

## Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen  
Volume 23

Número  
Number 2

Septiembre  
September 2002

*Artículo:*

### Método objetivo para evaluar la agudeza visual dinámica utilizando respuestas pupilares

Derechos reservados, Copyright © 2002:  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de  
este sitio:

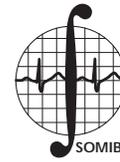
-  [Índice de este número](#)
-  [Más revistas](#)
-  [Búsqueda](#)

*Others sections in  
this web site:*

-  [Contents of this number](#)
-  [More journals](#)
-  [Search](#)



[www.medigraphic.com](http://www.medigraphic.com)



# Método objetivo para evaluar la agudeza visual dinámica utilizando respuestas pupilares

A. Zúñiga López,\*  
E. Suaste Gómez\*

\* Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
Sección Bioelectrónica. CINVESTAV-IPN,  
Av. IPN No. 2508, Zacatenco, México  
D.F., C.P. 0700, México.  
azuniga@mail.cinvestav.mx,  
esuaste@mail.cinvestav.mx

Artículo recibido: 15/mayo/2002  
Artículo aceptado: 20/agosto/2002

## RESUMEN

El propósito de este trabajo es evaluar la agudeza visual (AV) objetivamente con optotipos de la carta de Snellen en movimiento, para sujetos con corrección óptica y sin ella, haciendo uso de sus respuestas pupilares. Para medir la AV dinámica se establecen las condiciones de luminancia y contraste. Una vez controlada las condiciones del estudio se le presenta al sujeto un optotipo en movimiento, con una frecuencia de excitación senoidal inicial de 0.1 Hz y se aumenta gradualmente, hasta que el sujeto es incapaz de distinguir el carácter de la carta de Snellen. La AV dinámica objetiva se obtiene utilizando la técnica de video-oculografía con la que es posible detectar los cambios pupilares mediante el procesamiento de imágenes. Uno de los resultados obtenidos en este trabajo, es cuando se presenta el reflejo dilatador de la pupila que coincide con el momento en que el sujeto dejó de percibir el optotipo lo que garantiza que este método sea considerado como objetivo para la evaluación de la AV dinámica. De igual forma, los resultados demuestran que la AV de un individuo para detectar, reconocer o resolver detalles de una imagen es diferente si el objeto y/o la imagen se encuentra en movimiento.

## Palabras clave:

Agudeza visual, carta de Snellen, reflejo dilatador pupilar, video-oculografía, luminancia y contraste.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to evaluate objectively the visual acuity (VA), using optotypes in movement, of a subject with optic correction and without it making use of its pupillary response. To measure the VA, the conditions of luminance and contrast are settled down. Once the conditions of the study are controlled, an optotype in movement is introduced to the subject. The sinusoidal frequency of the optotype is varied starting from 0.1 Hz and gradually increasing, until the subject is not able to distinguish the character of the Snellen chart. The objective VA is obtained using the technique of video-oculography which can detect the pupillary changes by means of images processing. The results obtained by this method, that is, when reflex dilatation of the pupil coincides with the moment in which the subject stops to perceive the optotype, guarantees that this method can be considered as objective for the evaluation of the VA dynamics. In the same way, the results demonstrate that the visual system of an indi-

vidual to detect, to recognize or to solve details of an image is different if the object or the image is in movement.

**Key Words:**

Visual Acuity, Snellen Chart, Reflex Dilatation of Pupil, Video-Oculography, Luminance and Contrast.

## INTRODUCCIÓN

El límite de la visión espacial está íntimamente relacionado con el tamaño del detalle más pequeño que un observador es capaz de detectar o reconocer. Por lo que la medición de la AV nos permite conocer la capacidad del sistema visual de un individuo para detectar, reconocer o resolver detalles especiales en un optotipo de alto contraste, con un buen nivel de iluminación<sup>1,2</sup>. Por otro lado, se conocen varios tipos de respuestas pupilares que se suscitan en el ser humano, entre éstas están; el reflejo a la luz, el acomodamiento causado con la visión cercana, el reflejo a la oscuridad, el ocasionado por el parpadeo y el reflejo dilatador asociado a reacciones sensoriales o emocionales<sup>3,4</sup>.

