



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE OPTOMETRÍA**

**TESIS**

**CORRELACIÓN DEL ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE FILTROS DE  
RADIACIÓN AZUL CON LA AGUDEZA VISUAL,  
DISCRIMINACIÓN AL COLOR, SENSIBILIDAD AL CONTRASTE Y  
ESTEREOPSIS**

**PRESENTA**

**Carlos Adrián Capetillo Vázquez**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRIA EN REHABILITACIÓN VISUAL**

**TUTOR**

**Dr. Luis Fernando Barba Gallardo**

**Aguascalientes, Ags., 8 de Junio de 2021**

## AUTORIZACIONES



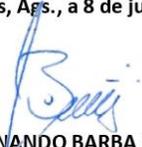
CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL

**DRA. PAULINA ANDRADE LOZANO**  
ENCARGADA DE DESPACHO  
DECANATURA DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
P R E S E N T E

Por medio del presente como **TUTOR** designado de la estudiante **CARLOS ADRIÁN CAPETILLO VÁZQUEZ** con ID **266443** quien realizó la tesis titulada: **CORRELACIÓN DEL ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE FILTROS DE RADIACIÓN AZUL CON LA AGUDEZA VISUAL, DISCRIMINACIÓN AL COLOR, SENSIBILIDAD AL CONTRASTE Y ESTEREOPSIS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 8 de junio de 2021



**DR. LUIS FERNANDO BARBA GALLARDO**  
Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.  
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.  
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19



**DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO**



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 08/06/2021

**NOMBRE:** CARLOS ADRIÁN CAPETILLO VÁZQUEZ **ID** 266443

**PROGRAMA:** MAESTRIA EN REHABILITACION VISUAL **LGAC (del posgrado):** CIENCIAS VISUALES BASICAS Y CLINICAS

**TIPO DE TRABAJO:** (  ) Tesis (  ) Trabajo Práctico

**TITULO:** CORRELACIÓN DEL ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE FILTROS DE RADIACIÓN AZUL CON LA AGUDEZA VISUAL, DISCRIMINACIÓN AL COLOR, SENSIBILIDAD AL CONTRASTE Y ESTEREOPSIS.

**IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):** Beneficios para protección en la retina. Promover el uso de filtros para mejorar la percepción del color y deslumbramiento

**INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:**

<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>	
SI	El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI	Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI	Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI	Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI	El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
N.A.	Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI	Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI	Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>	
SI	Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI	Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI	Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
N.A.	Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI	Coincide con el título y objetivo registrado
SI	Tiene congruencia con cuerpos académicos
N.A.	Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N.A.	Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>	
N.A.	Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.	El estudiante es el primer autor
N.A.	El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.	En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.	Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.	La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Sí  No

**Elaboró:**

\* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

**FIRMAS**

MCB LUIS HECTOR SALAS HERNANDEZ

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

MCO JAIME BERNAL ESCALANTE

\* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

**Revisó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DR. RICARDO ERNESTO RAMÍREZ OROZCO

**Autorizó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

DRA. PAULINA ANDRADE ROSANO (ENCARGADA DE DESPACHO)

**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

**AGRADECIMIENTOS**

A mis profesores

A la Dra. Idania de Alba Montero

A el Dr. Facundo Ruíz



**DEDICATORIA**

A mi Madre, que se durmió en la esperanza de un mejor mañana

A el Sr Francisco Bárcenas, quien deja gratos recuerdos



**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**..... 4

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**..... 6

**ACRÓNIMOS** ..... 7

**RESUMEN**..... 8

**ABSTRACT** ..... 9

**INTRODUCCIÓN** ..... 10

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**..... 11

**JUSTIFICACIÓN** ..... 14

**MARCO TEÓRICO** ..... 16

**AGUDEZA VISUAL**..... 16

*Factores que afectan a la Agudeza Visual* ..... 17

**DISCRIMINACIÓN AL COLOR**..... 17

*Tricromaticidad* ..... 18

*Deficiencias en la visión del color* ..... 22

*Anomalías en la visión del color* ..... 23

*Deficiencias rojo/verde*..... 24

*Deficiencias amarillo/azul* ..... 24

**SENSIBILIDAD AL CONTRASTE**..... 24

**ESTEREOPSIS** ..... 26

*Factores que afectan a la estereopsis* ..... 26

*Efecto de la luminancia y el contraste*..... 28

**ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO** ..... 28

*Longitud de onda y frecuencia* ..... 29

*Naturaleza dual de la luz* ..... 29

**ANÁLISIS INSTRUMENTAL** ..... 29

*Métodos de absorción*..... 29

*Transmitancia* ..... 30

*Absorbancia*..... 30

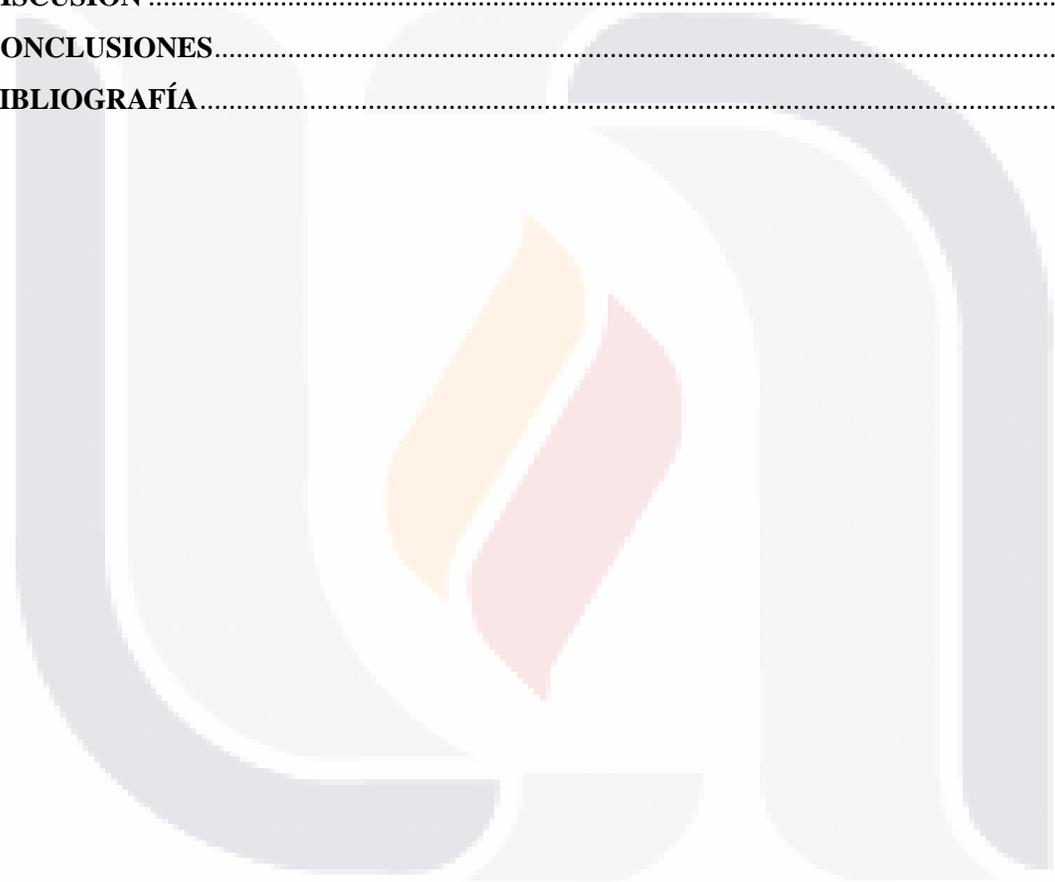
*Ancho de banda efectivo* ..... 31

**HIPÓTESIS**..... 32

**OBJETIVO GENERAL** ..... 33

<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	34
<b>METODOLOGÍA</b> .....	35
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> .....	35
<b>TIPO DE MUESTREO</b> .....	35
<b>CRITERIOS DE INCLUSIÓN</b> .....	35
<b>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN</b> .....	35
<b>CRITERIOS DE ELIMINACIÓN</b> .....	36
<b>VARIABLES</b> .....	36
<b>PROCEDIMIENTOS</b> .....	37
<b>ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b> .....	37
<b>MEDIDA DE LA AGUDEZA VISUAL</b> .....	42
<i>Medida del MAR</i> .....	42
<i>Medida del Mínimo Ángulo de Separación (MAS)</i> .....	42
<i>Medida de la AV Vernier (Hiperagudeza)</i> .....	43
<i>Valores esperados</i> .....	43
<i>Anotación de resultados</i> .....	44
<b>MEDIDA DE PERCEPCIÓN AL COLOR</b> .....	44
<i>Anotación de resultados</i> .....	46
<b>MEDIDA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE</b> .....	47
<i>Test CSV-1000 E</i> .....	47
<i>Anotación de resultados</i> .....	48
<b>MEDIDA DEL GRADO DE ESTEREOPSIS LANG-STEREOTEST II</b> .....	49
<i>Anotación de resultados</i> .....	49
<b>ESTADÍSTICA</b> .....	50
<b>RESULTADOS</b> .....	51
<b>SELECCIÓN DE FILTROS</b> .....	51
<b>ANÁLISIS INSTRUMENTAL</b> .....	51
<i>Selección de sujetos de prueba</i> .....	56
<b>CAMBIOS ENCONTRADOS EN LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN</b> .....	57
<i>Cambios en la agudeza visual</i> .....	57
<i>Cambios en la SC (unidades logarítmicas)</i> .....	58
<i>Cambios en la percepción de los componentes RGBA</i> .....	59

<i>Cambios en la agudeza visual estereoscópica</i> .....	60
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	61
<i>Prueba de Kolmogorov-Smirnof para una muestra.</i> .....	61
<i>Prueba de rangos con signo de Wilcoxon</i> .....	63
<i>Rho de Spearman</i> .....	65
<i>Prueba de Friedman</i> .....	67
<i>Resumen de análisis estadístico</i> .....	69
<b>DISCUSIÓN</b> .....	71
<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	75



**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1 VARIABLES .....36

TABLA 2 TÉRMINOS.....37

TABLA 3 ANOTACIÓN DE RESULTADOS (MAR) .....44

TABLA 4 ANOTACIÓN DE RESULTADOS (MAS).....44

TABLA 5 ANOTACIÓN DE RESULTADOS (AVV).....44

TABLA 6 ANOTACIÓN DE RESULTADOS COLOR SIN FILTRO.....46

TABLA 7 ANOTACIÓN DE RESULTADOS COLOR ANTIRREFLEJANTE .....46

TABLA 8 ANOTACIÓN DE RESULTADOS COLOR BLUEFREE.....46

TABLA 9 ANOTACIÓN DE RESULTADOS COLOR EASYLITE .....46

TABLA 10 ANOTACIÓN DE RESULTADOS COLOR BLUERED .....46

TABLA 11 ANOTACIÓN DE RESULTADOS COLOR CR39W .....46

TABLA 12 ANOTACIÓN DE RESULTADOS CONTRASTE (VALORES LINEALES).....48

TABLA 13 ANOTACIÓN DE RESULTADOS CONTRASTE (UNIDADES LOGARÍTMICAS) .....48

TABLA 14 ANOTACIÓN DE RESULTADOS AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA (TEST DE LANG)  
.....49

TABLA 15 ABSORBANCIA 380-470 NM .....52

TABLA 16 ABSORBANCIA 380-830 NM .....53

TABLA 17 ABSORBANCIA EN CADA PARTE DEL ESPECTRO .....54

TABLA 18 ANCHO DE BANDA EFECTIVO.....55

TABLA 19 DATOS DESCRIPTIVOS DE LA MUESTRA DE SUJETOS DE PRUEBA .....56

TABLA 20 CAMBIOS EN LA AGUDEZA VISUAL PROMEDIO .....57

TABLA 21 CAMBIOS EN LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE PROMEDIO (UNIDADES  
LOGARÍTMICAS).....58

TABLA 22 DESVIACIÓN PORCENTUAL PROMEDIO EN LA PERCEPCIÓN DE LOS COMPONENTES  
RGBA .....59

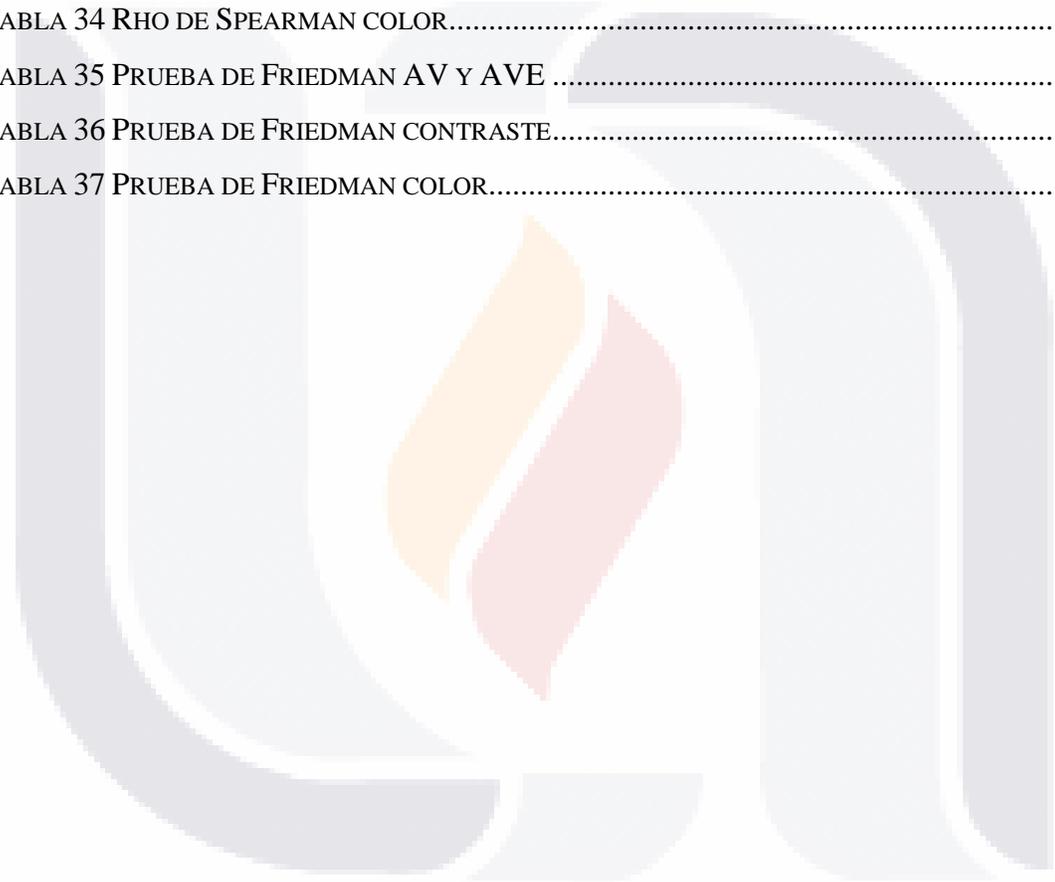
TABLA 23 AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA .....60

TABLA 24 PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA AV .....61

TABLA 25 PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA CONTRASTE .....61

TABLA 26 PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA AVE .....61

TABLA 27 PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA COLOR.....	62
TABLA 28 PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON AV.....	63
TABLA 29 PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON CONTRASTE.....	63
TABLA 30 PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON AVE.....	64
TABLA 31 PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON COLOR.....	64
TABLA 32 RHO DE SPEARMAN AV.....	65
TABLA 33 RHO DE SPEARMAN CONTRASTE.....	65
TABLA 34 RHO DE SPEARMAN COLOR.....	66
TABLA 35 PRUEBA DE FRIEDMAN AV Y AVE.....	67
TABLA 36 PRUEBA DE FRIEDMAN CONTRASTE.....	67
TABLA 37 PRUEBA DE FRIEDMAN COLOR.....	68



**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

FIGURA 1 ATENUACIÓN DE UN HAZ DE RADIACIÓN AL PASAR POR UN MEDIO .....30

FIGURA 2 MEDIDA DE LA TRANSMITANCIA Y DE LA ABSORBANCIA .....30

FIGURA 3 ANCHO DE BANDA EFECTIVO.....31

FIGURA 5 ESPECTRÓMETRO USB4000 DE OCEAN OPTICS .....38

FIGURA 5 ÍCONO DE SPECTRASUITE®.....38

FIGURA 6 CONFIGURACIÓN PARA MEDICIÓN DE LA TRANSMITANCIA .....39

FIGURA 7 ABSORCIÓN DE LOS FILTROS DE RADIACIÓN AZUL (ESPECTRO DE LOS 380 A 470 NM)  
.....51

FIGURA 8 ABSORCIÓN DE LOS FILTROS DE RADIACIÓN AZUL (ESPECTRO DE LOS 380 A 830 NM)  
.....52

FIGURA 9 ABSORCIÓN DE LOS FILTROS DE RADIACIÓN AZUL EN EL ESPECTRO VISIBLE  
CROMÁTICO 380 A 830 NM.....53

FIGURA 10 CAMBIOS EN LA AGUDEZA VISUAL PROMEDIO.....57

FIGURA 11 CAMBIOS EN LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE PROMEDIO (UNIDADES  
LOGARÍTMICAS).....58

FIGURA 12 DESVIACIÓN PORCENTUAL PROMEDIO EN LA PERCEPCIÓN DE LOS COMPONENTES  
RGBA.....59

FIGURA 13 HOJA DE RESULTADOS CSV-1000 E .....71

**ACRÓNIMOS**

---

**A**

ACL..... Aberración cromática longitudinal  
 AM ..... Amplitud Modulada  
*arcmin* ..... Minuto de arco  
 AV ..... Agudeza Visual  
 AV<sub>d</sub>..... AV decimal  
 AVE..... Agudeza Visual Estereoscópica  
 AVV ..... Agudeza Visual Vernier

---

**C**

CCD ..... Charge Coupled Device  
 CSR..... Certificado de Seguridad Retiniana  
 CV ..... Coeficiente de variación

---

**E**

EA..... Estereoagudeza  
 EEM..... Espectro Electromagnético  
 EM..... Electromagnética

---

**F**

FD.....Fluorescentes tubulares  
 FSC.....Función de Sensibilidad al Contraste

---

**K**

K Kelvin

---

**L**

LED..... Light-Emitting Diode

logMARlogaritmo del Mínimo Ángulo de Resolución

---

**M**

MAR.....Mínimo Ángulo de Resolución  
 MAS ..... Mínimo Ángulo de Separación

---

**N**

nm.....Nanómetros

---

**O**

OIOjo Izquierdo  
 OLED..... Organic Light-Emitting Diode

---

**R**

RGBA.....Rojo, Verde, Azul y Brillo

---

**S**

SC ..... Sensibilidad al Contraste  
 SICL ..... Sistema Internacional de Codificación de Lámparas  
 SLC..... Sensibles a la Longitud de onda Corta  
 SLL.....Sensibles a la Longitud de onda Larga  
 SLM.....Sensibles a la Longitud de onda Media

---

**U**

UASLP Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
 UV-VIS..... Ultravioleta-Visible

## RESUMEN

Los filtros de radiación azul, son dispositivos ópticos que atenúan y/o eliminan la radiación electromagnética entre los 380 a 470 **nm** de la longitud de onda.

