



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**PSICOFÍSICA DEL COLOR:
VALIDACIÓN CON PRUEBAS DE
DISCRIMINACIÓN.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICO

P R E S E N T A :

PEDRO RAMÓN CERVANTES PETERSEN

TUTORA

DRA. JAZMÍN CARRANZA GALLARDO

2010



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado.

<p>1. Datos del alumno. Cervantes Petersen Pedro Ramón 01 55 5681 8567 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Física 07104153-7</p>
<p>2. Datos del tutor Dra. Jazmín Carranza Gallardo</p>
<p>3. Datos del sinodal 1 M. en C. Alicia Zarzosa Pérez</p>
<p>4. Datos del sinodal 2 Dr. Luís Fernando Magaña Solís</p>
<p>5. Datos del sinodal 3 Dra. Citlali Sánchez Aké</p>
<p>6. Datos del sinodal 4 M. en C. José Luís Pérez Mazariego</p>
<p>7. Datos del trabajo escrito. Psicofísica del Color: Validación con pruebas de discriminación. 361 p 2010</p>

Con gratitud para mis maestros



El color

Inspira,

Ilumina,

Estimula.

Agradecimientos por su apoyo:

a familiares,

amigos

y compañeros.

ÍNDICE.

Resumen	9
INTRODUCCIÓN.	
El propósito de la investigación.	10
CAPITULO 1: La Psicofísica como Ciencia Interdisciplinaria.	13
1.1 El desarrollo de la Psicología como ciencia experimental.	14
1.2 La Física y la Psicología implican la Psicofísica.	17
1.3 Los Términos de la Psicofísica.	20
1.4 El Umbral.	22
1.5 Ley de Weber.	25
1.6 Métodos Psicofísicos.	28
1.7 Elaboración de escalas en Psicofísica.	20
CAPITULO 2: Psicofísica del Color.	32
2.1 El sistema óptico del ojo humano.	33
2.2 Transductores de señal en la sensación y percepción visual.	41
2.3 Redes neuronales de la percepción del color.	66
2.3.1 <i>Existen tres diferentes teorías de la asimetría cerebral.</i>	76
2.4 Sistema Munsell del color.	91
2.4.1 <i>Aspectos fisiológicos de la sensación del color.</i>	91
2.4.2 <i>Aspectos psicológicos de la sensación del color.</i>	101
2.4.3 <i>Psicofísica del color: Datos empíricos y modelo.</i>	103
2.4.4 <i>Los espacios de color.</i>	107
2.4.5 <i>C. I. E. "primarios imaginarios"</i>	110
2.4.6 <i>Albert H. Munsell.</i>	115

2.4.7	<i>Teoría del color.</i>	119
2.5	Evaluación visual.	123
2.5.1	<i>Evaluación del sistema visual.</i>	124
2.5.2	<i>Historia Clínica.</i>	125
2.5.3	<i>La medida de la agudeza visual.</i>	126
2.5.4	<i>Anomalías de la visión en los colores.</i>	128
2.5.5	<i>Pruebas de detección para la visión del color.</i>	133
2.6	La discriminación del color en la Industria del Vestido.	140
2.7	Fuentes iluminantes en aparadores y tiendas.	144
2.7.1	<i>La temperatura de color.</i>	151
2.7.2	<i>Fuentes luminosas.</i>	154
2.7.3	<i>Proceso de la iluminación eléctrica.</i>	155
2.7.4	<i>La voz iluminación se usa con carácter general al referirse a la cantidad y calidad de la luz.</i>	163
2.7.5	<i>Magnitudes fotométricas.</i>	164
2.7.6	<i>¿Cuando cambia la fuente de luz cambia el color aparente?</i>	167
2.7.7	<i>Luz negra y material fluorescente.</i>	174
2.7.8	<i>Cabinas de iluminación.</i>	176
2.7.9	<i>Fuentes luminosas en las cabinas de iluminación.</i>	176
2.7.10	<i>Nivel de iluminación en las cabinas de iluminación.</i>	179
2.7.11	<i>El entorno del área de evaluación.</i>	181
2.7.12	<i>Fuentes luminosas en establecimientos comerciales.</i>	182
2.8	Fuentes iluminantes en ambientes laborales.	188
2.8.1	<i>El rendimiento visual de un trabajador.</i>	191
2.8.2	<i>Niveles de iluminación.</i>	195

2.8.3	<i>Acondicionamiento visual del puesto de trabajo.</i>	196
2.8.4	<i>Factores de visibilidad.</i>	200
2.8.5	<i>Efectos psicológicos de la iluminación y el color.</i>	204
2.8.6	<i>Efectos terapéuticos del color.</i>	208
CAPITULO 3: Desarrollo Experimental.		212
3.1	Planteamiento experimental.	213
3.2	Población de estudio.	214
3.3	Prueba de agudeza visual.	216
3.4	Prueba de Ishihara.	220
3.5	Prueba <i>Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)</i> .	221
3.5.1	<i>Farnsworth Munsell 100 en coordenadas polares.</i>	223
3.5.2	<i>Formato de registro de los datos demográficos y resultados de las pruebas.</i>	228
3.6	Coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ y CIE L^*C^*h , en un sistema digital.	233
CAPITULO 4: Análisis de resultados		239
4.1	Metodología usada para el tratamiento de los resultados.	240
4.2	Características demográficas de la muestra.	241
4.3	Análisis de resultados de la prueba de Agudeza Visual cercana.	251
4.4	Resultados de la Prueba de Ishihara.	253
4.5	Resultados Hue Test.	257
4.5.1	<i>Resultados de la medición de las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ y CIE L^*C^*h, de las fichas del equipo Hue Test.</i>	257
4.5.2	<i>Análisis de Varianza de las coordenadas CIE L^*C^*h.</i>	268
4.5.3	<i>Análisis de correlación.</i>	277
4.6	Calificación como discriminador de color de los sujetos participantes.	281

4.7	Diferencia cromática digital de textiles expuestos a los iluminantes D65 y filamento tipo A, en una cabina de iluminación.	284
4.8	Discusión.	287
CAPITULO 5: Conclusiones.		295
Bibliografía.		297
Anexos.		307
A	Fichas técnicas de los sujetos empleados en la muestra.	308
B	Tabla general de datos demográficos.	327
C	Tabla de datos de las coordenadas $CIE L^*a^*b$, $CIE L^*C^*h$, y de las fichas del equipo <i>Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)</i> .	343
D	Cartilla de Jaeger para la prueba de agudeza visual.	347
E	Láminas para la prueba de Ishihara.	349
F	Características del equipo <i>Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)</i> .	361

Resumen

Psicofísica del color: Validación con pruebas de discriminación, es una investigación que muestra la posibilidad de crear una relación entre un estímulo físico y su respuesta psíquica, a través de la utilización de métodos estadísticos.

La investigación inicia con la compilación de la información referente al nacimiento de la Psicofísica como una ciencia puramente empírica, donde las respuestas a los estímulos físicos son parametrizadas para la elaboración de escalas subjetivas de sensación.

Posteriormente se realiza una revisión neurofisiológica del complejo sistema visual humano, buscando un punto de intersección entre las pruebas psicofísicas y las investigaciones neurofisiológicas, encontrando que aún no es posible determinar con pruebas neurofisiológicas que color está viendo un sujeto, por lo que los métodos psicofísicos para evaluar una sensación visual siguen siendo válidos.

El experimento consistió en evaluar la capacidad de discriminación de color de una muestra de sujetos involucrados en la selección de color en el ámbito laboral. Se realizaron tres pruebas visuales, dos de ellas evaluaron la capacidad visual en los sujetos participantes: la prueba de *agudeza visual cercana* y la prueba de discriminación de color con *láminas de Ishihara*. La tercera prueba consiste en la discriminación de color utilizando el equipo *Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)*. Para la realización de estas pruebas se utilizaron tres fuentes de iluminación, *luz natural de día*, *iluminante D65* e *iluminante de filamento tipo A*, con las dos últimas se utilizó una cabina de iluminación.

Con los resultados de las pruebas se clasificó a los sujetos participantes como discriminadores de color en un nivel *superior*, *promedio* y *bajo*, a través de escalas psicofísicas previamente elaboradas. Con un espectrofotómetro se realizó la medición de las coordenadas *CIE L*C*h* de las fichas del equipo *Hue Test*, utilizando el método estadístico factorial, se determinó la interacción entre estas coordenadas, encontrándose que la *luminancia (L*)*, es el factor que mas influencia tiene en la discriminación de color.

Con estos resultados concluimos que la Psicofísica del color aporta conocimientos que son usados para la elaboración de marcos normativos en torno a la utilización de luminarias en espacios arquitectónicos, para el desarrollo tecnológico y para estimular una dinámica económica.

INTRODUCCIÓN

Se tiene un entorno económico, político y social en la discriminación del color. En lo económico porque el color en la industria es un detonante para estimular el consumo. En lo político y en lo social por la regulación del uso de las luminarias en espacios arquitectónicos y laborales, así como en lo referente a la salud como una prueba de diagnóstico clínico para la prevención de enfermedades del sentido de la vista.

Los resultados de las pruebas psicofísicas del color sirven para apoyar el desarrollo tecnológico en diferentes ramas de la industria. La subjetividad de estas pruebas son validas, hasta que no se descubran los mecanismos neurofisiológicas que puedan determinar qué color está observando una persona.

Con la medición de las coordenadas $CIE L^*a^*b^*$ y $CIE L^*C^*h$, de las fichas del equipo *Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)*, se determina cual de las coordenadas C^* (*crominancia*) o L^* (*luminancia*) tienen una mayor influencia en la discriminación del color con respecto al *hue (h)*, mediante el uso del método estadístico de análisis de varianza.

El motivo de investigación de este tema surge cuando caminando por el recién transformado Centro Histórico de la ciudad de México, escuche estos comentarios de unos clientes que realizaban compras de ropa en tiendas por el rumbo de las calles de la Lagunilla.

“...Luis, mira qué bonitos colores tiene ese ropón... ahora que va a ser el bautizo de Pepito y vamos a ser padrinos... porque no le decimos que no lo muestre... oye Luis se ve diferente, en el aparador me gustó mucho tenía una tonalidad amarilla muy clara, pero al sacarlo a la luz del sol se ve gris, mejor no lo compramos...”

A raíz de estos comentarios me hice la siguiente pregunta ¿Qué tanto cambia nuestra percepción del color cuando cambiamos de fuente de iluminación?

En el presente estudio se investiga cuál es la influencia del uso de diferentes fuentes de iluminación al realizar discriminación de atributos de color de manera visual. Para tener un parámetro objetivo de esta evaluación se hace uso de diferentes pruebas que están involucradas en la evaluación del sistema visual humano, así como su aptitud para discriminar pequeñas diferencias de color.

Las pruebas psicofísicas del color son usadas como una herramienta para el diagnóstico clínico que determinan la capacidad de discriminación del color del sujeto, además permiten la determinación de normas de iluminación en diferentes ámbitos como el laboral y arquitectónico, así como para la elaboración de luminarias.

En el Capítulo 1, se plantea el origen de la Psicofísica como una ciencia interdisciplinaria, basándose fundamentalmente en dos ramas de la Ciencia, la Medicina y la Física. Se presenta un esbozo, en el Capítulo 2, del complejo sistema visual del ojo humano, los supuestos mecanismos de cognición del color a través de las redes neuronales, el desarrollo del Sistema Munsell del color, que se basa en la aplicación de pruebas Psicofísicas. En este mismo capítulo vemos las aplicaciones de la Psicofísica del color, en diferentes ámbitos laborales, de diseño de espacios y ambientaciones arquitectónicas.

En el Capítulo 3, se expone el desarrollo experimental. Son tres las pruebas que se aplicaron: 1) La de *agudeza visual* cercana, con la cartilla de Jaeger; 2) La prueba de color con las láminas de *Ishihara*, y 3) La prueba de discriminación de *hue*, utilizando el equipo *Fansworh-Munsell 100 Hue Test*.

Se utilizaron tres diferentes fuentes de iluminación: luz natural de día, luz artificial simulando la luz de día promedio (*D65*) y la luz producida por una fuente de foco de filamento (*iluminante A*). Las pruebas de *agudeza visual*, *Ishihara* y *Hue Test*, se realizaron dos veces cada una, en diferentes fechas. En la de *agudeza visual* y la de *Ishihara* sólo se utilizó el iluminante de luz natural de día, ya que estas pruebas fueron preliminares a la de *Hue Test*, indicando el grado de deficiencia visual del sujeto participante. Para la prueba *Hue Test* con luz artificial se utilizaron cabinas de iluminación.

En el laboratorio de óptica del *Instituto Nacional Astrofísica, Óptica y Electrónica* (INAOE), se realizó la medición, con un espectrofotómetro, de las coordenadas cromáticas, en los espacios de color *CIE L*a*b** y *CIE L*C*h*, de cada una de las fichas del equipo *Fansworh-Munsell 100 Hue Test*, bajo condiciones de iluminación de un iluminante *D65* a 10° de observación. Esto con el fin de analizar cual de los factores, *luminancia* (L^*) o *crominancia* (C^*), tienen un mayor influencia en la discriminación del hue.

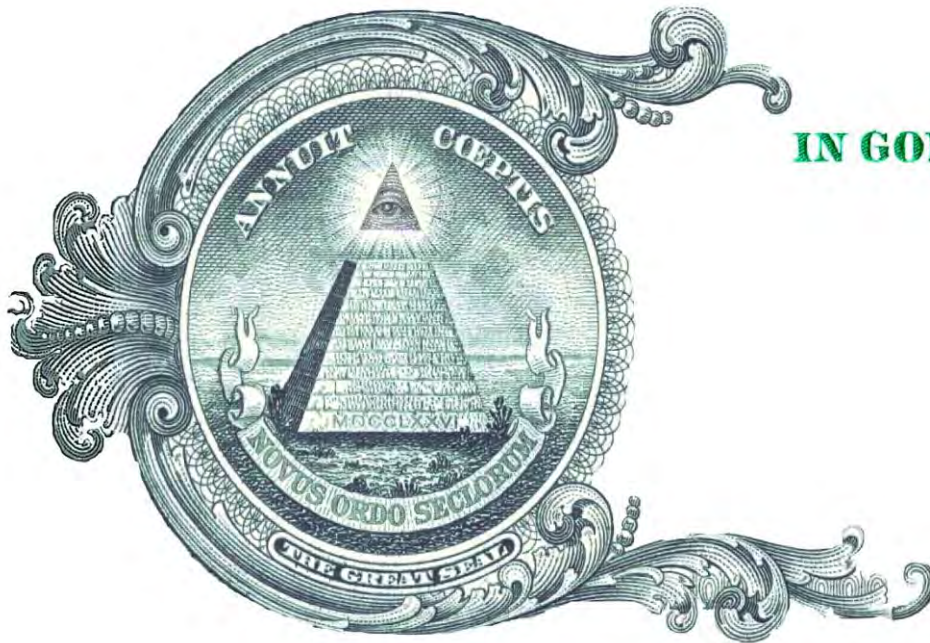
En una cabina de iluminación, comparamos digitalmente la diferencia de color de tres textiles expuestos a los iluminantes *D65* y de filamento tipo *A*, comprobando la variación del *hue* en coordenadas *CIE L*C*h*, apoyándose en el programa Adobe Photoshop, versión 7, con esta investigación validamos el cambio de *hue* que los textiles experimentan al ser expuestos a diferentes iluminantes y como el ojo cambia de una visión fotópica a una escotópica.