Por las características propias del estudio planteado, se descartan las respuestas pupilares vinculadas con; el parpadeo, la oscuridad, el de la visión cercana (el optotipo se proyecta a más de 3 m), y el reflejo debido a la luz en virtud de que la luminancia de los optotipos se mantiene constante durante la valoración. De ahí que, únicamente el reflejo dilatador de la pupila es el más apropiado como un indicador objetivo de la AV dinámica así como de la determinación de la frecuencia de apreciación nítida de las letras de Snellen. Lo anterior se sustenta en que la respuesta o el reflejo dilatador de la pupila es generada por inhibición parasimpática o por estimulación simpática evocada sensorialmente o emocionalmente. Este reflejo puede observarse aún sin excitabilidad nerviosa en la pupila.

De esta forma, este método evalúa objetivamente la AV de sujetos que habitualmente requieren una corrección óptica haciéndolo con y sin anteojos, para ello se utilizan una serie de optotipos a diferentes frecuencias de excitación.

Para establecer la AV se le presentan al observador, a una distancia fija, varios optotipos de alto contraste de distintos tamaños. El tamaño del optotipo más pequeño, que el observador es capaz de detectar o reconocer, se toma como valor umbral y se suele expresar en minutos de arco.

Expresar el tamaño del objeto por el valor del ángulo visual  $u$  en lugar de expresar el tamaño lineal ( $y$ ) tiene la ventaja de que el umbral resulta independiente de la distancia.

En la práctica, los caracteres de Snellen se diseñan de manera que el menor detalle es 1/5 de su tamaño. Por esta razón a veces se define la AV como  $V = 5/u$ , donde  $u$  representa el tamaño del optotipo más pequeño detectado, y no el del más pequeño, que sería 5 veces menor.

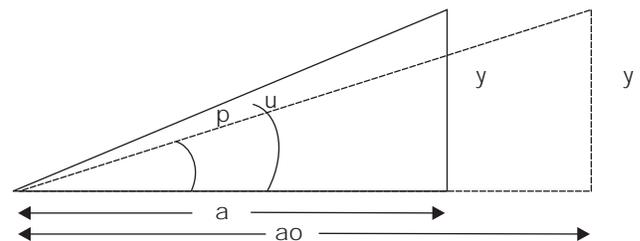
La agudeza también puede expresarse por la fracción de Snellen.

$$V = a/a_0 \quad (1)$$

donde  $a$  es una distancia estándar a la que se coloca la carta que contiene los optotipos de tamaño progresivamente decreciente y  $a_0$  es la distancia a la cual el carácter más pequeño reconocido por el sujeto a la distancia estándar subtendería  $u = 1$  minuto (Figura 1).

Además, para este tipo de estudio es necesario conocer los factores que afectan directamente al optotipo y por lo tanto al estímulo utilizado, como son: luminancia y contraste.

Para la valoración de la AV, se hace uso de la video-oculografía (VOG), una ventaja es que es una técnica no invasiva basada en el procesamiento de imágenes de video, se aplica tanto al estudio e investigación de las manifestaciones de los mo-



**Figura 1.** Representación de la agudeza de Snellen como la fracción  $a/a_0$ . Un objeto de tamaño  $y$  que es reconocido por el observador a la distancia  $a$  de calibración de la carta subtendiendo 1 minuto de arco cuando se sitúa a una distancia  $a_0$ .

vimientos oculares así como de la dinámica de las respuestas pupilares<sup>5-6</sup>.

## METODOLOGÍA

Los elementos utilizados en este trabajo son:

**Sistema de proyección:** está constituido principalmente por un proyector que es un armazón de aluminio a la cual se le adapta una lente de acercamiento fotográfico y una guía de luz de fibra óptica; una pantalla curva (con un ángulo visual de 35°); y un sistema de control para un galvanómetro de bobina móvil cuya finalidad es controlar la posición, el ángulo y la frecuencia de proyección, mediante un espejo que está instalado sobre la bobina móvil del galvanómetro que refleja el optotipo sobre la pantalla semicircular. Así mismo, se coloca el sensor de luminancia con la finalidad de verificar que no se presenten alteraciones de las condiciones iniciales de iluminación del estudio. Lo anterior se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.