La alteración del **EM** produce cambios como: disminución de la aberración cromática, fototoxicidad y deslumbramiento. La **AV** aumenta con la intensidad de iluminación, cuando aumenta el flujo luminoso sobre el estímulo, disminuye con la raíz cuadrada del contraste, se logran valores menores con luz azul, la variación en la intensidad de diferentes longitudes de onda produce un cambio en la percepción del color, los valores de estereogudeza y la discriminación al color varían dependiendo del filtro colocado y pueden producir cambios en la sensibilidad al contraste.

En este trabajo se correlaciona la absorbancia de los filtros de radiación azul con la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis, en sujetos sanos emétopes.

Se realizó análisis instrumental a lentes oftálmicas con filtro de luz azul, mediciones clínicas de **AV** (detección, separación, localización e identificación), discriminación al color, **SC** y estereopsis a individuos emétopes sin utilizar lente alguno interpuesto y utilizando filtros de luz azul con diferentes espectros de absorción. Se compararon los resultados y se estableció la correlación.

Participaron 27 sujetos, emétopes, de 20 a 38 años, 44.44% masculinos y 55.56% femeninos, **AV** de detección promedio de 16.422, de separación 1.146 y Vernier 3.084; una **SC** promedio en frecuencias bajas 1.816, medias bajas 1.998, medias altas 1,523 y altas de 1.108. La desviación promedio de percepción del color **RGBA** fue: 8.86% rojo, 2.25% verde, 3.81% azul y 0.11% para la luminancia. La estereopsis promedio fue de 200'', sin el uso de lente alguna interpuesta.

Resultados: Existen diferencias en la **AV**, **SC** y sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5% mas no así en la **AVE**.

## ABSTRACT

Blue radiation filters are optical devices that attenuate and/or eliminate electromagnetic radiation between 380 to 470 nm of the wavelength.

The alteration of the EM produces changes such as: decrease in chromatic aberration, phototoxicity and glare. VA increases with the intensity of illumination, when the luminous flux on the stimulus increases, it decreases with the square root of the contrast, lower values are achieved with blue light, the variation in the intensity of different wavelengths produces a change in perception color sensitivity, stereo acuity values and color discrimination vary depending on the filter in place and may cause changes in contrast sensitivity.

In this work, the absorbance of the blue radiation filters is correlated with visual acuity, color discrimination, contrast sensitivity and stereopsis in healthy emmetropic subjects.

Instrumental analysis was performed on ophthalmic lenses with a blue light filter, clinical measurements of VA (detection, separation, localization and identification), color discrimination, SC and stereopsis in emmetropic individuals without using any interposed lens and using blue light filters with different absorption spectra. Results were compared and correlation established.

Twenty-seven subjects participated, emmetropes, from 20 to 38 years old, 44.44% male and 55.56% female, mean detection VA of 16,422, separation of 1,146 and Vernier 3,084; an average SC in low frequencies 1,816, low average 1,998, high average 1,523 and high of 1,108. The average RGBA color perception deviation was: 8.86% red, 2.25% green, 3.81% blue, and 0.11% for luminance. The average stereopsis was 200'', without the use of any interposed lens.

Results: There are differences in VA, SC and sensitivity to RGBA color at a significance level of 5%, but not in AVE.

## INTRODUCCIÓN

La intrínseca naturaleza de la luz y la relación con los procesos de la visión que se ven afectados al modificar las características físicas del espectro electromagnético en el rango de la luz visible, motiva a indagar sobre las variaciones en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis después del filtrado del espectro al utilizar los “filtros de luz azul”, específicamente entre las longitudes de onda de 380 a 470 nm.

El objetivo principal de este estudio es encontrar una correlación entre los cambios en los niveles de la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste, grado de estereopsis y el uso de los “filtros de luz azul”.

En una primera etapa se analizaron diferentes materiales con filtro de luz azul; en este proceso se determina la existencia de distintos niveles de filtrado y si éste se mantenía en un mismo rango de longitud de onda para todos ellos.

Una vez seleccionadas las muestras más significativas de filtros de luz azul, se comenzó con la etapa de análisis clínico, donde en un proceso de selección y exclusión de individuos voluntarios, se aplicaron una serie de pruebas para medir la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y grado de estereopsis, primeramente, sin usar ningún tipo de filtro y después utilizando las muestras seleccionadas de filtros de luz azul.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los filtros de absorción se usan ampliamente para la selección de bandas en la región visible. Su función es absorber porciones seleccionadas del espectro<sup>28</sup>.

En el tema que nos ocupa “correlación del espectro de absorción de los filtros de radiación azul en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis”, los “filtros de luz azul” son sistemas o dispositivos diseñados para atenuar y/o eliminar la radiación electromagnética que se encuentra en el rango de los 380 a 470 **nm** de longitud de onda.

La luz **UV** y la luz azul (espectro con longitudes de onda corta) daña la integridad ocular, pues estas radiaciones invisten una energía mayor que si fueran de una longitud de onda mayor<sup>1</sup>.

La fototoxicidad producida por la radiación electromagnética con longitudes de onda entre 415 y 455 **nm**<sup>2</sup>, se puede prevenir mediante el bloqueo o disminución de dicha fuente, con la utilización de los filtros de radiación azul.

En la actualidad, la tecnología y sus avances se encuentran prácticamente en cualquier lado, y la mayoría de los aparatos tecnológicos cuentan con una interfaz de entrada/salida visual retro iluminada, principalmente pantallas digitales con tecnología **LED** (Light-Emitting Diode); estas pantallas utilizan diodos blancos que emiten característicamente un pico de intensidad luminosa en el rango de los 440 **nm**, longitud de onda ubicada en el espectro de la luz visible de alta energía (luz azul-violeta)<sup>3</sup>.

La iluminación **LED** se vuelve cada día más común en la vida cotidiana y ésta se compone de hasta un 35% de radiación azul<sup>4</sup>, por ello, es imprescindible el uso de filtros de radiación azul ante estas emisiones radiantes.

El estudio “Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: Experimentación animal”, demuestra que, longitudes de onda corta (y por tanto más energéticas) provocan una baja de fotorreceptores más numerosa, que si éste deja de ser

emitido o a través de filtros ópticos intercalados es anulada, el daño es detenido y las pérdidas de núcleos disminuyen<sup>5</sup>.

En el estudio “Glare Disability, Photostress Recovery, and Chromatic Contrast: Relation to Macular Pigment and Serum Lutein and Zeaxanthin” ha sido verificado que se favorece la función visual si las longitudes de onda corta son filtradas por la disminución la aberración cromática<sup>6</sup>.

Actualmente se desarrollan y comercializan materiales ópticos que pueden filtrar estas radiaciones, bloqueando y/o absorbiendo las longitudes de onda en el rango de los 380 a 470 **nm** en mayor o menor cantidad, y cada día es más común prescribirlas y utilizarlas.

El incremento de la absorción reduce el nivel absoluto de luz que alcanza a las células fotosensibles en la retina, reduciendo la **SC** y la **AV**<sup>7</sup>.

El valor angular del estímulo no es único factor que determina el mínimo visible, depende también de la densidad superficial de intensidad luminosa del test, la cuantía de energía luminosa absorbida por los fotorreceptores y la sensibilidad. La **AV** se incrementa con el logaritmo de la intensidad de iluminación<sup>8</sup>; se reduce con la raíz cuadrada del contraste<sup>9</sup>; hay mejoría al aumentar la densidad superficial de intensidad luminosa en el optotipo<sup>10</sup>.

Se ha demostrado que, se alcanzan niveles de **AV** sutilmente inferiores con luz azul, entretanto, con la roja y verde son idénticas al compararlos con los de la luz blanca<sup>11</sup>.

La atenuación o eliminación de parte del espectro visible modifica directamente las variables cromáticas, y por tanto también se ve afectada la intensidad del espectro y su cromaticidad.

El tono en un estímulo visual se puede definir con tres únicas variables: la energía luminosa en tres luces espectrales<sup>10</sup>; La variación en la intensidad de diferentes longitudes de onda producirá un cambio en la percepción del color.

Los valores de **AV logMAR** (logaritmo del Mínimo Ángulo de Resolución) y de **EA** (estereoagudeza) con un filtro solar **CSR** (Certificado de Seguridad Retiniana) son equivalentes a los conseguidos al no utilizar filtro; no obstante, al usar un filtro solar habitual,

las dos variables tienen una disminución notable. La distinción en el color se reduce con los dos filtros, un detrimento mayor al usar un filtro solar habitual (45%) que comparando contra el filtro **CSR** (5%). El filtro solar habitual origina una fuerte disminución de la **FSC** (Función de Sensibilidad al Contraste) para todas las frecuencias espaciales en comparación al nuevo filtro **CSR**<sup>12</sup>. Este estudio demuestra la necesidad de comparación entre los diferentes filtros ya que según la tecnología empleada puede haber diferencias significativas en las variables consideradas.

El filtrado espectral, incluido el del espectro azul-violeta con el objetivo de disminuir el daño que este produce, conducirá a este un déficit perceptivo.

“Cualquier filtrado espectral acarrea un déficit perceptivo”<sup>13</sup>.

En base a lo anterior, el presente trabajo pretende encontrar la correlación del espectro de absorción de los filtros de radiación azul en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis, tomando en cuenta las características cuantitativas de los filtros de absorción selectiva y aplicando pruebas clínicas sobre sujetos de estudio al utilizar o no dichos filtros.

De modo que se genere una respuesta a la pregunta de investigación; ¿existe una correlación clínicamente significativa entre el espectro de absorción de los filtros de radiación azul en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis?

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la exposición a la tecnología de iluminación **LED**; tanto en dispositivos con interfaz gráfica de salida (pantallas) es de alrededor de 5 a 9 horas al día; esta larga exposición a la radiación luminosa directa obliga a pensar en la protección ante esta luz visible de alta energía (luz azul-violeta).

La variedad de tipos de filtrado y densidades en los materiales ópticos afectan directamente a la transmitancia del espectro electromagnético incidente en el lente; cada material posee una curva de transmitancia característica, produciendo una atenuación de la intensidad diferente para cada parte del espectro electromagnético. Los nuevos filtros de luz azul, entonces, inducen una variación en la cromaticidad e intensidad de la luz transmitida.

Un estudio objetivo de las propiedades ópticas de los lentes con filtro azul y la correlación con la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis ayudara a comprender si un filtrado espectral acarrea un incremento o un decremento perceptivo, así como su magnitud. Esto coadyuvará en la decisión a la hora de prescribir filtros de luz azul sobre el nivel de absorción idóneo dependiendo de la intensidad de la luz filtrada, de tal manera que con el uso de estos no se vean afectadas las variables dependientes de la intensidad luminosa en el espectro de absorción.

Los resultados de este trabajo podrán ser utilizados en tres áreas;

1. Selección del filtro idóneo para cada actividad.
2. Elección del filtro para aumentar o disminuir las variables necesarias y proporcionar una calidad de visión mejorada para cada parámetro evaluado.
3. Diseño de nuevos materiales con absorción selectiva del espectro electromagnético.

Beneficiando al paciente al proporcionarle un filtrado de la luz de alta energía y un aprovechamiento de las demás cualidades del filtro, optimizando la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis.

Las medidas objetivas de los filtros se realizaron mediante espectrofotometría en el laboratorio de ciencia de materiales de la Facultad de Ciencias de la **UASLP** (Universidad

Autónoma de San Luis Potosí) y las medidas clínicas fueron generadas en pacientes voluntarios que otorguen su consentimiento informado.



## MARCO TEÓRICO

### AGUDEZA VISUAL

La agudeza visual se define como la facultad del sistema visual humano para resolver, reconocer o discriminar detalles en los objetos en condiciones de alto contraste y buen nivel de iluminación<sup>10</sup>.

La dimensión en estos detalles se puede detallar con la dimensión del objeto en sí, dimensión de la proyección hecha en retina o el ángulo formado a la distancia de visualización del estímulo.

**Tareas de detección o mínimo visible.** Se determina la presencia o la ausencia de estímulos en el campo visual.

Se calcula con el recíproco del ángulo mínimo en el que el observador percibe el estímulo.

Localización del proceso: Retina (responde a la receptibilidad del fotorreceptor).

**Tareas de resolución o mínimo separable.** Se determina si dos estímulos estrechamente cercanos están separados.

La medida del poder de resolución es el recíproco de la mínima distancia angular posible entre un par de estímulos tal que el observador los vea como diferentes.

Este proceso está subyugado especialmente por la difracción y las aberraciones oculares.

**Tareas de reconocimiento o mínimo reconocible.** Se precisa identificar la forma, el detalle y la alineación del objeto.

La medida de la capacidad de reconocimiento es el recíproco del ángulo en el que los detalles más pequeños se pueden identificar en la prueba.

Esta es la función considerada en la práctica clínica.

**Tareas de localización.** Distinguir mínimos desplazamientos de un fragmento de la prueba en relación con la otra parte.

La medida de **AV** es el recíproco del ángulo de desplazamiento más pequeño percibido por el observador.

La métrica para esta tarea de posicionamiento es la hiperagudeza o **AVV** (Agudeza Visual Vernier), porque el valor de **AV** es mucho mayor que el proporcionado por otras tareas.

#### *Factores que afectan a la Agudeza Visual*

**Factores físicos:** Destacan; la iluminación (la **AV** crece con el logaritmo de la intensidad de iluminación), color, contraste, tiempo de exposición, distancia de los optotipos, difracción, ametropía y tipo de optotipos.

**Factores fisiológicos:** Dimensión de la pupila, excentricidad de fijación, cinética del sistema óptico, edad del individuo, monocularidad / binocularidad, medicamentos y padecimientos, igualmente, algunas enfermedades oftálmicas o sistémicas pueden afectar a la **AV**.

**Factores psicológicos:** Práctica previa con el test, cansancio físico o mental, fastidio (niños) o motivación<sup>8</sup>.

**Composición espectral de la luz:** Los individuos emétopes ostentan una **AV** más alta si se evalúan bajo una luz amarilla, los miopes aumentan su **AV** con luz azul (ojos cortos) y los hipermétropes la suben con luz roja (ojos largos). Capilla et al (1993) probaron que, subsanando apropiadamente la aberración cromática central, se consiguen niveles de **AV** levemente menores en el azul, al tiempo que en rojo y verde son análogos al compararse con la **AV** en la luz blanca<sup>14</sup>.

#### **DISCRIMINACIÓN AL COLOR**

La visualización de colores se considera una característica en la percepción visual con la que un sujeto tiene la capacidad de diferenciar objetos de la misma estructura, tamaño, forma y luminosidad, gracias a la discrepancia inducida por las desintegraciones espectrales reflejadas o emitidas por los objetos.

La iluminación es uno de los elementos ligados con el color, debido a que la percepción del color es alterada con la iluminación, pues se presume una saturación menor con una iluminación mayor y la discriminación disminuye.

Se recomienda iluminación con aspecto de luz natural (luz eléctrica-Illuminación tipo C) para la ejecución de los test de color. Es el equivalente a la luz del medio día y 6774 **K** (Kelvin) de temperatura de color relacionada.

Esta iluminación, se puede lograr con las lámparas **FD** (Fluorescentes tubulares), indicado así por la **SIICL** (Sistema Internacional de Codificación de Lámparas), con una potencia estándar de 4 a 100 vatios, con estas la reproducción del color es de correcta a buena, su temperatura de color relacionada está entre 2.700–7.000 **K**.

### *Tricromaticidad*

A menudo se la conoce con el nombre de teoría de Young y Helmholtz. El aspecto psicofísico, defiende que los colores esenciales son tres: rojo, verde y azul. El aspecto fisiológico, conserva una presencia de tres receptores particularmente sensitivos a diferentes longitudes de onda.

Helmholtz postuló que los fotorreceptores reconocen particularmente longitudes de onda en rangos específicos, cortos, medios y largos. Pese a ello, todos estos eran de manera diferente sensibles a un rango amplio de longitudes de onda, dándose hasta cierto punto superposición de las sensibilidades en los fotorreceptores.

Los receptores, apreciados de manera individual, son ciegos al color; pese a ello, a causa de la superposición de las funciones de sensibilidad, los receptores se estimulan en forma disímil con una única longitud de onda.

La experiencia de color es dada por la pauta de activación producida en los receptores consecuencia de las diferentes longitudes de onda.

En la actualidad, la fisiología afirma que, a nivel de fotorrecepción, la codificación del color se lleva a cabo de acuerdo como las premisas esenciales de la teoría tricromática indican.

La visión al color es una característica sensorial de la visión, permite comprender la diferencia en la composición de la luz con las longitudes de onda que integran el estímulo en la retina. Su análisis puede detectar cambios congénitos o adquiridos en la visión del color, valorar la entereza macular y establecer las capacidades de discriminación del color. La importancia de poder precisar un defecto congénito radica en establecer los aspectos hereditarios y genéticos que se requieren para el mismo, así como orientar y promover la actividad escolar y profesional del paciente. Los cambios adquiridos muestran que existe una patología que cambia la percepción normal del color<sup>15</sup>.

La visión a color está condicionada a toda una vía que se origina en la retina, en los conos y en un tipo de células ganglionares. Los fotorreceptores de la retina se comportan de manera diferente a la luz y a su longitud de onda. Los bastones se activan en la penumbra, sólo admiten diferenciar el negro, blanco y distintos tonos grises. Los conos se activan con grados de iluminación adecuadamente altos.

Cuando un cono absorbe un fotón, genera un impulso eléctrico que emite hacía otras neuronas. Sea cual fuere la longitud de onda del fotón, el cono responderá de la misma forma, emitiendo un impulso eléctrico. Esto significa que los conos, considerados individualmente, no pueden transmitir información acerca de cuál es la longitud de onda que los excita, ya que lo único que transmite al sistema nervioso son señales eléctricas. Aunque, la probabilidad de absorber un fotón es mayor o menor dependiendo de su longitud de onda, la respuesta eléctrica será siempre la misma.

En la retina existen tres tipos de conos de sensibilidad espectral diferente pero coincidente y se denominan:

- Conos **SLL** (Sensibles a la Longitud de onda Larga) 560 **nm** ROJO.
- Conos **SLM** (Sensibles a la Longitud de onda Media) 540 **nm** VERDE.
- Conos **SLC** (Sensibles a la Longitud de onda Corta) 445 **nm** AZUL.

