

VISIÓN TEMPORAL

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, USA

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, USA

ESTE CAPÍTULO INCLUYE UNA REVISIÓN DE:

- La Función de Transferencia de Modulación Temporal
- Sensibilidad disminuida en las frecuencias temporales bajas
- Sensibilidad disminuida en las frecuencias temporales altas

INTRODUCCIÓN

El campo de la *visión espacial* estudia cómo percibimos los cambios de luminancia a través del espacio (imágenes), pero la **visión temporal** tiene que ver con la forma en que percibimos los cambios de luminancia con el tiempo. Esto está estrechamente relacionado con la percepción del movimiento.

Se vio que la visión espacial puede evaluarse utilizando una variedad de estímulos-letras, rejilla de onda cuadrática, etc. Sin embargo, las rejillas sinusoidales son las preferidas por los científicos, debido a que:

- Son imágenes básicas construidas con bloques
- Se prestan para el análisis de Fourier
- Si la prueba es una rejilla onda sinusoidal, la imagen de la retina será una rejilla de onda sinusoidal de la misma frecuencia espacial, aunque su contraste se reducirá

El estímulo básico que se utiliza para estudiar la visión temporal es una luz con un perfil de luminancia que cambia de forma sinusoidal en el tiempo (Figura 18-1, abajo). Esta aparece como una luz centelleante.

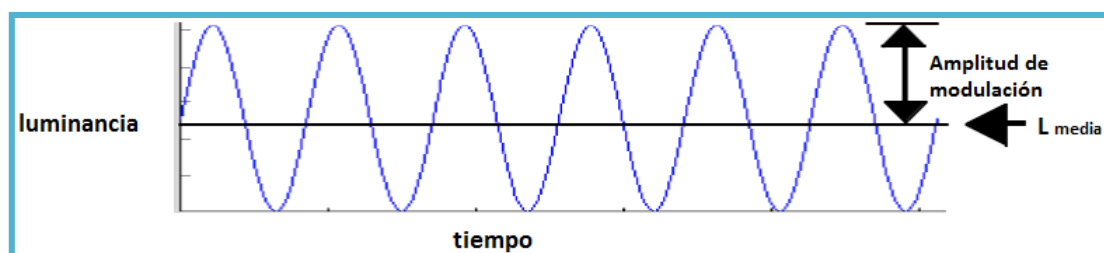


Figura 18-1: El estímulo utilizado para estudiar la visión temporal es una luz cuya luminancia se modula sinusoidalmente en el tiempo

INTRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

En la visión espacial a veces se refiere al contraste como modulación. La función de transferencia de modulación (FTM) describe la cantidad de contraste (modulación) transferido desde el objeto a la imagen por un sistema óptico. El contraste, expresado como porcentaje, podría tener un valor entre 0 y 100%.

Al equivalente temporal del contraste espacial se llama **porcentaje de profundidad de modulación**. Se puede pensar en él como **contraste temporal**. Se calcula de manera similar a contraste espacial, excepto que el contraste varía en el tiempo, en lugar del espacio. Schwartz, 2004 en la fig. 8-2 muestra ejemplos de modulaciones alta y baja; es decir, contraste temporal alto o bajo. La fórmula a continuación, para el contraste temporal, es básicamente la misma que la del contraste de Michelson, excepto que el contraste varía con el tiempo.

$$(\% \text{ de modulación}) = (\text{amplitud de modulación}) / (\text{luminancia media}) * 100$$

Además del contraste temporal (porcentaje de profundidad de modulación), un estímulo utilizado para estudiar la visión temporal puede variar en términos de la **frecuencia temporal**. La frecuencia temporal puede ser más fácil de entender que la frecuencia espacial. Otra razón por la que la visión temporal es menos compleja que la visión espacial es que es una función de una sola dimensión, en lugar de dos dimensiones. Schwartz, 2004 en la fig. 8-3 muestra ejemplos de perfiles de frecuencia temporal alta y baja.