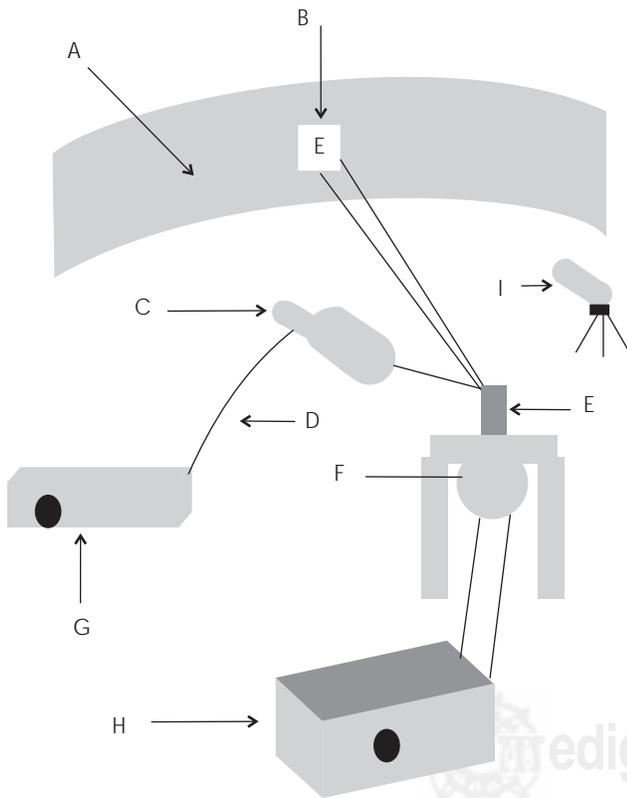


Figura 2. Elementos básicos del sistema: A) pantalla curva, B) optotipo, C) proyector (zoom), D) fibra óptica, E) espejo, F) galvanómetro, G) fuente luminosa, H) generador de onda senoidal, I) sensor de luminancia.

**Optotipos:** se manufacturaron siguiendo la norma con que se hacen las letras de Snellen. Como van a ser proyectadas se calcularon de modo que el observador las distinguiera como una letra de la carta de Snellen a 3.05 metros de distancia (Figura 3).

## Condiciones del estudio

- Luminancia ambiental: 85 cd/m<sup>2</sup>
- Luminancia del área de proyección sin el optotipo: 570 cd/m<sup>2</sup>
- Luminancia de proyección con el optotipo: 172 cd/m<sup>2</sup>
- Contraste del optotipo: 0.5
- Luz ambiental: de color blanco
- Adaptación fotópica del ojo: con una luminancia menor a la presentada con el optotipo: 60 cd/m<sup>2</sup>
- Ángulo de proyección del optotipo: 20°

La medición de la luminancia se hizo con un fotómetro LightGauge Coherent IL 1400A, el margen de medición de luminancia es de 0.1 a 1.4x10<sup>7</sup> cd/m<sup>2</sup>, por medio de un sensor International Light SEL033. Esta medición se hizo sobre un soporte oftalmológico mismo donde el paciente reposa su barbilla manteniendo fija la cabeza. La distancia del ojo del sujeto y la pantalla de proyección fue de 3.05 m

Asimismo, se coloca una cámara frente al ojo del sujeto para filmar la posición ocular y la respuesta pupilar, simultáneamente se graba la frecuencia de estimulación en el canal de audio de la videograbadora, de alta fidelidad (Hi-Fi), Sony modelo SVO-160. La cámara se coloca frente al ojo contrario, del que está viendo la proyección, es decir va a ser un registro consensual (Figura 4). La cámara utilizada es una Sony CCD-TRV75 Hi 8, con opción de filmación nocturna (nigth shot); dicha condición es fundamental para la realización de los estudios debido a que de esta manera se

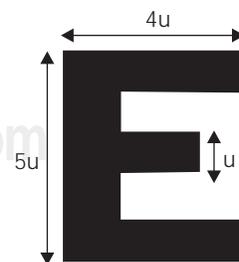
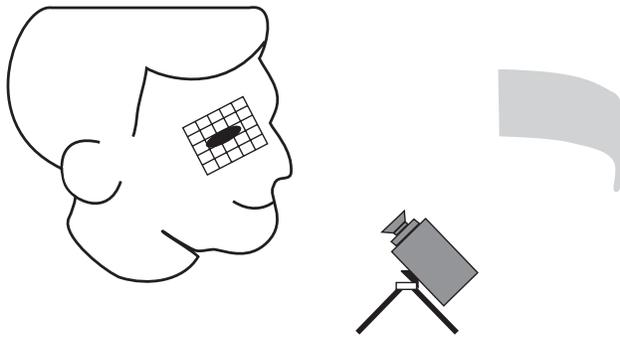


Figura 3. Letra E de la carta de Snellen.



