



Escuela de Óptica y Optometría



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ENVEJECIMIENTO OCULAR: ESTUDIO CLÍNICO SOBRE FILTROS COLOREADOS EN PACIENTES PRÉSBITAS

Ana Sánchez Cerdán

Enrique Domingo Luna

David Gómez López



ENVEJECIMIENTO OCULAR: ESTUDIO CLÍNICO SOBRE FILTROS COLOREADOS EN PACIENTES PRÉSBITAS

Ana Sánchez Cerdán, Enrique Domingo Luna, David Gómez López

1 - INTRODUCCIÓN

La tendencia al incremento de los grupos de población activa de más edad es común en todos los países industrializados, con lo que una gran proporción de la mano de obra está constituida por trabajadores de edades avanzadas (más de 50 años). La Gerontología es, por tanto, una de las áreas con mayor proyección de futuro en la que se demanda un mayor número de profesionales especializados. Entre ellos, los ópticos optometristas, que pueden contribuir a la mejora de la calidad de vida y el desarrollo de las actividades diarias de las personas mayores.

2 - EL PROCESO DE LA VISIÓN

El propósito de la visión es extraer información del entorno físico a través de la luz emitida, reflejada o transmitida por los objetos o superficies.

La luz que llega al ojo pasa a través de la córnea, el cuerpo vítreo (un medio líquido transparente) y es enfocada por el cristalino sobre la retina. Allí la luz estimula a un conjunto de células diseñadas para captarla: los conos y los bastones. Estas células convierten la luz en impulsos eléctricos que son llevados por las fibras nerviosas hacia el nervio óptico y luego al cerebro. Lo que llamamos visión es el resultado de

la interpretación que hace el cerebro de la información que ha recibido a través del nervio óptico, influenciada además por otros factores no visuales como puede ser la memoria.

La influencia de la edad es susceptible de empeorar cualquiera de las etapas de este proceso visual, desde la formación de la imagen óptica en la retina hasta la interpretación de esa imagen en el cerebro. El mayor grado de esta influencia tiene lugar en la primera fase, es decir, en la formación de la imagen. El envejecimiento conduce a un deterioro en las propiedades ópticas del globo ocular (pérdida de transparencia y amarilleamiento) que reduce la nitidez de las imágenes retinianas y altera su cromatismo. Además, produce un peor funcionamiento en los mecanismos nerviosos que responden a las variaciones en los niveles de iluminación (cuesta más adaptarse a los cambios en el nivel de iluminación y es más fácil sufrir deslumbramientos). Por otra parte, el envejecimiento también produce una reducción en la capacidad para combinar la información de los dos ojos, y por tanto, para diferenciar entre distancias cortas.

Una serie de conceptos que deberíamos matizar antes de seguir profundizando en este tema son:

2.1 - Presbicia. En un ojo normal la imagen de un objeto lejano se forma sobre la retina, pero la de un objeto cercano se formaría detrás de la retina si no existiese el mecanismo de enfoque del cristalino. La capacidad de enfoque de una persona no es constante a lo largo de su vida, sino que disminuye de manera progresiva con el paso de los años, es lo que se conoce como presbicia o presbiopía. El motivo básico de esta disminución se debe al endurecimiento del cristalino, lo que dificulta que cambie su forma y por lo tanto que se active este mecanismo acomodativo. La consecuencia óptica de este proceso es la consiguiente dificultad para enfocar objetos cercanos.

Tabla 1: *Distancia del punto próximo atendiendo a la edad.*

DISTANCIAS MEDIAS DEL PUNTO MAS CERCANO QUE PUEDE SER VISTO NÍTIDAMENTE A DISTINTAS EDADES	
EDAD (años)	DISTANCIA (cm)
16	8
32	12.5
44	25
50	50
60	100

2.2 - Miodesopsias. Son sombras sobre la retina provocadas generalmente por la presencia en el cuerpo vítreo de restos de tejidos embrionarios no transparentes. Estos tejidos embrionarios están presentes en la mayoría de los ojos, pero adheridos a las paredes del globo ocular. Sólo cuando se desprenden y se desplazan flotando por el cuerpo vítreo, el sujeto detecta una “mancha oscura” que se mueve, de ahí su nombre de “moscas volantes” o “flotadores”.

2.3 - Halos. Se producen por difusión de la luz, es decir, desviaciones de la luz en muchas direcciones arbitrarias al atravesar un medio. Es característico del edema corneal (la cornea se infla y pierde transparencia).

2.4 - Fosfenos. Sensación de pequeños puntos luminosos que se encienden y apagan rápidamente. Se producen por estimulación mecánica de los fotorreceptores y constituye un síntoma típico en el desprendimiento de retina. El tratamiento debe ser inmediato para volver a sellar la retina mediante láser.

2.5 - Cataratas. Es una pérdida gradual de la transparencia del cristalino del ojo. A pesar de que las cataratas pueden afectar a las personas de cualquier edad, son

más comunes en los adultos mayores de 60 años. Debido a que el cristalino opaco permite que llegue menos luz a la retina, la visión del ojo afectado suele ser borrosa y poco definida. Entre otros síntomas claves de las cataratas encontramos una reducción en la percepción de la profundidad, disminución en la percepción de los colores, especialmente de los azules y los púrpuras, destellos molestos a la luz del sol y una visión nocturna pobre. También puede experimentar estos síntomas como una incapacidad para leer la letra pequeña de las guías de teléfono o de las etiquetas de los medicamentos, puede existir una incapacidad para ver bien en los restaurantes o cines poco iluminados. El tratamiento clásico es la extracción del cristalino opaco y la sustitución por una lente intraocular.

2.6 - Glaucoma. Es una presión del fluido interno del ojo anormalmente alta. A medida que la presión sube puede comprimir tanto al nervio óptico como a los vasos sanguíneos que nutren a la retina. Generalmente el resultado es una pérdida lenta de la visión periférica o lateral y finalmente la ceguera. La pérdida de visión es generalmente tan gradual e indolora que la mayoría de las personas no se dan cuenta de la misma hasta que el daño es permanente. Una vez que la visión se ha perdido por el glaucoma, no puede recuperarse.

2.7 - Estereopsis. Utilizamos ambos ojos no sólo para juzgar las distancias sino también para calcular la profundidad entre dos objetos comparables. A esto se le denomina percepción binocular o estereopsis. Con el incremento de la edad se produce también una pérdida de estereopsis. Hasta los 40 años permanece relativamente constante, momento en que comienza a declinar hasta los 70 años.

2.8 - Adaptación. El ojo humano se ajusta a niveles de intensidad de luz extremadamente amplios a través del proceso de adaptación. Este consiste en el incremento y decremento del tamaño de la pupila con el fin de admitir mayor o menor cantidad de luz en la retina. Se produce adaptación a la oscuridad cuando se pasa de un ambiente luminoso a otro oscuro. La adaptación a la luminosidad es el proceso inverso, paso de oscuridad a un ambiente luminoso.

La adaptación a la luminosidad es rápida, en unos segundos se produce el ajuste del ojo. Por el contrario, la adaptación a la oscuridad es un proceso lento, pudiendo llegar a requerir hasta media hora para conseguir el ajuste total del ojo. La adaptación a la oscuridad queda especialmente afectada con la edad, al sufrir una reducción el tamaño de la pupila y espesar y amarillear las lentes por el envejecimiento del ojo. A una persona mayor le lleva más tiempo acostumbrarse a ver en la oscuridad después de llegar de un ambiente luminoso.

Como anécdota, durante la segunda guerra mundial, era plato obligado en el menú de la RAF (Aviación Militar Inglesa), las zanahorias, ricas en vitamina A, que mejoran la velocidad de respuesta. La velocidad de adaptación a la oscuridad era de vital importancia para los pilotos ingleses encargados de repeler los ataques nocturnos de la aviación alemana, ya que estos últimos, habiendo cruzado el canal de la Mancha, ya venían adaptados.