En el Capítulo 4, se realiza un análisis de los resultados de las pruebas de discriminación de color y con los resultados de las mediciones de las coordenadas cromáticas *CIE L*a*b** y *CIE L*C*h*, de cada una de las fichas del equipo *Fansworh-Munsell 100 Hue Test*, se realiza un análisis estadístico, utilizando el modelo matemático factorial de 2^k , que nos permitió comparar el peso de los factores de crominancia (C^*) y luminancia (L^*) con respecto al factor *hue* y al número de errores por ficha cometidos por el sujeto en la prueba *Hue Test*, con

iluminante de luz natural de día, encontrando que la luminancia (L^*), es el factor que influye más en la discriminación del color.

Para obtener la población muestra, se solicitó el apoyo de la Cámara Nacional de la Industria del Vestido, la cual convocó a algunos de sus miembros y les solicita su cooperación para la realización de esta investigación, con sujetos involucrados profesionalmente con la selección del color. Fueron varias empresas las que estuvieron de acuerdo en participar; de ellas se seleccionaron dos por sus características laborales y la diversidad de sus integrantes. Mediante un cuestionario aplicado a los sujetos participantes, se realizó un análisis estadístico descriptivo de las características de la población.

Dentro de las conclusiones exponemos que la Psicofísica del color es un apoyo para la investigación de nuevas tecnologías que involucran al sistema visual humano. Con un diagnóstico preliminar, a través de las pruebas de discriminación de color, se puede definir el perfil del puesto y el nivel de adiestramiento de los recursos humanos para tareas específicas que involucran la discriminación del color como una actividad profesional.



IN GOD WE TRUST

CAPITULO 1: La Psicofísica como Ciencia Interdisciplinaria.

1.1 El desarrollo de la Psicología como ciencia experimental.

La ciencia moderna tiene dos componentes inseparables: el empírico y el teórico. El componente empírico se refiere principalmente a la observación; el teórico, a la interpretación y explicación de la observación. Se explica un evento natural cuando puede ser derivado como teorema, mediante un proceso de razonamiento a partir de: un conocimiento de las condiciones naturales significativas que le anteceden y uno o más principios significativos, llamados postulados.

Se generan conjuntos o familias de teoremas, y a menudo se emplean teoremas para deducir otros teoremas; así se crea jerarquía lógica parecida a la de la geometría ordinaria. Una jerarquía de familias de teoremas interrelacionados, todos derivados de un mismo conjunto de postulados consistentes, constituyen un sistema científico.

Es la filosofía especial de la psicología como ciencia del comportamiento, entendido éste como la interacción entre el individuo y su contexto físico, biológico y social, cubriendo así un amplio rango de fenómenos psicológicos en los planos lingüístico-cognitivo, emotivo-motivacional y motor-sensorial. [71]



Figura 1.1. Chaman en el mural sur de la Biblioteca Central, autor Juan O'Gorman. (Imagen de archivo personal). [97]

En esencia, un evento psicológico es un campo de factores que participan por igual y deben describirse analizándolos y encontrando cómo están relacionados. El campo configura un episodio integrado que se denomina "segmento conductual" (K), en el que se pueden distinguir las siguientes variables:

$$K=(es, o, f e-r, s, hi, ed, md)$$

Su descripción es la siguiente:

1) Objetos y eventos de estímulo (**es**): Cuerpos y acontecimientos fisicoquímicos que hacen contacto directo/indirecto con el organismo.

2) Variables orgánicas (**o**): Sistemas reactivos biológicos que interactúan con cambios energéticos o convencionales del entorno.

3) Función de estímulo-respuesta (**f: e-r**): Sistema de afectación recíproca entre estímulos y respuesta, que han sido históricamente configuradas.

4) Factores situacionales (**s**): Variaciones del organismo o diferentes de él, que afectan la interacción actual.

5) Historia interconductual (**hi**): Segmentos interactivos previos dados por la biografía reactiva y la evolución del estímulo, que probabilizan los contactos actuales.

6) Eventos disposicionales (**ed**): Compuesta por los dos anteriores, consiste en colecciones de eventos pasados (**hi**) y presentes (**s**) que facilitan o interfieren con el establecimiento de una interacción.

7) Medio de contacto (**md**) Conjunto de circunstancias fisicoquímicas, ecológicas o normativo-convencionales (propuesto por E.Ribes), que posibilitan una interacción.

Aunque los psicólogos interconductuales comparten lo esencial del modelo de campo kantoriano, existen algunas variaciones entre ellos, que permiten identificar diferentes venas históricas de influencia.



Figura 1.2. **J. R. Kantor** (1888-1984). Foto de Wikipedia

En 1975 J. R. Kantor enuncia dos razones principales para especificar las diferencias entre la psicología y otras ciencias: a) para alcanzar un entendimiento del objeto de estudio y b) el organismo psicológico es al mismo tiempo un ente biológico y físico. De aquí se desprenden las siguientes afirmaciones:

1. **Las interacciones físicas** pueden ser descritas en términos físicos de fuerzas, por lo que las leyes físicas se refieren a cambios de energía entre objetos. Aun cuando algún tipo de acciones del individuo están determinadas (considerando al individuo como una masa física) por ciertas fuerzas, la física no da cuenta de las interacciones más complejas que la psicología estudia. Así pues, los objetos físicos se caracterizan por la propiedad de la inercia, o sea que no actúan a menos que otro objeto opere directa e inmediatamente sobre ellos.

2. **Las interacciones biológicas** no son simplemente cambios de energía aún cuando la energía puede estimular al organismo provocando una respuesta, pero la acción es diferente, por eso éstas se llaman interacciones responsivas. Tal parece que Kantor compara este modelo biológico con el conductismo Watsoniano, ya que lo formula en base a los parámetros del reflejo, estímulo y respuesta. Agrega que el ser humano es considerado un organismo biológico hasta que esté desarrolla una historia de conducta psicológica, y la característica principal en la interacción es la irritabilidad del organismo biológico.

3. **Las interacciones psicológicas** son ajustivas, a diferencia de las interacciones biológicas que son constantes, por su razón de mantener ciertas funciones primordiales para el mismo organismo; por el contrario, las interacciones psicológicas son más flexibles. Así cuando se ejecuta una acción el individuo escoge diferentes formas de realizarla, y esto se da por la medida en que un sujeto interactúa con las cosas, mientras más interacciones, más diferentes formas de éstas.

El autor ha encontrado necesario estudiar no solo los eventos que se incluyen propiamente en el dominio psicológico, sino también la naturaleza de la ciencia misma, su lógica o sistemología y la relación de la psicología con algunas otras ciencias. Incluso más allá de esto, ha tenido que examinar las raíces culturales de varias ciencias incluyendo la psicología, porque la ciencia misma no es simple ni es una isla en el océano de eventos humanos. [116]

La **psicología conductista** es una corriente de pensamiento con tres niveles de organización científica, que se complementan y retroalimentan recíprocamente: *el conductismo, el análisis experimental del comportamiento y la ingeniería del comportamiento*. Esta última comprende a su vez toda una gama de aplicaciones tecnológicas tanto en el campo de la terapia como de la modificación de conducta. [71]

La ingeniería del comportamiento se puede definir sumariamente como la aplicación práctica de conocimientos científicos para la elaboración, perfeccionamiento y manejo de técnicas de establecimiento, mantenimiento o eliminación de conductas humanas. En tal sentido, se entronca con la psicología conductista y con los hallazgos y principios del análisis experimental del comportamiento.

Los trabajos de investigación sobre los principios del aprendizaje son el marco sobre el que se han desarrollado múltiples tecnologías de ingeniería del comportamiento, como la Terapia de Conducta, la Modificación de la conducta, el Análisis Conductual aplicado, e inclusive algunas formas heterodoxas que incorporan otras nociones teóricas y filosóficas (las terapias conductual-cognitivas y las cognitivo-conductuales).

Con ellas resulta posible el tratamiento de una inmensa variedad de problemas en los campos clínico, educativo, comunitario y organizacional, la salud, el deporte, las emergencias, la gerontología y la psicopatología, entre otros, con unos índices de eficacia razonablemente altos. Cabe destacar que los sujetos de intervención pueden ser tanto individuos y parejas, como grupos sociales y familiares.

Desde hace tiempo la División de Psicología Clínica de la Asociación Psicológica Americana (APA) ha evaluado la eficacia de los tratamientos psicológicos. El amplio rango de procedimientos tecnológicos agrupados bajo la denominación de ingeniería de la conducta puede dividirse en dos tipos genéricos cuyas relaciones se sintetizan en la composición de la secuencia de tres términos:

- a) Tecnología del control por el estímulo (estimulación discriminativa), y
- b) Tecnología de administración de contingencias (actuación - hecho reforzante).
- c) Tecnologías mixtas y tecnologías heterodoxas

A la tecnología de tipo (a) corresponde el desarrollo primario de la terapia conductual, a la de tipo (b) el desarrollo de la modificación de conducta o análisis conductual aplicado, y a la de tipo (c) el desarrollo de las terapias de aprendizaje social, conductual-cognitiva y cognitiva-conductual. [15]

Las técnicas de *ingeniería del comportamiento* que nosotros aplicaremos en nuestro experimento son las técnicas de exposición al estímulo, que son, en general, todas las que presentan al individuo una situación estimulante real frente a la cual se le piden respuestas de adquisición, mantenimiento o reducción de conductas respondientes u operantes en este caso operantes, las de discriminación de los colores.

1.2 La Física y la Psicología implican la Psicofísica.

El querer tener una relación entre la magnitud física de un estímulo y la respuesta conductual que éste causa, ha llevado a unir dos ciencias experimentales la Física y la Psicología, produciéndose una ciencia interdisciplinaria llamada *Psicofísica* que la podemos definir de la siguiente forma:

La psicofísica es el estudio científico de las relaciones entre la medición física de un estímulo y la percepción que ese estímulo causa. El objetivo de la psicofísica es medir cuantitativamente las magnitudes perceptuales, que son subjetivas.

La investigación en psicofísica comenzó principalmente en el sentido de la visión durante el siglo XIX, los fisiólogos Helmholtz y Weber, junto con **los físicos Fechner, Plateau, Maxwell y Mach**, crearon las primeras leyes.

La **Psicometría** intenta medir objetivamente lo subjetivo por medio de umbrales. Así, un ejemplo de experimento psicofísico es tratar de hallar el mínimo cambio necesario en la intensidad de una luz para que este cambio pueda ser percibido por parte del observador (umbral diferencial). El modelo matemático más sencillo que relaciona el cambio entre un evento físico y el percibido es conocido como la Ley de Weber-Fechner. [32][56][60][69][109]

La idea fundamental de la psicofísica consiste en la demostración que se da de una relación matemática entre lo psíquico y lo físico, de manera que los hechos psíquicos son susceptibles de medición. De este modo estudiará la relación que se produce entre los estímulos físicos y los procesos sensoriales.

Los métodos principales de la psicofísica actual son tres: el del *error medio*, que fue expuesto por A. W. Volkmann; el de los *estímulos constantes*, y el de los *límites*. Los esfuerzos de los psicofísicos contemporáneos se dirigen sobre todo a la construcción de *escalas subjetivas de sensación* cada vez más fiables.

En la época de la constitución de la psicología como ciencia *H. L. F. von Helmholtz (1821-1894)*, físico y fisiólogo alemán, impulsaría los estudios iniciados por la psicofísica en torno a la relación entre la mente y la fisiología. Se interesaba por la conducción nerviosa de las sensaciones y dedicó gran parte de su vida a desarrollar su idea de la unidad de los fenómenos naturales. Analizando diversos procesos y fenómenos fisiológicos con los instrumentos de la física llegó a una especie de versión materialista del kantismo, según la cual las sensaciones no reproducen las cosas sino que dependen, esencialmente, de las diferentes fibras nerviosas estimuladas y de sus diferentes conexiones centrales: sólo la relación entre sensaciones, en su regularidad, reflejan la regularidad objetiva de los fenómenos.

Sus ideas eran afines al empirismo psicológico británico en contra de la tradición innatista continental. En cuanto a la percepción, argumentaba que debe de contener muchos datos de la experiencia que no están representados de forma inmediata en el estímulo y que dichos datos son, en cierto sentido, adiciones que se le hacen a la percepción de acuerdo con experiencias pasadas.

Fenómenos a los que denominó *inferencias inconscientes*, pues en última instancia los consideraba formados por analogía con las inferencias conscientes y de este modo, derivados de un proceso inductivo.

No hay una fórmula general, hasta este momento, que describa, para todos los sistemas sensoriales una relación entre el estímulo físico y el juicio de este estímulo. La dificultad básica es que la psicología intenta tratar al cerebro como si fuese una caja negra. El experimentador estudia las entradas y las salidas, a partir de los resultados procura deducir la estructura y el funcionamiento del interior de la caja. [35]

La dificultad de habérselas con una caja negra consiste en que, a no ser que la caja sea de suyo muy simple, se llega pronto a que varias teorías rivales explican todas ellas, igualmente bien, los resultados observados. Los intentos de decidir entre las mismas acaban siendo en muchos casos infructuosos, pues a medida que se hacen más experimentos se revelan más y más complejidades. En este punto no cabe otra elección que echar un vistazo dentro de la caja para ver si el asunto ha de decidirse de un modo o de otro.

El cerebro es sin duda tan complejo que las posibilidades de predecir su comportamiento a base tan solo de un estudio de sus partes son demasiado remotas. Hay que combinar el estudio del comportamiento con estudios paralelos del interior del cerebro. Debemos estudiar la estructura y la función, pero no sólo desde afuera de la caja negra sino también por dentro de la misma. (Crick, 1985).

El área de investigación en la cual los psicólogos estudian el vínculo entre la variación de la característica específica de la estimulación ambiental (dimensión física) y los atributos y magnitud de la experiencia subjetiva (dimensión psicológica) es la psicofísica, y la metodología usada para describir la relación entre las dimensiones física y psicológica es el método psicofísico.

Las dimensiones físicas de la estimulación se han identificado y medido razonablemente bien; así como su variación a lo largo de una dimensión de intensidad, también adquieren una variedad de formas: fónica, eléctrica, vibratoria y mecánica, térmica y química.