Características básicas de los estímulos temporales:

- La frecuencia se refiere al número de ciclos de centelleo de encendido y apagado por segundo. La unidad de ciclos por segundo es el **Hertz (Hz)**
- La baja frecuencia se refiere a un centelleo lento; alto significa un centelleo rápido
- A cierta frecuencia el centelleo se hace tan rápido que ya no se puede percibir - parece ser una luz fija. Esta frecuencia se llama **frecuencia crítica de fusión (FCF)**
- Este es el límite de resolución temporal. Es análogo al límite de resolución de la frecuencia espacial, o el punto de corte de la frecuencia alta

FTM TEMPORAL

En el caso de una luz centelleante, la iluminancia retiniana causada por la imagen que cae en un lugar concreto de la retina cambia con el tiempo. La variación en la iluminación de la retina en ese punto podría representarse gráficamente como una función unidimensional.

Considere el ejemplo de alguien que mira un solo destello de fuegos artificiales (Fig. 18-2)

- Al principio, el sujeto está mirando a un cielo negro. La iluminancia retiniana en este momento es casi cero. De repente, el fuego artificial explota, y hay un aumento instantáneo en la iluminación de la retina (el flash en la fig. 18-2)
- El alto nivel de iluminación foveal persiste durante una fracción de segundo
- El brillo luego disminuye rápidamente (el desvanecimiento en la Fig. 18-2). Después de unos segundos vuelve a caer a casi cero

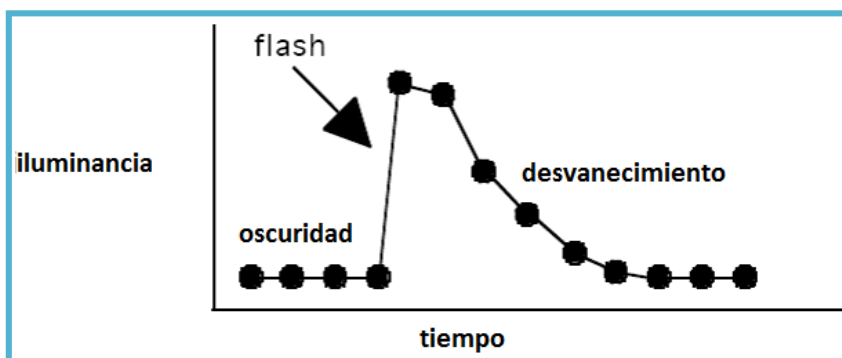


Figura 18-2: La iluminación en un punto de la retina graficada como una función del tiempo, por ejemplo con un fuego artificial

FTM TEMPORAL (CONTINUACIÓN)

Como con cualquier función, esta función unidimensional también puede ser analizada con Fourier

- La función puede ser dividida en componentes fundamentales
- Cada componente sería una onda sinusoidal que muestra la iluminación de la retina como una función del tiempo. Como cualquier función (en este caso la iluminación en función del tiempo) se puede descomponer en ondas sinusoidales, es lógico utilizar los estímulos temporales sinusoidales para estudiar las respuestas temporales básicas del sistema visual
- En otras palabras, el estímulo básico usado para estudiar cómo el sistema visual percibe los cambios de luminancia en el tiempo es una luz centelleante cuya iluminación cambia de forma sinusoidal con el tiempo

Los dos parámetros de estímulo básicos para un estímulo temporal sinusoidal son:

- El contraste Temporal (porcentaje de profundidad de modulación)
- La frecuencia temporal (velocidad de centelleo)

Para estudiar cómo el sistema visual percibe los cambios de luminancia en el tiempo, hay que evaluar el ojo con varias luces de centelleo sinusoidal con diferentes modulaciones y frecuencias. **Esto conduce al concepto de una función de transferencia de modulación temporal (FTMT)**. Esto traza los límites de la capacidad de percibir el centelleo como el estímulo medida que varía en función de la modulación (contraste temporal) y la frecuencia. La FTMT es análoga a la FSC, que traza el límite de la capacidad de percibir una rejilla de onda sinusoidal de diferentes contrastes y frecuencias espaciales.