2.9 - Deslumbramientos. La existencia de deslumbramientos genera una situación de incomodidad e incluso de incapacidad para percibir visualmente los estímulos. En el puesto de trabajo puede haber muchas fuentes de deslumbramientos: iluminación fluorescente, lámparas incorrectamente situadas, fuentes de iluminación exterior, superficies muy reflectantes, objetos iluminados, pantallas de ordenadores, etc. Si bien esta incomodidad e incapacidad es común a todos para todas las edades, resulta más problemático a partir de los 40 años. El ojo se adapta a la luminancia media existente en el campo de visión. Las luminancias muy superiores al nivel de adaptación del ojo producirán deslumbramientos. Por eso, en lugares oscuros el problema del deslumbramiento puede aparecer fácilmente.

El deslumbramiento se produce en gran medida por la dispersión de la luz en el medio ocular. En la gente mayor, el aumento en la opacidad de las lentes oculares magnifica este efecto y contribuye al deslumbramiento. Si bien las personas de 60 años precisan aproximadamente tres veces más de luz que a los 20 años, el incremento de la iluminación puede llegar a ocasionar niveles inaceptables de deslumbramiento.

3 - CAMBIO PERCEPTUAL CON LA EDAD

Pasamos ahora a hablar de la última etapa de la percepción: la interpretación de la información visual. Las funciones perceptuales y sensoriales continúan cambiando a lo largo de la vida, aunque la velocidad del cambio es casi siempre más lenta durante la madurez que durante la infancia o la niñez. Por otra parte, los primeros cambios están orientados hacia el incremento de la eficacia del proceso perceptual, en tanto que los últimos, que comienzan alrededor de los 40 años de edad, están orientados hacia la disminución del funcionamiento a medida que los receptores sensoriales envejecen y la eficacia declina. Vamos a centrarnos en dos aspectos determinantes de la función visual: la discriminación de contrastes y la discriminación de colores.

3.1 - Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste tiene que ver con la capacidad para distinguir entre claro y oscuro. Unas mínimas condiciones de contraste son necesarias para percibir un estímulo. Este aspecto puede ser mejorado por un incremento de la iluminación, sin embargo, más allá de un determinado nivel de iluminación decrece la sensibilidad al contraste debido a la aparición de deslumbramientos.

La disminución progresiva de la sensibilidad al contraste comienza alrededor de los 25 años, si bien el declive más marcado se produce a partir de los 40-50 años, siendo debido a la menor cantidad de luz que las lentes transmiten hasta la retina. En esta situación se produce una visión borrosa de los bordes de las imágenes, con la consiguiente pérdida de contraste.

En la situación en la que no existen brillos, la facilidad con que puede percibirse el contorno de un estímulo va incrementándose hasta alcanzar un punto máximo alrededor de los 30 años. Con brillos, la sensibilidad máxima al contraste se produce a los 20 años.

A los 20 años el diámetro medio de la pupila es de 3 mm y en la oscuridad es de 7 mm. A la edad de 60 años estos valores son de 2.5 mm y 5.5 mm, por lo que físicamente entra menos luz en el ojo humano. Para ver un objeto claramente, las personas de 40 años precisan el doble de luz que las de 20 años y a los 60 el triple que a los 20, siendo esto válido para muy diversos niveles y fondos de iluminación.

La función de sensibilidad al contraste (CSF) refleja la sensibilidad del sistema visual, o lo que es lo mismo, la capacidad de detección no sólo del detalle más pequeño sino de todos los demás cualquiera que sea el tamaño. Distinguir el contorno de figuras y objetos es un aspecto importante de la visión y del reconocimiento de formas y a menudo depende de la capacidad para distinguir bordes luz-oscuridad de determinado contraste. Además, la sensibilidad al contraste en medias y bajas frecuencias es importante en gran cantidad de tareas cotidianas como reconocimiento de caras, señales de tráfico, etc. Esta capacidad del sistema visual debe ser tratada pues como una de las principales dentro de la visión de formas.

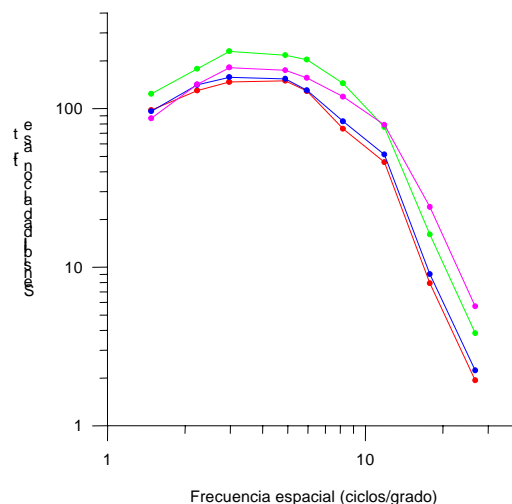


Figura 1: *Curvas de Sensibilidad al Contraste medidas en observadores normales.*

Hay un conjunto de parámetros que pueden variar la visión de contrastes de un observador:

3.1.1 - Orientación de la red. Se presentan siempre al observador redes de orientación vertical, ya que la sensibilidad a test periódicos es mayor cuando la red está orientada horizontal o verticalmente que cuando está de forma oblicua. Este efecto se conoce como efecto oblicuo. Este efecto es más pronunciado en el intervalo de altas frecuencias espaciales. Este efecto puede parecerse, en principio, al astigmatismo óptico del ojo, ya que presenta consecuencias similares en aquellos casos de astigmatismo en que las líneas oblicuas están algo desenfocadas. Sin embargo se ha comprobado que el efecto oblicuo se produce en ausencia de astigmatismo. Aún suponiendo que en un ojo normal existe algo de astigmatismo como aberración residual, éste tampoco tendría influencia en el efecto oblicuo ya que se observará, también, cuando se evite la óptica del ojo formando franjas de interferencia directa sobre la retina. Por lo tanto, es muy probable que este efecto sea de origen neural.

3.1.2 - Edad del Observador. La CSF disminuye con la edad en frecuencias medias y altas. La CSF de un sujeto varia con la edad de modo que un observador adulto pierde sensibilidad a las frecuencias espaciales a medida que envejece. Obviamente este hecho está ligado a la pérdida de otra capacidad visual como la facultad de acomodación y la transparencia del cristalino, sin contar otras deficiencias o enfermedades que el sujeto puede contraer. A partir de cierta edad, alrededor de los 45 años, la determinación de la CSF de forma controlada y continuada a un sujeto sería un buen medio para conocer el mantenimiento o la pérdida de su capacidad visual.

3.1.3 - Aplicaciones. La medición de la CSF es un potente instrumento para conocer el estado de la función visual. Uno de los hechos más importantes que pone de manifiesto es que el sistema visual no procesa por igual forma todas las frecuencias y que las diferentes frecuencias son transmitida por distintos canales. Estos canales pueden, por distintas causas, alterarse, lo que provoca una perturbación en la CSF justo en la zona correspondiente a las frecuencias que procesa. Esto sugiere que una alteración no uniforme en la CSF de un sujeto puede poner de manifiesto algún tipo de lesión en el sistema nervioso central.

Diferentes trabajos clínicos han demostrado la influencia que determinadas enfermedades visuales tienen sobre la CSF. Este hecho hace de la CSF un medio eficaz para la detección y seguimiento de posibles enfermedades visuales, tales como:

- ✓ Lesiones cerebrales,
- ✓ Lesiones en la mácula: producen considerable pérdida de sensibilidad en bajas frecuencias como mínimas pérdidas de AV,
- ✓ Esclerosis múltiple: CSF anómala cualitativamente desigual en comparación con la producida por errores de refracción,
- ✓ Glaucoma: CSF anómala dependiendo del grado de la enfermedad,
- ✓ Adenoma hipofisiario: disminuye frecuencias bajas. Cinco días tras la cirugía se recupera una CSF normal.