Determinar la manera en que estas dimensiones se relacionan con la experiencia subjetiva, es lo que importa en un enfoque experimental de gran alcance para la cuantificación en la psicología.

Algunos aspectos principales de la psicofísica se centran en la medición del umbral y la determinación de la función relacionando la cantidad de energía física con la magnitud percibida (o juzgada) de la sensación resultante. Si bien el enfoque se apoya en el criterio humano, no se deben ignorar las crecientes obras acerca de la psicofísica animal (Stebbins, 1970). [56]

Tres investigadores han desarrollado leyes psicofísicas, Weber, Fechner y Stevens.

Ernest Heinrich Weber (1795-1878), médico alemán, establece una relación cuantitativa entre la magnitud de un estímulo físico y cómo se percibe dicho

estímulo. Weber observó que cuanto mayor es la intensidad física de un estímulo mayor tiene que ser su incremento para que la variación sea perceptible. De esta ley que es el objeto de nuestro estudio hablaremos más adelante.

Gustav Theodor Fechner (1801-1887), Físico, Médico y Teólogo, se interesó en medir la energía mental de la misma manera que un físico mide la energía física. Fechner percibió que la mente podía trabajar muy bien mediante principios propios, pero que estos principios, aunque legítimos en sí mismos, no podía corresponder directamente a las leyes físicas del universo. Fechner en 1860 publicó "*Elementos de Psicofísica*".

Stanley Smith Stevens (1906-1973) estableció que las relaciones entre las intensidades de los estímulos y la magnitud percibida es una elevación a la potencia, y que es distinta para las distintas percepciones (ley de la potencia de Stevens). [69]

1.3 Los Términos de la Psicofísica.

El primer paso para entender los métodos psicofísicos es conocer los términos fundamentales implicados.

El primero de estos términos es *el estímulo*. El estímulo (del Latín *stilus*, que significa estaca para clavar o aguijón) se define como una *energía física* que produce actividad nerviosa en un receptor; por ejemplo la luz activa el ojo, el sonido al oído, y el calor a la piel. El estímulo no es el objeto de estímulo. El estímulo es, por ejemplo, la energía luminosa que choca con el ojo, mientras que el objeto de estímulo es la fuente luminosa, una lámpara.

Un *receptor* se define como una estructura anatómica sensible a los estímulos físicos. Son receptores el ojo, el oído, la nariz, la lengua, la piel, los músculos y el aparato vestibular. Un receptor responde al máximo a su estímulo adecuado y parcialmente a estímulos inadecuados; de modo que, el ojo responde al máximo a la estimulación con energía luminosa y sólo parcialmente a la estimulación con energía eléctrica.

La sensación se define como el simple correlato experimentado de la estimulación del receptor; la sensación es un acontecimiento "interno" separado de los objetos externos. Todas las sensaciones se caracterizan por su intensidad (se les describen, por ejemplo, diciendo que son "fuertes", "débiles", "brillantes", "oscuras"); su calidad (por ejemplo, "rojas", "azules" , "cálidas", "dolorosas) y su duración (por ejemplo, "largas", "cortas", "breves", "interminables"). [32]

Algunas sensaciones se caracterizan por su extensión (y se les describe, por ejemplo, diciendo que son "amplias", "cortas", "pequeñas","delgadas"). La sensación depende del nervio sensitivo estimulado y no del estímulo; por ejemplo las sensaciones visuales resultan de las descargas de las fibras del nervio óptico,

sea esta iniciada por la energía luminosa que estimula al ojo, o sea por la energía eléctrica que estimula al nervio óptico.

Esta es la doctrina de las energías específicas de los nervios enunciada por el fisiólogo alemán Johannes Müller en el siglo XIX: *“La misma causa externa (el estímulo) ocasiona distintas sensaciones en cada sentido de acuerdo con las dotes especiales de su nervio...El nervio de cada sentido parece ser apto para un solo tipo de sensación, y no para aquellas propias de otros órganos sensibles; de ahí que el nervio de un sentido no pueda tomar el lugar ni cumplir la función del nervio de otro sentido”*.

Se define la *percepción* como la interpretación significativa de las sensaciones como representantes de los objetos externos; la percepción es el conocimiento aparente de “lo que está ahí afuera”.

Thomas Reid, filósofo escocés del siglo XVIII, hizo la primera distinción clara entre sensación y percepción al notar que el lenguaje confuso describía a ambas con palabras idénticas: *“Cuando huelo una rosa, hay sensación y percepción en esta operación”*.

Las sensaciones y las percepciones son notablemente disímiles. Un olor (sensación) difiere de un objeto coloreado (percepción). Un sabor a sal (sensación) del sabor de la sal (percepción).

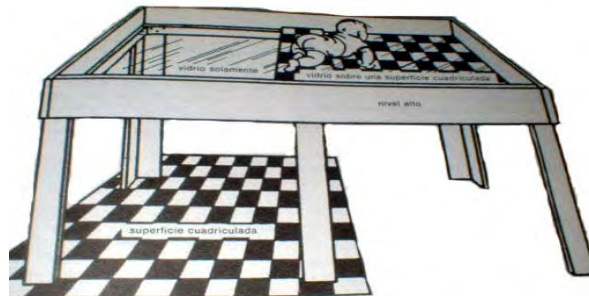


Figura 1.3. El riesgo visual prueba el carácter innato de la percepción de la profundidad. Cuando un niño (o un animal) se traslada al nivel alto, “seguro”, se cree que ha percibido la profundidad. (Cohen, 1982)

Los filósofos han discutido el origen de las percepciones, algunos han propuesto una fuente innata (nativismo) y otros han propuesto el aprendizaje (empirismo). Hermann von Helmholtz, distinguido psicólogo fisiológico y empirista del siglo XIX, propuso la teoría de que las percepciones surgen en virtud de un proceso de inferencia inconsciente. Las combinaciones de sensaciones se asocian por repetición a un nuevo objeto externo y a la memoria conservada. El perceptor compara inconscientemente las sensaciones presentes con las sensaciones almacenadas.

Las percepciones son las únicas representantes internas de los objetos externos, la reflexión de la materia en la mente. Desde el punto de vista empírico,

los receptores son la única puerta para la transmisión hacia el interior de la información externa. Los sabios antiguos nos dejaron anotadas sus creencias: Aristóteles afirmó: *“No hay nada en la mente que no pase a través de los sentidos”*; y Leonardo da Vinci escribió: *“Todo nuestro conocimiento tiene su origen en las percepciones.”*

El obispo de Cloyne, Irlanda George Berkeley (cuyo nombre ha sido inmortalizado en una ciudad universitaria de California, USA), llevó la doctrina a una conclusión sorprendente. En su trabajo de 1709, *Un ensayo para una nueva teoría de la visión*, puso en duda la existencia de un mundo externo; *“la materia no genera la mente”*, insistió, *“sino que la mente genera la materia (Esse est percipi-la percepción es la realidad)”*.

La sensación y la percepción son la base de la mayor parte del diseño de máquinas en el siglo XX. Numerosos procesos psicológicos como el aprendizaje, memoria, creación y discriminación son procesos de las capacidades perceptuales del organismo. La interacción de grupo y la personalidad son frecuentemente deformadas por las sensaciones y percepciones; la dinámica de grupos y la dinámica de la personalidad que se investiga haciendo un análisis de estas anamorfosis.

En nuestro estudio el cambio en la percepción de los objetos debido a la modificación de las intensidades luminosas de las fuentes iluminantes, crean una disminución en la sensación y por ende la percepción es modificada.

1.4 El Umbral

En los experimentos psicofísicos, el experimentador presenta al sujeto un estímulo o una serie de estímulos. Está interesado en descubrir si el sujeto percibe el estímulo o un cambio en él. El experimentador puede descubrir si ha ocurrido la percepción registrada en la respuesta del sujeto.

En este experimento estamos interesados en saber si el sujeto percibe o no el estímulo o un cambio en el estímulo. El punto en que se percibe el estímulo un 50% de las veces, o el punto en el que se percibe un cambio en el estímulo un 50% de las veces, a este punto en el cambio de la percepción del estímulo se le llaman umbral del sujeto, o limen.

La elección del punto correspondiente al 50% en vez de otra cifra, es arbitraria. El que se escoja un porcentaje arbitrario como umbral, indica que éste no es un valor absoluto, sino una aproximación estadística. [54][70]

Durante el estudio de la relación de determinados rasgos del estímulo con los atributos de la experiencia, se plantea una pregunta experimental importante y específica. ¿Cuál es la cantidad mínima de energía estimulante necesaria para

detectar un estímulo? Esto es, cuan intenso tiene que ser el estímulo a fin de que el observador distinga con plena confianza la presencia o la ausencia del mismo.

El estímulo potencial tiene que ser de una intensidad mínima y de una duración para provocar determinado grado de sensación. Si la magnitud del estímulo es demasiado débil, no produce una respuesta de detección, se dice que la magnitud del estímulo es subumbral o subliminal: en contraste, los valores del estímulo superiores al umbral se llaman supraumbrales o supraliminales.

El estímulo mínimo detectable no es absolutamente fijo y varía considerablemente según la modalidad investigada, las condiciones de prueba y con varios factores de observador y experimentador. Existe un conjunto tradicional de procedimientos que se utilizan para determinar el umbral. Uno de los más sencillos es el método de límites o método del cambio mínimo.

Por ejemplo, para determinar el umbral absoluto con objeto de detectar una luz, se podría comenzar con una luz suficientemente intensa para que la perciba un sujeto y luego, reducir en forma sistemática su intensidad, de acuerdo a pequeñas etapas graduadas con un atenuador de luz hasta que el sujeto diga que la luz ya no es detectable.

Luego se registra ese nivel de intensidad y enseguida se muestra la luz en un nivel todavía más tenue, pero ahora se aumenta gradualmente el nivel de intensidad hasta que el sujeto diga que apenas es perceptible. Tras varios intentos ascendente y descendentes, se calcula el promedio con base en los niveles de energía en los cuales el estímulo apenas es casi indetectable y apenas perceptible.

Esto se utiliza como medida estadística del umbral para ese sujeto, en las condiciones generales de la prueba. La detección de una luz es en gran parte cuestión de las condiciones generales de iluminación y de la previa exposición del sujeto a la luz. La función de las condiciones presentes y previas a la estimulación se aplica a todas las modalidades sensoriales. [32]

Otra técnica que se utiliza para determinar el umbral absoluto, llamado método de estímulos constantes, requiere una serie de ensayos de opción forzada. En este caso, el número fijo de estímulos de diferentes intensidades se presenta individualmente, muchas veces en un orden al azar.

El concepto de umbral absoluto supone que existe un punto de estímulo preciso en cuanto a la intensidad o dimensión de energía, que cuando se administra se vuelve apenas perceptible. Por lo tanto no se detectará el estímulo que tenga una sola unidad más débil, si así fuera, entonces se tendría por resultado alguna forma de curva hipotética como aparece en la figura 1.4.

El sujeto no detectaría el estímulo hasta que se alcanzara cierto nivel de energía (por ejemplo, 4 unidades de energía, en la figura) en cuyo punto y arriba del cual, el estímulo se detecta el 100 por ciento de las veces.

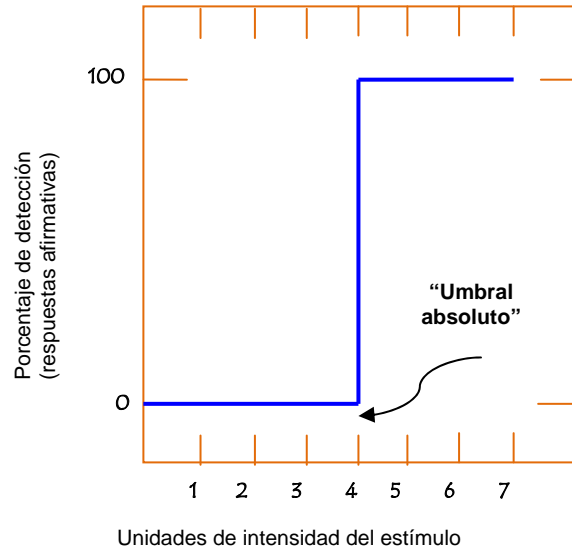


Figura 1.4. Curva hipotética que relaciona la intensidad del estímulo con el umbral absoluto. Teóricamente, a 4 unidades bajo la intensidad del estímulo, no se detecta ninguno, en tanto que arriba de 4 unidades el estímulo se detecta el 100% de las veces. (Schiffman, 1983)

En el caso de los tonos, por ejemplo, el resultado sería que se escucharía un sonido o bien, un silencio absoluto; sin embargo, esto raramente sucede. La investigación del laboratorio típicamente produce curvas ojivales o signoidales como se muestran en la figura 1.5. Esto indica que a medida que aumenta el nivel de la energía, aumenta la probabilidad de que se detecte el estímulo.

Se puede concluir que no existe un solo valor inmutable o absoluto que represente la energía de estímulo mínima necesaria para detectar una respuesta, es decir, no existe un punto fijo que separe los niveles de energía que nunca producen una respuesta de detección, de aquellos que siempre lo hacen.

Como aproximación al nivel de umbral, los psicólogos han adoptado el concepto estadístico. Por costumbre se supone que el valor de umbral absoluto corresponde a la magnitud del estímulo que produce una respuesta de detección en la mitad de los ensayos de prueba o sea, el 50% de las veces.

Pueden medirse diferentes tipos de umbrales el primero que expondremos es el umbral diferencial o UD. Este umbral mide la percepción que el sujeto tiene de un cambio en el estímulo. [56]

Por ejemplo para medir el UD, pueden presentarse al sujeto dos tonos. Uno de ellos permanece igual en todos los ensayos. Se le denomina estímulo estándar. Además del estímulo estándar, se presenta al sujeto un segundo estímulo en cada ensayo, que debe comparar con el estándar. Este segundo estímulo varía de valor de un ensayo a otro; se le llama estímulo comparativo.

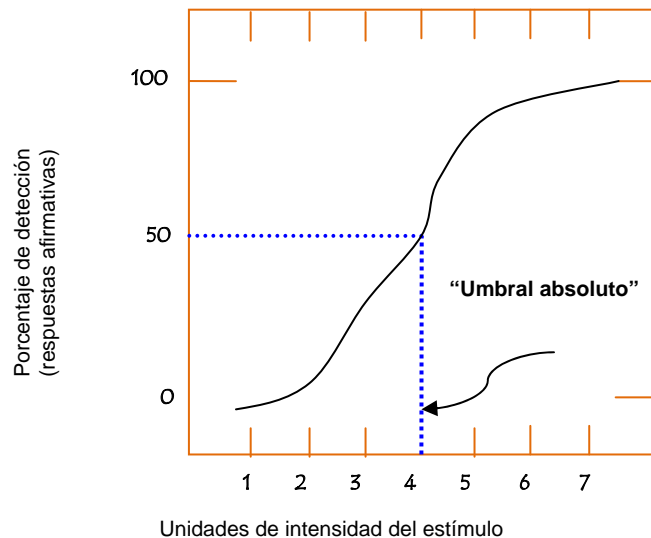


Figura 1.5. Función empírica de umbral, por lo común el umbral absoluto se define como la intensidad a que el estímulo se detecta en el 50% de los ensayos. Tomado de Psychology: Man in Perspective, de A. Boss, Wiley, Nueva York, 1973, pag 153). (Schiffman, 1983)

1.5 Ley de Weber

En 1834, E. H. Weber, fisiólogo alemán, investigó la habilidad de los sujetos para llevar a cabo tareas de discriminación. Observó que la discriminación era un aspecto de juicio relativo y no tanto absoluto.