Los bastones alcanzan su máxima sensibilidad con una longitud de onda de 507 **nm**. Extendiéndose el espectro visible entre los 400 y 700 **nm**; sin embargo, el pico de la curva

fotópica (555 **nm**) está relativamente desplazado hacia el rojo respecto al de la curva escotópica (507 **nm**).

El color no es una característica propia de los objetos; la percepción del color se origina cuando determinadas radiaciones espectrales son absorbidas por los fotopigmentos visuales y procesadas por circuitos neuronales complejos del ojo y el cerebro<sup>16</sup>.

La manera en que los colores surgen en nuestra rutina consciente se consigue describir con referencia a tres propiedades elementales: matiz, saturación y brillo/ claridad.

**El matiz** de un color es la manera en que se diferencia un color de otro. Una característica cualitativa con la cual podemos clasificarle utilizando expresiones como azul, rojo o verde.

En el **EEM**, hay una correspondencia alta entre matiz y la longitud de onda justo como aparece en el arco iris. Estas coloraciones constituyen un fragmento del conjunto de los colores espectrales. Aun así, no debemos confundir el matiz con la longitud de onda. Algunos colores no tienen nada que ver con longitudes de onda determinadas, al igual que los colores no espectrales. Estos colores (como el morado y el violeta) solo se pueden obtener mezclando dos o más luces monocromáticas. Tanto los colores espectrales como los no espectrales se denominan cromáticos. Otros colores (como el blanco, el gris y el negro) son más fáciles de entender en términos de claridad que de matiz, por lo que a menudo se denominan acromáticos. Por lo tanto, en un sentido estricto, el matiz se refiere a diferentes aspectos de la calidad de la experiencia del color y está relacionado con la diferencia de longitud de onda o la mezcla de longitudes de onda diferentes.

**La saturación** se refiere a la integridad cromática de un color. Definida como una particularidad de la percepción visual, puede juzgar el grado de diferencia entre estimulación cromática y acromática, independientemente de su brillo. En general, la referencia acromática es el blanco, por lo que se suele definir de manera alternativa a manera del nivel de mezcla del estímulo cromático con el blanco. Por ejemplo, la poca saturación del rojo se presenta como rosa, debido a la combinación del blanco y rojo. En los colores espectrales, la referencia para la saturación máxima es la apariencia que muestra en el **EEM** visible.

**El brillo** es un atributo de la visión, a través del que los estímulos visuales aparecen más o menos intensos. El brillo se refiere a la magnitud de energía luminosa que un estímulo visual parece producir, es relacionado preferiblemente con la luminancia, por lo que a veces es definido informalmente como brillo percibido. Cuando el brillo del estímulo cambia, varía de brillante a tenue. Preferiblemente, el brillo está relacionado con el estímulo que emite luz.

**La claridad** es una propiedad relacionada con el estímulo de la luz reflejada (como la mayoría de las superficies lo hacen). Está conexas con la reflectividad, no con el brillo, alternativamente definida a modo de reflectividad percibida. La totalidad de las áreas coloreadas poseen un cierto valor en su claridad, de claro a oscuro, las diferencias en la claridad se muestran más claramente en áreas acromáticas. En estas superficies acromáticas, la claridad producirá apariciones de color que van desde el negro al blanco hasta varias escalas de grises. Por lo tanto, es útil asociar el brillo con el blanco-gris-negro y usar el término "claro y oscuro" para aproximar. Generalmente, la expresión "brillo" se reserva para referirse al cambio en la intensidad de la fuente de luz que emite luz, y es conveniente usar el palabra "claridad" al tratarse de áreas reflejantes de luz<sup>17</sup>.

Existen dos teorías que pueden explicar satisfactoriamente la codificación de colores en la retina de forma complementaria, una se basa en la actividad de las células cónicas (teoría tricromática), la otra se basa en las células ganglionares (la teoría de procesos oponentes), una y otra aportan elementos para la representación de colores en el cerebro.

La teoría tricromática está basada a partir de el hecho donde en un sistema de tres variables se pueden especificar millones de tonos diferentes que los humanos pueden percibir. La necesidad de tres colores primarios refleja el hecho de que hay tres tipos de células cónicas en la fovea. Las células cónicas de la retina contienen una de las tres proteínas opsina, que proporcionan al fotorreceptor una sensibilidad diferente a la luz.

Según esta teoría, distinguimos la longitud de onda o el color de la relación de actividad de los tres tipos de células cónicas. La tasa de respuesta entre los tres conos determina la percepción del color. Cuando se activan los tres tipos de conos, vemos blanco o gris.

La teoría del proceso opuesto explica que las características de respuesta de las células ganglionares a la luz de diferentes longitudes de onda dependen obviamente de los circuitos que las conectan a los tres tipos de conos. Cada célula ganglionar con el espectro opuesto es estimulada por dos o tres tipos diferentes de conos a través de células bipolares. El color percibido se basará en la actividad relativa de las células ganglionares, que reciben información de diferentes tipos de células cónicas.

La idea de opuestos cromáticos responde a la pregunta sin respuesta de la teoría tricromática: los opuestos no pueden existir en el mismo color; el fenómeno del contraste simultáneo; es decir, un efecto se debe a que ciertos colores afectan a otros colores, especialmente al ser adyacentes; fenómenos como imágenes residuales, que hacen que el área roja de la imagen se vuelva verde, o que el área azul se vuelva amarilla, o viceversa; y daltonismo: los puntos ciegos en verde también son rojos, y los puntos ciegos en amarillo también son azules.

En la percepción del color, los conos no representan la base completa, porque algunos colores como el amarillo no se logran de una composición de azul, verde y rojo. Existen algunos colores mediales que no pueden ser observados por las células cónicas y deben realizar su procesamiento en las células ganglionares de la retina. Reaccionan en oposición al rojo y al verde, al azul y al amarillo. Al estimularse con un color, el color opuesto en la periferia se suprime en el centro. Estas células ganglionares se denominan oponentes simples. Los conos rojo y verde pueden estimularse idénticamente utilizando luz amarilla, y este efecto opuesto puede mejorar el contraste de color.

Al presente, se acepta que la teoría tricromática explica mejor el funcionamiento de los fotorreceptores. Los procesos oponentes, describe particularidades fundamentales de la visión humana en color y esta segunda teoría describe las cualidades perceptuales de la visión en color que se derivan del procesamiento neurológico de las señales de los receptores en dos canales opuestos y un sólo canal acromático<sup>16</sup>.

### *Deficiencias en la visión del color*

Concurren diferentes tipos de defectos en la percepción del color. Sólo casos raros, producen un verdadero daltonismo "daltonismo total", lo que reducirá la visión a una claridad dentro

del rango de blanco, gris y negro. Los individuos solo necesitan una luz elemental en el ensayo de emparejamiento, porque solo se pueden distinguir en función de la dimensión de brillo-claridad.

Mayormente común es la ceguera dicromática. El paciente tiene solo un par de los tres fotorreceptores de color, así, en el ensayo de mezcla de colores, el dicrómata sólo necesitara usar un par de luces clave para que coincida con la luz de prueba. Con dependencia fotorreceptores que esté ausente, puede haber tres tipos de dicromatopsia.

**Protanopas**, carece de receptores de onda larga. Si la luz roja aumenta su brillo con respecto a la luz verde, confundirá estos colores.

**Deuteranopas**, no poseen fotorreceptores de onda media. Más habitual que la protanopia y asimismo perturba a la diferencia entre rojo y verde.

El aspecto de color protan y deuteran es análogo, las longitudes de onda medias aparecen azules y las largas aparecen amarillas.

Existe un lugar acromático de color gris que permite discriminar entre ellos, para los protanopas existe en 492 **nm** y para los deuteranopas en 498 **nm**.

Los tritanopas no poseen fotorreceptores de ondas cortas, son poco frecuentes (1 de 20.000). La forma que adquieren los colores es verde para longitudes de onda cortas y rojo para las largas. Exhiben punto gris de neutralidad cromática lo en los 570 **nm**.

#### *Anomalías en la visión del color*

Las anomalías no correspondientes a la ausencia de algún único fotorreceptor, sino al funcionamiento deficiente de los fotorreceptores son llamadas tricromáticas. Éstos logran igualar cualquier color con una combinación de tres luces primordiales, sin embargo, la combinación es diferente a la manejada por los individuos considerados normales.

### *Deficiencias rojo/verde*

La deficiencia en diferente nivel de la visión de colores, combinación de rojo y verde en diferentes cantidades, asimismo conviene hacer diferenciaciones. Las deficiencias protán, y las deután, con categoría de tricrómata anormal, protanomalia y deuteranomalia. La diferenciación entre una y otra, podemos imputarla a un menor número de fotorreceptores de un dado tipo<sup>10</sup>.

Al escasear los receptores L se nombra protan al sujeto, si fuera el receptor M, deuteran<sup>10</sup>.

### *Deficiencias amarillo/azul*

Los sujetos equivocan el color amarillo y el azul. El cambio en la transparencia del cristalino (se vuelve amarillo) o de los humores, acuoso y vítreo, con la edad, con el desarrollo de algún padecimiento y perturbe el rango del matiz amarillo/ azul eleva la ocurrencia en esta anomalía. A estos sujetos se nombra de tipo tritán<sup>10</sup>.

En la tritanomalia no ha identificado ningún caso de grado débil.

### **SENSIBILIDAD AL CONTRASTE**

La capacidad visual puede diagnosticarse también midiendo la **SC** del sistema visual humano

El umbral al contraste es la menor cantidad de contraste necesario para poder ver un objeto.

La **SC** se precisa como la inversa del umbral al contraste. Así pues, el individuo que necesita una gran cantidad de contraste para percibir un estímulo mostrará un nivel de **SC** muy bajo y viceversa<sup>8</sup>.

Las aberraciones y difracción ocular, tienen como resultado una reducción en el contraste de la imagen proyectada en retina comparada con el contraste presentado por el estímulo<sup>10</sup>.

**Aberraciones:** Todo aquello que produce un sistema óptico imperfecto, donde los rayos que lo atraviesan no coinciden en un solo punto.

**Aberraciones cromáticas:** Se ocasiona la difracción de la luz blanca que entra en el ojo produciendo el espectro de colores. Así entonces se produce un defecto de foco, y la consecuente disminución de contraste secundaria.

**Aberración cromática longitudinal (ACL):** A consecuencia de la diferencia en la convergencia de las distintas longitudes de onda, las longitudes más largas quedan enfocadas por detrás de la retina y las de longitud más corta por delante<sup>18</sup>.

Las frecuencias espaciales son afectadas de modo diferente por las aberraciones.

Se entiende como frecuencia espacial el ángulo que subtiende un período del estímulo, de tal modo que, si el período sinusoidal del modelo posee una longitud de tal forma que colocado a una distancia concreta sustenta  $1^\circ$  a partir del punto nodal objeto del ojo, este modelo sinusoidal tiene una frecuencia espacial igual a 1 ciclo/grado ( $c/^\circ$ ). Así pues, grandes frecuencias espaciales son asociadas a períodos pequeños y viceversa, la disminución del contraste perturba más las altas frecuencias espaciales<sup>10</sup>.

La SC se ha transformado en un instrumento significativo para valorar la función visual. El contraste se define como la correspondencia entre la intensidad máxima y mínima de los estímulos visuales. El contraste puede ser temporal o espacial. El contraste espacial obtiene más relevancia, pues la naturaleza de su estimulación está relacionada a las pruebas clínicas de visión ordinarias.

La prueba de contraste espacial puede ser una rejilla de patrón sinusoidal generada electrónicamente o una rejilla de impresión de gráficos. También hay objetivos visuales de bajo contraste, que se utilizan ampliamente en estudios multicéntricos.

Una rejilla con modelo sinusoidal posee un modelo de luminancia progresivo de área clara a oscura. Estos modelos poseen ventajas, primero, el desenfoque óptico no cambia la apariencia del modelo de la rejilla, exclusivamente el discernimiento de la cantidad de contraste. En segundo lugar, la sensibilidad al contraste puede determinar la capacidad del paciente para procesar información espacial de escenas visuales cotidianas<sup>16</sup>.

## **ESTEREOPSIS**

La estereopsis personifica el potencial del sistema visual de lograr conocimiento sobre la ubicación en profundidad de los estímulos partiendo de la disparidad binocular, que se desencadena casi solamente por la disparidad de la retina<sup>19</sup>.

La visión estereoscópica es a consecuencia de la potencialidad del sistema visual de conseguir datos de la ubicación en profundidad de los estímulos partiendo de la disparidad binocular<sup>10</sup>.

la visión estereoscópica se origina por la habilidad que tiene del cerebro para establecer las imágenes horizontales que llegan a puntos retinianos horizontales no correspondientes<sup>20</sup>.

Para fusionar en una imagen única las imágenes recibidas en cada retina, se requiere de la visión binocular. Parte de una escena única es formada en cada ojo, ambas imágenes son transmitidas a la corteza cerebral. De la fusión deriva la percepción final de las dos representaciones visuales en los niveles corticales superiores<sup>21</sup>.

El tope fisiológico de estereoagudeza central, que es la cantidad máxima de **AVE** (valor mínimo apreciable de paralelaje estereoscópico o menor diferencia horizontal percibida por medio del paralelaje binocular), el cual es extremadamente inconstante entre individuos, va desde 10'' a 30'' segundos de arco, con una media de 25''. (Kenneth Neil Ogle, 1962, estimó que entre 5'' y 10''). En la periferia no supera los 70''<sup>22</sup>.

### *Factores que afectan a la estereopsis*

Al utilizar información fisiológica se denominan pista monocular primaria, y los que proceden de información asimilada a través de la práctica se denominan pista monocular secundaria.

**Pistas monoculares primarias.** Los elementos fisiológicos más importantes para obtener información en de la profundidad son la convergencia y la acomodación., ante un estímulo acomodativo dado, el esfuerzo acomodativo proporciona un indicio poderoso de la profundidad y la borrosidad que estimula la acomodación.

En forma similar, la magnitud de tensión vergencial para un par de estímulos, igualmente es una gran referencia de la distancia entre los estímulos, que es referente en esta cuestión. A causa de la correspondencia fisiológica entre las dos, cuando trabajan juntos la estimación de la distancia es mejor.

**Pistas monoculares secundarias.** La pista monocular que desarrollaremos posteriormente, no estará relacionada a la constitución del sistema óptico, más bien lo estará con la información personal.

**Perspectiva geométrica.** Líneas que simulan aproximarse en la lejanía permite a un observador percibir una profundidad. Cuando dos objetos iguales en tamaño se encuentran en la misma línea horizontal, el objeto más alejado del punto de mirada se mostrará como el más cercano al observador.

**Difusión atmosférica.** La consistencia atmosférica hace que los objetos se distorsionen y se vuelvan borrosos a medida que se alejan. Asimismo, la luz es refractada en función de la longitud de onda por la atmósfera, la más desviada es la longitud de onda azul, por lo que además de deformar un objeto en movimiento, también tiende a volverse azul.

**Superposición de imágenes.** Los objetos que se superponen en el campo de visión se interpretan como si estuvieran frente a ellos. Esto significa que cuando se produce una superposición, la apariencia de profundidad relativa se distribuye rápidamente, lo que hace que la sensación de profundidad sea más fuerte cuando se combina con otras pistas.

**Distribución de luces y sombras.** Objetos cualesquiera, opacos y con cuerpo proyectará oscuridades que dependerán de la ubicación del origen de iluminación. Esta es una información muy útil, ya que, según la posición de la sombra, localizaremos la fuente de luz y recibiremos la información de posición del objeto.

**Tamaño aparente del objeto y constancia del tamaño.** Cuando el estímulo se aleja, presenta un pequeño ángulo al fondo del ojo. El resultado es que la imagen retiniana de los estímulos distantes es mucho más pequeña que la de los estímulos más próximos.

Considerando que el efecto depende de la diagonal de la dimensión del estímulo y la lejanía hasta el espectador, se puede explicar simplemente por la geometría

**Gradiente de texturas.** Cualquier objeto que pueda ser reconocido por el sistema de visión con un modelo repetido se clasifica a modo trama. A medida que se aleja del observador, la trama se hace más fina.

**Paralaje de movimiento.** Basada en la rapidez referente entre los objetos. Al desplazarse un espectador a rapidez constante, los objetos próximos a dicho observador se desplazarán a menor velocidad que los situados más alejados<sup>10</sup>.

#### *Efecto de la luminancia y el contraste*

El nivel mínimo de luminancia para que la **AVE** (Agudeza Visual Estereoscópica) llegue a un valor óptimo es de 10 mililamberts, a partir de este la **AVE** se mantiene casi constante<sup>23</sup>.

La subordinación de la **AVE** con el contraste es proporcional a la raíz cúbica para valores de contraste superiores al valor tope, y a la raíz cuadrada para valores de contraste próximos al umbral<sup>24</sup>. Es aceptado que la dependencia con el contraste es débil para valores supraumbrales, no obstante, la **AVE** disminuye velozmente al alcanzar valores de contraste umbral<sup>23</sup>.

#### **ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**

Los humanos son capaces de detectar solo una pequeña porción del espectro electromagnético.

La denominación de espectro de luz “visible” se da al rango del **EEM** que el ojo humano es capaz de distinguir, también llamada sencillamente luz. Los límites exactos en el espectro visible no están claramente definidos; un ojo modelo humano reconoce las longitudes de onda desde 380 **nm** a 780 **nm**, mientras que el ojo acondicionado a la penumbra puede distinguir desde 360 **nm** a 830 **nm**<sup>5</sup>.

Otras longitudes de onda no son visibles, ya sea porque los medios oculares no las transmiten o porque la absorción no es realizada en los fotopigmentos.

*Longitud de onda y frecuencia*

El **EEM** (Espectro Electromagnético) varía desde radiación de longitud de onda corta, como los rayos gamma, hasta radiación de longitud de onda larga, como la transmisión **AM** (Amplitud Modulada). La longitud de onda y la frecuencia de la radiación **EEM** son inversamente proporcionales.

El color de la luz está determinado por su composición de longitud de onda. Esto se puede demostrar al dirigir la luz blanca, que es una mezcla de las diferentes longitudes de onda de la luz, hacia un prisma. Debido a que el índice de refracción es inversamente proporcional a la longitud de onda, se produce un espectro de colores.

*Naturaleza dual de la luz*

A menudo es conveniente conceptualizarla en términos de su naturaleza cuántica. En esta conceptualización, la radiación **EM** (Electromagnética) consiste en paquetes discretos de energía llamados cuantos o fotones.

La cantidad de energía en un cuanto de luz está dada por la siguiente relación:

$$\Delta E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Donde: **h** es la constante de Planck ( $6.62 \times 10^{-34}$  J.s), **c** es la velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  m/s)

A partir de esta ecuación podemos notar que mientras más corta es la longitud de onda  $\lambda$  más energía posee.