En referencia a la figura 18-3, se puede ver cómo construir una FTM temporal:

- El sujeto ve un parche iluminado de luz que centellea en una frecuencia baja, y tiene muy baja modulación (contraste temporal). Tal vez el contraste es sólo ± 1 NIT en relación con el fondo. Este cambio sutil en luminancia (contraste) es tan pequeño que el sujeto no detectará el centelleo
- Manteniendo la misma frecuencia, pero aumentando el contraste (modulación) hasta que el sujeto detecta el centelleo. Se obtiene el umbral del contraste temporal (modulación) para esta frecuencia
- Se repite el procedimiento para las otras frecuencias y se traza un gráfico del umbral como una función de la frecuencia (Figura 18-3, a la izquierda)
- El recíproco del umbral es la sensibilidad, por lo que también se puede representar la sensibilidad en función de la frecuencia (Figura 18-3, a la derecha). Esta es la FTM temporal para el sistema visual

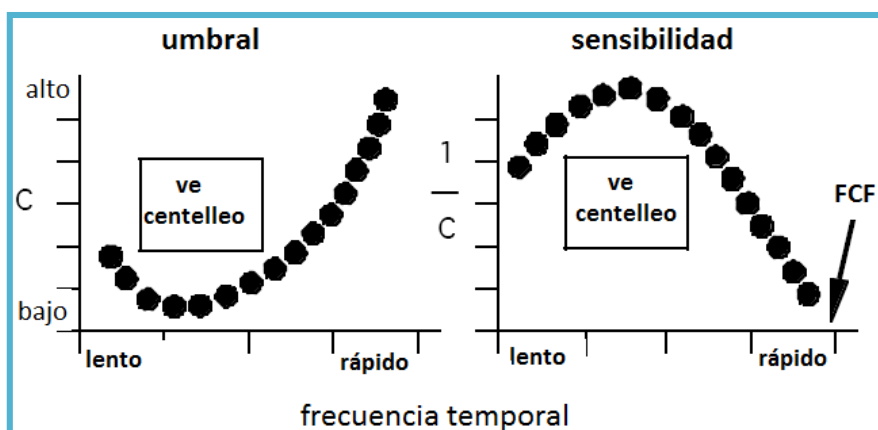


Figura 18-3: Datos de un experimento del umbral utilizados para graficar la FTMT

FTM TEMPORAL (CONTINUACIÓN)

Mirando de cerca el gráfico de la izquierda, se puede observar lo siguiente:

- En el eje Y, los valores altos representan una alta modulación (alto contraste temporal); los valores bajos representan baja modulación (contraste temporal bajo)
- *En la visión espacial, es siempre fácil de ver el alto contraste que bajo contraste. Del mismo modo, en la visión temporal, es siempre más fácil de ver la alta modulación que la baja la modulación*
- Todos los valores de modulación por encima de la curva de umbral representan la modulación que se puede ver. La curva representa la modulación más baja que puede ser vista
- Los estímulos con valores de modulación por debajo de la curva no se pueden detectar. El centelleo no se ve y la luz parece estable

Del mismo modo, se observarán algunas de las características de la FTMT (Figura 18-3, a la derecha o Fig. 8-4 de Schwartz):

- Dado que el eje Y representa gráficamente la inversa de la modulación, los valores altos se corresponden con la modulación baja (contraste temporal bajo) y valores bajos representan la modulación alta
- La sensibilidad alta significa que el sujeto puede ver la modulación baja
- Los valores de modulación correspondientes al área bajo la curva representan el rango de valores de centelleo y contraste que la persona puede ver. Los valores de sensibilidad por encima de la curva representan estímulos para los que el centelleo no es visible. La luz aparece constante
- Se resalta la similitud con el FSC. La sensibilidad pico se produce a frecuencias de rango medio, pero es peor para en las frecuencias más bajas y más altas

La frecuencia espacial más alta que una persona puede resolver se indica mediante el valor extremo a la derecha en la curva de FTMT. Esto se conoce como la frecuencia crítica de fusión del centelleo (FCF), y se muestra, para el contraste temporal alto en la Figura 18.3 a la derecha. Normalmente, cuando se refieren a la FCF, se tiene en mente la FCF de alto contraste, como se muestra en la figura anterior. Sin embargo, como se muestra en la Fig. 8-7 de Schwartz, si se está usando un centelleo de contraste más bajo, la FCF puede referirse a cualquiera de los dos centelleos, mínimo o máximo detectable.

