± 0.089	0.299 ± 0.072
1 c/g	0.579 ± 0.044	0.182 ± 0.049	0.806 ± 0.034	0.105 ± 0.042	0.87 ± 0.025	0.08 ± 0.028
2 c/g	0.327 ± 0.007	0.023 ± 0.008	0.422 ± 0.028	0.088 ± 0.028	0.514 ± 0.027	0.091 ± 0.033
4 c/g	0.336 ± 0.024	0.102 ± 0.023	0.441 ± 0.043	0.155 ± 0.043	0.671 ± 0.058	0.186 ± 0.056
8 c/g	0.654 ± 0.058	0.224 ± 0.047	0.837 ± 0.096	0.381 ± 0.082	1.318 ± 0.099	0.343 ± 0.099
16 c/g	2.63 ± 0.259	0.762 ± 0.168	4.545 ± 0.276	1.180 ± 0.214	7.489 ± 0.672	2.667 ± 0.784

Tabla 2. Valores de Sensibilidad al contraste acotados con su desviación estándar para los tres observadores en las seis frecuencias consideradas

	0.5 c/g	1 c/g	2 c/g	4 c/g	8 c/g	16 c/g
LID	60 ± 15	87 ± 27	153 ± 11	149 ± 46	77 ± 26	19 ± 5
TDI	49 ± 14	62 ± 8	118 ± 25	114 ± 40	59 ± 27	11 ± 2.9
VAI	30 ± 5.4	57 ± 5.3	97 ± 17	74 ± 20	38 ± 10	6.68 ± 2.4

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado dentro del programa de investigación "Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente" auspiciado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT) y el CONICET.

Referencias

1- Arden G.B. Testing contrast sensitivity in clinical practice. Clin. Vision Sci. Vol. 2, No 3 pp. 213-224. 1988.
 2- Artigas J. M., Capilla, Felipe A., Pujol. *Óptica Fisiológica - Psicofísica de la visión (Cap. 13)*. Ed. Interamericana Mc Graw Hill - 1995.
 3- Barbur J. Spatial frequency specific measurements and their use in clinical psychophysics. Clin. Vision Sci. Vol. 2, No 3 pp. 225-233. 1988.
 4- Brown B. y Lovie-Kitchin. High and low contrast acuity and clinical contrast sensitivity tested in a normal population. Optometry and Vision Sciences, vol 66, N° 7, pp 467-473. 1989.
 5- Campbell F. W. y Robson G. J. Application of fourier analysis to the modulation response of the eye. Journal Optic Society American, 54, p. 581. 1964.
 6- Corbé C. Techniques et applications cliniques de la sensibilité au contraste. FORUM, Lux 152, pp.7-9, Mars-Avril 1989.

7- Elliot D. y Whitaker D. Clinical contrast sensitivity chart evaluation. Ophthal. Physiol. Opt., vol. 2, pp. 275-280. Julio 1992.
 8- Elliot D. y Whitaker D. How useful are Contrast Sensitivity Charts in optometric practice? Case reports. Optometry and Vision Science. Vol. 69, No 5, pp. 378-385. 1992.
 9- Ginsburg A. P. A new contrast sensitivity vision test chart. Amer. Jour. of Opt. & Physiol. Opt. Vol. 61, No 6 pp. 403-407. 1984.
 10- Issolio L. Sistema para la calibración de monitores controlados con tarjetas VGA y SVGA. Proyecto final de graduación en Ingeniería Eléctrica. Instituto de Luminotecnia - FaCEyT - UNT. Agosto de 1995.
 11- Kelly D.H. Visual contrast sensitivity. Optica Acta, vol. 24, No. 2, 107-129. 1977.
 12- Legge G., Rubin G. Contrast sensitivity function as a Screening test: a critique. Amer. Jour. of Opt. & Physiol. Opt. Vol. 63 No 4 pp. 265-270. 1985.
 13- Macmillan N.A., Creelman D. Detection Theory: A User's Guide. Cambridge University Press. 1991.
 14- Navarro R., Losada M. A., Perez M. CSFTTEST: Un sistema informatizado para la medida de la función sensibilidad al contraste. Revista Integración 4. pp. 4-10. Octubre 1990.
 15- Pelly D., Robson, J.G., Wilkins A.J. The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. Clin. Vision Sci. Vol. 2, No 3 pp. 187-199. 1988.
 16- Reeves B.C., Wood J.M., Hill A.R.. Vistech VCTS 6500 Charts - Within - and Between - Session Reliability. Optometry and Vision Science, vol 68, pp 728-737. 1991.