**ANÁLISIS INSTRUMENTAL**

*Métodos de absorción*

El método cuantitativo de la absorción requiere de un par de mediciones: previa a que el haz de luz atraviese el analito (**P<sub>0</sub>**) y otra posterior (**P**).

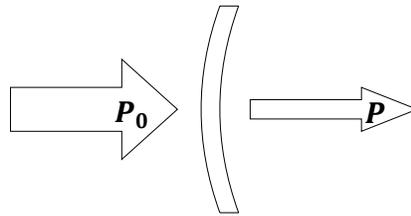


Figura 1 Atenuación de un haz de radiación al pasar por un medio

La transmitancia y la absorbancia son los términos relacionados con la razón de  $P_0$  y  $P$ .

**Transmitancia**

La interacción entre fotones y átomos o las moléculas absorbentes, tiene como consecuencia que la potencia del rayo se atenúa desde  $P_0$  a  $P$ .

La **transmitancia  $T$**  es el cociente de la radiación incidente entre la radiación transmitida por el medio:

$$T = \frac{P}{P_0}$$

La transmitancia se puede expresar como porcentaje

$$\% T = \frac{P}{P_0} \%$$

**Absorbancia**

La absorbancia  $A$  de un medio se define mediante la ecuación:

$$A = -\text{Log}_{10}T = \text{Log} \frac{P_0}{P}$$

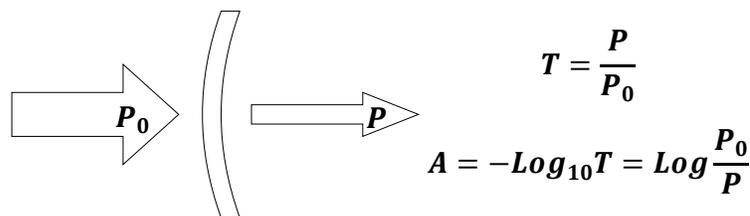
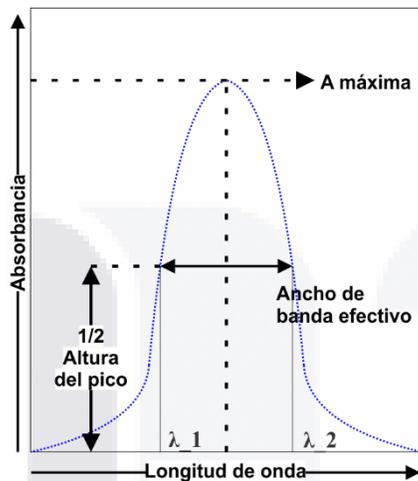


Figura 2 Medida de la Transmitancia y de la Absorbancia

Contrario a la transmitancia, la absorbancia crece al incrementarse la atenuación de un haz.

**Ancho de banda efectivo**



El ancho de banda efectivo de absorbancia se define de la siguiente manera:

$$\Delta\lambda = \left(\lambda_2, \frac{A_{max}}{2}\right) - \left(\lambda_1, \frac{A_{max}}{2}\right)$$

Donde  $A_{max}$  es el punto máximo de absorbancia y  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son los puntos de las abscisas donde se resuelve  $\frac{A_{max}}{2}$

28.

Figura 3 Ancho de banda efectivo



## **HIPÓTESIS**

El uso de filtros de absorción selectiva disminuye hasta en un 5% la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis.



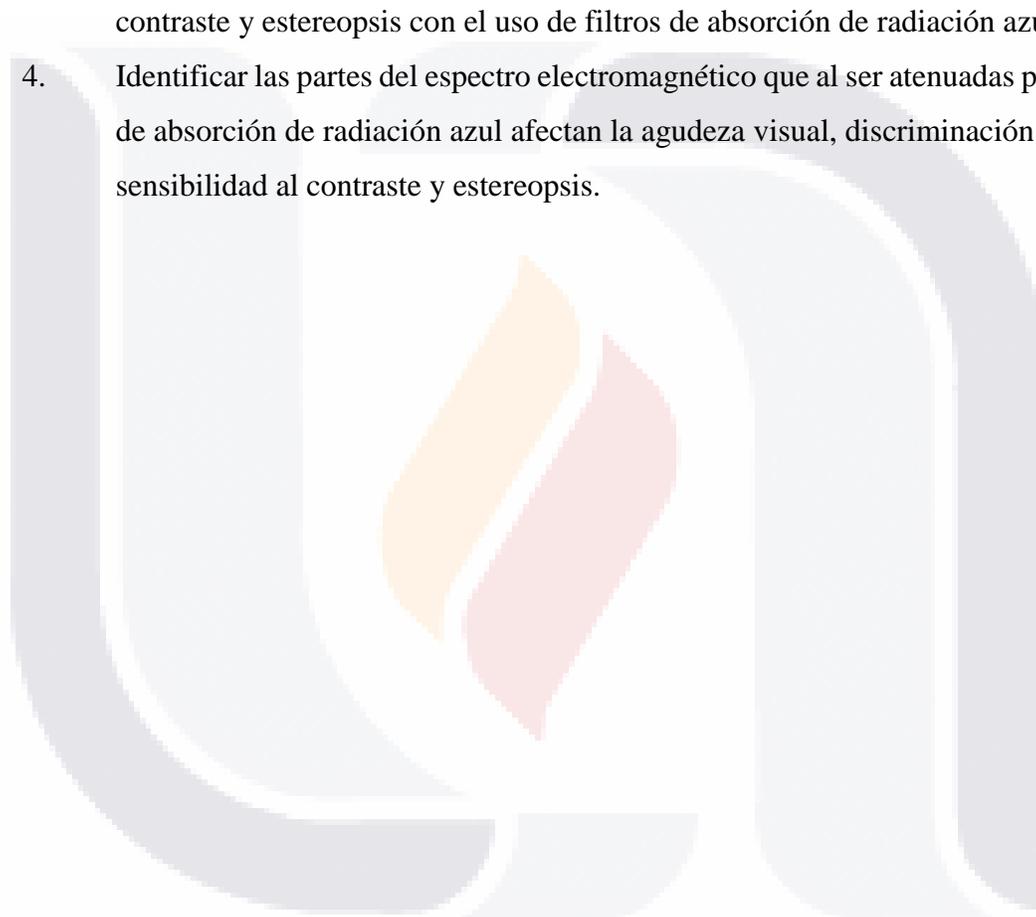
**OBJETIVO GENERAL**

Correlacionar el espectro de absorción de filtros de radiación azul con la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis, en sujetos sanos emétopes.



**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Comparar cuantitativamente el espectro de absorción de filtros de radiación azul mediante espectrofotometría **UV-VIS** (Ultravioleta-Visible).
2. Determinar las partes y la proporción que más atenúan los filtros de absorción de radiación azul del espectro electromagnético.
3. Medir la variación en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis con el uso de filtros de absorción de radiación azul.
4. Identificar las partes del espectro electromagnético que al ser atenuadas por filtros de absorción de radiación azul afectan la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis.



## **METODOLOGÍA**

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

Investigación prospectiva, descriptiva, cuasi-experimental y correlacional, transversal y muestreo no probabilístico.

### **TIPO DE MUESTREO**

- El tipo de muestreo para la selección de filtros y de población fue no probabilístico, por conveniencia.
- Para el caso de selección de filtros se utilizó un muestreo por cuotas<sup>25</sup>.
- Por otro lado, se manejó muestreo por conveniencia o intencional en cuanto a los sujetos de prueba<sup>26</sup>.

### **CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Se incluyen lentes oftálmicas con filtro de radiación azul.
- Sujetos emétopes.
- Sujetos sin problemas oculomotores
- Los sujetos de muestra deberán comprender en el rango de edad [18 a 35 años].
- Sujetos sanos, sin presencia de enfermedades que afecten a la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis
- Sujetos que den su consentimiento informado.

### **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Lentes oftálmicas con filtros de radiación azul que incluyan tratamientos fotocromáticos.
- Lentes oftálmicas con filtros de radiación azul que incluyan tintes o pigmentos agregados.
- Lentes oftálmicas con filtros de radiación azul que incluyan poder dióptrico.
- Sujetos con patología ocular que afecte la AV.
- Sujetos con anomalías en la discriminación al color.

- Sujetos con sensibilidad al contraste disminuida en frecuencias altas, medias o bajas.
- Sujetos con alteraciones de la visión binocular.
- Sujetos con estereopsis menor a 200" de arco.

#### CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Lentes oftálmicas con filtros de radiación azul que posean una diferencia entre sus transmitancias promedio de menos del 5% entre ellas en el rango de 380-830 nm de longitud de onda, conservando aquel con la transmitancia más cercana a la media entre el mayor y el menor.
- Lentes oftálmicas con filtros de radiación azul con el mayor coeficiente de variación (CV).
- Sujetos que no completen la batería de pruebas.

#### VARIABLES

Nombre de la variable	Tipo	Escala	Naturaleza	Unidad de medición
% de absorción del espectro 380 a 470 nm	Independiente	Razón	Cuantitativa	Porcentual
% de absorción fuera del espectro 380 a 470 nm	Independiente	Razón	Cuantitativa	Porcentual
La agudeza visual	Dependiente	Razón	Cuantitativa	Segundos de arco
Discriminación al color	Dependiente	Razón	Cuantitativa	Porcentual
Sensibilidad al contraste	Dependiente	Razón	Cuantitativa	Segundos de arco
Grado de estereopsis	Dependiente	Razón	Cuantitativa	Segundos de arco

Tabla 1 Variables

## PROCEDIMIENTOS

### ANÁLISIS INSTRUMENTAL

- Nivel de absorción de los filtros de radiación azul (espectro de los 380 a 470 nm)
- Nivel de absorción de los filtros de radiación azul fuera del espectro de los 380 a 470 nm.

Término y símbolo	Definición	Nombre y símbolo alternativos
Potencia radiante incidente, $P_0$	Potencia radiante que incide en la muestra	Intensidad incidente, $I_0$
Potencia radiante transmitida, $P$	Potencia radiante que transmite la muestra	Intensidad transmitida, $I$
Absorbancia, $A$	$\log(P_0/P)$	Densidad óptica, $D$ ; extinción, $E$
Transmitancia, $T$	$P/P_0$	Transmisión, $T$

Tabla 2 Términos.

Términos y símbolos importantes que se utilizan en las mediciones de espectrometría por absorción molecular ultravioleta y visible<sup>28</sup>.

Para la medición del espectro incidente y el espectro transmitido se utilizará:

- Fuente de luz que abarca desde los 200 nm hasta los 1100 nm en su longitud de onda.
- Espectrómetro USB4000 de Ocean Optics, con la siguiente configuración;
  - Espectro oscuro: Sí
  - Referencia de espectro: Sí
  - Muestreo de componentes, número de espectros: 1
  - Espectrómetro: USB4E00353
  - Tiempo de integración ( $\mu$ sec): 100000
  - Promedio de espectros hechos: 1
  - Alisado de bus de datos: 10
  - Corrector detector Non-linearity: No
  - Número de píxeles procesados del espectro: 3648

El USB4000 cuenta con un A/D de 16 bits con autoanulación (corrección de señal eléctrica oscura mejorada), 4 opciones de activación total, corrección del nivel de oscuridad durante los cambios de temperatura y conector de 22 pines con 8 GPIO programables por el usuario.

Responde desde 200-1100 nm y se puede configurar con varios accesorios de banco óptico, fuentes de luz y ópticas de muestreo, para crear sistemas específicos de aplicación para miles de aplicaciones de absorbancia, reflexión y emisión.

Se conecta a una computadora a través de comunicaciones **USB 2.0** o **RS-232**. Funciona con la alimentación de + 5V, proporcionada a través del **USB**, o desde una fuente de alimentación separada y una interfaz **RS-232**.

El detector utilizado en el espectrómetro es una matriz **CCD** de 3648 elementos de alta sensibilidad de Toshiba, número de producto TCD1304AP.

- Y el software SpectraSuite® para la digitalización y tratamiento del espectro obtenido.



Figura 5 Espectrómetro USB4000 de Ocean Optics



Figura 5 Ícono de SpectraSuite®

El software operativo de plataforma cruzada de espectroscopia SpectraSuite lee estos valores para facilitar la configuración y el intercambio en caliente entre computadoras, ya sea que se ejecuten en sistemas operativos Linux, Mac o Windows.

La transmisión es el porcentaje de energía que pasa a través de una muestra en relación con la cantidad que pasa a través de la referencia.

SpectraSuite® calcula

$$\%T_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}} \times 100\%$$

$S_{\lambda}$  = Intensidad de muestra a longitud de onda  $\lambda$

$D_{\lambda}$  = Intensidad oscura a la longitud de onda  $\lambda$

$R_{\lambda}$  = Intensidad de referencia a la longitud de onda  $\lambda$

- Un espectro oscuro es un espectro tomado con el camino de la luz bloqueado.
- Un espectro de referencia es un espectro tomado con la fuente de luz encendida y un blanco en la región de muestreo.

La configuración para este proceso será la de transmitancia:

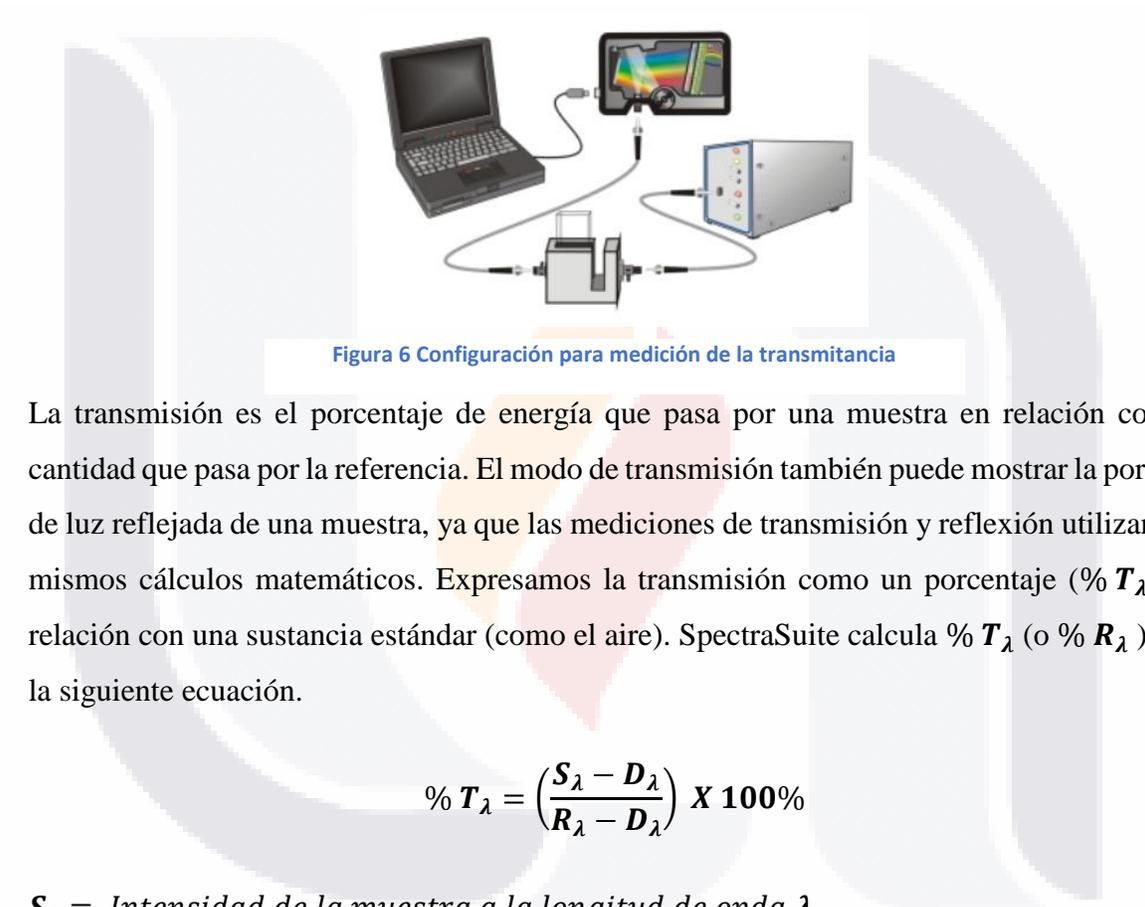


Figura 6 Configuración para medición de la transmitancia

La transmisión es el porcentaje de energía que pasa por una muestra en relación con la cantidad que pasa por la referencia. El modo de transmisión también puede mostrar la porción de luz reflejada de una muestra, ya que las mediciones de transmisión y reflexión utilizan los mismos cálculos matemáticos. Expresamos la transmisión como un porcentaje (%  $T_{\lambda}$ ) en relación con una sustancia estándar (como el aire). SpectraSuite calcula %  $T_{\lambda}$  (o %  $R_{\lambda}$ ) con la siguiente ecuación.

$$\% T_{\lambda} = \left( \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}} \right) \times 100\%$$

$S_{\lambda}$  = Intensidad de la muestra a la longitud de onda  $\lambda$

$D_{\lambda}$  = Intensidad oscura en la longitud de onda  $\lambda$

$R_{\lambda}$  = Intensidad de referencia en la longitud de onda  $\lambda$

Configuración utilizada para medición de la transmitancia:

- La fuente de luz (extremo derecho) envía luz a través de una fibra de entrada a una cubeta en un soporte de cubeta (centro inferior).

- La luz interactúa con la muestra.
- La fibra de salida transporta la luz de la muestra al espectrómetro (centro superior) conectado a la computadora (extremo izquierdo).

Las aplicaciones comunes de la medida de la transmitancia incluyen la medición de luz a través de soluciones, filtros ópticos, revestimientos ópticos y otros elementos ópticos (como lentes y fibras).

Las muestras en nuestro caso serán los filtros de luz azul que se ajusten a los criterios de selección.

Procedimiento para realizar una medición de transmitancia con SpectraSuite®:

1. Coloque SpectraSuite® en modo **Scope** haciendo clic en el icono **Scope** () en la barra de herramientas del modo Experimento o seleccionando **Procesar | Modo de procesamiento | Scope** del menú.
2. Asegúrese de que toda la señal esté a escala. La intensidad del pico de la señal de referencia difiere según el dispositivo que se utilice. Si es necesario, ajuste el tiempo de integración hasta que la intensidad sea adecuada para su dispositivo.
3. Seleccione **Archivo | Nuevo | Medición** de transmitancia desde el menú o haga clic  para iniciar el **Asistente de Medición de Transmitancia**.
4. Seleccione la fuente de su medición de transmitancia y haga clic . Aparece la segunda página del asistente.
5. Encienda su fuente de luz y configure sus parámetros de adquisición para que el valor máximo alcance el nivel recomendado. En la mayoría de los casos, hacer clic  debería proporcionar la configuración óptima para el experimento. Luego haz clic . Aparece la tercera página del asistente.
6. Si aún no lo ha hecho, coloque una muestra para tomar un espectro de referencia. Debe tomar un espectro de referencia antes de medir la transmitancia.