En conclusión, la CSF puede ayudar en el diagnóstico de diferentes afecciones visuales y tiene la gran ventaja de ser un método no invasor y de detección temprana. Desde el punto de vista optométrico la CSF puede emplearse para hacer refracción de igual forma que con los optotipos tradicionales, así como para la determinación de la agudeza visual. Es también de especial utilidad para poner de manifiesto problemas de adaptación, en usuarios de lentes de contacto (potencia inadecuada, pérdida de calidad óptica, lo cual no implica pérdida de AV). Se ha observado en usuarios de lentes de contacto que durante el periodo de adaptación la CSF disminuye y que luego recupera su valor normal.

3.2 - Discriminación de colores

El color es uno de los aspectos más ricos y apasionantes de la visión, y según Guirao, también «*es uno de los más resbaladizos*». Nuestro lenguaje cotidiano está familiarizado en términos y referencias de color, que dependiendo del contexto en que nos encontramos (artístico, técnico, filosófico, científico, coloquial, metafórico) pueden tener diferentes significados. Esto puede llevar a contradicciones si nos

encontramos fuera del contexto para el que se ha utilizado, no significará lo mismo hablar de “negro” para referirnos al color de un cuadro o una noche, las posibilidades de futuro o al pasado. La ciencia establece que es necesario caracterizar de manera precisa el color para entender los fenómenos físicos que tienen que ver con las diferentes longitudes de onda de la luz y cómo el sistema visual responde a estas.

“Color”, en sentido físico, hace referencia a la distribución espectral de la luz radiada por una fuente. Los rayos de luz no son coloreados: están compuestos por determinadas longitudes de onda en una determinada proporción. Esta composición espectral es la que produce la sensación de color en el sistema visual. Por tanto, el color es un atributo de la percepción visual. Según la CIE (Comisión Internacional de l’Eclairage) se define el color percibido como la característica de la percepción visual mediante la cual un observador puede distinguir diferencias entre 2 campos de igual forma, tamaño y textura, basándose en una diferencia en la composición espectral de la radiación que se observa.

Nuestra capacidad para distinguir entre longitudes de onda próximas no es constante a lo largo del espacio cromático y la capacidad de discriminación puede representarse mediante las llamadas elipses de McAdam. Estas elipses representan áreas del diagrama cromático de forma que todos los puntos dentro de una elipse corresponden a colores que no pueden discriminarse unos de otros. Todas las elipses no tienen el mismo tamaño: nuestra discriminación al color es mejor para longitudes de onda próximas a 490 nm donde las elipses son menores que en la región del 540 nm.

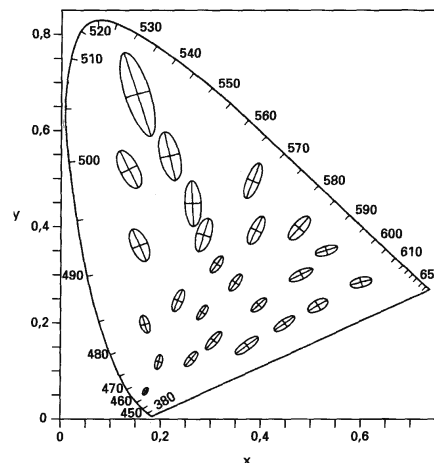


Figura 2: *Elipses de MacAdam en el diagrama cromático XY*

3.2.1 – Edad del observador. La percepción del color va variando con el transcurso de los años. El desarrollo gradual alcanza alrededor de los 30 años el punto en el que comienza a producirse un declive, también gradual, pudiendo generarse dificultad para distinguir y reconocer colores, en especial Verde-azules, azules-violeta y colores pálidos, especialmente blancos.

Un individuo puede tener una visión normal del color en una etapa de su vida, pero mostrar deficiencias en la distinción de colores durante etapas posteriores.

La visión del color está presente en los recién nacidos, sin embargo, cambia con el transcurso de la vida y estos cambios pueden ser muy drásticos en la vejez. Quizá esto se debe a que el cristalino del ojo va adquiriendo un color amarillento con la edad. Otros efectos, como la pérdida de pigmento en los conos con la edad, también pueden explicar los cambios en la visión del color. En términos generales, parece que el envejecimiento origina un mayor deterioro de la visión del color azul. La mayoría de los individuos no notan estos cambios porque son paulatinos, sin embargo el efecto se acumula gradualmente. Debido a que la percepción del tono es subjetiva, pocas veces se tiene la oportunidad de evaluar si la percepción personal del tono coincide con la de los demás, ¿lo que es rojo para una persona, lo es también para sus amigos? Es evidente que esto sólo puede responderse mediante cuidadosas comparaciones hechas en un laboratorio.

3.2.2 – Aplicaciones. Las condiciones físicas en general pueden incidir en la pérdida de capacidad para distinguir colores. Las pérdidas en la visión del color adquiridas se conocen como discromatopsias. Una causa común de pérdida de la visión del color es la exposición a disolventes y neurotoxinas. Al igual que con la edad, las pérdidas que se observan con mayor frecuencia son en la sensibilidad al azul. Estas discriminaciones también se observan en diabéticos, individuos con glaucoma, pacientes con mal de Parkinson y alcohólicos. Tales pérdidas pueden agravarse por una gran cantidad de factores, por ejemplo una mujer diabética que toma anticonceptivos orales, muestra pérdidas significativamente mayores en la distinción de la gama de azules. En el sistema Rojo-Verde son más extraños los problemas adquiridos y suelen estar relacionados con degeneración de conos o enfermedad del nervio óptico.

3.3- Función visual y envejecimiento

Al llegar a los 35-40 años, de pronto el individuo comienza a usar lentes para leer. Esta reducción en el límite de acomodación del ojo se llama presbicia, sin embargo, hay varios cambios, menos obvios, que ocurren al envejecer los individuos y que reducen la sensibilidad visual. Por ejemplo, en general, el tamaño de pupila es más pequeño, por consiguiente entra menos luz en el ojo. La óptica del ojo también se vuelve menos eficaz con la edad porque el cristalino continúa amarilleándose y volviéndose más opaco. La cornea también se torna un poco amarilla. Por supuesto, sería de esperar una disminución en la sensibilidad debida a la consiguiente bajada de luz que llega a la retina. Entre los 20 y los 60 años, encontramos un aumento constante en los umbrales de sensibilidad para la detección de manchas de luz. Esto es particularmente obvio en la adaptación a la oscuridad. Aunque el tiempo para alcanzar el umbral mínimo permanece igual, la sensibilidad máxima decrece con la edad. Muchos estudios han demostrado que la agudeza visual disminuye con la edad, a los 40 casi el 94% presenta valores normales, hacia los 80 solo el 6%.

El patrón de pérdida de agudeza con la edad es muy interesante. Los observadores más ancianos aún pueden resolver detalles visuales pequeños, sin embargo, la cantidad de luz que necesitan aumenta de forma considerable. En términos de nuestra explicación, diríamos que el umbral de contraste es más alto para los observadores mayores. Además, parece que el sistema nervioso que procesa la información de profundidad y de movimiento muestra la mayor pérdida de sensibilidad con la edad.

Estos descubrimientos sugieren que tareas como la conducción nocturna, que requieren una buena agudeza y respuestas rápidas a estímulos de movimiento, sean más dificultosas para personas mayores que para individuos jóvenes.

Parte del deterioro de la visión en el anciano quizás se deba a una disminución progresiva en el número de bastones y conos. Por ejemplo, la pérdida de conos sensibles a longitudes de onda cortas podría explicar el deterioro gradual de la visión del color debido a la edad. La sensibilidad a las longitudes de onda cortas disminuye continuamente desde la niñez temprana hasta la muerte.