**Figura 4.** Sistema de video-oculografía con iluminación de luz infrarroja para el registro consensual del ojo incluyendo la cuadrícula de calibración.

obtiene una visión óptima de la pupila. Es decir, se evita iluminar al ojo con luz visible, lo que provocaría el reflejo pupilar a la luz y/o una contracción pupilar indeseable para el estudio.

El procesamiento de la imagen se realizó usando la tarjeta digitalizadora de video Data Translation Frame Grabber de 512 x 512 x 8 bits de imagen de video usando 256 niveles de grises. A las imágenes obtenidas se les aplica un segmentado con la técnica de umbralizado, considerando que la pupila es la región más oscura de la imagen, de esta forma se obtiene una imagen contrastada con dos niveles específicos de intensidad. Por último se hace una comparación entre cuadros de imágenes para determinar en qué cuadros no hay una traslación de la pupila. Asociada con las imágenes de la pupila se encuentra una cuadrícula con cuadros de 1 mm<sup>2</sup> con la finalidad de referenciar la posición ocular y calibrar las áreas pupilares.

#### Protocolo de estudio

- A) Se coloca al sujeto de frente a la pantalla curva a una distancia de 3.05 m.
- B) Se proyecta (manteniendo fija) una letra de prueba de tamaño 20/20 con una luminancia de 85 cd/m<sup>2</sup> para asegurar las condiciones óptimas de luminancia y contraste del optotipo. Dicho carácter se debe ver con detalle y total nitidez.
- C) Inicia la prueba proyectando la letra de Snellen de mayor tamaño iniciando con una frecuencia baja de 0.1Hz, la frecuencia se aumentará lentamente en pasos de 0.1 Hz. Al ir modificando la frecuencia de excitación, el sujeto debe decir si distingue el carácter y de qué letra se trata. Se continuará aumentando la frecuencia hasta el momento en que el sujeto indique que

ya no puede distinguir la letra. La voz del sujeto se graba en el otro canal de audio de la video-grabadora, con la finalidad de corroborar con la detección del reflejo dilatador de la pupila.

- D) Se cambia el tamaño del optotipo y se repiten las indicaciones del inciso anterior finalizando el estudio cuando el sujeto ya no es capaz de distinguir el optotipo de menor tamaño.
- E) Al sujeto se le hacen dos pruebas la primera sin corrección óptica y la otra con anteojos.

#### RESULTADOS

Los estudios se realizaron a cinco sujetos, con un rango de edad de 25 a 35 años. A estos sujetos se les determinó primeramente la AV sin corrección aérea, usando el método de proyección de la carta de Snellen estática. De esta manera se gradúa la agudeza del paciente con el patrón habitual, en relación con la línea más pequeña de letras que haya leído. Los resultados de la AV estática y el porcentaje de pérdida de la misma<sup>4</sup> de los cinco sujetos se muestran en el Cuadro 1.

La Figura 5 muestra un cuadro de imagen obtenido al realizar la valoración de la AV, mediante la VOG con iluminación de luz infrarroja e incluyendo la cuadrícula de referencia con cuadros de 1 mm<sup>2</sup>. La resolución del sistema de medición obtenida de la imagen de video se hizo filmando alambres magnetos de diferentes calibres a los cuales previamente se les midieron sus diámetros con un tornillo micrométrico Starrett (resolución de 2.5 µm), obteniéndose un límite mínimo de la lectura sobre la imagen procesada o resolución de 50 ± 2.5 mm.

Con el procesamiento de imágenes se observó que cuando el individuo ya no es capaz de distinguir el optotipo el ojo deja de seguirlo, quedando inmóvil aproximadamente 66 ms al mismo tiempo se manifiesta el reflejo dilatador de la pupila, es decir la pupila se dilata un 20% ± 1 de su área

**Cuadro 1.** La AV evaluada con el método convencional de la carta de Snellen, para el ojo derecho (OD) y el ojo izquierdo (OI) de los cinco sujetos bajo estudio.