**Nota: No coloque la muestra cuando tome un espectro de referencia.**

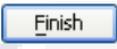
7. Haga clic en el icono **Almacenar Espectro de Referencia** () en la pantalla. Este comando simplemente almacena un espectro de referencia en la memoria.

Debe hacer clic en el icono **Guardar Espectro** () en la barra de herramientas para guardar permanentemente el espectro de referencia en el disco. Luego haz clic . Aparece la cuarta página del asistente.

8. Bloquee la trayectoria de la luz hacia el espectrómetro, desactive la casilla de **Strobe/Lamp Enable** o apague la fuente de luz. Luego, tome un espectro oscuro haciendo clic . Debe tomar un espectro oscuro antes de medir la transmitancia.

Este comando simplemente almacena un espectro oscuro en la memoria. Debe hacer clic en el icono **Guardar Espectro** () en la barra de herramientas para guardar permanentemente el espectro en el disco.

**Nota: Si es posible, no apague la fuente de luz cuando tome un espectro oscuro. Si debe apagar su fuente de luz para almacenar un espectro oscuro, deje suficiente tiempo para que la lámpara se caliente nuevamente antes de continuar su experimento. Después de que la lámpara se vuelva a calentar, guarde una nueva referencia.**

9. Coloque la muestra en su lugar y asegúrese de que el camino de la luz esté despejado. Luego, haz clic . Si ya ha tomado una o más mediciones de transmitancia, aparece un cuadro de diálogo que le solicita que especifique si desea mostrar los nuevos datos en un nuevo gráfico o en el gráfico existente.

10. Para guardar permanentemente el espectro en el disco, haga clic en el icono **Guardar espectros** () en la barra de herramientas.

**Nota: Si cambia alguna variable de muestreo (tiempo de integración, promedio, suavizado, tamaño de fibra, etc.), debe almacenar una nueva referencia y un espectro oscuro.**

## **MEDIDA DE LA AGUDEZA VISUAL**

### **OBJETIVO**

Establecer la capacidad de discriminación monocular y binocular, para visión lejana y cercana sin utilizar filtros de radiación azul y utilizando filtros de radiación azul.

### **MATERIAL**

- Estímulo para visión de lejos. (estímulo vertical lineal de alto contraste con espesor conocido).
- Cinta métrica.

### **MÉTODO**

#### ***Medida del MAR***

- Iluminación ambiental de la sala.
- Presentar el optotipo estímulo para visión de lejos.
- Realizar el test sin corrección (ya que el paciente es emétrope).
- Retirar el estímulo hasta una distancia en la que ya no sea perceptible.
- Medir la distancia en centímetros desde el observador hasta el optotipo estímulo.
- Medición realizada de forma binocular.
- Apuntar resultados.

\*En caso de que el paciente no obtenga una agudeza visual 1.0 (o su equivalente en otras unidades) sin utilizar corrección, no será incluido en la muestra debido a los criterios de inclusión y exclusión.

#### ***Medida del Mínimo Ángulo de Separación (MAS)***

- Iluminación ambiental de la sala.
- Presentar el optotipo estímulo para visión lejana.
- Realizar el test sin corrección (ya que el paciente es emétrope).

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Retirar el estímulo hasta una distancia en la que apenas sea perceptible (distancia encontrada en el **MAR**).
  - Separar el estímulo lineal de tal manera que se convierta en dos líneas verticales paralelas.
  - Medir la distancia de la separación justo cuando el sujeto ve claramente dos líneas separadas.
  - Medir la distancia en centímetros desde el observador hasta el optotipo estímulo.
  - Medición realizada de forma binocular.
  - Apuntar resultados.

*Medida de la AV Vernier (Hiperagudeza)*

- Iluminación ambiental de la sala.
- Presentar el optotipo estímulo para visión de lejos.
- Realizar el test sin corrección (ya que el paciente es emétrope).
- Retirar el estímulo hasta una distancia en la que apenas sea perceptible (distancia encontrada en el **MAR**).
- Separar el estímulo lineal de tal manera que se convierta en dos líneas verticales paralelas, abarcando la mitad de la longitud horizontal y desplazando cada parte hacia el lado contrario.
- Medir la distancia de la separación justo cuando el sujeto ve claramente una línea quebrada.
- Medir la distancia en centímetros desde el observador hasta el optotipo estímulo.
- Medición realizada de forma binocular.
- Apuntar resultados.

*Valores esperados*

La agudeza visual esperada en un paciente emétrope sin utilizar ninguna clase de filtros es 1.0 o mejor (o su equivalente en otras unidades). Las variaciones en la **AV** con el uso de los filtros serán registradas para su posterior procesamiento.

*Anotación de resultados*

AV. DETECCIÓN MÍNIMO ÁNGULO DE RESOLUCIÓN (MAR)					
SIN FILTRO	ANTIRREFLEJANTE	BLUEFREE	EASYLITE	BLUERED	CR39W

Tabla 3 Anotación de resultados (MAR)

AV. SEPARACIÓN MÍNIMO ÁNGULO DE SEPARACIÓN (MAS)					
SIN FILTRO	ANTIRREFLEJANTE	BLUEFREE	EASYLITE	BLUERED	CR39W

Tabla 4 Anotación de resultados (MAS)

AV. VERNIER (AVV)					
SIN FILTRO	ANTIRREFLEJANTE	BLUEFREE	EASYLITE	BLUERED	CR39W

Tabla 5 Anotación de resultados (AVV)

**MEDIDA DE PERCEPCIÓN AL COLOR**

Los colores representados en un dispositivo electrónico con pantalla **OLED** son una combinación de 256 niveles de las variables Rojo (R), Verde (G), Azul (B) y Alpha, por lo que podemos representar 16 777 216 colores distintos con 256 niveles de iluminación.

Para convertir este nivel a una escala porcentual se hace el siguiente cálculo:

Dado el conjunto  $X = \{r, g, b, \alpha\}$ , en la siguiente fórmula para cada elemento del conjunto  $X$  se deberá realizar la conversión.

$$\frac{X}{256} = XMUESTRA = X_M$$

$$\frac{X}{256} = XIGUALACIÓN = X_I$$

El cambio porcentual en la percepción de estos colores estará dado por:

$$\Delta X = X_I - X_M$$

Por lo que, si existe una diferencia negativa, ésta indicara un déficit de percepción del color muestreado.

Dado que la percepción del color es única para cada sujeto se tomará un promedio de 5 mediciones de igualación sin utilizar corrección o filtros para obtener una referencia del espectro de color que cada sujeto percibe, es decir se compensa la desviación inherente al sujeto del color percibido.

$$X_M = \frac{\sum_{i=1}^5 X_i}{5 \cdot 256}$$

## OBJETIVO

Evaluar la capacidad visual para discriminar pequeños cambios en el matiz e iluminación en una mezcla de colores **RGBA** en una pantalla **OLED**.

## MATERIAL

- Dispositivo electrónico con pantalla **OLED** táctil.

## MÉTODO

- Iluminación escotópica de la sala.
- Evitar reflejos en la pantalla del dispositivo electrónico.
- Realizar el test sin corrección (ya que el paciente es emétrope).
- Presentar estímulo para igualación de color en el dispositivo electrónico.
- El sujeto deberá igualar el tono y la iluminación manipulando los controles provistos.
- Obtener los valores **RGBA** de la muestra y de la igualación hecha por el sujeto de prueba.
- Medición realizada de forma binocular.
- Apuntar resultados.

*Anotación de resultados*

SIN FILTRO							
MUESTRA				IGUALACIÓN			
ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
r	g	b	alpha	r	g	b	alpha

Tabla 6 Anotación de resultados Color Sin filtro

ANTIRREFLEJANTE							
MUESTRA				IGUALACIÓN			
ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
r	g	b	alpha	r	g	b	alpha

Tabla 7 Anotación de resultados Color Antirreflejante

BLUEFREE							
MUESTRA				IGUALACIÓN			
ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
r	g	b	alpha	r	g	b	alpha

Tabla 8 Anotación de resultados Color Bluefree

EASYLITE							
MUESTRA				IGUALACIÓN			
ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
r	g	b	alpha	r	g	b	alpha

Tabla 9 Anotación de resultados Color EasyLite

BLUERED							
MUESTRA				IGUALACIÓN			
ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
r	g	b	alpha	r	g	b	alpha

Tabla 10 Anotación de resultados Color BlueRed

CR39W							
MUESTRA				IGUALACIÓN			
ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
r	g	b	alpha	r	g	b	alpha

Tabla 11 Anotación de resultados Color CR39W

## MEDIDA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

### OBJETIVO

Evaluar la capacidad visual para discriminar pequeños detalles bajo diferentes condiciones de contraste del objeto.

Una persona puede tener una buena **AV**; sin embargo, su curva de sensibilidad al contraste estar disminuida y por este motivo puede tener problemas en ciertas situaciones visuales de la vida real.

### MATERIAL

- Test de sensibilidad al contraste para visión de lejos.
- Ocluser.

### MÉTODO

- Iluminación ambiental de la sala, procurando que no se formen reflejos ni sombras en la pantalla.
- Colocar al paciente a la distancia adecuada según el test empleado.
- Realizar el test sin corrección (ya que el paciente es emétrope).
- Ocluir el **OI** (Ojo Izquierdo).
- Hacer leer hasta la máxima discriminación posible.
- Ocluir el otro ojo y repetir la operación.
- Anotar los resultados en la ficha con el fin de confeccionar la curva de sensibilidad al contraste.

#### *Test CSV-1000 E*

- Consiste en cuatro filas, que pueden iluminarse separadamente mediante un mando a distancia.
- La unidad calibra automáticamente el nivel de luz del instrumento en 85 **cd/mm**.

- La distancia de examen recomendada es de 2,5 m, aunque puede utilizarse desde 2 hasta 3 m aproximadamente.
- Empezar por la fila A.
- Se pregunta al paciente si ve las barras en el primer círculo.
- Indicar al paciente que complete cada fila, diciendo si las barras aparecen el círculo superior, inferior o están en blanco.
- Repetir el procedimiento con las otras filas.
- El tiempo adecuado para realizar el examen es de 30-40 segundos por ojo.
- Anotar los resultados en la ficha para realizar la curva de sensibilidad.

**Anotación de resultados**

CONTRASTE (VALORES LINEALES)																							
SIN FILTRO				ANTIRREFLEJANTE				BLUEFREE				EASYLITE				BLUERED				CR39W			
A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D

Tabla 12 Anotación de resultados contraste (valores lineales)

CONTRASTE (UNIDADES LOGARÍTMICAS)																							
SIN FILTRO				ANTIRREFLEJANTE				BLUEFREE				EASYLITE				BLUERED				CR39W			
A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D

Tabla 13 Anotación de resultados contraste (unidades logarítmicas)

**MEDIDA DEL GRADO DE ESTEREOPSIS LANG-STEREOTEST II**

**OBJETIVO**

Evaluar la visión estereoscópica del paciente

**MATERIAL**

- LANG-STEREOTEST II
- Ocluser
- Filtros de luz azul y lentes neutras

**MÉTODO**

- Posicional al paciente en modo de confrontación que permita evaluar los movimientos oculares al presentar el test.
- Colocar al paciente a la distancia de 40 centímetros del test de manera perpendicular.
- Preguntar si hay alguna figura en la prueba.
- Observar los movimientos de búsqueda de los ojos durante la evaluación.
- Pedir que se nombren las figuras reconocibles.
- Aleatorizar la orientación de la cartilla con el fin de que en ocasiones no se puedan ver las figuras o estas aparezcan de “cabeza”.
- Eventualmente ocluir un ojo y confirmar que las figuras detectadas desaparecen.
- Anotar los resultados en la ficha con el fin de confeccionar la curva de sensibilidad al contraste.

*Anotación de resultados*

AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA (TEST DE LANG)					
SIN FILTRO	ANTIRREFLEJANTE	BLUEFREE	EASYLITE	BLUERED	CR39W

Tabla 14 Anotación de resultados agudeza visual estereoscópica (test de Lang)

## **ESTADÍSTICA**

Se llevó a cabo un análisis estadístico mediante medidas de tendencia central y medidas de dispersión sobre los resultados del análisis instrumental, así como en los resultados de las pruebas clínicas.

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar si el conjunto de datos obtenidos seguía una distribución normal o no. Para la toma de decisiones en la realización de pruebas paramétricas o no paramétricas.

Posteriormente, utilizando la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon, se demostró si entre dos muestras relacionadas existe o no diferencia entre ellas, lo que nos lleva a la conclusión de si posterior a la utilización de filtros y lentes neutras en los sujetos de prueba hubo o no una mejoría en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis.

Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar la fuerza y sentido de la correlación.

Se aplicó un Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman para muestras relacionadas para determinar si existen diferencias en la **AV**, **SC**, **AVE** y sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5%.

## RESULTADOS

### SELECCIÓN DE FILTROS

#### Criterios de inclusión

Siguiendo los criterios de inclusión, se incluyen seis lentes oftálmicas con filtro de radiación azul:

- **BLUE RED (BR)**, distribuido por Lens Best S.A. de C.V.
- **BLUE FREE (BF)**, distribuido por Lens Best S.A. de C.V.
- **EASY LITE (EL)**, distribuido por BUYES OPTICAL.
- **RETILENS (RT)**, distribuido por BUYES OPTICAL.
- **BLUE ZERO (BZ)**, distribuido por Shamir.
- **ANTI BLUE RAY (ABR)**, distribuido por SETO.
- **CRE39 W** como línea base y de comparación.

#### ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Nivel de absorción de los filtros de radiación azul (espectro de los 380 a 470 nm),

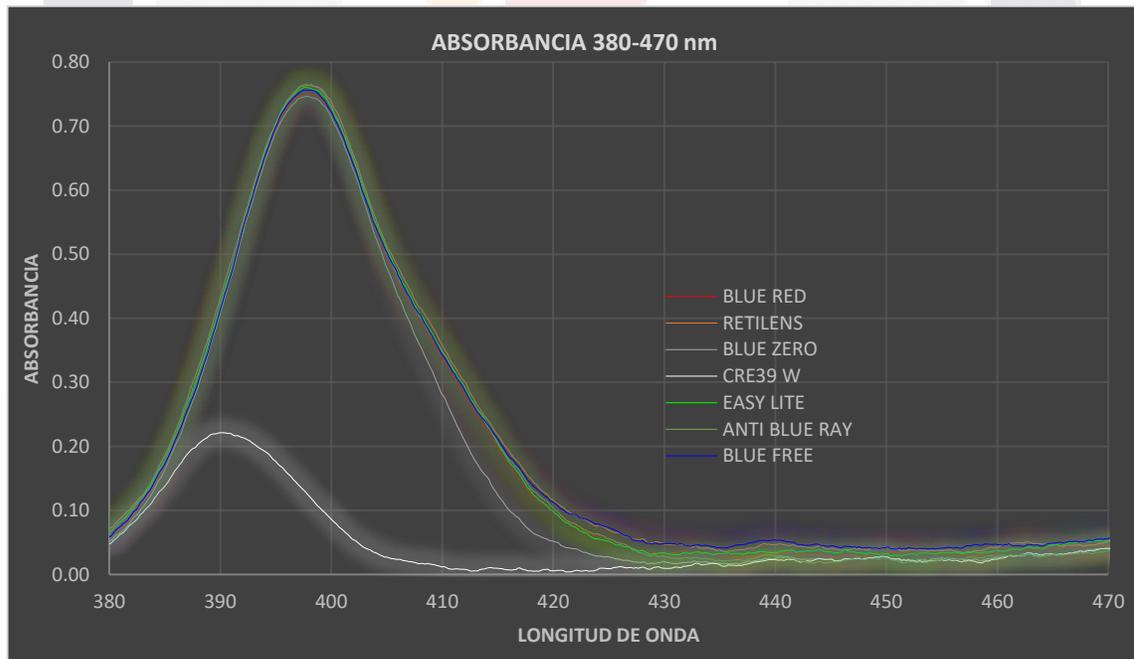


Figura 7 absorción de los filtros de radiación azul (espectro de los 380 a 470 nm)

ABSORBANCIA 380-470 nm							
	BR	RT	BZ	CR39 W	EL	ABR	BF
Mín	0.025	0.034	0.016	0.004	0.029	0.018	0.039
Máx	0.750	0.765	0.746	0.221	0.761	0.765	0.756
$\bar{x}$	0.193	0.206	0.175	0.050	0.198	0.193	0.203
s	0.228	0.231	0.229	0.062	0.231	0.234	0.225
CV	1.181	1.118	1.310	1.227	1.167	1.213	1.109

Tabla 15 Absorbancia 380-470 nm

La medición de la absorbancia se realizó mediante espectrofotometría **UV-VIS**. Se puede observar un pico en todos los filtros de luz azul en el rango de los 397.6 a los 398.2 nm con un promedio de 0.757. Se aprecian ligeras variaciones en el ancho de banda efectivo entre los diferentes filtros. Así como un desplazamiento hacia el **UV** en la absorbancia del CR39W, que alcanza su máximo de 0.221 en los 390 nm y una reducción implícita en el ancho de banda efectivo.

Nivel de absorción de los filtros de radiación azul en el espectro visible continuo 380 a 830 nm.