Esto es, la razón de cambio, aumento o disminución en un estímulo necesario para detectarlo como diferente, es proporcional a la magnitud del estímulo. Por ejemplo, si añadimos una vela a un conjunto de 60 ya encendidas, da como resultado la percepción de una diferencia en brillantez, una vela añadida a 120 no tiene este efecto.

Para obtener el umbral diferencial de 120 velas, se necesitan por lo menos dos velas. Así, haciendo extensivo el ejemplo, el umbral diferencial (o cambio apenas perceptible) de la brillantez de 300 velas requiere 5 o más velas encendidas y para 600 velas, se necesitan otras 10 y así sucesivamente.

Existe un principio fundamental de la sensibilidad relativa y se conoce como *fracción (o la razón) de Weber* que se representa de la siguiente manera:

$$\Delta I / I = k \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde I es la magnitud de intensidad del estímulo en que se obtiene el umbral, ΔI es el incremento de intensidad del estímulo I , que produce una diferencia apenas perceptible, k es la constante de proporcionalidad resultante, que difiere para las distintas modalidades.

La ecuación denota que el incremento detectable mínimo (ΔI) en la secuencia de intensidad de un estímulo es una proporción constante (k) de la intensidad del estímulo original (I). De esta manera, en el ejemplo de la brillantez de las velas, las fracciones de Weber para 60, 120, 300 y 600 velas encendidas sería 1/60, 2/120, 5/300 y 10/600, respectivamente o $k = 1/60$.

En general k se obtiene calculando la proporción en que se tiene que cambiar un estímulo a fin de producir una diferencia apenas perceptible. Entre más pequeña sea la fracción, mayor será la capacidad de discriminación del observador para tal tarea. Algunas fracciones de Weber representativas para diferentes modalidades se dan en la tabla 1.1.

Sentidos	Fracción de Weber ($\Delta I / I$)
Visión (brillantez, luz blanca)	1/60
Cinestesia (pesos levantados)	1/50
Dolor (provocado térmicamente sobre la piel)	1/30
Audición (tono de agudeza media y de volumen moderado)	1/10
Presión ("punto" de presión cutánea)	1/7
Olfato (olor de goma de la India)	1/4
Gusto (sal de mesa)	1/3

Tabla 1.1. Valores representativos (de región intermedia) de la fracción de Weber para los diferentes sentidos. (Fuente: *Fundamentals of Psychology* de F. A. Geldard, Willey, Nueva York, 1962, pag. 93).

Se ha observado que la constancia de la razón no se mantiene en todos los niveles de intensidad con ninguna modalidad sensorial. Tiene una validez razonable en los alcances medios, pero la constancia de la fracción se viene abajo en los niveles de intensidad fuerte y débil en todas las modalidades (Boring 1942), lo que no quiere decir que se debe eliminar la fracción de Weber. [56][69]

El principio formulado por Weber perfeccionado por su alumno Fechner, que se ocupó de dar a esa relación empírica una forma matemática, denominándola: **Ley de Weber**.

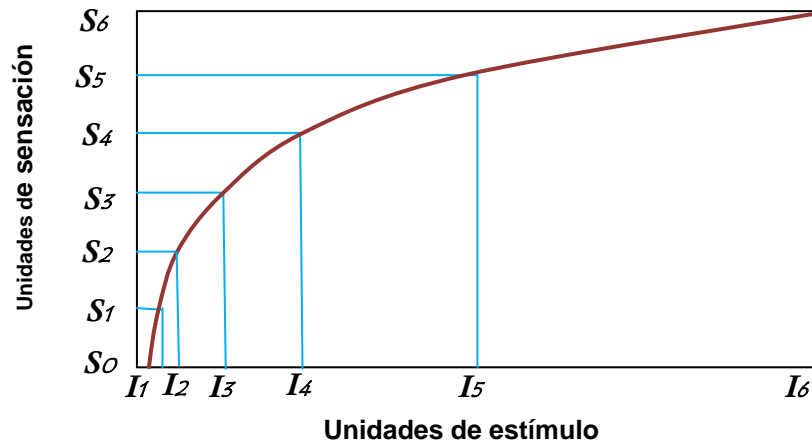


Figura 1.6. La relación entre la dimensión continua de sensación y la del estímulo según la Ley de Weber-Fechner. A medida que la sensación aumenta en etapas iguales (aritméticamente), la correspondiente dimensión continua de estímulo aumenta en etapas físicamente desiguales, pero proporcionales uniformes con la razón (geométricamente). De esta manera, las razones de estímulos

iguales: $\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_3}{I_2} = \frac{I_4}{I_3}$ y así sucesivamente, corresponden a los incrementos iguales en la escala de la

sensación. Una función logarítmica representa la relación entre una serie aritmética y una geométrica, por tanto, $S = k \log I$. (Fuente: Guilford, 1954, pag. 38)

La ley establece que: *el menor cambio discernible en la magnitud de un estímulo es proporcional a la magnitud del estímulo.*

La ley matemáticamente, tiene esta relación:

$$dS = k \frac{dI}{I} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde dS corresponde al cambio percibido en el estímulo, dI corresponde al cambio de magnitud del estímulo e I corresponde a la magnitud del estímulo. Integrando la ecuación anterior, se tiene:

$$S = k \log I + C \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde C es la **constante de integración**, y \log es el **logaritmo natural**. Para determinar el valor de C , se asigna a $S = 0$, es decir no hay sensación; y entonces:

$$C = -k \log I_0 \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde S es el nivel de estímulo por debajo del cual no se percibe sensación. Por lo tanto la ecuación resulta:

$$S = k \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

Lo que establece que la magnitud subjetiva o sensación (S) es proporcional (k constante que incluye la fracción de Weber) al logaritmo de la intensidad física el estímulo (I). [56]

1.6 Métodos Psicofísicos.

Según se ha observado, los juicios que se hacen en las tareas de medición psicofísica están significativamente influenciados por algo más que los simples factores que caracterizan al estímulo inmediato.

Helson (1947; 1964; Michels and Helson, 1949) propuso un método a esta cuestión llamado Teoría del nivel de adaptación. La teoría del nivel de adaptación (NA) afirma que cuando un observador hace juicios en cuanto a la magnitud de determinado atributo del estímulo, como peso, volumen, color, área, establece una escala personal o subjetiva sobre la cual se juzgan los estímulos.

De acuerdo con el atributo investigado, los valores del estímulo por encima del nivel de adaptación se perciben o se juzgan como "grande", "recio", "brillante" y así por el estilo, y los que están por debajo de él en la magnitud del estímulo, se perciben como "pequeño", "ligero", "débil", "suave", "tenue", y así sucesivamente. El NA representa el "centramiento" del observador respecto a la escala de estímulos que se le presentan y proporciona una medida del marco de referencia al cual se relacionan todos los juicios de determinada serie.

Helson identifica tres clases de factores del estímulo que afectan el establecimiento y conservación del NA. Dos de ellas tratan de factores que residen en el ambiente externo, designados como estímulos focales y estímulos de fondo.

Los estímulos focales se refieren a aquellos que el sujeto está respondiendo de manera directa, se trata de los estímulos que se hallan en el punto inmediato de la atención. Los estímulos de fondo aluden a todos los demás estímulos que ocurren dentro de los límites de la tarea experimental, principalmente los estímulos que proporcionan un contexto o fondo en el que ocurre el estímulo focal (es decir, el juicio de los estímulos previos; el fondo en el cual se coloca el estímulo focal).

La tercera clase de estímulos alude a los factores orgánicos internos llamados estímulos residuales. Por lo general, los estímulos residuales no son susceptibles al control experimental directo, constan de efectos tales como la experiencia pasada del observador, la práctica, los factores constitucionales y los estados fisiológicos.

En la formulación matemática de Helson, los valores aplicados a cada una de las clases de estímulos se les asignan una expresión cuantitativa. El método cuantitativo de la teoría del Nivel de Adaptación (NA), identifica tres influencias significativas sobre el juicio psicofísico, ante todo al establecer un marco de referencia o estándar de un observador con el cual se juzgan otros estímulos. Además de la sensación y la percepción, la teoría del Nivel de Adaptación se aplica a muchos aspectos de la psicología, entre ellos la conducta social, los procesos cognoscitivos y la personalidad (Parducci, 1968).

Hay varios métodos para determinar la función de potencia de una dimensión sensorial determinada, uno de ellos que es utilizado con mayor frecuencia es el llamado de estimación de magnitud, requiere una representación aleatoria irregular de una serie de estímulos que varían solamente a lo largo de una sola dimensión, por ejemplo la intensidad física.

El experimentador (o el sujeto) asigna un número a un estímulo estándar, llamado módulo, supóngase de 10 a 100, y se pide al sujeto que exprese números que indiquen su juicio de los estímulos relativos al estándar o módulo. El sujeto trata de cotejar la intensidad percibida de cada estímulo con un número relativo al módulo. Solamente existe una diferencia entre el juicio del observador y la escala final, a este método se le llama "métodos directos".

En el *método de intervalos aparentemente iguales* se le dan al sujeto todos los estímulos a la vez y se le pide que los reparta en categorías. El experimentador puede o no delimitar el número de categorías.

En el *método de fraccionamiento*, se pueden presentar al sujeto todos los estímulos comparativos a la vez. También se le presenta un estándar. Es su tarea escoger el estímulo comparativo que sea una fracción determinada del estándar que se examina. Por ejemplo, se le puede pedir que escoja un estímulo comparativo que sea un cuarto del tamaño del estándar. El experimentador puede pedir al sujeto que use cualquier fracción sugerida por él. Este método es en parte semejante al método de intervalos aparentemente iguales. Sin embargo, aquí se examina al sujeto con un solo estándar a la vez. Este método también se diferencia en que puede usarse cualquier fracción.

El *método de estimación de magnitudes* implica presentar al sujeto los estímulos y pedirle que asigne valores numéricos en relación con la magnitud percibida del estímulo. A menudo se presenta un estímulo de anclaje con un valor asignado por el experimentador. El sujeto puede usar este estímulo como punto de referencia para asignar valores a los otros estímulos. En nuestra investigación utilizaremos este método.

1.7 Elaboración de escalas en Psicofísica.

Cuando se usan números para diferenciar objetos o sucesos, se está usando una escala. Si un individuo se refiere a tres de sus amigos como 1, 2 y 3, en vez de llamarlos Tomás, Ricardo y Enrique, está usando una escala.

La psicofísica puede considerarse una técnica de elaboración de escalas. En la psicofísica el experimentador intenta traducir en números los fenómenos de la conducta, resultantes de percibir estímulos físicos. Trata de correlacionar la escala física del estímulo con la percepción o valor psicológico del estímulo.

Las técnicas de elaboración de escalas permiten asignar números a percepciones más complejas que las estudiadas en la psicofísica clásica. Por ejemplo, en la psicofísica el experimentador se interesa en un aspecto del estímulo. Cuando examina sonidos, puede pedir al sujeto que juzgue el volumen.

En este caso, se varía el nivel de decibel, mientras se mantienen constantes otros aspectos del estímulo auditivo, tal como la frecuencia. Pero supóngase que el experimentador está interesado en encontrar cual sonido del grupo es más “placentero”. Determinarán lo placentero del sonido una multitud de factores, como volumen, graduación del tono; estridencia; gravedad o agudeza, y las pasadas experiencias. ¿Se usaría un método de elaboración de escalas para hacer tal determinación, porque puede manejar más fácilmente que los métodos psicofísicos estos complejos fenómenos? Examinaremos cuatro estilos de escalas la *nominal*, *ordinal*, de *intervalo* y de *razón*.

Al usar números para diferenciar a los sujetos de experimentación, tenemos una *escala nominal*, una escala ordinal nos da el orden en que serán examinados, la escala nominal y la *ordinal*, diferencia a los sujetos de experimentación, nos permite comparar los resultados con respecto a sus atributos experimentales.

Tres de los métodos de elaboración de escalas más frecuentemente usados son los de *clasificación*, *ordenación* y *comparación por pares*. Comúnmente se utilizan estos tres métodos porque no es necesario conocer el valor físico de cada estímulo, para elaborar la escala psicológicamente. Además estos métodos son relativamente fáciles de aplicar e interpretar.

En el *método de clasificación* la tarea del sujeto es clasificar los estímulos en categorías. La clasificación da una escala ordinal, al analizar datos, se usan proporciones acumuladas, la gráfica de estas proporciones acumuladas da un cuadro de dispersión en las colocaciones hechas por los sujetos, en cada estímulo. Puede determinarse la dispersión de la colocación al examinar la pendiente de la curva de proporción acumulada. La dispersión es máxima cuando la pendiente de la curva es lineal y la proporción de 1.0 se alcanza en la última categoría.

El método de ordenación, semejante al método de clasificación en que se le pide al sujeto que coloque los estímulos en categorías, sin embargo, a diferencia de la clasificación, la ordenación requiere que solo se coloque un estímulo en cada categoría. En la ordenación el sujeto debe colocar los estímulos a lo largo de un continuo, de manera que un estímulo quede en primer lugar, otro en segundo, y así sucesivamente. El experimentador proporciona el continuo sobre el que los sujetos ordenan los estímulos. El sujeto puede colocar un estímulo en cada categoría. Esto es, sólo a un estímulo se le puede dar el primer lugar, a otro el segundo, etcétera. Como la tarea del sujeto es juzgar cuál estímulo tiene más o menos, de la cualidad que se está juzgando sin dar la magnitud de la diferencia, la ordenación produce una escala ordinal.

El método de comparación por pares. En este método se presentan al sujeto dos estímulos a la vez, y debe juzgar cuál de ellos tiene mayor cantidad de la cualidad que se considera. Se usa la siguiente fórmula para determinar el número de pares que serán examinados: $n(n-1)/2$ donde n es el número de estímulos que serán examinados. Esta fórmula da el número de pares que deben usarse para que se aparee cada estímulo al menos una vez con cada uno de los otros estímulos. [70]

Para nuestra investigación utilizaremos los tres métodos.



“El interés de la ciencia y el interés de la patria deben sumarse en el alma de todo estudiante mexicano”

Justo Sierra

CAPITULO 2: Psicofísica del Color.