Sujeto	AV OD,	% pérdida	AV OI,	% pérdida
1	20/30,	9	20/40,	16
2	20/80,	42	20/25,	4
3	20/30,	9	20/60,	30
4	20/30,	9	20/40,	16
5	20/30,	9	20/25,	4

pupilar que tenía antes de que se mantuviera inmóvil. La Figura 5 exhibe un cuadro del video que se procesó antes de que el ojo se detuviera, la Figura 6 presenta el reflejo dilatador pupilar con el ojo inmóvil. La AV se determinó en ese momento y la frecuencia de estimulación correspondiente se obtuvo por la grabación de ésta en el canal de audio de la videograbadora. Por lo anterior se concluye que este método de evaluación de la AV es un método objetivo.

El Cuadro 2 indica la AV obtenida del ojo derecho de cada sujeto con los optotipos en movimiento. Se indica el porcentaje de pérdida de la AV en ambos casos.

La Figura 7 ilustra el comportamiento dinámico que se obtuvo de la AV (de los sujetos bajo estudio) con respecto a la frecuencia de estimulación sin corrección óptica y con ella.

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Un aspecto importante de los resultados obtenidos, es que la AV estática de un individuo que usualmente es evaluada con el método tradicional

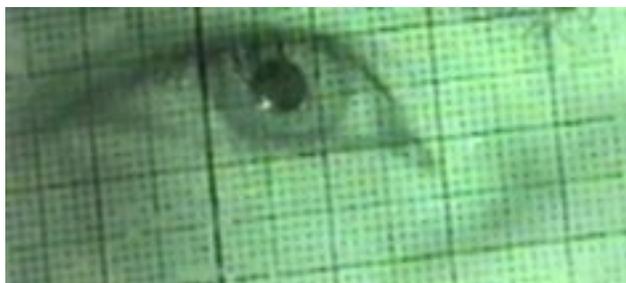


Figura 5. Imagen obtenida con el sistema de VOG, con iluminación infrarroja y la cuadrícula de calibración de 1 mm<sup>2</sup>. Diámetro de la pupila de 5 mm.

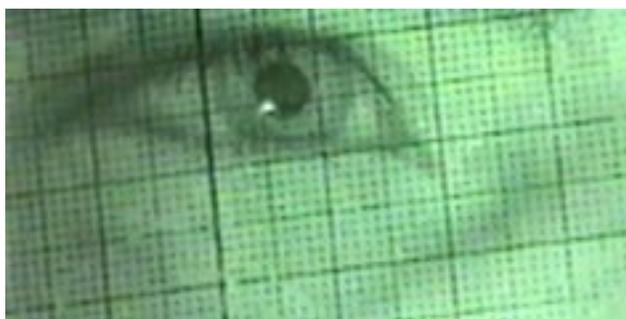


Figura 6. Imagen obtenida con el sistema de video-oculografía, con iluminación infrarroja y la cuadrícula de calibración, exhibiéndose el reflejo dilatador de la pupila. Diámetro de la pupila de 5.5 mm.

**Cuadro 2.** AV del ojo derecho sin corrección óptica (SC) y con corrección (CC), medida con optotipos en movimiento. Indicando el porcentaje de pérdida de la AV para cada caso.

Sujeto	SC, % pérdida	CC, % pérdida
1	20/40, 16	20/25, 4
2	20/50, 24	20/30, 9
3	20/50, 24	20/25, 4
4	20/40, 16	20/25, 4
5	20/40, 16	20/30, 9

usando la carta de Snellen, no es igual a la AV en movimiento, evaluada por el método dinámico que se propone en este trabajo.

De la Figura 7, se aprecia que en la mayoría de los individuos estudiados la AV en forma dinámica disminuye sin corrección óptica, pero en el sujeto 2 mejora llegando a un 20/50, un resultado asociado a que las correcciones ópticas de este sujeto no fueron las óptimas. Igualmente, se contempla que en la mayoría de los sujetos responden a frecuencias bajas, tres de ellos no sobrepasan 1.2 Hz, cuando no tienen puesta su corrección aérea. Sin embargo, cuando los sujetos de estudio tienen sus anteojos se incrementa la frecuencia de percepción, hasta 0.4 Hz. De las mismas gráficas, se observa que la AV aumenta cuando el individuo trae puesto su corrección óptica, en tres casos alcanzó hasta 20/25 (pérdida del 4%); así como la AV (sin corrección) empieza a disminuir en la mayoría de los sujetos cuando la frecuencia aumenta a más de 0.8 Hz, exhibiendo un ancho de banda de 0.8 a 1.2 Hz.