DISMINUCIÓN DE LA SENSIBILIDAD EN LAS FRECUENCIAS TEMPORALES BAJAS

Las frecuencias temporales bajas se refieren a cambios muy lentos de los niveles de luminancia. Algunos ejemplos incluyen:

- **“Centelleo” del día-noche:** Se podrían considerar los ciclos de iluminación de día y noche causados por el sol como un centelleo de muy baja frecuencia. Si se observa un trozo de acera en un día despejado, su luminancia estaría cambiando muy poco a poco, debido a la radiación causada por el cambio de ciclo de 24 horas de sol. No sería necesario ver el parche por un ciclo completo, aún así la *velocidad* de cambio se basa en la frecuencia muy baja de 1 ciclo / 24 horas, que es igual a 1,0 cicle/86400 segundos, o una frecuencia de 0,000016 Hz. Es obvio que se tendrían grandes dificultades para percibir este cambio de luminancia en el tiempo
- **Un objeto que se mueve lentamente:** Fijando fovealmente un punto en un reloj a medida que el minutero pasa. Se mueve tan lentamente que hay gran dificultad para detectar el cambio en la iluminación de la retina que acompaña el movimiento

Es intuitivamente obvio que los cambios muy lentos en luminancia son difíciles de detectar. La sensibilidad reducida a las frecuencias temporales bajas parece ser causada por procesos inhibitorios laterales en la retina (de manera similar a la visión espacial).

Un ejemplo de esto son las **imágenes estabilizadas de la retina**.

FTM TEMPORAL (CONTINUACIÓN)

La vasculatura retinal proyecta una sombra sobre los fotorreceptores, pero no es visible. Debido a que las sombras de la retina no se mueven, tienen una frecuencia temporal de 0, y el ojo es muy insensible a la falta de movimiento de los patrones de luminancia (que no cambian). En ocasiones, como durante la oftalmoscopia o durante un examen con lámpara de hendidura, la luz entra en el ojo en un ángulo inusual y las sombras cambian. Con el repentino cambio en la iluminación local (alta frecuencia temporal), las sombras se hacen visibles. Aparecen al paciente como un patrón en rama conocido como el **árbol de Purkinje**. Esto se basa en los principios de la percepción descritos en la FTM temporal.

La insensibilidad del sistema visual a la baja frecuencia temporal es también la base para el **fenómeno de Troxler** o **efecto de Troxler**. Esto se define por el Diccionario de Ciencia Visual como: "El desvanecimiento o desaparición temporal e irregular de un pequeño objeto en el campo visual durante la fijación estable de otro objeto, por ejemplo, durante la fijación de uno de varios puntos dibujados en una hoja de papel desaparecen y reaparecen los de otros lugares". (Hofstetter, 2000).

Esto también está muy bien descrito por William Hart, en la Fisiología del ojo de Adler (9^a edición), 1992, en la página 509. *Un fenómeno relacionado con las fronteras del contraste se denomina "fenómeno de Troxler."* Si un punto de luz se presenta en el campo visual periférico con un incremento fijo por encima de una luz de fondo de adaptación, y si la posición de la luz permanece sin cambios durante un período de varios segundos, comenzará lentamente a desaparecer de la vista. *Tan pronto como el punto de luz se cambia de posición, o si se cambia el punto de fijación del ojo, la luz vuelve a aparecer inmediatamente. En un principio se podría pensar que este fenómeno podría explicarse por el blanqueamiento local de los fotorreceptores en la posición del estímulo punto estabilizado. Sin embargo, el hecho de que el punto aparece inmediatamente en el movimiento del ojo que muestra la recuperación de la sensibilidad es casi instantánea y no sigue el curso del tiempo de la regeneración de los fotopigmentos. Más bien, esto parece ser un rápido mecanismo que es presumiblemente de base neural.*

Esto se puede notar mientras se ve una puesta en escena. Mientras se mira a un actor, los otros personajes que no se muevan y que son vistos por la visión periférica desaparecen, hasta que se hace un movimiento de re fijación.