4 - METODOS PSICOFÍSICOS DE MEDIDAS VISUALES

Son métodos que sirven para describir cuantitativamente la relación entre un estímulo y la respuesta del sistema visual para unas condiciones específicas de observación. La respuesta es proporcionada por el propio observador, se trata por tanto, de métodos de tipo subjetivo que dan resultados de carácter probabilístico y que requieren muchas medidas para obtener la respuesta media. Se utilizan, por ejemplo, para medir: umbrales absolutos, umbrales diferenciales, sensibilidad al contraste, agudezas visuales, funciones de igualación del color, etcétera.

La psicofísica fue creada por G. T. Fechner, un físico alemán del siglo pasado se interesó por este tipo de experiencias no invasivas, aplicando métodos de la física experimental a la medición de magnitudes sensoriales. Además del desarrollo de diferentes métodos psicofísicos, Fechner llegó a cuantificar la sensación producida

por un estímulo a partir de la Ley de Weber, enunciando la ley que lleva su nombre y que cita: “La sensación aumenta linealmente con el valor del logaritmo del estímulo”

Los métodos psicofísicos de medida permiten obtener una información precisa sobre los resultados sensoriales en general y sobre la visión en particular. El hecho de que se trata de métodos no invasivos facilita su aplicación en seres humanos. Estos métodos han contribuido a la mejora del control de los estímulos visuales y del diseño experimental.

4.1 - Método de escalera

Dixon y Massey (1956) introducen este método para determinar la altura desde la que habría que arrojar cargas explosivas de impacto para tener un 50% de probabilidades de explosión.

Este no es nuestro caso, no haremos explotar nada, pero aplicado a la visión para el cálculo de la discriminación cromática, el observador indicará si distingue o no el estímulo del fondo para cada diferencia de color entre ambos. Si el escalón es distinguible, el proceso continúa disminuyendo la diferencia de color y en caso contrario, la aumenta.

4.2 - Método de oscilaciones amortiguadas

El observador incrementará y disminuirá de manera alternada el contraste de la red estímulo que aparece en la pantalla, buscando así el límite donde cree ver la red por primera vez sobre un fondo uniforme.

4.3 - Método de elección forzosa

Cuando el observador está realizando una serie de medidas psicofísicas, no le resulta fácil decidir si un estímulo es percibido o no, sobre todo cuando están cerca del umbral. En este método psicofísico, en lugar de que el observador deba responder afirmativa o negativamente si percibe el estímulo, se le presentan

estímulos simultánea o sucesivamente y debe adivinar dónde se encuentra el estímulo, aunque crea que no puede distinguir ninguna de las presentaciones.

5 - OBJETIVO DEL ESTUDIO

Se pretende realizar un estudio de la influencia del envejecimiento en la visión. Para ello, nos planteamos estudiar la visión del color y la visión del contraste en una población mayor de 50 años y realizar una comparación con el fin de determinar la influencia del uso de filtros solares coloreados.

6 - MATERIALES Y MÉTODOS DE MEDIDA

6.1 - Materiales

Para la realización de este estudio ha sido necesario el uso de:

- ✓ Gafas con soportes para filtros.
- ✓ Filtros solares coloreados. Los filtros coloreados son lentes cuya principal característica es que llevan una tinción que les permite hacer un filtrado general del espectro visible pero con predominancia de una longitud de onda. En este estudio se han utilizado 4 filtros solares Physiotint, cedidos por Essilor España: Verde, Verde-Gris, Marrón y Gris. Los filtros se montan en unas gafas adaptadas para poder llevar la corrección óptica en caso de que el observador tenga cualquier defecto refractivo.
- ✓ Hardware:
 - a) Microprocesador Pentium a 100 MHz, con 20Mb de RAM y 420 Mb de disco duro trabajando en un entorno Windows ®. Estas cualidades aseguran un correcto funcionamiento de los programas informáticos empleados en el estudio.
 - b) Monitor Mitsubishi HL-7955 SKTK2 de gama alta, de 20 pulgadas. Este monitor selecciona automáticamente cualquier frecuencia entre 30 y 60 Khz en la dirección horizontal, y desde 50 hasta 130 Khz en la dirección vertical. Esta característica lo hace compatible con la mayoría de tarjetas

gráficas del mercado. La tarjeta gráfica utilizada es un VSG 2/3, está especialmente indicada para estudios de visión (medidas de tiempo de reacción, CSF, potenciales evocados, etc.. En la práctica proporciona hasta 512 colores simultáneos en la pantalla. En cuanto a las posibilidades de resolución, la VSG puede llegar a una resolución de 2048x2048 píxels.



Figura 3: Monitor Mitsubishi HL-7955 y ordenador de control.

✓ Software:

- a) **Sistema operativo Windows** ®
- b) **Programa Adapta:** programa diseñado en el Departamento de Óptica y Optometría de la Universidad de Alicante, para presentar un campo uniforme de 13 cd/ m^2 durante un periodo de tiempo de tres minutos, el necesario para que el sistema visual del observador se adapta a las nuevas condiciones de iluminación del entorno.
- c) **Cambridge Colour Test (CCT).** Se trata de un programa para la detección y evaluación de alteraciones cromáticas, que puede ser utilizado para la determinación de umbrales de discriminación de color. Este test se engloba dentro de la categoría de láminas pseudocromáticas. El estímulo a presentar recuerda las tradicionales láminas pseudocromáticas como las de Ishihara o Stilling. Se trata de la letra "C",

cuya abertura puede estar orientada en cuatro direcciones diferentes, arriba, abajo, derecha o izquierda. Figura y fondo se construyen con pequeños círculos de tamaño y luminancia variable, de manera que se evita la posibilidad de reconocer la figura por otro mecanismo que no sea la discriminación cromática. El CCT utiliza para la determinación de cada elipse de discriminación un método de escalera a partir de las respuestas del observador, que únicamente deberá indicar mediante el teclado la dirección de la abertura del anillo (superior, inferior, izquierda o derecha). Se fija un color de fondo y se estudia el umbral de discriminación en ocho direcciones diferentes, trazándose así las 3 elipses de discriminación objeto de estudio en la muestra de población seleccionada. Como es obvio, a menor tamaño de las elipses mejor es la discriminación cromática de ese observador en esas condiciones.

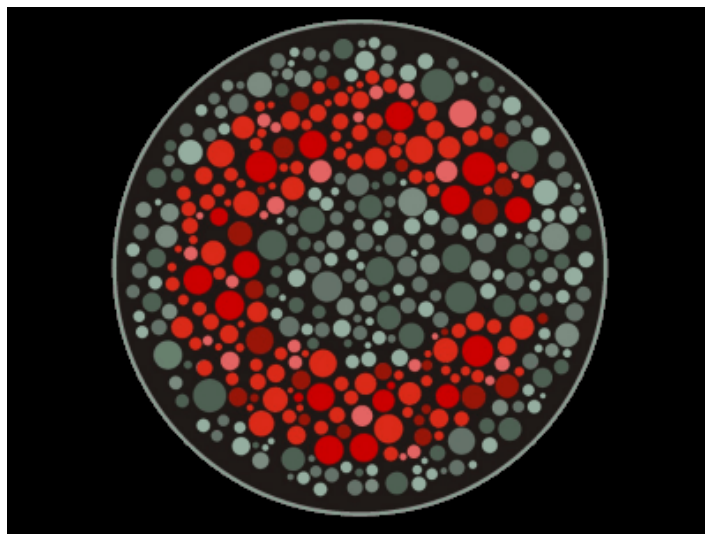


Figura 4: *Test de presentación en el programa de medida de las Elipses de Discriminación Cromática: Cambridge Colour test.*

- d) **PsychoWin**: es un programa cuya función principal es la determinación de la curva de sensibilidad al contraste CSF mediante un método de ajuste a base de oscilaciones amortiguadas. Este programa permite crear redes de diferente frecuencia espacial, contraste e incluso forma. En el

estudio se han utilizado 8 redes espaciales. En función de la distancia las redes subtienden un ángulo diferente y por lo tanto una frecuencia espacial distinta, por ello se debe introducir la distancia a la cual se encuentra el observador. El máximo de la curva nos dará la máxima sensibilidad al contraste para cada observador medio, cuanto mayor sea el máximo obtenido mejor será el resultado de nuestro propósito.