De los estudios realizados por el grupo de Stark<sup>8</sup> relacionados con la frecuencia característica de los movimientos rápidos (sacádicos) del ojo, cuando responde a estímulos visuales a diferentes frecuencias sin optotipos, se reportó un ancho de banda de 9 Hz para un ángulo de proyección de 20°. Por lo anterior, y considerando que se tiene el mismo ángulo de proyección; se concluye que el ancho de banda (1.2 Hz) de la frecuencia a la estimulación obtenida de los sujetos bajo estudio de la AV dinámica; se ve disminuida dramáticamente hasta un 86 %, es decir, cuando al estímulo visual está asociado a la percepción visual en movimiento de una letra de Snellen.

De igual forma, Burr<sup>9</sup> exhibe que proyectando un estímulo visual de 1° de ancho, conformado por una sucesión de barras verticales blancas y oscuras de igual tamaño. Se observa que la ve-

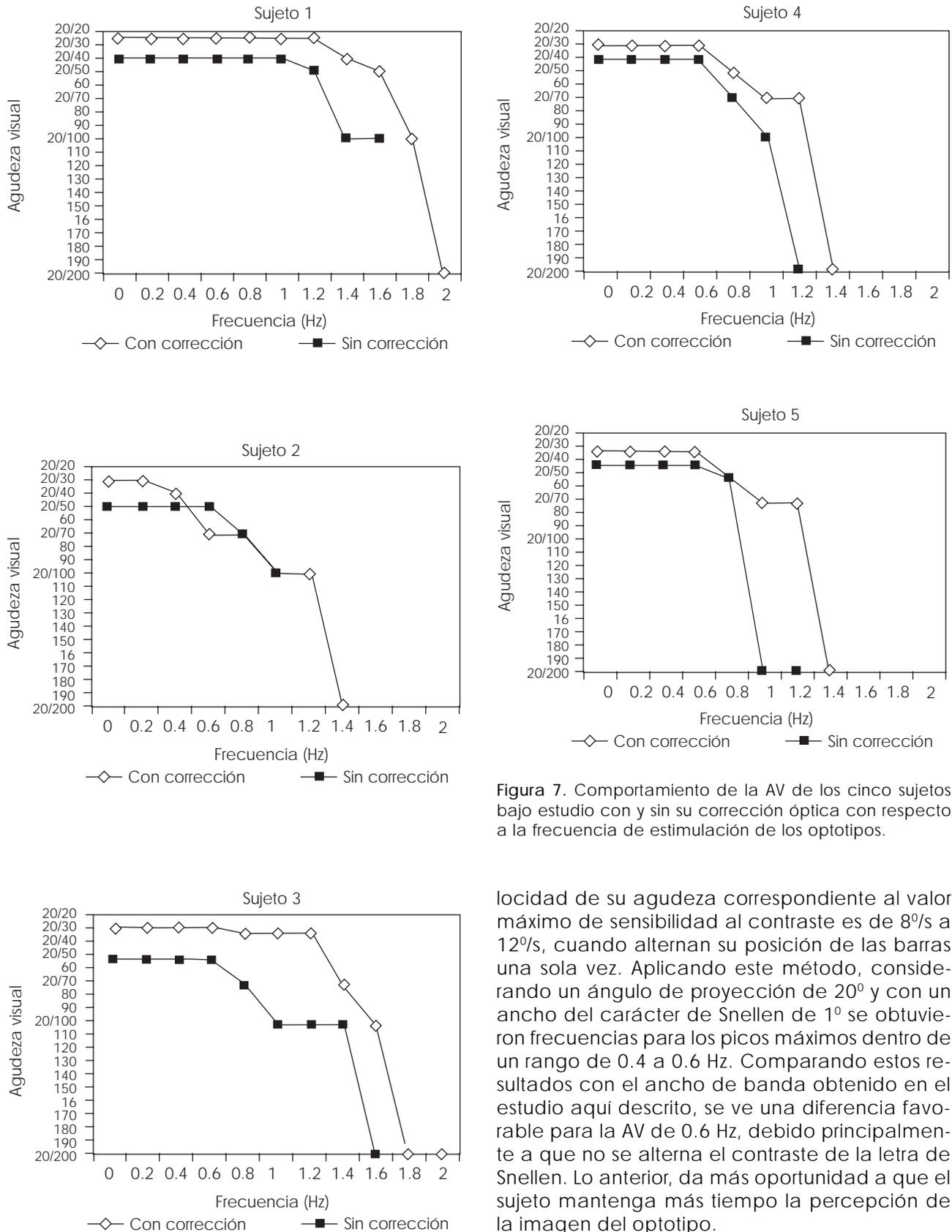


Figura 7. Comportamiento de la AV de los cinco sujetos bajo estudio con y sin su corrección óptica con respecto a la frecuencia de estimulación de los optotipos.