2.1 El sistema óptico del ojo humano.

Para entender el sistema óptico del ojo humano es necesario hacer una breve reseña de cómo se caracterizó el estímulo visual a partir de las leyes de la óptica física.

La *Comimission Internationale de L'Éclairege*, (CIE, 2004), ha especificado que el intervalo de longitud de onda de las radiaciones visibles se encuentra entre 360 y 830 nm. [14]

No está claro por qué hemos evolucionado para ser sensible a longitudes de ondas electromagnéticas que van de los 400 a los 700 nanómetros ($10^{-9} m$). Una posibilidad es que las ondas electromagnéticas que son menores a los 400 nm dañan los tejidos vivos, y que las que son mayores a los 700 nm llevan asociado calor. El ojo humano contiene un pigmento llamado "pigmento macular" cuya presencia, parecen sugerir las investigaciones, protege a los ojos de las ondas electromagnéticas menores a los 400 nanómetros. [14][89]

El espectro visible es un segmento del inmenso espectro electromagnético invisible, que comprende a la radio, la televisión, los rayos X y los rayos ultravioleta.

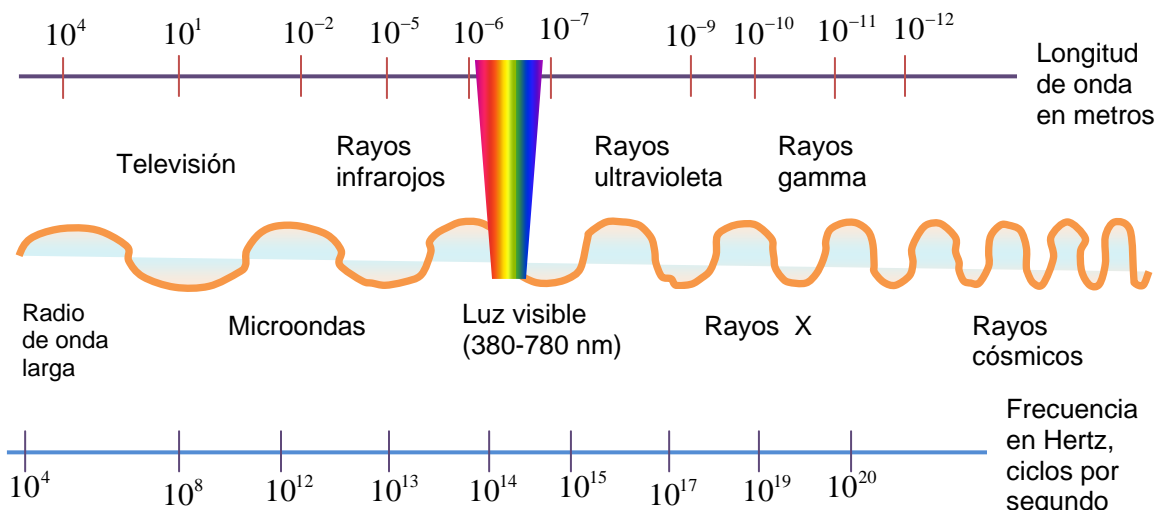


Figura 2.1.1. Esquema del espectro electromagnético. (Adaptado de: J. Cohen, *Sensación y percepción visuales*. Página 20). [32]

Cualquier estímulo visual puede especificarse: a) descomponiendo el estímulo en sus luces componentes con longitudes de onda que fluctúan de 400 a 700 nm, y b) registrando el nivel de energía de cada longitud de onda.

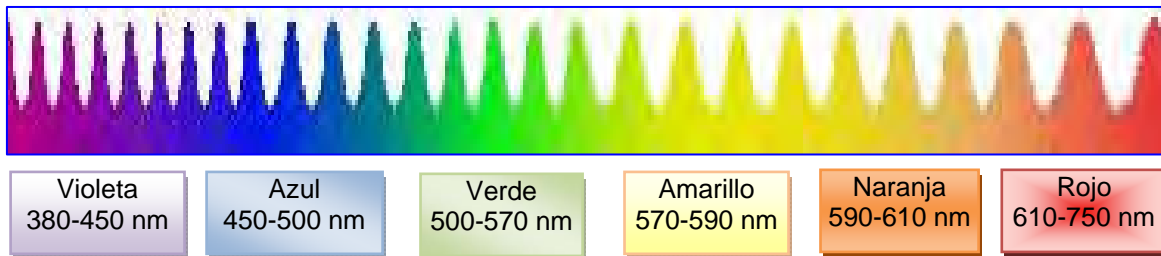


Figura 2.1.2. El espectro visible, son las ondas electromagnéticas que el ojo humano puede percibir. (Adaptado de: *Rainwater, Luz y color, ediciones Daimon. Página 10.*) [92]

Sir Isaac Newton, miembro de la Royal Society of London, fue el primero en tener la intuición de que las relaciones entre los estímulos luminosos y la percepción del color se podría representar con un modelo matemático. En los experimentos que realizó entre 1665 y 1666, Newton observó que la luz del sol que pasaba a través de un prisma se descomponía en una serie de colores (es el fenómeno de la "dispersión de la luz") debido a la diferente refractividad de los rayos que la componían.

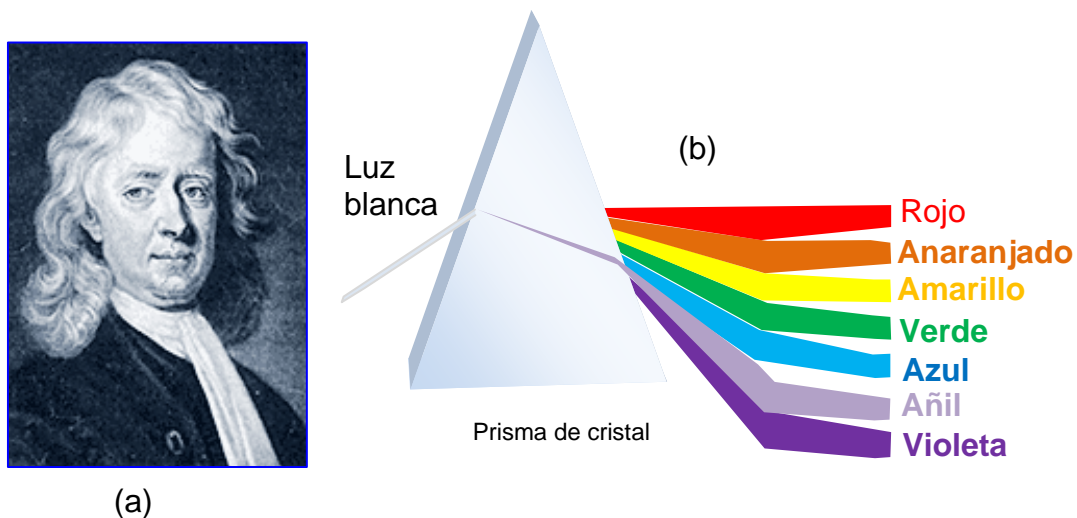


Figura No. 2.1.3. (a) Sir Isaac Newton. (b) La luz blanca, al pasar por el prisma, se dispersa en los colores del arco iris. (Adaptado de: *Stephen Westland, 2001, Colorimetría, Internet.*)

Newton llamó "espectro" (en latín *spectrum*, "imagen", "visión", también "fantasma"). Explicó el fenómeno con la hipótesis de que la luz del sol contenía rayos diversos con distinta refractividad y que se percibían como colores si se los observaba por separado. Cuando estos rayos se mezclaban, el aparato visual percibía colores distintos de los percibidos cuando estaban separados.

Newton sostuvo que el modelo adecuado para explicar la percepción del color era un círculo, que desde entonces se llamó "círculo cromático de Newton". Cada punto de ese círculo representaba un color. En la circunferencia del círculo

se disponían los colores espectrales, del rojo al violeta. Los colores en el interior eran colores no espectrales (es decir, que se obtenían mezclando colores espectrales).

En el centro del círculo se halla el blanco y en cada rayo que se une al centro con un color espectral, sobre la circunferencia, van los distintos tonos del color, en gradación desde el blanco (saturación nula) hasta el color espectral (saturación máxima). En su círculo, Newton indicó también los límites aproximados de los que consideraba los siete colores básicos, en relación con las proporciones de esos colores en el espectro.

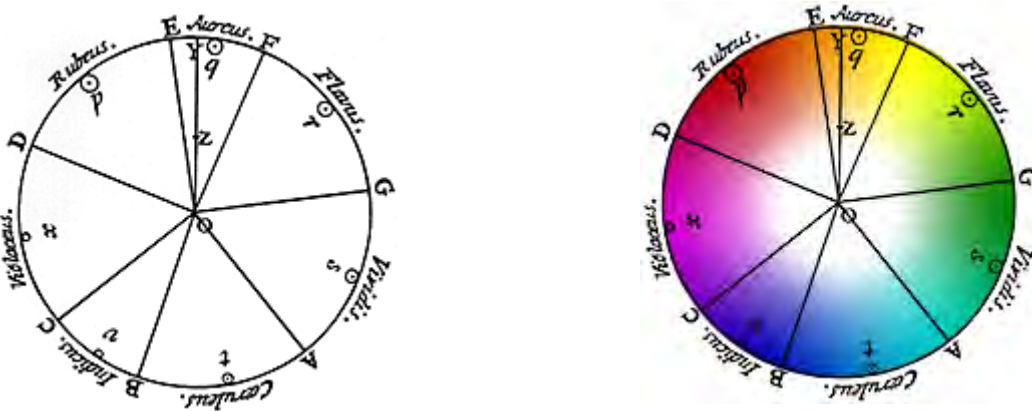


Figura No. 2.1.4. Disco de Newton. (Stephen Westland, 2001, *Colorimetría*, Internet.)

El ojo funciona de modo "integrador". Es decir, que suma todos los estímulos luminosos, sea cual sea su longitud de onda. [93]

El ojo humano puede considerarse como una disposición de *doble lente positiva* que forma una imagen real en una superficie fotosensible. Al parecer, esta idea fue propuesta, de manera rudimentaria, por Kepler (1604), quien escribió: "Afirmo que la visión se produce cuando la imagen del...mundo exterior...se proyecta sobre la...retina cóncava".

Este conocimiento fue bien recibido sólo después de que, en 1625, el jesuita alemán Christopher Scheiner, y, de forma independiente Descartes, cinco años más tarde, realizó un experimento interesante.

Scheiner quitó el revestimiento posterior del globo del ojo de un animal y mirando a través de la retina casi transparente desde atrás, pudo ver una imagen reducida e invertida de la escena que se desarrollaba delante del ojo. Si bien parece una cámara simple, el sistema visual (ojo, nervio óptico y corteza visual) funcionan más como una unidad televisiva de circuito cerrado. [58]

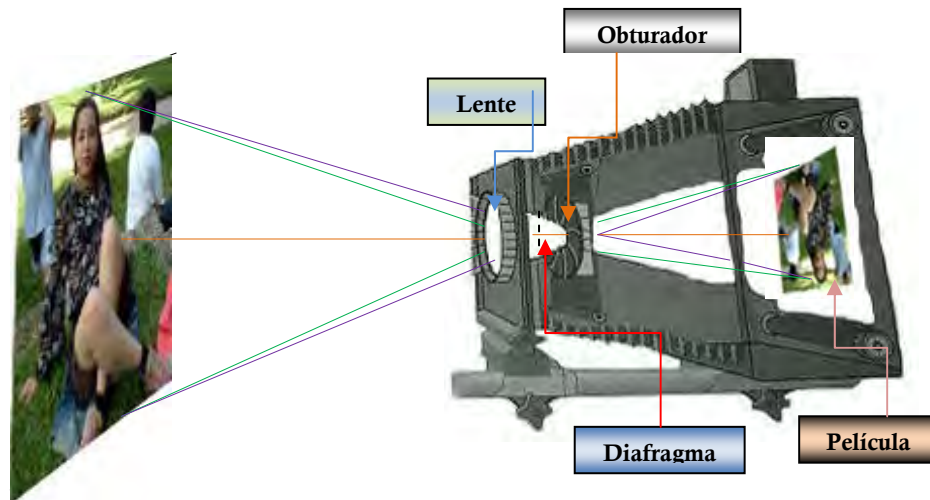


Figura 2.1.5. Una cámara de gran formato normalmente consta de un objetivo (lente), seguido de un diafragma ajustable, un obturador que puede abrirse y cerrarse rápidamente y una película en la que se forma la imagen. (Adaptado de: E. Hecht, *Óptica*, 3ª edición, p. 179). [58]

El ojo es una masa gelatinosa casi esférica, de 24 mm de largo y unos 22 mm de ancho, contenida dentro de una envoltura dura y flexible, **la esclerótica**. Excepto por la posición frontal o cornea que es transparente, la esclerótica es blanca y opaca.

Sobresaliendo del cuerpo de la esfera está la córnea, la superficie curva de la cornea, que está ligeramente aplastada reduciendo así la aberración esférica, sirve como el primer y más fuerte elemento convexo refractivo del sistema de lentes.

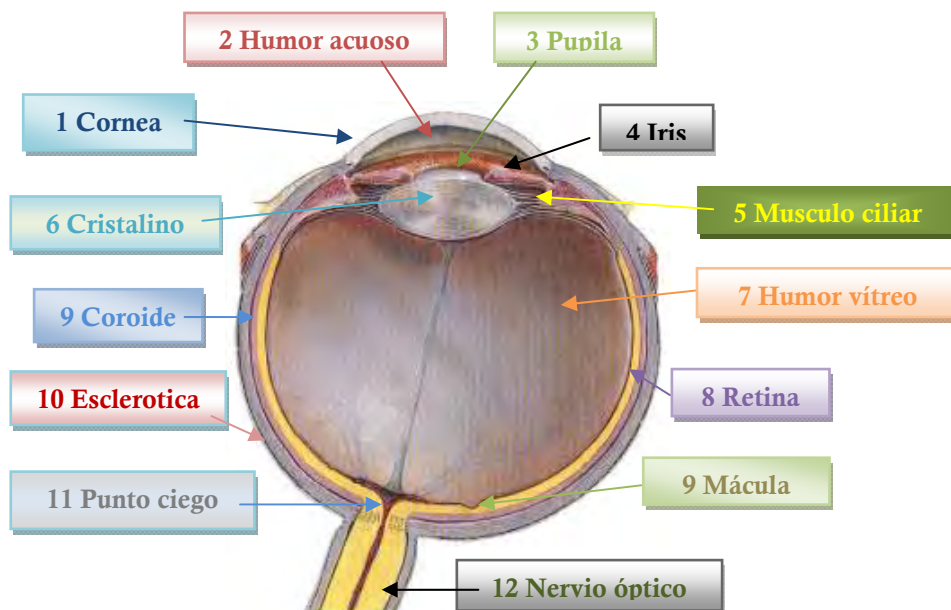


Figura 2.1.6. Partes principales del sistema óptico del ojo humano. (Adaptado de: E. Hecht, *Óptica*, 3ª edición, p. 179). [58]

Gran parte de la desviación impartida a un haz de rayos se da en la interfase aire- córnea. Una de las razones por las que no podemos ver muy bien por debajo del agua ($n_a=1.33$) es que el índice está demasiado cerca del de la córnea ($n_c=1.376$) para que pueda permitir una refracción adecuada.