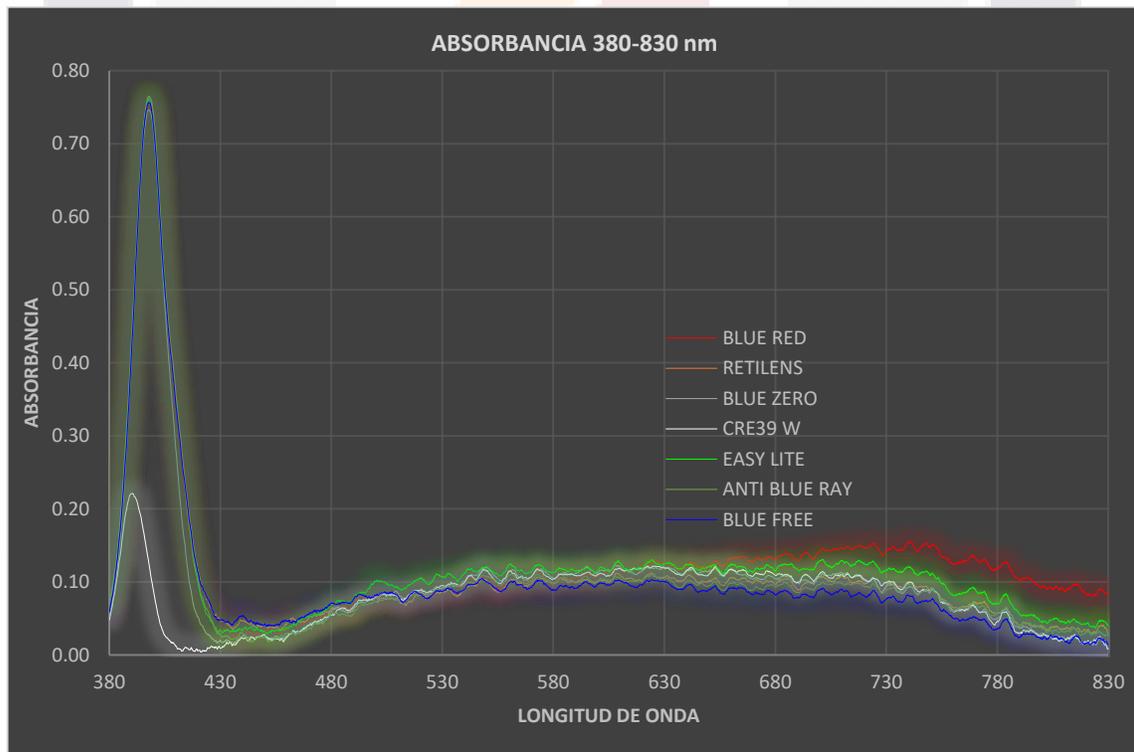


Figura 8 absorción de los filtros de radiación azul (espectro de los 380 a 830 nm)

ABSORBANCIA 380-830 nm							
	BR	RT	BZ	CR39 W	EL	ABR	BF
Mín	0.025	0.028	0.009	0.004	0.029	0.018	0.014
Máx	0.750	0.765	0.746	0.221	0.761	0.765	0.756
$\bar{x}$	0.128	0.107	0.103	0.080	0.119	0.102	0.099
s	0.106	0.113	0.109	0.041	0.110	0.112	0.112
CV	0.831	1.054	1.052	0.516	0.921	1.097	1.132

Tabla 16 Absorbancia 380-830 nm

La absorbancia entre los diferentes materiales es más marcada solo entre **BR** y los demás, ya que ésta aumenta su magnitud a partir de los 498 nm aproximadamente, lo que lo lleva a tener una absorbancia promedio mayor que todos los demás materiales. Este material ofrece un filtrado adicional al de la luz azul, pues promete una reducción de la luz infrarroja, aunque evidentemente este filtrado comienza mucho antes de llegar a esa parte del espectro, alcanzando su máximo en los 741 nm que aún es parte del espectro rojizo visible.

Nivel de absorción de los filtros de radiación azul en el espectro visible cromático 380 a 830 nm.

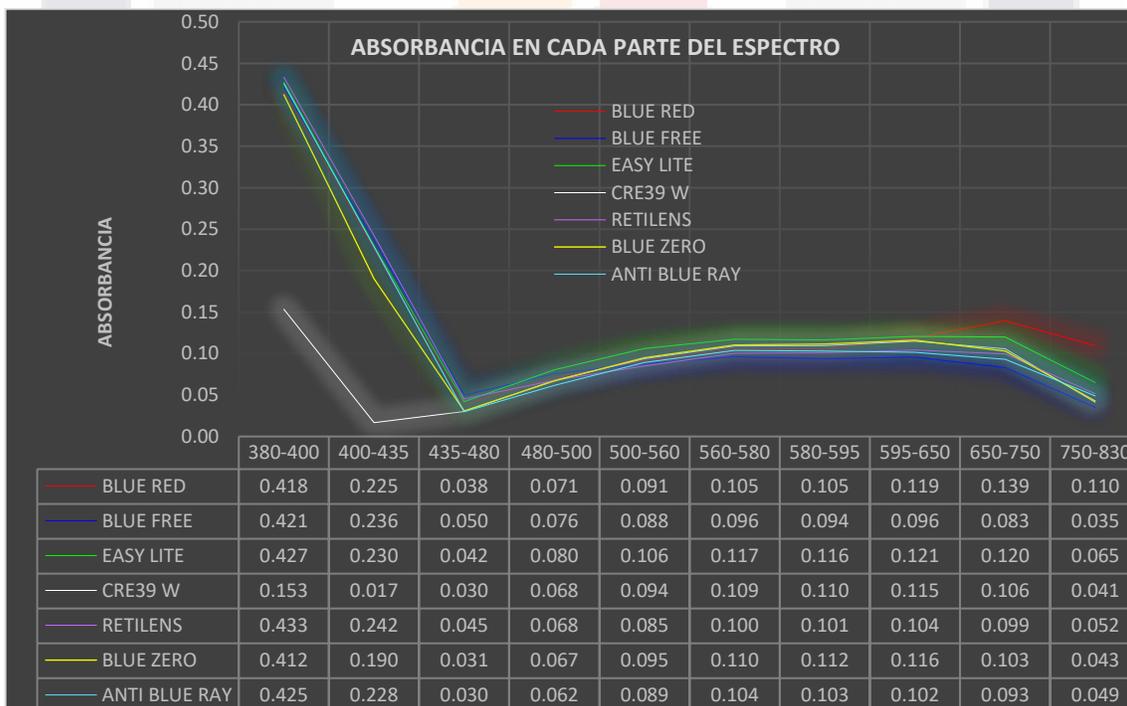


Figura 9 absorción de los filtros de radiación azul en el espectro visible cromático 380 a 830 nm

ABSORBANCIA EN CADA PARTE DEL ESPECTRO							
ABSORBANCIA 380-400 nm (UV)							
	<b>BR</b>	<b>RT</b>	<b>BZ</b>	<b>CR39 W</b>	<b>EL</b>	<b>ABR</b>	<b>BF</b>
$\bar{x}$	0.418	0.433	0.412	0.153	0.427	0.425	0.421
ABSORBANCIA 400-435 nm (VIOLETA)							
$\bar{x}$	0.225	0.242	0.190	0.017	0.230	0.228	0.236
ABSORBANCIA 435-480 nm (AZUL)							
$\bar{x}$	0.038	0.045	0.031	0.030	0.042	0.030	0.050
ABSORBANCIA 480-500 nm (AZUL-VERDE)							
$\bar{x}$	0.071	0.068	0.067	0.068	0.080	0.062	0.076
ABSORBANCIA 500-560 nm (VERDE)							
$\bar{x}$	0.091	0.085	0.095	0.094	0.106	0.089	0.088
ABSORBANCIA 560-580 nm (AMARILLO-VERDE)							
$\bar{x}$	0.105	0.100	0.110	0.109	0.117	0.104	0.096
ABSORBANCIA 580-595 nm (AMARILLO)							
$\bar{x}$	0.105	0.101	0.112	0.110	0.116	0.103	0.094
ABSORBANCIA 595-650 nm (ANARANJADO)							
$\bar{x}$	0.119	0.104	0.116	0.115	0.121	0.102	0.096
ABSORBANCIA 650-750 nm (ROJO)							
$\bar{x}$	0.139	0.099	0.103	0.106	0.120	0.093	0.083
ABSORBANCIA 750-830 nm (IR)							
$\bar{x}$	0.110	0.052	0.043	0.041	0.065	0.049	0.035

Tabla 17 Absorbancia en cada parte del espectro

Como era de esperarse, la absorbancia máxima se lleva a cabo en la banda del espectro **UV** 380-400 **nm** para todos los materiales, siendo mucho mayor en los filtros de luz azul que en el CR39W que tiene la menor absorbancia en esta banda espectral.

El siguiente punto máximo se lleva a cabo en la banda espectral de los violetas, donde todos los materiales tienen una absorbancia alta a excepción de CR39W en el que esta es muy baja.

En las bandas 435-480 **nm** (azul), 480-500 **nm** (azul-verde), 500-560 **nm** (verde), 560-580 **nm** (amarillo-verde), 580-595 **nm** (amarillo) y 595-650 **nm** (anaranjado), no se aprecian diferencias mayores entre las absorbancias de todos los materiales.

Una nueva diferenciación sucede en las bandas de 650-750 **nm** (rojo) y 750-830 **nm** (**IR**), donde el material **BR** mantiene una absorbancia elevada en comparación de los demás materiales.

Ancho de banda efectivo de la absorbancia (50%)

ANCHO DE BANDA EFECTIVO (ABSORBANCIA)							
	BR	RT	BZ	CR39 W	EL	ABR	BF
	19 nm	20 nm	18 nm	15 nm	19 nm	19 nm	19 nm
<b>RANGO</b>	389-408	389-409	389-407	383-398	389-408	389-408	389-408

Tabla 18 Ancho de banda efectivo

El ancho de banda efectivo (50%) de la absorbancia tiene una distribución bastante simétrica, con un promedio de 19 **nm** para los materiales con filtro de luz azul y de 15 **nm** para el CR39W con un corrimiento hacia el **UV**.

### Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión no fueron aplicados a ninguna de estas muestras pues no se cumplen.

### Criterios de eliminación

Cumplen con los criterios de eliminación:

**BLUE RED** y **BLUE FREE**, de Lens Best S.A. de C.V. que difieren entre ellos por un 6.62% en el rango de los 380-830 **nm** y tienen un coeficiente de variación de 0.164 y 0.163 respectivamente.

La transmitancia que más se acerca a la media entre **BLUE RED** y **BLUE FREE** es la de **EASY LITE**, distribuido por BUYES OPTICAL, con un valor de 0.778 y un coeficiente de variación de 0.166.

Por lo tanto, se han seleccionado como muestras definitivas de filtros de radiación azul las siguientes:

- **BLUE RED**, distribuido por Lens Best S.A. de C.V.
- **BLUE FREE**, distribuido por Lens Best S.A. de C.V.
- **EASY LITE**, distribuido por BUYES OPTICAL.

Además de la inclusión de lentes oftálmicos en **CR39W** y **CR39 AR** como muestras de comparación y referencia.

*Selección de sujetos de prueba*

De una población de 250 empleados que laboran en la empresa **ISGO MANUFACTURING** se tomó una muestra de 160 individuos, de los cuales **27** cumplieron con los criterios de inclusión, exclusión y eliminación.

Las pruebas clínicas realizadas a los sujetos conforman la muestra de la siguiente manera:

	$\bar{X}$	$\sigma$
Rango de edad	20 a 38 años	
Edad	28.185 años	7.264
Frecuencia de genero	44.44% masculino 55.56% femenino	
<b>AV MAR</b>	16.422	2.089
<b>AV MAS</b>	1.146	0.672
<b>AV Vernier</b>	3.084	1.543
<b>SC</b> frecuencias bajas	1.816	0.166
<b>SC</b> frecuencias medias bajas	1.998	0.206
<b>SC</b> frecuencias medias altas	1.523	0.359
<b>SC</b> frecuencias altas	1.108	0.272
Desviación en percepción al <b>rojo</b> <sup>1</sup>	8.86%	16.20%
Desviación en percepción al <b>verde</b> <sup>1</sup>	2.25%	13.75%
Desviación en percepción al <b>azul</b> <sup>1</sup>	3.81%	9.34%
Desviación en percepción al <b>Alpha</b> <sup>1</sup>	0.11%	15.39%
Agudeza visual estereoscópica	200''	0''

Tabla 19 Datos descriptivos de la muestra de sujetos de prueba

<sup>1</sup> \*Porcentajes positivos indican una percepción aumentada

## CAMBIOS ENCONTRADOS EN LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

### *Cambios en la agudeza visual*

CAMBIOS EN LA AGUDEZA VISUAL			
	MAR	MAS	VERNIER
SF	16.42177	1.14615	3.08449
AR	14.50375	1.35009	4.41307
BF	15.14446	1.52589	4.38657
EL	15.47591	1.79144	4.36841
BR	15.22030	1.98646	4.86475
CR39W	14.42527	1.75336	4.43568

Tabla 20 Cambios en la agudeza visual promedio

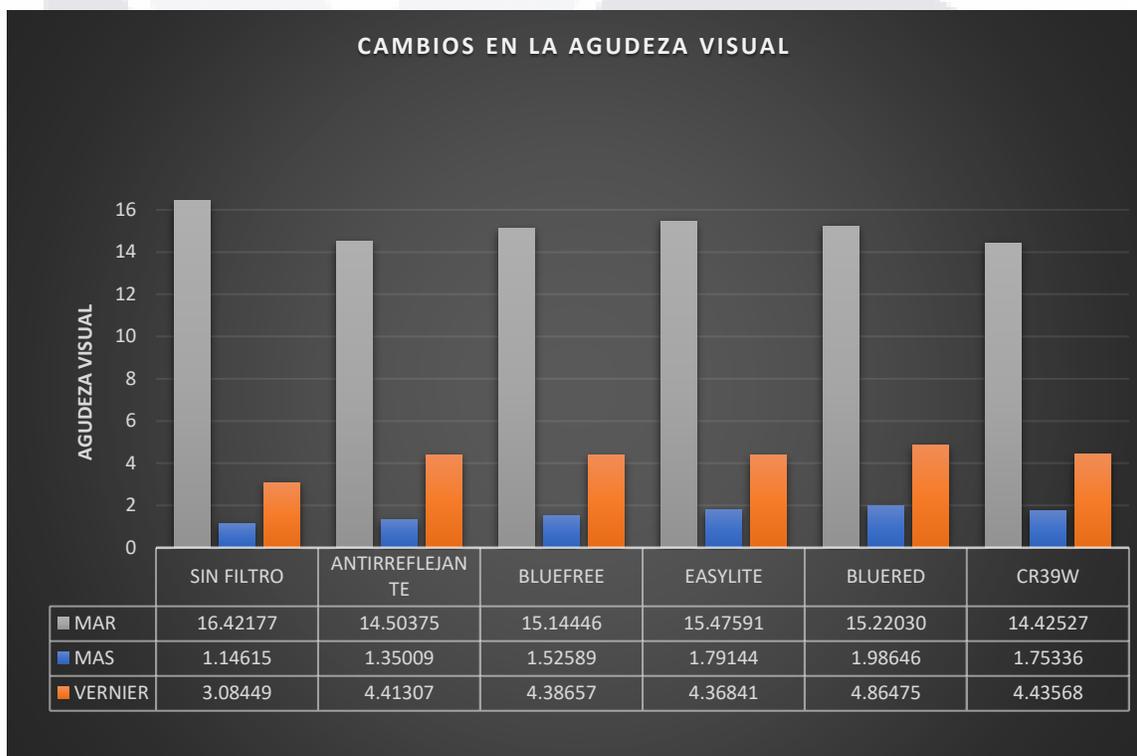


Figura 10 Cambios en la agudeza visual promedio

La **AV** de detección promedio se ve reducida un mínimo de 0,946 y un máximo de 1.997 con el uso de cualquier material, la **AV** de resolución aumenta un mínimo de 0.204 y un máximo de 0.840 y la **AV** de localización promedio se ve aumentada un mínimo de 1.284 y un máximo de 1.78 con el uso de cualquier material.

*Cambios en la SC (unidades logarítmicas)*

PROMEDIO CONTRASTE				
	ROW A (3 CPD)	ROW B (6 CPD)	ROW C (12 CPD)	ROW D (18 CPD)
<b>SF</b>	1.81581	1.99845	1.52259	1.10817
<b>AR</b>	1.80542	1.96559	1.55631	1.15278
<b>BF</b>	1.82786	2.00991	1.57130	1.20072
<b>EL</b>	1.87111	1.99980	1.61098	1.17935
<b>BR</b>	1.81727	2.00971	1.62820	1.16932
<b>CR39W</b>	1.78424	1.99860	1.54303	1.20061

Tabla 21 Cambios en la sensibilidad al contraste promedio (unidades logarítmicas)

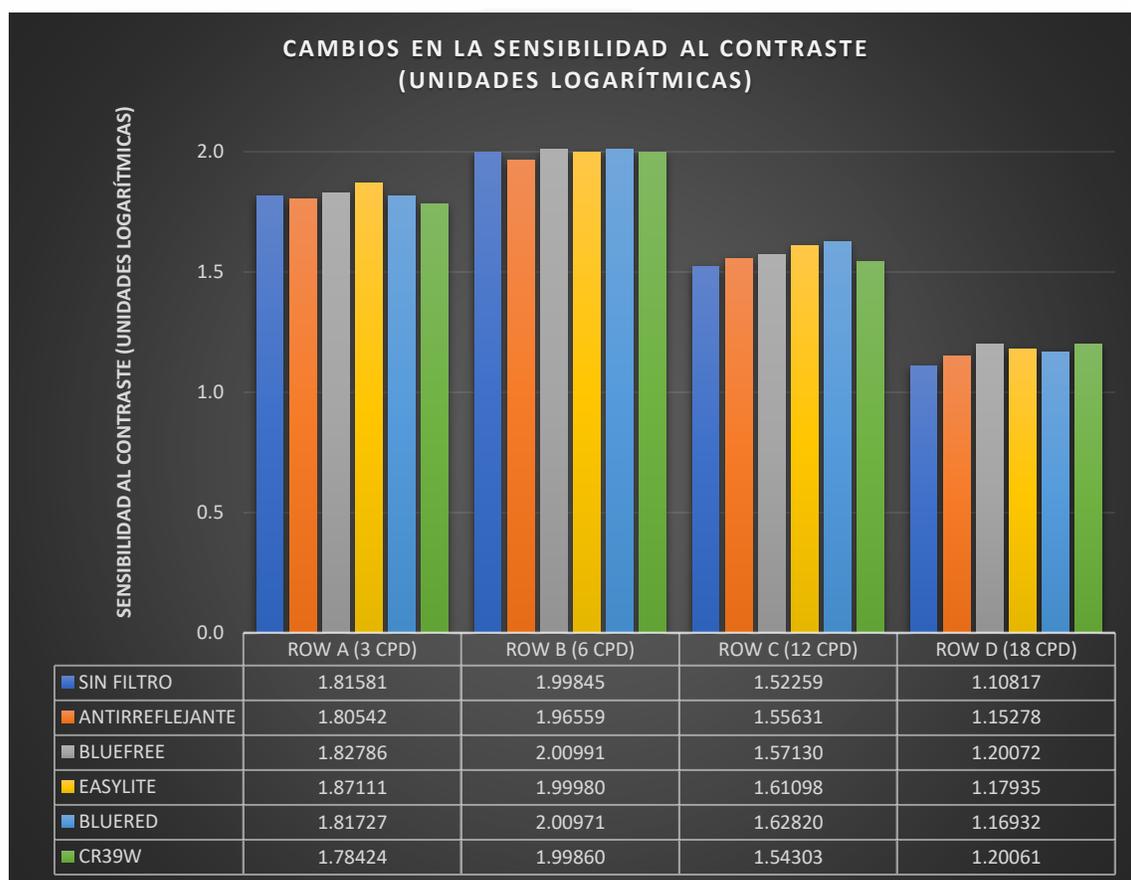


Figura 11 Cambios en la sensibilidad al contraste promedio (unidades logarítmicas)

La SC promedio apenas se ve afectada en la frecuencias bajas y medias bajas con aumentos máximos de 0.055 y disminuciones de 0.032 unidades logarítmicas, se ve aumentada con el uso de cualquier material en las frecuencias medias altas y altas con aumento máximo de 0.106 y mínimo de 0.020 unidades logarítmicas.