Figura 18-4, abajo (y la Fig. 8-5 de Schwartz, 2004), ayudan a demostrar la insensibilidad relativa del ojo para frecuencias temporales bajas. Si usted mira fijamente el punto negro a la izquierda, los bordes de la zona gris se desvanecen rápidamente de la vista. En el modelo de la derecha, sin embargo, la línea discontinua no se desvanece.

P. Por qué ?

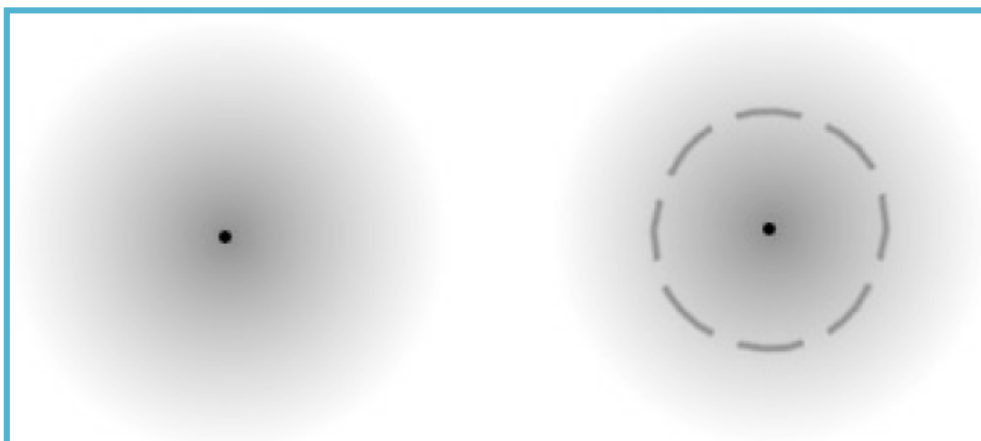


Figura 18-4: La insensibilidad relativa del ojo a las frecuencias temporales bajas

DISMINUCIÓN DE LA SENSIBILIDAD EN LAS FRECUENCIAS TEMPORALES ALTAS

¿Qué causa la reducción de la sensibilidad del ojo a frecuencias temporales altas? Por ejemplo, las luces fluorescentes del techo centellean aproximadamente a 60 Hz, pero parecen estables. Superan el FCF del ojo, por lo que el centelleo no se puede resolver. El **punto de corte de la FTM temporal de alta frecuencia** representa el más alto de centelleo que puede resolverse cuando la profundidad de modulación es del 100%. *Cuando en las referencias de la FCF no especifican la modulación, se puede suponer que se refieren al punto de corte de la modulación al 100% de alta frecuencia.* El punto de corte de la alta frecuencia es debido a la limitación en la velocidad de procesamiento del sistema nervioso.

Cuanto más rápida sea una neurona para conducir y procesar los datos, más rápido será su FCF, y también será mejor en la detección de movimiento. La información que proviene de los conos de la retina (visión fotópica) se transmite al cerebro a través de dos tipos de neuronas, las neuronas **magnocelular** y **parvocelular**. Las neuronas magnocelular llevan principalmente información de los conos de la periferia, y tienen axones de mayor diámetro que llevan las señales más rápido que las neuronas parvo. Por tanto, el sistema magnocelular es mejor para detectar el movimiento que el sistema parvocelular.

LECTURAS/REFERENCIAS SELECCIONADAS

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- Hofstetter HW. **Dictionary of visual science and related clinical terms**. Butterworth-Heinemann. 2000
- Adler FH and Hart WM. **Adler's physiology of the eye. 9th Edition**. Mosby, St Louis. 1992