Desde la córnea, la luz pasa a través de una cámara llena con un fluido acuoso denominado *humor acuoso* ($n_{ho}=1.336$) que nutre la parte anterior del ojo. Un rayo que hubiera sido fuertemente refractado hacia el eje óptico en la interfase aire-córnea, sería tan sólo ligeramente redirigido en la interfase córnea-humor acuoso debido a la similitud de sus índices.

En el humor acuoso está sumergido un diafragma conocido como *iris* que sirve como diafragma de apertura cuya función es controlar la luz que entra en el ojo a través de un agujero o pupila.

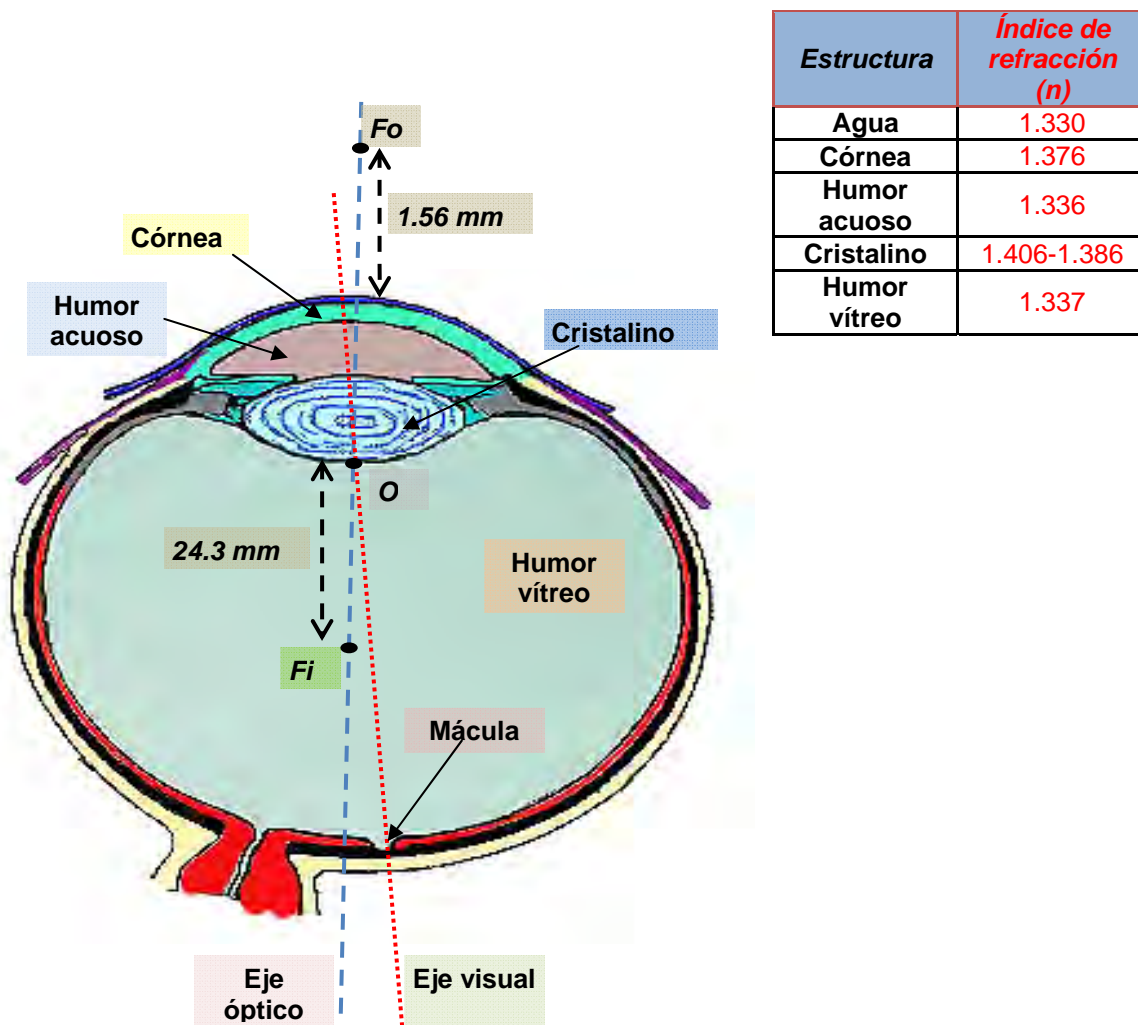


Figura 2.1.7. Tabla 2.1. En la figura observamos el eje óptico y el eje visual que llega a la mácula. En la tabla están expresados los diferentes índices de refracción por donde el haz luminoso pasa para llegar a la retina. (Adaptado de: E. Heccht, *Óptica*, 3ª edición, p. 208). [58]

Es el iris (palabra griega para arco iris), el que proporciona al ojo su característica *color azul, marrón, gris, verde o castaño*. Hecho de músculos circulares y radiales, el iris puede hacer expandir o contraer la **pupila** dentro de una gama que va de unos 2 mm en luz brillante hasta unos 8 mm en la oscuridad.

Aparte de esta función, también se relaciona con el proceso de enfoque, contrayéndose para aumentar la nitidez de la imagen y realizar trabajos finos.

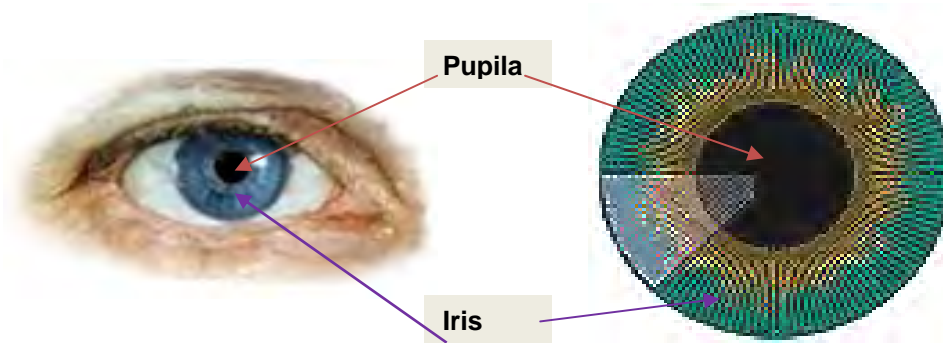


Figura 2.1.8. Es el iris el que proporciona al ojo su característica *color azul, marrón, gris, verde o castaño*. (Adams, Internet)

Detrás del **iris** se encuentra el cristalino, que funciona como una lente. El nombre que se presta a confusiones, data del año 1000 d.C y al trabajo de Abû Ali al Hassan ibn al Hassan ibn al Haitham, alias Alhazen del Cairo, quien dividió la descripción del ojo en tres regiones: acuosa, cristalina y vidriosa, respectivamente. El cristalino, que tiene tanto tamaño como la forma de una pequeña judía (9 mm de diámetro y 4 mm de espesor) es una masa compleja de capas fibrosas rodeada por una membrana elástica.

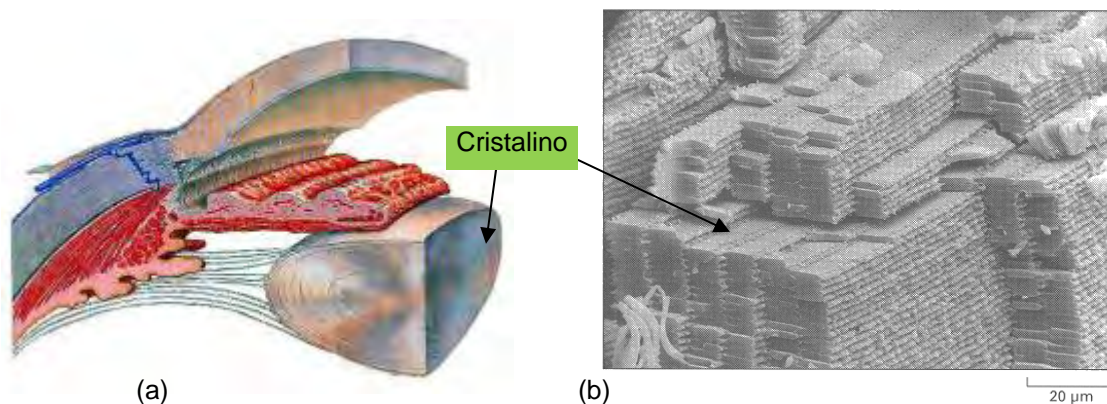


Figura 2.1.9. (a) Corte esquemático del cristalino; (b) Electromicrografía de barrido de una región del cristalino. Las fibras del cristalino se hallan densamente apiladas, como tablones en un almacén de madera. Cada fibra es una única célula muerta y alargada que puede alcanzar hasta 12 mm de longitud. (R. G. Kessel y R. H. Kardon, *Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy*. San Francisco: Freeman, 1970. Copyright, 1979 W. H. Freeman and Company.). [1][75]

Su estructura es similar a la de una cebolla transparente, formada aproximadamente de 22,000 capas muy finas y tiene algunas características notables que lo distinguen de los lentes artificiales que se usan en la actualidad, además del hecho de que su tamaño sigue creciendo. Debido a su estructura laminar, los rayos que lo cruzan siguen trayectorias formadas por diminutos segmentos discontinuos.

El cristalino es un conjunto, muy flexible, aunque dicha flexibilidad disminuya con la edad. Además, su índice de refracción varía de alrededor de 1.406 en el núcleo interior hasta aproximadamente 1.386 en la corteza menos densa, representando como tal un gradiente de índice o un sistema GRIN. Cuando la luz se propaga en un medio no homogéneo, los frentes de ondas básicamente disminuyen su velocidad en zonas ópticamente más densas, y aceleran en zonas de menor densidad, lo cual provoca una nueva curvatura. Una lente con un material no homogéneo, en el que haya un **GR**adiente en el **IN**dice de refracción se le conoce como lente **GRIN**, este tipo de sistema óptico proporciona un conjunto de parámetros con los que se controlan las aberraciones.

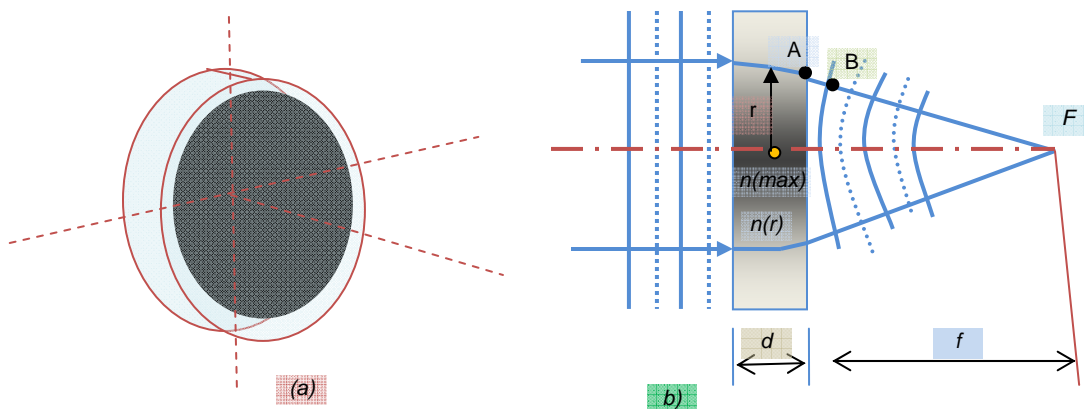


Figura 2.1.10. (a) Un disco de vidrio transparente cuyo índice de refracción disminuye radialmente desde el eje central. (b) Geometría correspondiente al enfoque de los rayos paralelos de un lente Grin. (Adaptado de: Hecht, *Óptica*, 3ª edición. Página 281). [58]

El cristalino proporciona el mecanismo de enfoque de alta definición cambiando su forma, es decir, tiene una distancia focal variable. La limitación de la transmisión ultravioleta en el ojo es impuesta por el cristalino que absorbe en el ultra violeta (UV). Las personas que han sufrido la pérdida del cristalino han mejorado enormemente su sensibilidad al UV.

Los mamíferos, como el hombre, generalmente llevan a cabo la acomodación variando la curvatura del cristalino, sin embargo existen otros métodos. Los peces mueven tan sólo el cristalino hacia la retina o lo alejan de ella, de la misma forma que se mueve el objetivo para enfocar. Algunos moluscos logran hacer lo mismo contrayendo o expandiendo todo el ojo, alterando así la distancia relativa entre el cristalino y la retina.

Los **componentes refractantes del ojo**, la córnea y el cristalino, pueden estudiarse como parte integrante de una lente efectiva de elementos dobles con un foco objeto de unos 1,56 mm frente a la superficie anterior de la córnea y un foco imagen de unos 24.3 mm detrás suyo en la retina. Para ejemplificar, podemos imaginar que el centro óptico de la lente combinada esté a 1.71 mm enfrente de la retina y que se haya precisamente en el borde posterior del cristalino.

Detrás del cristalino hay otra cámara llena con una sustancia gelatinosa transparente hecha de colágeno (un polímero proteínico) y ácido hialurónico (un concentrado de proteínas), denominado **humor vítreo** ($n_{hv}=1.337$) que da sustento al globo ocular. El humor vítreo contiene partículas microscópicas de tejido celular que flotan libremente en él. Sus sombras dibujadas con franjas de difracción pueden verse fácilmente entornando al ojo hacia una fuente luminosa o al observar el cielo a través de un agujero diminuto: en el campo de la visión flotarán objetos pequeños y extraños parecidos a las amebas.

Un aumento muy marcado en la percepción de estos cuerpos flotantes puede ser indicativo del desprendimiento de la retina. El ver objetos internos de esta forma se denomina percepción entópica.

Al interior de la dura membrana esclerótica se halla una envoltura interna, **la coroides**, una capa oscura, bien provista de conductos sanguíneos y bien pigmentada con melanina, que absorbe la luz parasita al igual que la cubierta de pintura negra en el interior de una cámara.

Una capa delgada (cuyo espesor varía entre 0.1 y 0.5 mm) de células receptoras luminosas reviste gran parte de la superficie interior de la coroides: se trata de la retina (del latín rete que significa red). El haz luminoso enfocado se absorbe a través de reacciones electroquímicas en esta estructura rosácea de capas múltiples.