**Cambios en la percepción de los componentes RGBA**

VARIACIÓN DE LOS COMPONENTES RGBA EN UNA PANTALLA DE RETROILUMINACIÓN LED				
	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
<b>SF</b>	8.87%	2.26%	3.82%	0.11%
<b>AR</b>	-11.72%	-7.80%	-6.35%	3.59%
<b>BF</b>	-10.20%	-1.72%	-2.59%	1.20%
<b>EL</b>	-8.65%	-4.63%	-3.79%	2.03%
<b>BR</b>	-9.58%	-1.32%	-3.96%	3.76%
<b>CR39W</b>	-9.11%	-0.19%	-2.81%	1.71%

Tabla 22 Desviación porcentual promedio en la percepción de los componentes RGBA

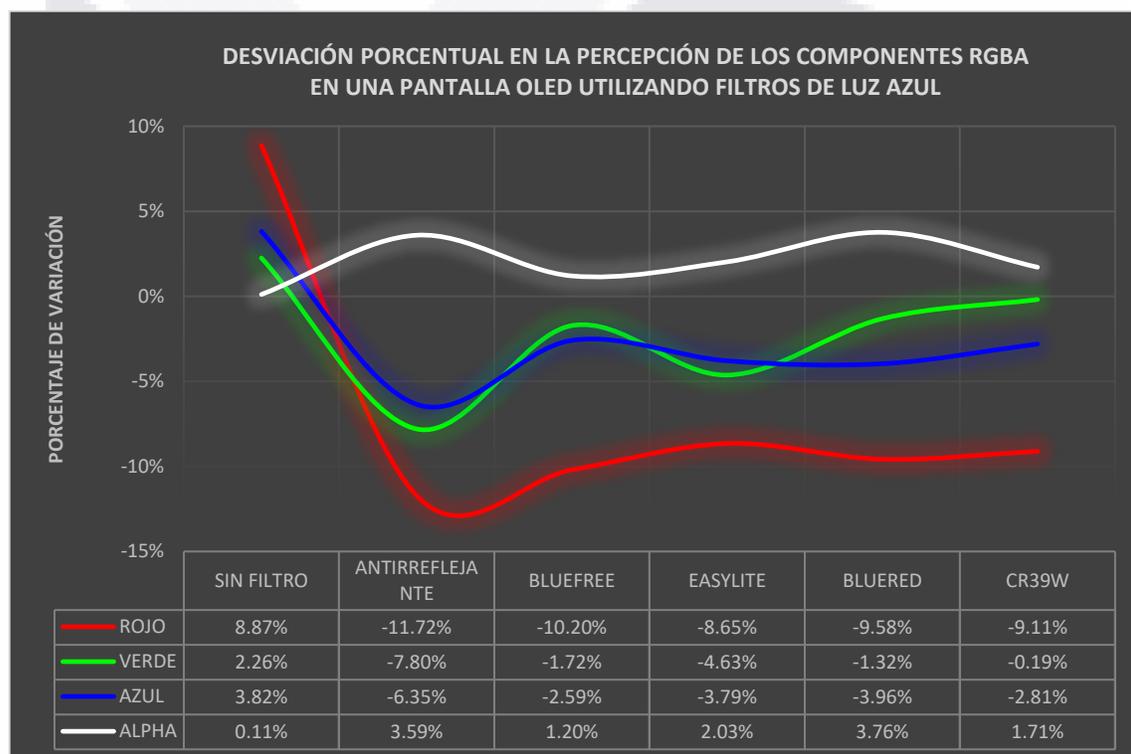


Figura 12 Desviación porcentual promedio en la percepción de los componentes RGBA

Esta prueba nos da un estimado sobre la desviación en los componentes **RGBA** para composiciones tricromáticas en una pantalla **OLED**.

Podemos identificar cuál es la desviación intrínseca del sujeto de prueba para la percepción de los componentes **RGBA**, este resultado nos da una magnitud y una dirección.

La magnitud de la desviación en sí, es el valor absoluto del resultado en la prueba para dicho componente, y la dirección está dada por el signo de este resultado; siendo que, un signo positivo indicará una percepción disminuida de ese elemento en específico, es decir un signo

positivo indica que se requiere un “tanto” porciento más de ese componente tricromático para que la comparación entre ellos se perciba exacta. Un signo negativo, indicara un aumento en la percepción de ese componente, por lo que se requiere un “tanto” porciento menos de este.

La desviación en la percepción de los componentes tricromáticos **RGBA** sin el uso de filtros, fue moderado en el rojo y bajo en los demás componentes. Como se esperaba, con el uso de cualquier filtrado espectral, se produjo un déficit perceptivo en todos los componentes tricromáticos, manteniéndose en niveles bajos la desviación en la iluminación (componente ALPHA).

*Cambios en la agudeza visual estereoscópica*

CAMBIOS EN LA AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA	
<b>SF</b>	200
<b>AR</b>	200
<b>BF</b>	200
<b>EL</b>	200
<b>BR</b>	200
<b>CR39W</b>	200

Tabla 23 Agudeza Visual Estereoscópica

Con el objetivo de no agregar ningún tipo de lente o filtro adicional a los que se están evaluando se seleccionó esta prueba que no requiere de lentes o filtros para su aplicación.

Dado que la **AVE** más pequeña que se puede medir con ella es de 200'' no se encontraron cambios en esta.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se utilizó para determinar si el conjunto de datos obtenidos sigue una distribución normal o no. Dada la cantidad de datos y la distribución asimétrica generalizada de los datos se continua con pruebas no paramétricas.

- $H_0$ : Hipótesis de homogeneidad, Distribución normal.
- $H_1$ : Hipótesis de heterogeneidad, Distribución asimétrica.

Si  $\rho > 0.05$   $H_0$ : Verdadera.

Si  $\rho < 0.05$   $H_1$ : Verdadera

MÍNIMO ÁNGULO DE DETECCIÓN						
	SF	AR	BF	EL	BR	CR39W
N	27	27	27	27	27	27
Estadístico de prueba	0.435	0.420	0.443	0.449	0.452	0.425
Sig. asintótica(bilateral)	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>
MÍNIMO ÁNGULO DE SEPARACIÓN						
	SF	AR	BF	EL	BR	CR39W
Estadístico de prueba	0.191	0.306	0.237	0.199	0.357	0.249
Sig. asintótica(bilateral)	.012 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.007 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>
MÍNIMO ÁNGULO DE LOCALIZACIÓN						
	SF	AR	BF	EL	BR	CR39W
Estadístico de prueba	0.136	0.213	0.178	0.207	0.227	0.235
Sig. asintótica(bilateral)	.200 <sup>c-d</sup>	.003 <sup>c</sup>	.028 <sup>c</sup>	.004 <sup>c</sup>	.001 <sup>c</sup>	.001 <sup>c</sup>

Tabla 24 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra AV

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE				
	SF A	SF B	SF C	SF D
Estadístico de prueba	0.202	0.180	0.290	0.249
Sig. asintótica(bilateral)	.006 <sup>c</sup>	.025 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>
	AR A	AR B	AR C	AR D
Estadístico de prueba	0.168	0.271	0.265	0.164
Sig. asintótica(bilateral)	.048 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.062 <sup>c</sup>
	BF A	BF B	BF C	BF D
Estadístico de prueba	0.291	0.175	0.287	0.245
Sig. asintótica(bilateral)	.000 <sup>c</sup>	.034 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>
	EL A	EL B	EL C	EL D
Estadístico de prueba	0.244	0.217	0.246	0.288
Sig. asintótica(bilateral)	.000 <sup>c</sup>	.002 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>
	BR A	BR B	BR C	BR D
Estadístico de prueba	0.348	0.201	0.182	0.172
Sig. asintótica(bilateral)	.000 <sup>c</sup>	.007 <sup>c</sup>	.022 <sup>c</sup>	.039 <sup>c</sup>
	CR39W A	CR39W B	CR39W C	CR39W D
Estadístico de prueba	0.281	0.191	0.242	0.193
Sig. asintótica(bilateral)	.000 <sup>c</sup>	.012 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>	.011 <sup>c</sup>

Tabla 25 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra contraste

AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA						
	AVE_SF	AVE_AR	AVE_BF	AVE_EL	AVE_BR	AVE_CR39W
Estadístico de prueba	e	e	e	e	e	e
Sig. asintótica(bilateral)	e	e	e	e	e	e

Tabla 26 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra AVE

PERCEPCIÓN DEL COLOR				
	ROJO	VERDE	AZUL	ALPHA
SIN FILTRO				
Estadístico de prueba	0.075	0.120	0.172	0.145
Sig. asintótica(bilateral)	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	.040 <sup>e</sup>	<b>.154<sup>e</sup></b>
ANTIRREFLEJANTE				
Estadístico de prueba	0.113	0.122	0.074	0.163
Sig. asintótica(bilateral)	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.064<sup>e</sup></b>
BLUEFREE				
Estadístico de prueba	0.133	0.126	0.142	0.161
Sig. asintótica(bilateral)	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.175<sup>e</sup></b>	<b>.072<sup>e</sup></b>
EASYLITE				
Estadístico de prueba	0.072	0.105	0.144	0.229
Sig. asintótica(bilateral)	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.157<sup>e</sup></b>	.001 <sup>e</sup>
BLUERED				
Estadístico de prueba	0.077	0.137	0.144	0.158
Sig. asintótica(bilateral)	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.159<sup>e</sup></b>	<b>.084<sup>e</sup></b>
CR39W				
Estadístico de prueba	0.121	0.122	0.173	0.124
Sig. asintótica(bilateral)	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>	.036 <sup>e</sup>	<b>.200<sup>c,d</sup></b>
N	27	27	27	27
a. La distribución de prueba es normal.				
b. Se calcula a partir de datos.				
c. Corrección de significación de Lilliefors.				
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.				
e. La distribución no tiene varianza para esta variable. La prueba de Kolmogorov-Smirnov de una muestra no se puede realizar.				

Tabla 27 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra color

**Prueba de rangos con signo de Wilcoxon**

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon, demuestra si entre dos muestras relacionadas existe o no diferencia entre ellas, con esta, determinamos, si posterior a la utilización de filtros y lentes neutras en los sujetos de prueba hubo o no un cambio en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis.

- $H_0$ : no hay diferencia en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos.
- $H_1$ : existe diferencia en la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos.

Si  $\rho > 0.05 H_0$ : Verdadera.

Si  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera

MÍNIMO ÁNGULO DE DETECCIÓN					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-2.207 <sup>b</sup>	-1.826 <sup>b</sup>	-1.604 <sup>b</sup>	-1.753 <sup>b</sup>	-2.371 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.027	0.068	0.109	0.080	0.018
MÍNIMO ÁNGULO DE SEPARACIÓN					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-1.800 <sup>c</sup>	-2.832 <sup>c</sup>	-3.315 <sup>c</sup>	-3.508 <sup>c</sup>	-3.075 <sup>c</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.072	0.005	0.001	0.000	0.002
MÍNIMO ÁNGULO DE LOCALIZACIÓN					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-2.808 <sup>c</sup>	-2.758 <sup>c</sup>	-2.914 <sup>c</sup>	-3.589 <sup>c</sup>	-2.694 <sup>c</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.005	0.006	0.004	0.000	0.007

b. Se basa en rangos positivos.  
c. Se basa en rangos negativos.

**Tabla 28 Prueba de rangos con signo de Wilcoxon AV**

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE FRECUENCIAS A					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-.736 <sup>b</sup>	-.794 <sup>c</sup>	-1.948 <sup>c</sup>	-.756 <sup>c</sup>	-.635 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.461	0.427	0.051	0.450	0.526
SENSIBILIDAD AL CONTRASTE FRECUENCIAS B					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-1.459 <sup>b</sup>	-.751 <sup>c</sup>	-.452 <sup>c</sup>	-.824 <sup>c</sup>	-.051 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.145	0.453	0.651	0.410	0.959
SENSIBILIDAD AL CONTRASTE FRECUENCIAS C					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-1.064 <sup>c</sup>	-1.676 <sup>c</sup>	-1.868 <sup>c</sup>	-1.847 <sup>c</sup>	-.140 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.288	0.094	0.062	0.065	0.889
SENSIBILIDAD AL CONTRASTE FRECUENCIAS D					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	-1.243 <sup>c</sup>	-1.753 <sup>c</sup>	-1.311 <sup>c</sup>	-.945 <sup>c</sup>	-1.789 <sup>c</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.214	0.080	0.190	0.345	0.074

b. Se basa en rangos positivos.  
c. Se basa en rangos negativos.

**Tabla 29 Prueba de rangos con signo de Wilcoxon contraste**

AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA					
	AR - SF	BF - SF	EL - SF	BR - SF	CR39W - SF
Z	.000 <sup>d</sup>				
Sig. asintótica(bilateral)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

d. La suma de rangos negativos es igual a la suma de rangos positivos.

Tabla 30 Prueba de rangos con signo de Wilcoxon AVE

ROJO					
	SF - AR	SF - BF	SF - EL	SF - BR	SF - CR39W
Z	-2.667 <sup>c</sup>	-2.391 <sup>c</sup>	-2.571 <sup>c</sup>	-2.236 <sup>c</sup>	-2.337 <sup>c</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.008	0.017	0.010	0.025	0.019
VERDE					
	SF - AR	SF - BF	SF - EL	SF - BR	SF - CR39W
Z	-1.454 <sup>c</sup>	-.577 <sup>c</sup>	-1.042 <sup>c</sup>	-.318 <sup>c</sup>	-.178 <sup>c</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.146	0.564	0.298	0.751	0.859
AZUL					
	SF - AR	SF - BF	SF - EL	SF - BR	SF - CR39W
Z	-1.893 <sup>c</sup>	-1.550 <sup>c</sup>	-1.790 <sup>c</sup>	-1.723 <sup>c</sup>	-1.529 <sup>c</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.058	0.121	0.073	0.085	0.126
ALPHA					
	SF - AR	SF - BF	SF - EL	SF - BR	SF - CR39W
Z	-.546 <sup>b</sup>	-.051 <sup>b</sup>	-.687 <sup>b</sup>	-.619 <sup>b</sup>	-.324 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0.585	0.959	0.492	0.536	0.746

b. Se basa en rangos positivos.  
c. Se basa en rangos negativos.

Tabla 31 Prueba de rangos con signo de Wilcoxon color

**Rho de Spearman**

Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar la fuerza y sentido de la correlación.

- **H<sub>0</sub>**: no existe correlación en el cambio de la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos.
- **H<sub>1</sub>**: existe correlación en el cambio de la agudeza visual, discriminación al color, sensibilidad al contraste y estereopsis antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos.

Si  $\rho > 0.05$  **H<sub>0</sub>**: Verdadera.

Si  $\rho < 0.05$  **H<sub>1</sub>**: Verdadera

		AR	BF	EL	BR	CR39W
<b>MÍNIMO ÁNGULO DE DETECCIÓN</b>						
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	0.262	.529**	.703**	0.339	0.376
	Sig. (bilateral)	<b>0.187</b>	0.005	0.000	<b>0.084</b>	<b>0.053</b>
<b>MÍNIMO ÁNGULO DE LOCALIZACIÓN</b>						
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	.463*	.471*	.592**	.675**	.580**
	Sig. (bilateral)	0.015	0.013	0.001	0.000	0.002
<b>MÍNIMO ÁNGULO DE SEPARACIÓN</b>						
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	.441*	0.233	-0.062	0.344	0.070
	Sig. (bilateral)	0.021	<b>0.242</b>	<b>0.760</b>	<b>0.079</b>	<b>0.728</b>
** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).						
* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).						

Tabla 32 Rho de Spearman AV

		FRECUENCIAS A				
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	.963**	.415*	.423*	0.195	.672**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.031	0.028	<b>0.330</b>	0.000
<b>FRECUENCIAS B</b>						
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	.666**	.838**	.651**	.751**	.832**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	6.2761E-06	0.000
<b>FRECUENCIAS C</b>						
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	.584**	.642**	.418*	.385*	0.087
	Sig. (bilateral)	0.001	0.000	0.030	0.047	<b>0.666</b>
<b>FRECUENCIAS D</b>						
<b>SF</b>	Coefficiente de correlación	.558**	0.364	.497**	-0.017	.560**
	Sig. (bilateral)	0.002	<b>0.062</b>	0.008	<b>0.935</b>	0.002
** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).						
* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).						

Tabla 33 Rho de Spearman contraste

		ROJO AR	ROJO BF	ROJO EL	ROJO BR	ROJO CR39W
<b>ROJO SF</b>	Coefficiente de correlación	-.828**	-.800**	-.816**	-.780**	-.780**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		VERDE AR	VERDE BF	VERDE EL	VERDE BR	VERDE CR39W
<b>VERDE SF</b>	Coefficiente de correlación	-.789**	-.767**	-.700**	-.716**	-.704**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		AZUL AR	AZUL BF	AZUL EL	AZUL BR	AZUL CR39W

AZUL SF	Coefficiente de correlación	-0.751**	-0.707**	-0.623**	-0.581**	-0.598**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
		ALPHA AR	ALPHA BF	ALPHA EL	ALPHA BR	ALPHA CR39W
ALPHA SF	Coefficiente de correlación	-0.858**	-0.755**	-0.804**	-0.811**	-0.816**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	27	27	27	27	27
** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).						
* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).						

**Tabla 34 Rho de Spearman color**



**Prueba de Friedman**

¿Existen diferencias en la **AV**, **SC**, **AVE** y sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5%?

El Análisis de varianza de dos vías por rangos de Friedman para muestras relacionadas determina si existen diferencias en la **AV**, **SC**, **AVE** y sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5%.

- **H<sub>0</sub>**: no existen diferencias en la **AV**, **SC**, **AVE** y sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5%
- **H<sub>1</sub>**: si existen diferencias en la **AV**, **SC**, **AVE** y sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5%

Si  $\rho > 0.05$  **H<sub>0</sub>**: Verdadera.