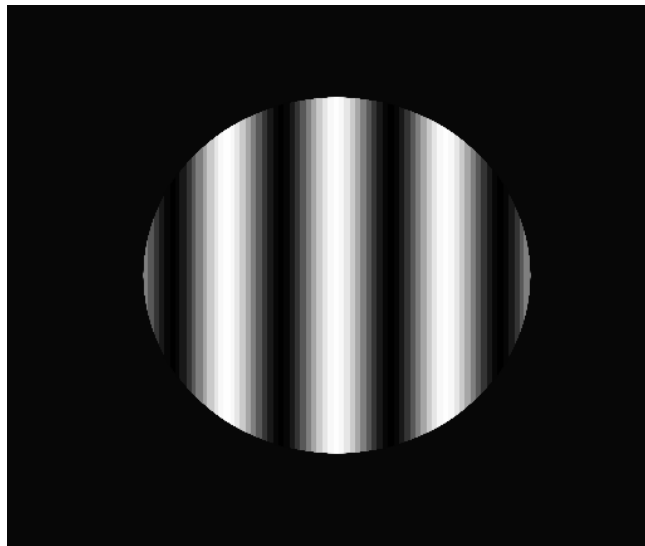


Figura 5: *Test presentado en el programa de medida de la CSF: PsychoWin.*

6.2 - Muestra de población seleccionada

Se escogió una población mayor de 50 años para este estudio, un total de 6 observadores realizaron las diferentes pruebas. Las edades de los observadores oscilan entre los 50 y 71 años, pudiendo estimar la edad media de los observadores en 60 años.

El motivo por el que se tomaron observadores mayores a 50 años fue para asegurarnos de estar dentro del grupo de población presbita y evitar, así, con total seguridad, estados de pre-presbicia.

Cada observador realizó una medida de sensibilidad al contraste (CSF) y de discriminación cromática sin ningún tipo de filtro y con cada uno de los 4 filtros coloreados.

6.3. – Condiciones previas

Media hora antes del inicio de cada sesión, se encenderán los monitores para que concretamente los fósforos de la pantalla del Mitsubishi HL-7955, mostrado en la figura 3, alcancen su temperatura óptima y así proyectar los colores y luminancias requeridos en las pruebas a desarrollar.

Todas las medidas se hacen con el laboratorio totalmente a oscuras, la única iluminación es la que proporciona el monitor. Antes de empezar la sesión el observador tiene que adaptarse durante tres minutos a una luminancia de 13 cd/m^2 . De esta manera se consigue adaptar las respuestas retinianas a la iluminación del monitor, la adaptación se debe hacer con los filtros colocados.

6.4. – Desarrollo de la sesión.

Se comienza con el test PsicoWin para la determinación de la CSF, para ello el observador se coloca a tres metros para que desde esa distancia las redes espaciales subtiendan 1, 2, 3, 4.6, 6, 8, 12.6, y 19 cpg. El programa presenta de forma aleatoria cuatro veces el conjunto de las redes espaciales para la determinación de la curva. La primera vez se presenta con contraste unidad, es decir, un contraste máximo. El observador irá disminuyendo el contraste por el método de ajuste hasta ver un campo gris homogéneo, es decir, hasta llegar al contraste umbral. En el método de ajuste el observador controla las variaciones del estímulo y lo va acercando progresivamente al umbral moviéndose en torno a él hasta llegar al valor más próximo a dicho umbral. Por ejemplo, en el caso del umbral absoluto de luminancia, controla la intensidad del estímulo haciendo que aparezca y desaparezca cada vez con una menor variación hasta llegar a una situación en la que el estímulo sea justamente distinguible. Una vez hallados los contrastes umbrales en esta primera aproximación, el programa muestra de nuevo el conjunto

de redes espaciales, sólo que esta vez el contraste inicial es ligeramente superior al contraste umbral hallado en la tanda anterior. El programa repetirá la misma función hasta llegar a completar las cuatro tandas. De esta manera se determina la curva de sensibilidad al contraste.

Para el CCT el observador debe colocarse también a tres metros, con el fin de que la abertura del anillo subtienda un ángulo superior a un grado. Este programa muestra una serie de imágenes basadas en el test de Ishihara durante tres segundos, durante ese tiempo el sujeto tiene que determinar con la ayuda de las flechas de dirección del teclado la orientación que muestra la “C” que aparece en el monitor. Para la realización de esta prueba se utiliza una mezcla de dos métodos psicofísicos de medida: elección forzosa y escalera. En lugar de pedir al observador que responda afirmativamente o negativamente respecto a la localización de un estímulo, se le presentan diferentes estímulos con localizaciones distintas y el observador debe indicar dónde está localizado. Por otra parte, aplicando el método de escalera, si la respuesta del observador es positiva con respecto a la percepción del estímulo, se reduce el valor del parámetro de control o de la magnitud visual que se quiera medir para la nueva presentación, mientras que si la respuesta es negativa, se incrementa.

Observaciones importantes:

En cada sesión, el observador invierte aproximadamente una hora, en el desarrollo de las pruebas de sensibilidad al contraste y discriminación de color.

Si tenemos en cuenta: la edad del observador y la posible fatiga del sistema visual en trabajos de atención prolongados, hemos de pensar en espaciar en el tiempo las sesiones, para así evitar respuestas erróneas a los tests debidas al cansancio y la edad de los observadores.

Por tanto, para realizar las cinco sesiones requeridas (sin filtro y luego con cada uno de los cuatro filtros coloreados) se adoptó el criterio de no realizar más de una sesión por día.

7 - RESULTADOS

7.1 - CSF del observador medio

La forma general de la CSF es la que corresponde a un filtro pasa-banda, que se caracteriza por tener un pico de sensibilidad para un cierto valor de las frecuencias bajas-medias y una disminución de la sensibilidad a ambos lados de ese valor.

En niveles de iluminación fotópicas el máximo de sensibilidad se sitúa entre 3 y 6 cpg (este valor depende del nivel de luminosidad medio). En nuestras curvas, medidas en condiciones de iluminación fotópica (13 cd/m^2), ese máximo se sitúa hacia los 2-3 cpg y no depende de la iluminación pues en nuestro experimento este es un valor constante, la altura del máximo ha variado en función de que el observador medio portase los diferentes filtros objeto de nuestro estudio o no portase filtro alguno.

Si continuamos observando el comportamiento general de estas curvas, diremos que a partir del valor del máximo alcanzado en cada una de ellas, la sensibilidad disminuye a medida que las frecuencias espaciales aumentan, o lo que es lo mismo, cuando aumente la frecuencia del observador para detectar la red. De manera que se llega a una frecuencia límite, la máxima detectable, para la que se necesita contraste máximo. Esta frecuencia de corte es una medida de la agudeza visual (Campbell & Greem se sitúa alrededor de los 60 cpg).

Hemos calculado el observador medio para cada uno de los filtros y hemos representado la gráfica de su curva de sensibilidad al contraste.