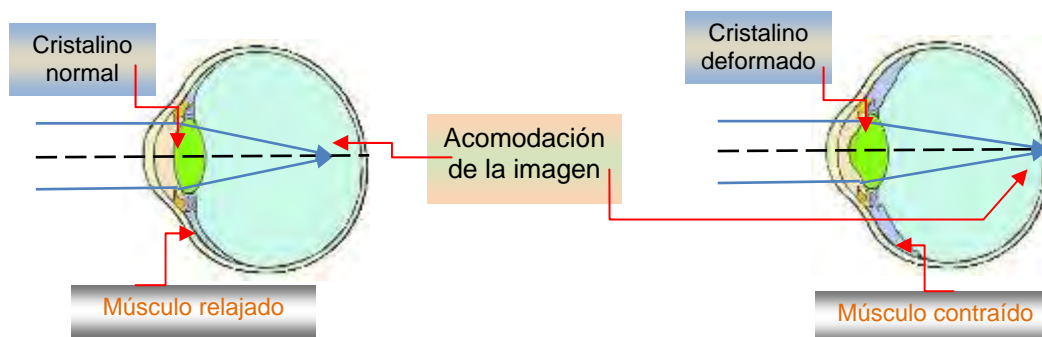


Figura 2.1.11. Acomodación de la imagen; cambios en la configuración del cristalino. (Adaptado de: E. Hecht, *Óptica*, 3ª edición. Página. 210). [58]

A medida que el objeto se acerca aún más, el yugo de los músculos ciliares se contrae con más tensión, la región circular que rodean se hace todavía más

pequeña mientras que el radio de las superficies del cristalino se reduce aún más. El punto más cercano que el ojo puede enfocar se denomina punto próximo.

En un ojo normal podría ser de 7 cm para un adolescente, 25 cm para un adulto joven y aproximadamente de unos 100 cm para una persona de mediana edad. El ojo no puede enfocar a dos objetos diferentes al mismo tiempo como podrá comprobarse si al mirar a través de una lámina de vidrio, tratamos de enfocar está y la escena que se halla detrás al mismo tiempo.

Para las aves de rapiña, que tienen que continuar enfocando un objeto que se mueve rápidamente en una amplia gama de distancias, pues se trata de un asunto de vida o de muerte, el mecanismo de acomodación es muy diferente. Acomodan cambiando notablemente la curvatura de la córnea.



Figura 2.1.12. El cárabo común se distribuye por Europa, Asia y norte de África, habita en bosques mediterráneos y caducifolios. En algunas ocasiones se encuentra en jardines y parques de las ciudades. *Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation.*

2.2 Transductores de señal en la sensación y percepción visual.

La Fotoquímica, estudia los cambios químicos y físicos provocados por la acción de la luz. Los fotoquímicos se ocupan de la interacción de la luz (en forma de fotones) con las moléculas, y de los cambios físicos y químicos resultantes.

La cantidad de energía que absorbe un compuesto orgánico es inversamente proporcional a la longitud de onda de la radiación:

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

Donde $\Delta E =$ energía que se absorbe en ergios

$h =$ constante de Planck, 6.6×10^{-27} erg – seg

$\nu =$ frecuencia en Hz

$c =$ velocidad de la luz, 3×10^{10} $\frac{cm}{seg}$

$\lambda =$ longitud de onda, en cm

En esta sección explicaremos como la energía se transforma en otras formas de energía hasta llegar a un impulso nervioso, un potencial de acción y de esta manera activar el sistema visual humano. [45]

La primera transformación de la energía luminosa es fotoquímica, en este proceso se observan los cambios químicos y físicos provocados por la acción de la luz, en forma de fotones, con las moléculas.

La primera ley de la fotoquímica, conocida como ley de Grotthuss-Draper, establece que para que tenga lugar una reacción fotoquímica, una sustancia química ha de absorber energía radiante, las moléculas que no absorben luz de una determinada longitud de onda, no experimentarán una reacción fotoquímica cuando sean irradiadas por luz de esa longitud de onda.

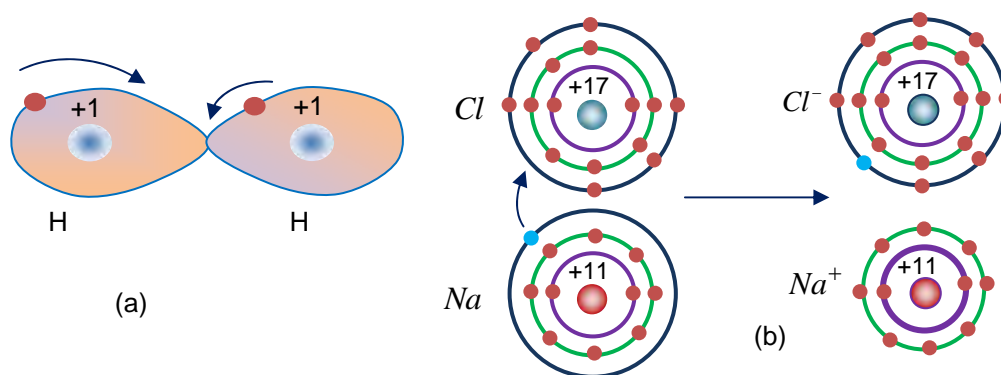


Figura 2.2.1. (a) Enlace covalente (Compartición de electrones). El nombre “covalente” se deriva de la distribución compartida, cooperativa, de electrones de valencia entre dos átomos adyacentes. (b) Enlace iónico (transferencia de electrones, fuerzas electrostáticas). Se transfieren electrones desde los átomos alcalinos a los átomos de halógeno y los iones resultantes se mantienen juntos debido a las fuerzas electrostáticas atractivas que aparecen entre los iones positivos y negativos. (*Conceptos de Física Moderna. A. Beiser. 2ª edición. Página 246*). [9]

La segunda ley de la fotoquímica, o ley de Stark-Einstein, afirma que por cada fotón de luz absorbido por un sistema químico, sólo se activa una molécula para la reacción fotoquímica.

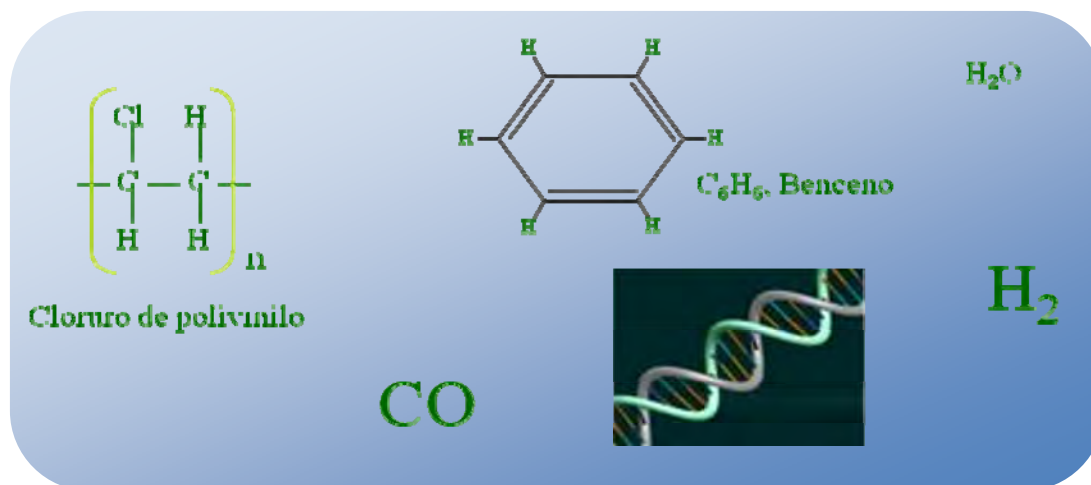


Figura 2.2.2. Una molécula está formada por la combinación de dos o más átomos, iguales o diferentes. Todas las moléculas de una sustancia están formadas exactamente de la misma forma. Los átomos que se encuentra en una molécula se mantienen unidos debido a que comparten o intercambian electrones. Esto depende del tipo de enlace. (*Apuntes de Física Moderna II. Profesor Dr. Orlando Hernández Cristobal. Facultad de Ciencias UNAM. 2007.*)

Esta ley se conoce también como ley de fotoequivalencia, y fue enunciada por Albert Einstein en la época en que la teoría cuántica sobre la luz estaba siendo desarrollada por el físico alemán Max Planck, el físico francés Louis de Broglie, y otros. La ley implica que cada fotón de luz sólo puede producir la reacción fotoquímica de una molécula que absorbe luz.

Una ley afín establece que la cantidad de fotorreacción que tiene lugar es directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tiempo de iluminación, más luz produce más fotoproducto.

Las fotorreacciones tienen lugar siempre que pueda producirse la absorción de luz que lleva a la molécula a un estado excitado que contiene más energía que el estado fundamental. Al contener más energía, la molécula excitada es más reactiva. La ventaja de la fotoquímica es que proporciona una vía directa y rápida para la reacción química. [45]

La frecuencia (ν) de la luz absorbida por la molécula multiplicada por h , la constante de Planck, debe ser igual a la diferencia de energía entre el estado fundamental de la molécula (E_1) y el estado excitado (E_2):

$$E_2 - E_1 = h\nu.$$

Cambiando la frecuencia de la radiación, es posible llevar selectivamente las moléculas a diferentes estados excitados. Así, pueden realizarse reacciones fotoquímicas totalmente diferentes, dependiendo de la frecuencia y del número y tipos de estados excitados disponibles en la molécula.

La mayoría de las sustancias químicas que absorben luz no reaccionan fotoquímicamente porque la molécula puede desactivarse rápidamente, perdiendo su energía antes de que pueda producirse la reacción. La vida media del estado excitado debe ser suficientemente larga para permitir la reacción.

La longitud de onda de la luz visible que se absorbe depende de la facilidad de la transición electrónica. Las moléculas que requieren mayor energía para dicha transición absorberán longitudes de ondas más cortas, mientras que aquellas que requieran menor energía absorberán a longitudes de onda más largas.

Los compuestos que absorben radiación en la región visible (es decir los compuestos coloreados) poseen electrones más fáciles de promover que los que absorben a longitudes de onda más corta, como el ultravioleta.

Dado que la absorción de energía por las moléculas esta cuantizada, cabe esperar que las transiciones electrónicas se produzcan a longitudes de onda discretas, en forma de un espectro de líneas o picos agudos.

Sin embargo, éste no es el caso, pues los espectros de luz visible suelen consistir en bandas anchas de absorción repartidas sobre un amplio rango de longitudes de onda.

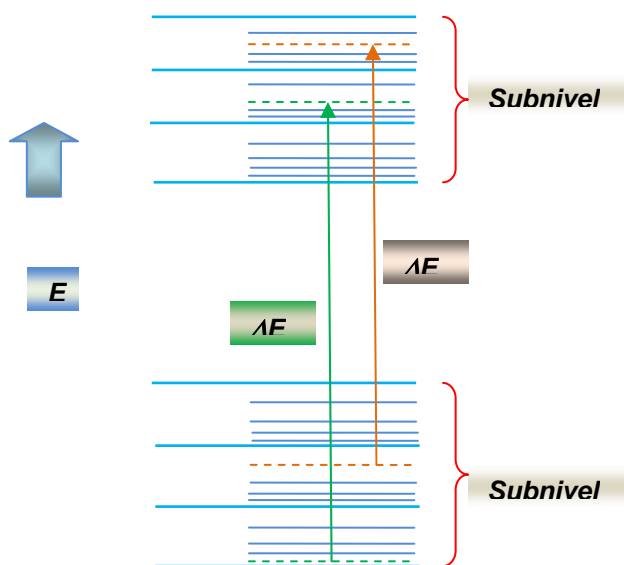


Figura 2.2.3. Representación esquemática de las transiciones electrónicas desde un nivel bajo de energía hasta otro elevado. (Fessenden, *Química Orgánica*. Página 926). [45]

El motivo de esta anchura en las bandas de absorción es que tanto el estado basal como el excitado de una molécula están subdivididos en una serie de subniveles vibracionales y rotacionales. Las transiciones electrónicas se pueden producir entre cualquiera de estos subniveles del estado basal y otro del estado excitado. [9][37]

Como todas estas diversas transiciones difieren muy poco en energía, las longitudes de onda de absorción correspondiente son también muy semejantes y los picos se superponen conjuntamente para dar la banda ancha que se observa en el espectro.

El estado basal de una molécula orgánica contiene los electrones de valencia en tres tipos principales de orbitales moleculares; orbitales sigma (σ), orbitales pi (π), y orbitales ocupados, pero no enlazados (n).

Tanto los orbitales σ como los π , surgen de la superposición o traslape de dos orbitales atómicos o híbridos. Cada uno de estos orbitales moleculares, por consiguiente, tienen asociado un orbital antienlazante σ^* o π^* .

Un orbital con electrones n no tiene un orbital antienlazante asociado (puesto que no se forma a partir de dos orbitales). Las transiciones electrónicas implican la promoción de un electrón desde uno de los tres estados basales (σ , π o n) a uno de los estados excitados (σ^* ó π^*). Hay seis posibles transiciones, de las cuales la figura 2.2.4 muestra las cuatro importantes, junto con las energías relativas.

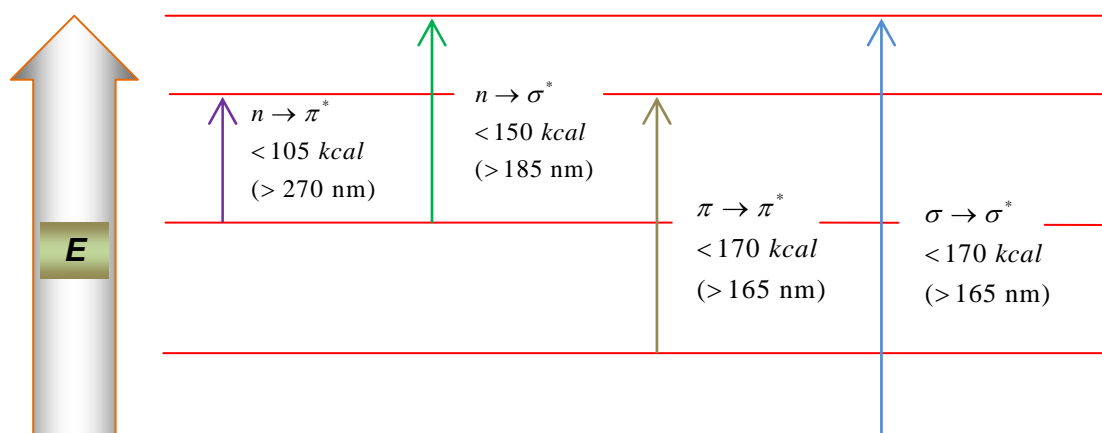


Figura 2.2.4. Requerimientos energéticos para las transiciones electrónicas importantes. (las longitudes de onda correspondientes se dan entre paréntesis). ((Fessenden, *Química Orgánica*. Página 928). [45])

El ojo humano contiene dos clases de células fotorreceptoras: los conos y los bastones. Unos 125 millones de ellas están dispuestas de manera no uniforme sobre la *retina*. En algunos casos, el conjunto de los bastones (cuyo diámetro es

de unos 0.002 mm) tiene las características de una película blanco y negro de alta velocidad (tal como la Tri-X).