Si  $\rho < 0.05$  **H<sub>1</sub>**: Verdadera

Rangos				
	Rango promedio MAR	Rango promedio MAS	Rango promedio AVV	Rango promedio AVE
SF	3.93	1.93	2.13	3.5
AR	3.26	2.93	3.59	3.5
BF	3.48	3.35	3.70	3.5
EL	3.59	4.26	3.65	3.5
BR	3.57	4.20	4.17	3.5
CR39W	3.17	4.33	3.76	3.5
Estadísticos de Prueba de Friedman				
N	27	27	27	27
Chi-cuadrado	11.176	37.305	21.237	.
gl	5	5	5	5
Sig. asintótica	.048	.000	.001	<b>1</b>

Tabla 35 Prueba de Friedman AV y AVE

Rangos				
	Rango promedio SC A	Rango promedio SC B	Rango promedio SC C	Rango promedio SC D
SF	3.35	3.56	2.87	2.78
AR	3.39	3.15	3.52	3.35
BF	3.65	3.63	3.67	4.04
EL	4.2	3.57	3.98	3.93
BR	3.37	3.69	3.98	3.24
CR39W	3.04	3.41	2.98	3.67
Estadísticos de Prueba de Friedman				
N	27	27	27	27
Chi-cuadrado	9.157	2.154	11.368	10.399
gl	5	5	5	5
Sig. asintótica	<b>0.103</b>	<b>0.827</b>	0.045	<b>0.065</b>

Tabla 36 Prueba de Friedman contraste

Rangos				
	Rango promedio ROJO	Rango promedio VERDE	Rango promedio AZUL	Rango promedio ALPHA
SF	4.48	3.91	4	3.37
AR	2.89	2.8	2.98	3.56
BF	3.5	3.67	3.65	3.11
EL	3.39	3.17	3.17	3.87
BR	3.39	3.63	3.43	3.94
CR39W	3.35	3.83	3.78	3.15
Estadísticos de Prueba de Friedman				
N	27	27	27	27
Chi-cuadrado	11.01	7.314	5.827	4.984
gl	5	5	5	5
Sig. asintótica	<b>0.051</b>	<b>0.198</b>	<b>0.323</b>	<b>0.418</b>

Tabla 37 Prueba de Friedman color



## *Resumen de análisis estadístico*

### **Cambios en la agudeza visual con el uso de filtros de luz azul**

- No existen cambios estadísticamente significativos en la agudeza visual de detección al utilizar cualquiera de los lentes con y sin filtro de luz azul. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  $\rho > 0.05 H_0$ : Verdadera.
- Existen cambios estadísticamente significativos en la agudeza visual del Mínimo Ángulo de Separación. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.
- Existen cambios estadísticamente significativos en la agudeza visual Vernier. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.
- Existe una correlación en el cambio de la agudeza visual, antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos. Rho de Spearman  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.
- Existen diferencias en la **AV** en un nivel de significación del 5%. Prueba de Friedman  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.

### **Cambios en la sensibilidad al contraste con el uso de filtros de luz azul**

- No existen cambios estadísticamente significativos en la sensibilidad al contraste antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  $\rho > 0.05 H_0$ : Verdadera.
- Existe una correlación en el cambio de la sensibilidad al contraste antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos. Rho de Spearman  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.
- Existen diferencias en la **SC** en las frecuencias medias bajas en un nivel de significación del 5%. Prueba de Friedman  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.

### **Cambios en la percepción del color con el uso de filtros de luz azul**

- No existen cambios estadísticamente significativos en la percepción de los componentes verde, azul y Alpha del color antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  $\rho > 0.05 H_0$ : Verdadera.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Existen cambios estadísticamente significativos en la percepción del componente rojo del color antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.
  - Existe correlación en el cambio de la discriminación al color, antes de utilizar filtros y lentes neutras y con el uso de ellos. Rho de Spearman  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.
  - Existen diferencias en la sensibilidad al color **RGBA** en un nivel de significación del 5%. Prueba de Friedman  $\rho < 0.05 H_1$ : Verdadera.

#### **Cambios en la agudeza visual estereoscópica con el uso de filtros de luz azul**

- No existen cambios en la agudeza visual estereoscópica al utilizar cualquiera de los lentes con y sin filtro de luz azul con respecto a la agudeza sin utilizar lente alguno, manteniéndose constante en 200'' de arco.

**DISCUSIÓN**

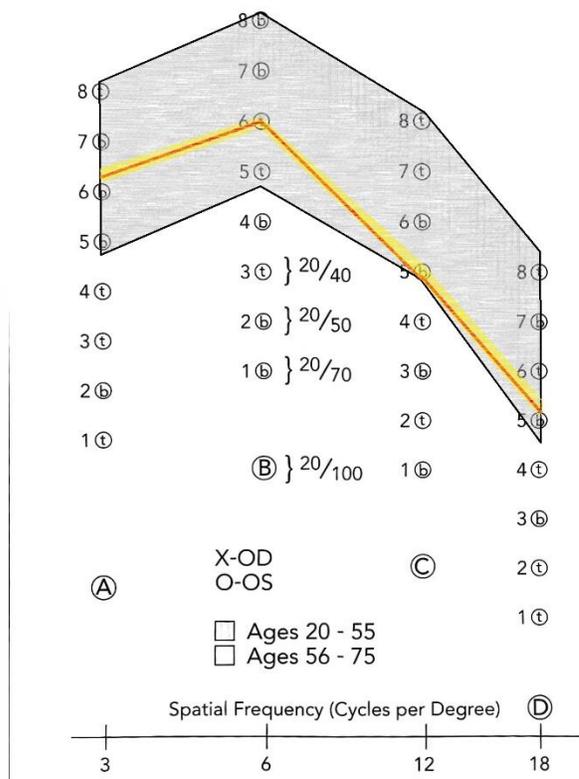


Figura 13 Hoja de resultados CSV-1000 E

**LogMAR y SC**, se encuentran en rangos normales en la función de la **SC** dados por el fabricante del test CSV-1000 E para la población de 20 a 55 años, (área delimitada en color gris de la figura-13), en rojo se encuentra la función de la **SC** encontrada en la muestra, mientras que en amarillo se aprecia el rango en el cambio máximo y mínimo sobre dicha función con la inclusión de filtros de luz azul. El factor limitante de la **AV LogMAR** es la sensibilidad del observador a pequeñas variaciones en la intensidad del estímulo, es decir, su sensibilidad al contraste. Quedando la **AV LogMAR** en un promedio de 1.215

y una **SC** de 1.108 para las frecuencias altas, ambas medidas tomadas sin filtros o lentes interpuestos.

Rene Fernández Rojo (2019), en su tesis efectos en agudeza visual y sensibilidad al contraste a través de la aplicación de prismas verticales y filtros en ambliopía, encontró incrementos en la **AV** y en la **SC** con el uso de un filtro azul<sup>29</sup>. En este estudio se encontró un aumento mínimo de 0.204 y un máximo de 1.78 en la **AV**, y aumento máximo de 0.106 y mínimo de 0.020 en la **SC**.

La interposición de cualquier material con una transmitancia menor a 1 tiene como resultado un filtrado espectral, que puede ser neutro (reducir en la misma proporción la intensidad luminosa en todo el espectro) o selectivo (atenuar la intensidad solo en bandas espectrales específicas). Navarro Valls, J. J. (2012) nos menciona que la **AV** y la **SC** muestran una dependencia con el nivel de luminancia. Observándose que a medida que la luminancia

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

aumenta, la capacidad del sistema visual para detectar diferencias de luminancias mejora, hasta alcanzar un valor asintótico<sup>31</sup>. El deslumbramiento se produce por la presencia en el campo visual de una fuerte intensidad de luz, más elevada que la luminancia a la cual los ojos están adaptados provocando molestia, incomodidad o un empeoramiento de la función visual<sup>32</sup>. Al reducirse la intensidad de la luz aun cuando sea de forma selectiva, disminuye el deslumbramiento y así la AV y la SC se mantendrán en el máximo asintótico, lo que aumenta la capacidad de distinguir un estímulo negro en un fondo brillante (aumenta la SC y AV LogMAR). Puell (2004) encuentra mejorías en la AV y SC de hasta un 100% con relación al deslumbramiento<sup>33</sup>. En contraste, en este estudio la diferencia ha sido una disminución máxima del 12.155% en la AV MAR con la interposición de filtros, la AV MAS tiene un aumento máximo del 73.30% y la AV Vernier del 57.72%, La SC presenta mejorías de 3.045%, 0.573%, 6.936% y 8.351% para 3, 6, 12 y 18 CPD respectivamente.

Ferrando Santosjuanes, B. (2010). En su estudio del anomaloscopio Heidelberg multi color como test de detección de defectos cromáticos rojo-verde y azul-amarillo; utilizando un anomaloscopio Davico, encuentra un 36.67% de su población de estudio con un punto de igualación fuera del rango de normalidad clasificadas con un defecto tipo protán. Esta población evaluada con el test FM-100 Hue no presentó ningún defecto de visión al color.

La desviación promedio intrínseca (sin el uso de filtros) para la percepción en el rojo y verde del total de la muestra analizada tiene una tendencia en la subpercepción del color rojo, mostrando los defectos tipo protán detectados por Ferrando Santosjuanes, B. (2010).

El filtrado de un lente en las longitudes de onda corta  $\approx 445 \text{ nm}$  reduce la intensidad relativa que incide sobre los conos SLC que son los principales fotorreceptores de los tonos azules, y por ello, la percepción de los colores es ahora dominante en los conos SLL y SLM, así entonces, la percepción del color será más cálida, con una tendencia hacia los anaranjados. Para la selección de filtros en este estudio se tomaron en cuenta aquellos que en su descripción mencionaban un filtrado de entre los 380 a los 470 nm., y aunque el ancho de banda efectivo (al 50%) abarca solamente desde los 389 y hasta los 409 nm como máximo en todos los filtros, la transmitancia promedio a través de ellos se vio reducida en un mínimo

del 10.07% y un máximo del 30.44% en el rango de los 380 a los 470 **nm**, lo que explica la diferencia en la percepción del color basados en una teoría tricromática aditiva.

Cristina Bonnin (2015) muestra una afectación negativa en la discriminación al color con la interposición de filtros solares que va desde el 43% al 5% <sup>12</sup>. En este trabajo se encontraron desviaciones promedio negativas de 9.85% en el rojo, 3.13% para el verde y 3.90% en el azul, además de que se requiere un aumento promedio de 2.46% en la intensidad de iluminación del estímulo. Las diferencias tan marcadas entre ambos estudios, se deben a que Boninn hace el análisis a filtros solares tradicionales y filtros con certificado de seguridad retiniana, los primeros, con un filtrado neutro mucho mayor sobre todo el espectro visible.

Por otro lado, no se encontraron otros estudios donde sea medida la **AVE** con el uso de filtros de luz azul que no utilicen además de dicho filtro un filtro polarizado o bicromático.

No se observaron diferencias en la Medición de la **AVE** sin el uso de filtros o con el uso de cualquier filtro. Esto puede deberse a la baja resolución que nos brinda la prueba seleccionada. La razón de esta selección se debió a que era la única prueba disponible que no requiere de lentes bicromáticos o polarizados añadidos.

Para un estudio más detallado y con la máxima precisión, se recomienda la realización con el aparato de Howar-Dolman, que no requiere lentes adicionales para medir la **AVE**.

## CONCLUSIONES

Los cambios en la agudeza visual con el uso de filtros de luz azul no son suficientemente grandes para mejorar la detección visual, es decir, no aumenta la sensibilidad de los fotorreceptores. Sin embargo, sí ayuda en la capacidad para distinguir objetos muy cercanos entre sí para distinguirlos como separados, en la medida que los filtros disminuyen la difracción. La capacidad visual para distinguir mínimos cambios y detalles sobre del propio estímulo visual **AVV** también se ve potenciada con el uso de filtros de luz azul.

Dado que los filtros disminuyen la difracción, la **SC** se ve potenciada, aunque sólo en las frecuencias medias bajas.

Los cambios en la percepción del color se producen principalmente sobre la variable cromática del matiz, principalmente en el componente tricromático ROJO.

No existen cambios en la agudeza visual estereoscópica al utilizar cualquiera de los lentes con y sin filtro de luz azul con respecto a la agudeza sin utilizar lente alguno, manteniéndose constante en 200'' de arco (el mínimo cuantificable de la prueba aplicada).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Noell, W. K., & Albrecht, R. (1971). Irreversible effects of visible light on the retina: role of vitamin A. *Science*, Vol. 172. Pp. 76-80.
2. Sagnières, H. (noviembre de 2014). Points de Vue | International Review of Ophthalmic Optics. Paris, Francia. [online]. AMD: Clinical protocol, prevention and outlook, Available at: [https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/amd-clinical-protocol-prevention-and-outlook.pdf?utm\\_source=Website&utm\\_campaign=Henrik+SAGNIERES+Clinical+protocol,+prevention+and+outlook+GB&utm\\_medium=PDF](https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/amd-clinical-protocol-prevention-and-outlook.pdf?utm_source=Website&utm_campaign=Henrik+SAGNIERES+Clinical+protocol,+prevention+and+outlook+GB&utm_medium=PDF) [Accessed 11 septiembre 2019].
3. Ramos Enríquez, M. (2016). Exposición a pantallas en la actualidad. (Trabajo fin de grado inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (16).
4. Barrau, C. (febrero de 2013). Points de Vue | International Review of Ophthalmic Optics. Paris, Francia. [online]. Blue light scientific discovery. Available at: <https://www.pointsdevue.com/02-barrau-c-et-al-blue-light-scientific-discovery-essilor-white-paper-10-2013> [Accessed 11 septiembre 2019].
5. Roda, C. S. R., Sánchez, J. G., & Manzanaro, P. G. FILTROS ÓPTICOS CONTRA EL EFECTO FOTOTÓXICO DEL ESPECTRO VISIBLE EN LA RETINA: Experimentación animal (Tesis doctoral). Universidad Europea de Madrid, Madrid, España. Pp. 112.
6. Hammond, B. R., Fletcher, L. M., & Elliott, J. G. (2013). Glare disability, photostress recovery, and chromatic contrast: relation to macular pigment and serum lutein and zeaxanthin. *Investigative ophthalmology & visual science*, Vol. 54.(1), 476-481.
7. Guirao, A. (1998). Calidad óptica del ojo humano en función de la edad (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España. Pp. 7.
8. Martín Herranz, R., & Vecilla Antolínez, G. (2010). Manual de optometría. Médica Panamericana. Pp. 7, 8.
9. Legge GE, Rubin GS, Luebker A. Psychophysics of reading. V. The role of contrast in normal vision. *Vision Res* 1987; Vol. 27, Pp. 1165-1177.

10. Montés-Micó, R., Diego, C. A., Fernández, J. A., & Martínez, P. C. (2011). *Optometría: principios básicos y aplicación clínica* (Vol. 25). Elsevier. Pp. 105-106, 110, 118, 132.
11. Capilla P, Felipe A, Pons AM, Artigas JM. (1993). Effect of color on contrast sensitivity with two different accommodative stimuli. *Optom Vis Science*; Vol. 70. Pp. 24-29.
12. Bonnin Arias, C., Aguirre Vilacoro, V., Chamorro Gutiérrez, E. y Sánchez Ramos, C. (2015). Nuevos lentes solares con certificación de seguridad retiniana: análisis de la función visual mediante la valoración de agudeza visual y estereoscópica, discriminación del color y sensibilidad al contraste. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 13(1), 123-136.
13. Vienot, F. (Mayo de 2013). Points de Vue | International Review of Ophthalmic Optics. Paris, Francia. [online]. Perception of blue and spectral filtering. Available at: <https://www.pointsdevue.com/article/perception-blue-and-spectral-filtering#tab1> [Accessed 11 May 2019].
14. Domenech B, Segui MM, Capilla P, Illueca C. (1994). Variation of the visual acuity-luminance function with background colour. *Ophthalmic Physiol Opt*; Vol. 14, Pp. 302-305.
15. Borràs García, M. R., Gispets Parcerisas, J., & Ondategui Parra, J. C. (2004). *Visión binocular. Diagnóstico y tratamiento* (Vol. 57). Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. Pp, 45.
16. Rojas Juárez, S., & Saucedo Castillo, A. (2012). *Retina y vítreo* (2a edición ed.). México, México: Editorial El Manual Moderno, S.A de C.V. Pp. 14, 108.
17. Luna Blanco, M. D., & Tuleda Garmendia, P. (2011). *Percepción visual*. Editorial Trotta. Pp. 63-64.
18. Iribarne Ferrer, Y. (2006). *Sensibilidad al contraste tras LASIK convencional y personalizado*. Universitat de Barcelona.
19. Marroquin, G. *Oftalmología Pediátrica. Guías de manejo*. Bogotá: Asociación de Oftalmología Pediátrica y Estrabismo. Colombia 2006.
20. Saladin II. Convergence insufficiency, fixation disparity, and control systems analysis. *Am Optom Bibliografía*

21. Puell Marín, M. C. (2006). *Óptica Fisiológica, El sistema Óptico del ojo y la visión binocular*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Pp. 215.
22. Perea García, J. (2008). *Estrabismos (Segunda ed.)*. Toledo, España: Artes Gráficas Toledo, S.A.U. Pp. 183.
23. Pons Moreno, A. M., & Martínez Verdú, F. M. (2004). *FUNDAMENTOS DE VISIÓN BINOCULAR*. (P. d. d'Alacant, Ed.) València, España: Publicacions de la Universitat de Valencia.
24. Cormack LK, Stevenson SB y Schor CM (1991) Interocular correlation, luminance contrast and cyclopean processing, *Vision Research*, 31,2195-2207
25. Vivanco, M. (2005). *Muestreo estadístico. Diseño y aplicaciones*. Editorial universitaria.
26. Abascal, E., y Esteban, I. G. (2005). *Análisis de encuestas*. Esic editorial.
27. Weymouth, F. W., & Hirsch, M. J. (1945). The reliability of certain tests for determining distance discrimination. *The American Journal of Psychology*, 58(3), 379-390.
28. Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2008). *Principios de análisis instrumental*. 337.
29. Fernández Rojo, R. (2019). *Efectos en agudeza visual y sensibilidad al contraste a través de la aplicación de prismas verticales y filtros en ambliopía*.
30. López, M. Q. (2016). *Eficacia de filtros de absorción selectiva de onda corta en interiores en personas con discapacidad visual*.
31. Navarro Valls, J. J. (2012). *Efecto de la luz cenital difusa sobre la agudeza visual y la sensibilidad al contraste en la conducción mesópica (Doctoral dissertation, [SI]:[sn], 2011)*.
32. Benjamin, W. J. (2006). *Borish's Clinical Refraction-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
33. Puell MC, Palomo C, Sanchez-Ramos C, Villena C. (2004). Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*; 242:755-761.
34. Ferrando Santosjuanes, B. (2010). *Estudio del anomaloscopio Heidelberg multi color como test de detección de defectos cromáticos rojo-verde y azul-amarillo*.