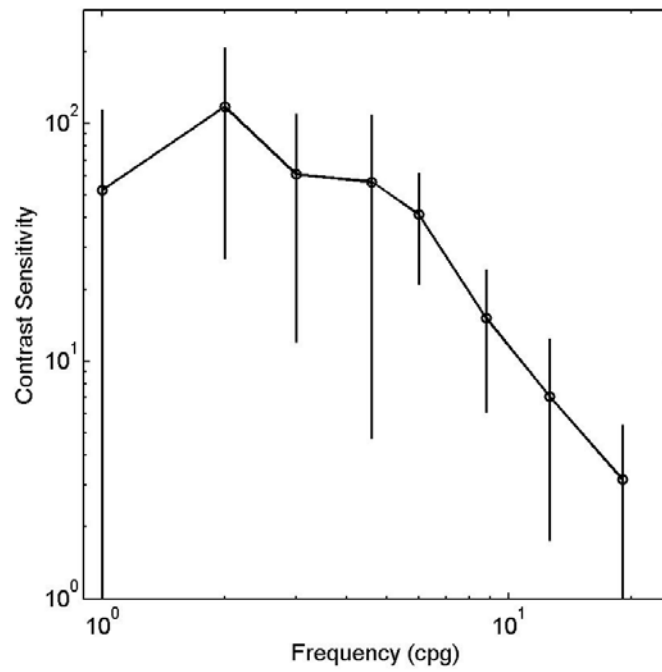


Figura 6: *CSF del observador medio sin filtro.*

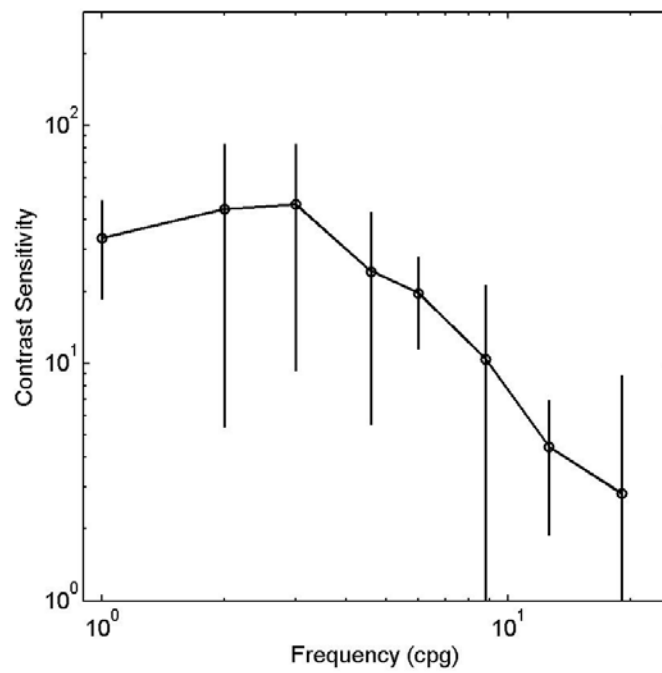


Figura 7: *CSF del observador medio para filtro Gris.*

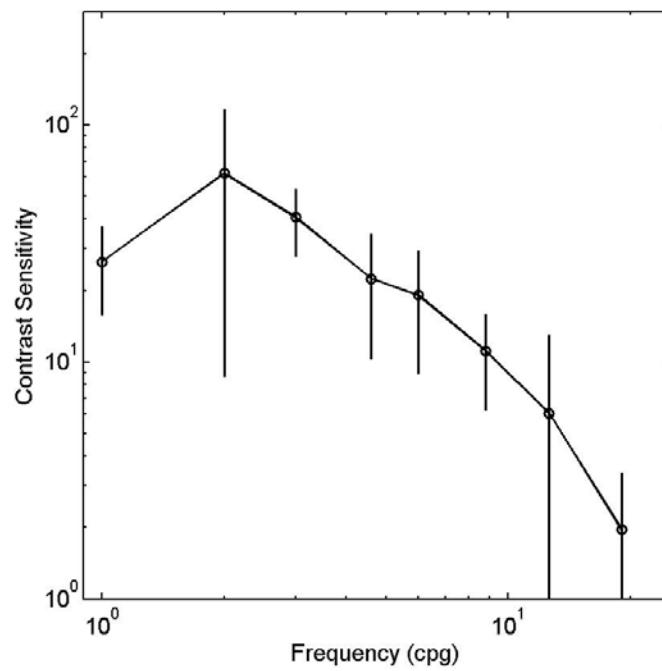


Figura 8: *CSF del observador medio para filtro Marrón.*

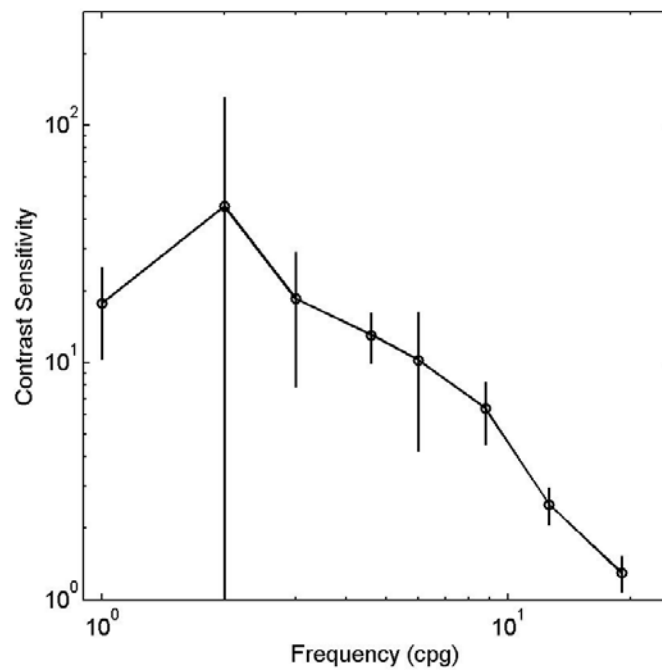


Figura 9: *CSF del observador medio para filtro Verde.*

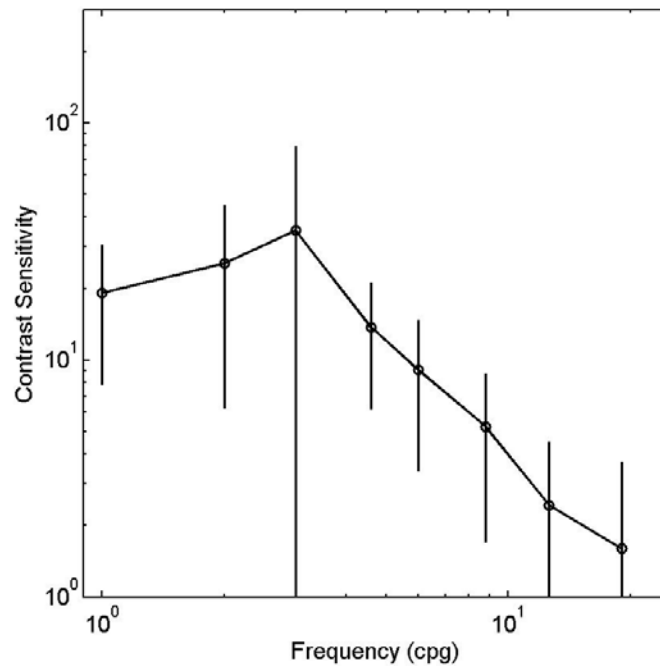


Figura 10: *CSF del observador medio para filtro Verde-Gris.*

En la siguiente tabla presentamos el valor de la sensibilidad máxima para cada uno de los filtros y el valor de la frecuencia donde se produce este máximo de sensibilidad expresado en cpg.

Tabla 2: *Frecuencia correspondiente al máximo de sensibilidad y el valor de dicha sensibilidad para cada filtro.*

FILTRO	FRECUENCIA DEL MAX. (cpg)	SENSIBILIDAD MÁXIMA
SF	2	117.25
M	3	62.62
G	2	46.45
V	2	45.38
VG	3	35.03

En cuanto a la pendiente de la curva diremos que una pendiente demasiado inclinada indicará peores resultados que una curva con pendiente más suavizada. Una caída más pronunciada de la sensibilidad implicaría un punto de corte con el eje de frecuencias menor y recordemos que esto conlleva un menor valor de AV.

Como cabía esperar la CSF más alta, es decir, con mejores resultados corresponde a la experiencia sin filtro. A la vista de las gráficas y la tabla anterior podemos decir que el máximo ofrecido en la curva correspondiente al filtro Marrón y su pendiente suavizada, nos hace pensar que éste filtro es el que mejores resultados ofrece.