locidad de su agudeza correspondiente al valor máximo de sensibilidad al contraste es de 8°/s a 12°/s, cuando alternan su posición de las barras una sola vez. Aplicando este método, considerando un ángulo de proyección de 20° y con un ancho del carácter de Snellen de 1° se obtuvieron frecuencias para los picos máximos dentro de un rango de 0.4 a 0.6 Hz. Comparando estos resultados con el ancho de banda obtenido en el estudio aquí descrito, se ve una diferencia favorable para la AV de 0.6 Hz, debido principalmente a que no se alterna el contraste de la letra de Snellen. Lo anterior, da más oportunidad a que el sujeto mantenga más tiempo la percepción de la imagen del optotipo.

Aplicando este método, se puede evaluar patologías neuro-oftalmológicas que involucren la movilidad ocular y la percepción visual. Tal es el caso de la nistagmo, estrabismo, etcétera<sup>10,11</sup>.

Se puede concluir que la frecuencia máxima con la que un individuo reconoce a detalle una imagen, disminuye conforme decrece el tamaño de la imagen.

Otro aspecto a concluir según los resultados obtenidos, es que la AV en movimiento y AV estática no es igual. Lo que lleva a considerar varias situaciones, como es el caso de la capacidad del sistema visual que posee el ser humano para detectar, reconocer o resolver detalles de una imagen y/o objetos no es igual si la imagen se encuentra en movimiento a una determinada frecuencia. O si ésta permanece estática en un punto. Es importante notar que en un sinnúmero de actividades que realizan ciertas personas dentro de su trabajo exige que tengan una buena AV en movimiento; entre éstos se puede mencionar a los choferes, pilotos, agentes de tránsito, evaluadores de control de calidad como es el caso de la verificación de productos sobre bandas transportadoras, a los lectores de exhibidores de texto y/o imágenes en movimiento, etc. Para estos casos sería recomendable utilizar el método aquí planteado de la AV dinámica con la finalidad de contribuir al mejor desarrollo de sus actividades.

La principal aportación de este método objetivo para cuantificar la AV es haber demostrado que el reflejo dilatador pupilar es un determinante indi-

gador del instante en que el sujeto deja de visualizar nitidamente el carácter de la carta de Snellen en movimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Artigas JM, Capilla P, Pujol J, Felipe A. Óptica Fisiológica Psicofísica de la Visión. Edit. Interamericana Mc Graw-Hill, Madrid, 1995.
2. Zúñiga A, Suaste E. Sistema para evaluar la agudeza visual basado en patrones en movimiento. II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Clave: 00171, La Habana, Cuba, del 23 al 25 de mayo de 2001.
3. Stark L. Neurological Control Systems, Studies in Bioengineering. Plenum Press, New York, 1968.
4. Moses RA. Adler's Physiology of the eye, Clinical Application. C. V. Mosby Company, 1981.
5. Suaste E, Rivera P, Solis L. Fiber optics and video-oculography associated with pupillary responses and visual evoked potentials for objective perimetry. Journal of Clinical Engineering 1977: 308-315.
6. Clarke A, Teiwes W, Sherer H. Video-oculography, an alternative method for measurement of three dimensional eye movements. Freie Universitat Berlin, 1989.
7. Suaste E, Cajica C, Rivera P. Video-oculography for measurement of torsional nystagmus. Pro. of the 15<sup>th</sup> Ann. Int. Conf. IEEE-EMBS 1993; 15(1): 38-39.
8. Zubber BL, Semmlow JL, Stark L. Frequency characteristics of the saccadic eye movement. Biophysical Journal, 1968; 8: 1288-1298.
9. Burr DC. Human sensitivity to flicker and motion. Vision and visual dysfunction, Ed. J.R. Cronly-Dillon. MacMillan Press 1991; 5: 147-159.
10. Leigh RJ, Zee DS. Ocular Disorders. Vision and visual dysfunction, Ed. J.R. Cronly-Dillon. MacMillan Press 1991; 8: 297-319.
11. Kaminsky HJ, Leigh RJ. Neurobiology of eye movements from molecules to behavior. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 956, 2002.