Comparando los filtros Marrón y Gris podemos afirmar que presentan comportamientos similares a excepción de la zona del máximo, en la que el segundo tiene un máximo menor y desplazado hacia frecuencias medias. De la misma forma, si comparamos el filtro Verde con el Verde-Gris comprobamos que obtenemos un resultado análogo, en el que los dos filtros tienen un comportamiento similar entre ellos a excepción, otra vez, de la zona del máximo donde el Verde lo tiene desplazado hacia frecuencias más bajas y su valor es mayor. Los filtros Marrón y Gris dan un mejor resultado que los filtros Verde y Verde-Gris.

72 - Elipses de discriminación del observador medio

De igual manera que se hizo con la CSF, calculamos el observador medio para cada uno de los filtros, representando gráficamente las elipses medias.

A continuación se muestran las gráficas finales sobre las que se han calculado las áreas medias de las elipses; permitiéndonos esto poder pronosticar cual va a ser el filtro que mejores resultados proporciona.

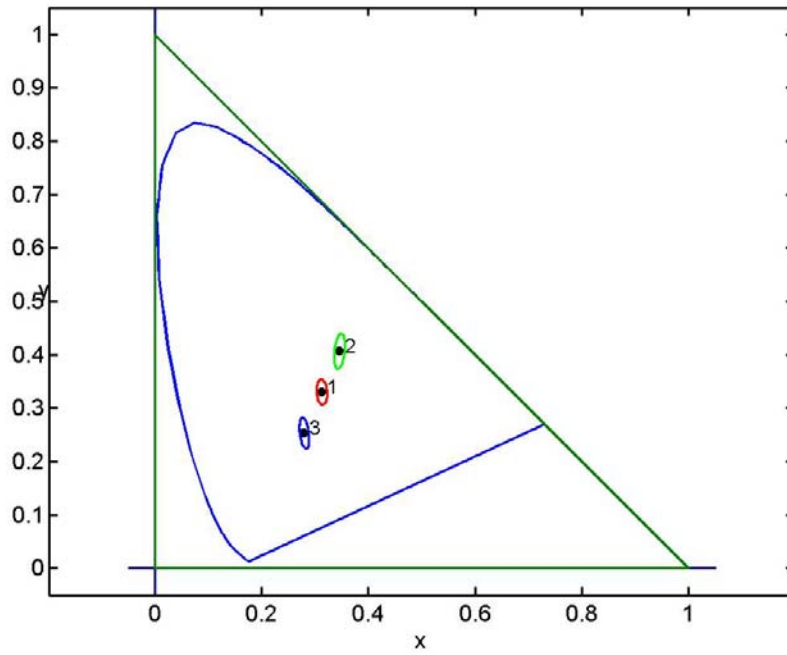


Figura 11. *Elipse de MacAdam sin filtro.*

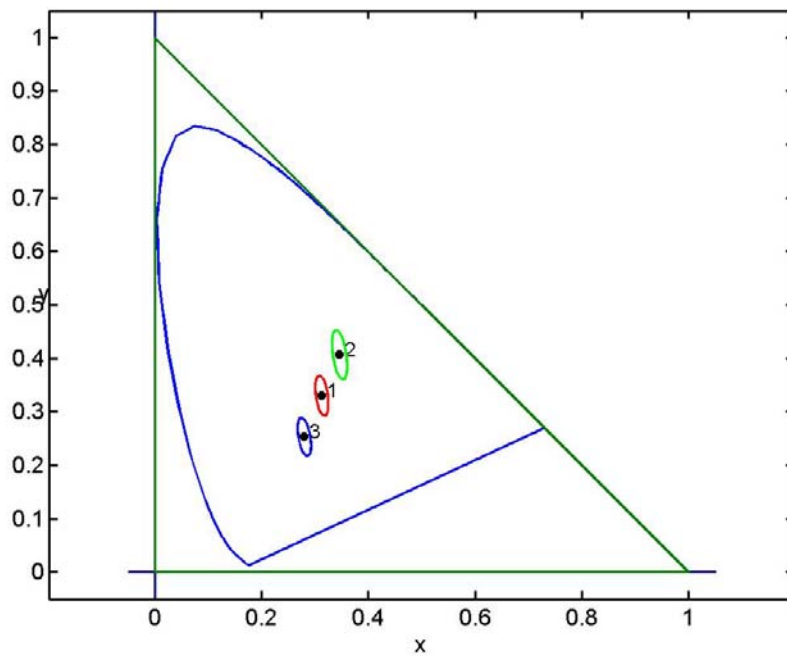


Figura 12: *Elipse de MacAdam para el filtro Gris.*

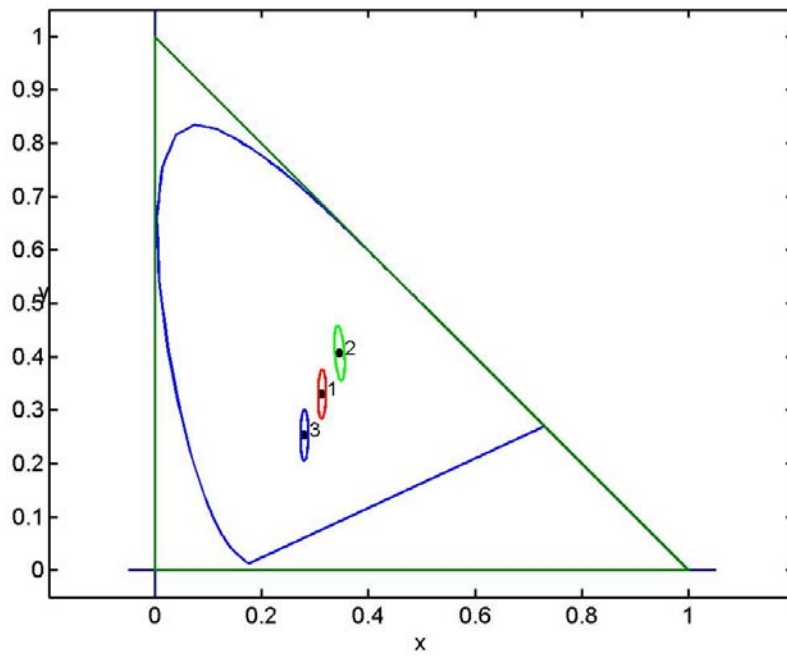


Figura 13: *Elipse de MacAdam para el filtro Marrón.*

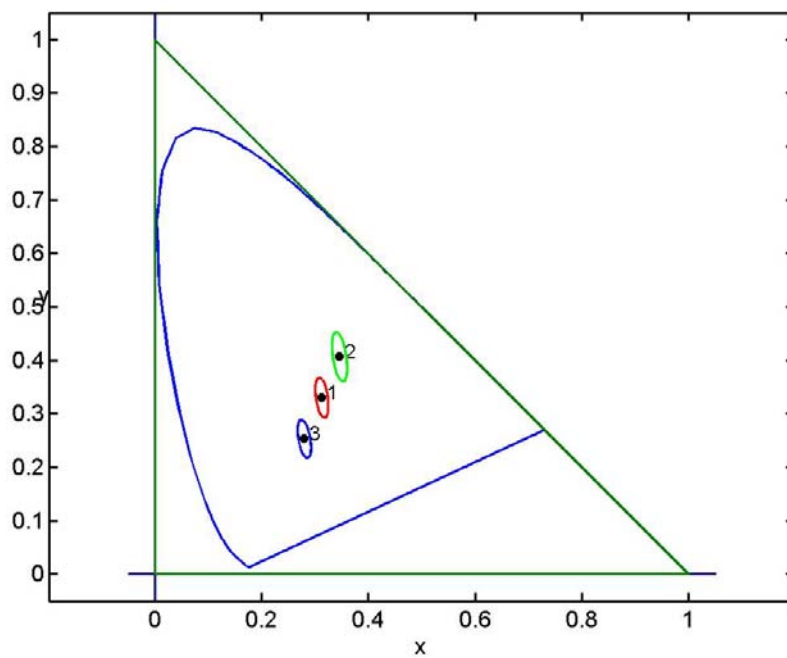


Figura 14: *Elipse de MacAdam para el filtro Verde.*

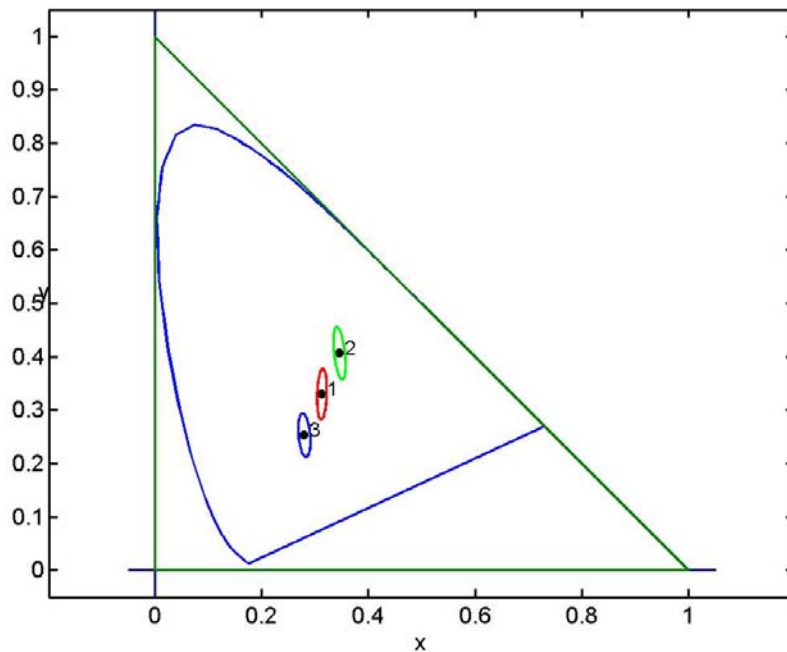


Figura 15: *Elipse de MacAdam para el filtro Verde-Gris.*

Tabla 3: *Áreas delimitadas por las elipses para cada uno de los filtros.*

Elipse	Sin Filtro	Gris	Marrón	Verde	Verde-Gris
1	6.94	8.39	10.52	12.82	12.86
2	9.43	10.44	13.79	17.80	14.88
3	7.37	8.44	10.55	12.01	13.45

De nuevo, podemos afirmar que los resultados obtenidos sin filtro son mejores que los obtenidos con cualquiera de los otros filtros coloreados; esto lo podemos ver en la representación de todas las elipses de MacAdam, en las cuales, a menor área mejor discriminación cromática.

A la luz de la tabla podemos decir que las elipses más pequeñas se obtienen con el filtro Gris. Las siguientes en tamaño son las del filtro Marrón, y las elipses de los filtros coloreados Verde y Verde-Gris que son muy parecidas entre si exceptuando la segunda elipse donde el área del Verde es superior a la del Verde-Gris.

8 - CONCLUSIONES

- ✚ Como cabía esperar ningún filtro da unos mejores resultados en discriminación cromática y de contrastes que las pruebas realizadas sin filtro.
- ✚ En la experiencia de visión de contrastes hemos obtenido que el filtro con mejores resultados es el Marrón, seguido muy de cerca por el filtro Gris.
- ✚ En la prueba de discriminación cromática el filtro coloreado que nos ofrece unos mejores resultados es el Gris con gran ventaja respecto a los otros filtros.
- ✚ Los peores resultados son obtenidos por el Verde y el Verde-Gris tanto en la prueba de discriminación en contraste como en la de discriminación cromática.
- ✚ Comparativamente no podemos clasificar un filtro como el que de una mejor visión en conjunto ya que en cada prueba prevalece uno como el mejor. Aún así, podríamos aventurarnos a recomendar el filtro Gris ya que da unos resultados sobresalientes en discriminación cromática y está localizado entre los filtros que mejor resultado dan en discriminación de contraste, siendo el filtro que menos empeora la visión en conjunto de los que hemos estudiado.

9 – AGRADECIMIENTOS

Llegados a este punto, nos encontramos en la parte más difícil y delicada del presente trabajo, la parte más tediosa a la hora de concluir. Estos son nuestros agradecimientos más personales:

- ✓ A ESSILOR ESPAÑA, que amablemente cedió los Filtros Coloreados Physiotint, con los que hemos realizado este estudio.
- ✓ A ESSILOR INTERNACIONAL y la Universidad Varilux que cada año convoca este concurso, permitiendo así, que alumnos de todo el Mundo se inicien y descubran el apasionante *Mundo de lo Desconocido* a través de estos ensayos de investigación.
- ✓ Al Grupo de Visión y Color de la Universidad de Alicante, por prestarnos sus laboratorios de investigación para realizar las medidas necesarias para este estudio. Gracias Dolo, gracias Valentín, gracias Verdú por formarnos en este campo.
- ✓ A la Escuela de Óptica y Optometría de la Universidad de Alicante, por su apoyo y fortaleza, cuando supieron que presentaríamos este estudio.
- ✓ A nuestros amigos y familiares que hicieron las veces de desinteresados observadores, viniendo a nosotros, incluso desde otras comunidades. Gracias por su paciencia, simpatía y amabilidad al prestarse de manera voluntaria, en esta labor tan tediosa de pasar una y otra vez los mismos tests hasta completar la tanda de medidas que les requeríamos.

10 - BIBLIOGRAFÍA

- ✓ A. Guirao Piñera. *Óptica Visual*. ICE Universidad de Murcia.
- ✓ A. Guirao. Calidad óptica del ojo humano en función de la edad. Tesis doctoral, Universidad de Murcia, 1998.
- ✓ A. Guirao. *Deterioro de la óptica ocular con la edad*. Ver y Oír 19: 251-256, Abril 2002.
- ✓ A. Sánchez, D. Gómez, M.J. Luque, V. Viqueira, F. Martínez-Verdú, M.D. de Fez. *Visual Performance of Aged Subjects with Tinted Lenses*. Contribución al Congreso Internacional de la AIC. Granada (España), 2005.
- ✓ Artigas J.M., Capilla P., Felipe A., Pujol J.: *Óptica Fisiológica: Psicofísica de la Visión* (1995). ED: Interamericana McGraw-Hill. 1995.
- ✓ D.A. Atchinson, G. Smith. *Optics of the human eye*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.
- ✓ David Gómez, Ana M^a Sánchez, Enrique Domingo, Valentín Viquiera, Francisco M. Martínez-Verdú, Dolores de Fez. *Visión y envejecimiento: Una revisión del estado del arte*. Contribución al Congreso Europeo de Seguridad y Salud en el Trabajo (IV Congreso Comunidad Valenciana). Valencia (España), 2005.
- ✓ J.Romero, J.García, J.García. *Curso introductorio a la Óptica Fsiológica*. Comares Granada 1996 cap. 13,12
- ✓ Malo, J. Felipe, A. Luque, M.J. y Artigas, J.M. *On the intrinsic two-dimensionality of the CSF and it measurement*. J.Optics (Paris) 25:93-103, 1994.
- ✓ P. Capilla. *La visión espacial*. Ver y Oír 20:198-208 Abril 2003.
- ✓ Rosenbloom Jr, A.A., Morgan, M.W.: *Vision and aging: general and clinical perspectives*. Profesional Press Book, Farchild Publication. 1986. Traducido por F.J. Alfaro Matos.
- ✓ S.H. Schwartz. *Visual perception. A clinical orientation*. Appleton & Lange, Norwalk, 1994.
- ✓ www.go2eyes.com/.../patient_ed/visionaging.html
- ✓ www.tid.es/presencia/boletin/bole26/bol26_art01.htm