Figura 2.2.5. Micrografías de barrido. (a) Los conos y los bastones. Las células cónicas, de menor tamaño, son los conos; (b) las células cilíndricas, de mayor tamaño son los bastones. (Adaptado de Lindsay and Norman 1977), (*Biopsicología*, 4ª edición, John P. J. Pinel. Página 190). [89]

La retina es extremadamente sensible, funcionando con luz demasiado débil como para que reaccionen los conos, es incapaz de distinguir el color y las imágenes que retransmite no están bien definidas. Por el contrario el conjunto de 6 o 7 millones de conos (cada uno con un diámetro de unos 0.006 mm) puede imaginarse como si fuera una película de color de baja velocidad, superpuesta pero separada. Funciona con luz brillante proporcionando vistas detalladas y en color, siendo sin embargo bastante insensible con niveles de luz bajos.

La gama normal de longitud de onda de la visión humana oscila entre 380 nm y 780 nm aproximadamente. Estudios recientes han permitido bajar dichos límites hasta alrededor de los 310 nm en el ultravioleta, aumentándolos sucesivamente hasta unos 1,050 nm en el infrarrojo. De hecho, algunas personas han afirmado haber “visto” las radiaciones X. [89]

La limitación de la transmisión ultravioleta en el ojo es impuesta por el cristalino que absorbe en el UV. Las personas que han sufrido la extirpación quirúrgica de un cristalino han mejorado enormemente la sensibilidad al UV. Las cremas protectoras de radiación UV, están constituidas por un polímero de alcohol.

En experimentos realizados en el Laboratorio I de Física Moderna (Cervantes-Gabino. Facultad de Ciencias UNAM. 2006), encontramos que algunas bebidas etílicas como el cognac y el brandy no dejan pasar la radiación UV, posiblemente es el caso de la constitución química del cristalino y el humor acuoso.

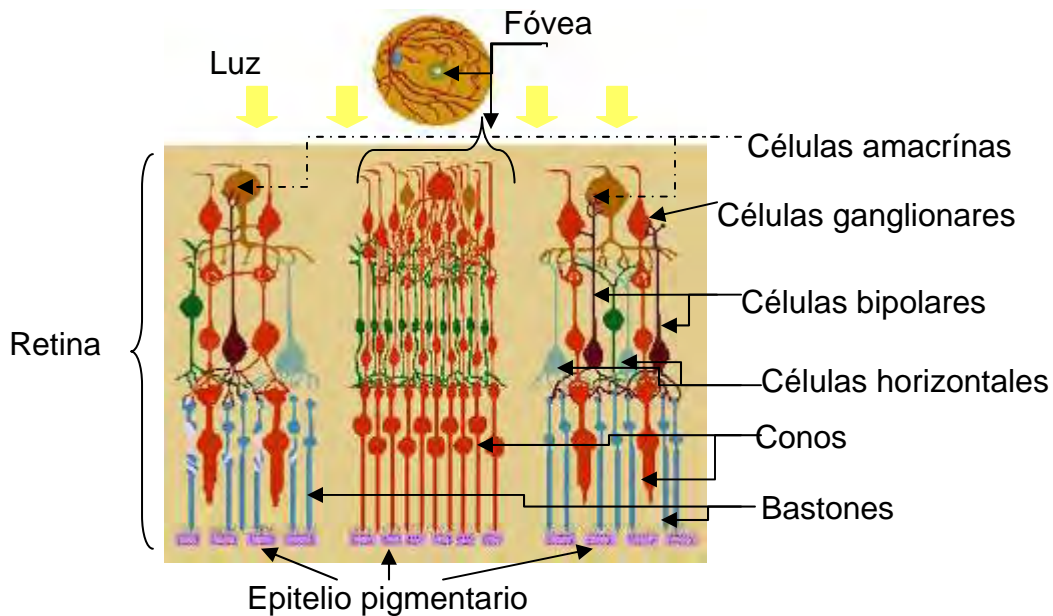


Figura 2.2.6. La luz atraviesa varias capas de neuronas retinianas antes de alcanzar a los fotorreceptores, conos y bastones. La luz llega a ellos sin ser absorbida ni sufrir aspersiones importantes, que distorsionarían la imagen visual, los axones de las neuronas de las capas proximales de la retina son amielínicos, lo que hace que estas capas sean relativamente transparentes. Las células del epitelio pigmentario contienen el pigmento negro melanina, que absorbe toda la luz que no es capturada por la retina. (Imagen adaptada de *Luz y Color*, C. Rainwater, Ediciones Daimon, Manuel Tamayo, Barcelona 1976, pag. 87; Texto. *Principios de Neurociencias*, Kandel y colaboradores, Mc Graw-Hill, Madrid, 2000, Página 508.). [62][92]

La retina está compuesta por cinco capas celulares: células receptoras, células horizontales, células bipolares, células amacrinas y células ganglionares retinianas. Las células amacrinas y las células horizontales están especializadas en la comunicación lateral (comunicación a través de los principales canales de la entrada sensorial). Las células amacrinas y las bipolares liberan el neurotransmisor inhibitorio GABA; por el contrario, las células receptoras y las bipolares liberan el neurotransmisor excitatorio glutamato (Barnstable, 1993).

La retina está en cierto modo al revés: la luz alcanza la capa de células receptoras sólo tras pasar por las otras cuatro capas. Entonces, una vez que los receptores se han activado, el mensaje neuronal se transmite de vuelta a través de las capas de la retina hasta las células ganglionares retinianas, cuyos axones se proyectan por el interior de la retina antes de reunirse en un haz y salir del globo ocular.

Esta organización invertida genera dos problemas visuales. Uno de ellos es la distorsión que sufre la luz incidente al tener que atravesar todas las capas de tejido hasta alcanzar los receptores. La otra es que para que el haz de axones de

células ganglionares retinianas pueda abandonar el ojo, debe haber un hueco en la capa de las células receptoras; este hueco se le denomina punto ciego.

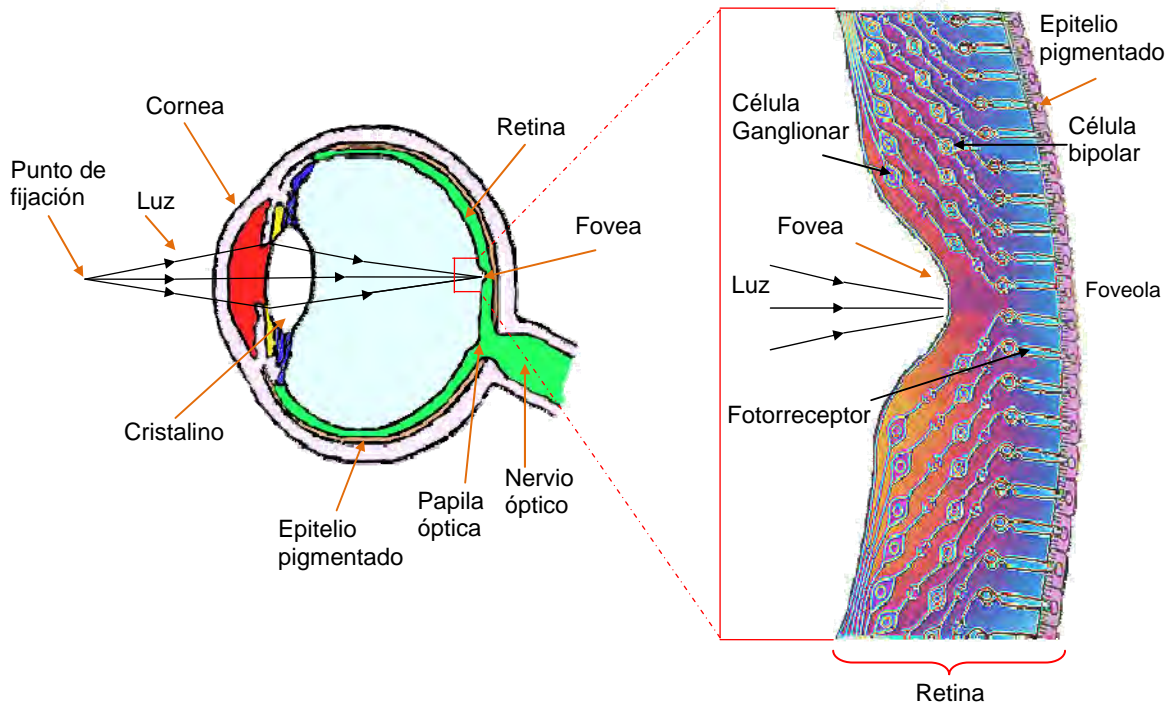


Figura 2.2.7. Los fotorreceptores se encuentran en la retina. A la izquierda se muestra la localización de la retina en el interior del ojo. A la derecha se representa un detalle de la retina en la fovea, se ha simplificado el diagrama eliminando las conexiones laterales en las que intervienen interneuronas. (Adaptado de *Principios de Neurociencia*, Erick R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell. Cuarta edición. McGraww-Hill. Interamericana. 2000. Página 508). [62]

El primero de los problemas es reducido por la fovea. La fovea es una hendidura de unos 0.33 cm de diámetro situada en el centro de la retina; es la región de la retina especializada en la visión de gran agudeza (para ver los detalles finos). La capa de células ganglionares retinianas se adelgaza en la fovea, lo que disminuye la distorsión de la luz incidente.

El punto ciego, el segundo de los problemas visuales generados por la estructura invertida de la retina es explicado por el fenómeno de conclusión. El sistema visual utiliza la información proporcionada por los receptores que rodean el punto ciego para completar los huecos en las imágenes de la retina.

Cuando el sistema visual detecta una barra recta que entra por un lado del punto ciego y otra barra recta que lo abandona por el otro lado, rellena el trozo que falta; y lo que se ve es una barra recta continua independientemente de lo que halla en realidad. [57][61]

En la foveola o centro de la fóvea, las neuronas proximales se desvían hacia los lados para que la luz disponga de un camino directo hacia los fotorreceptores. Ello hace que la imagen visual que reciba en la foveola sea la menos distorsionada.

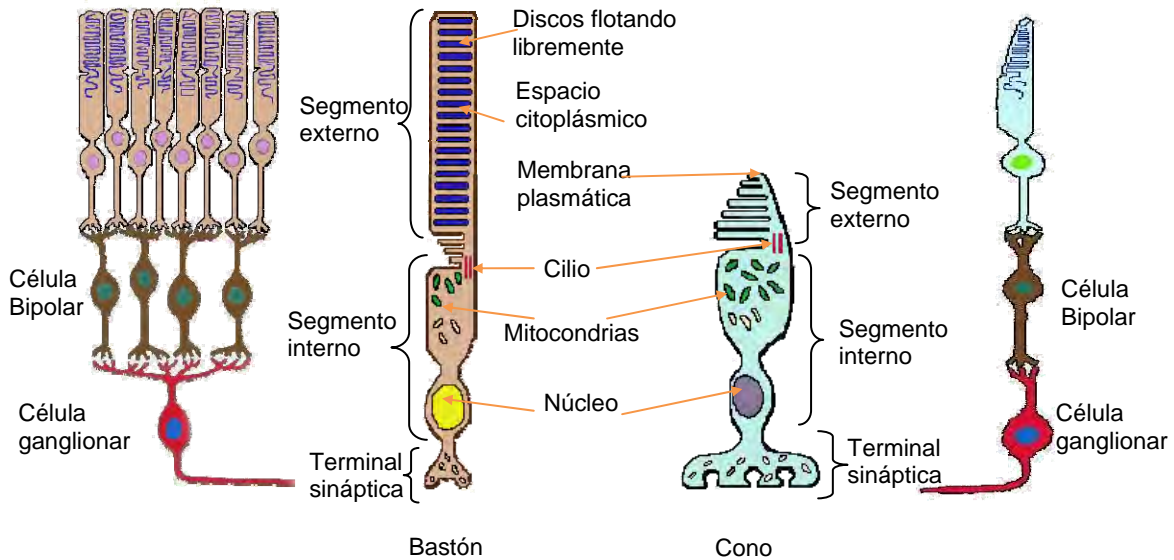


Figura 2.2.8. Representación esquemática de la convergencia de los conos y los bastones sobre las células ganglionares de la retina. Existe un bajo grado de convergencia en las vías mantenidas por los conos, y un alto grado de convergencia en la mantenida por los bastones. Las salidas de varios cientos de bastones pueden converger en una única célula ganglionar. (*Bipsicología. John P. J. Pinel. 4ª edición. Página 188*). [89]

La existencia de los conos y los bastones como fotorreceptores intrigó a los investigadores hasta 1866, cuando se observó que las especies que únicamente despliegan actividad durante el día suelen tener retinas sólo con conos y las especies que despliegan actividad únicamente de noche tienden a tener retinas sólo con bastones.

Tanto los conos como los bastones tienen tres regiones funcionales fundamentales (fig. 2.2.8):

1. El *segmento externo*, localizado en la superficie más externa o distal de la retina y especializado en la foto conversión.
2. El *segmento interno*, localizado en la zona más proximal de la retina y en el que se encuentra el núcleo de la célula y la mayor parte de la maquinaria de biosíntesis.
3. La *terminal sináptica*, que establece contacto con las células objeto de la acción de los fotorreceptores.

Los segmentos externos de los bastones y los conos están totalmente ocupados por los pigmentos visuales que absorben la luz. Cada molécula del

pigmento está formada por una pequeña molécula que absorbe la luz unida a una gran proteína que se extiende por la membrana. [89]

Los conos y los bastones poseen un gran número de estas proteínas de membrana, hasta 10^8 en cada célula. El segmento externo dispone de un elaborado sistema de discos membranosos apilados que aumentan de manera considerable la superficie de la membrana.

Estos discos se desarrollan como una serie de invaginaciones de la membrana plasmática de la célula, organizadas como una pila de monedas. En los conos los discos se continúan con la membrana celular, mientras que en los bastones se separan de ella y se convierten en organelas intracelulares. [62]

Al igual que las demás neuronas, los fotorreceptores no tienen capacidad de división, pero sus segmentos externos están sometidos a una renovación constante. Los nuevos discos se forman a gran velocidad; los bastones sintetizan alrededor de tres discos cada hora. Los viejos se desprenden del extremo de los fotorreceptores y son eliminados por la actividad fagocitaria de las células epiteliales pigmentarias.

A partir de estas observaciones surgió la teoría de la duplicidad de la visión, la teoría de que los conos y los bastones intervienen en distintos tipos de visión. La visión en que intervienen los conos, visión fotópica, predomina bajo buena iluminación y proporciona una percepción coloreada y de gran agudeza, con detalles finos, del mundo.

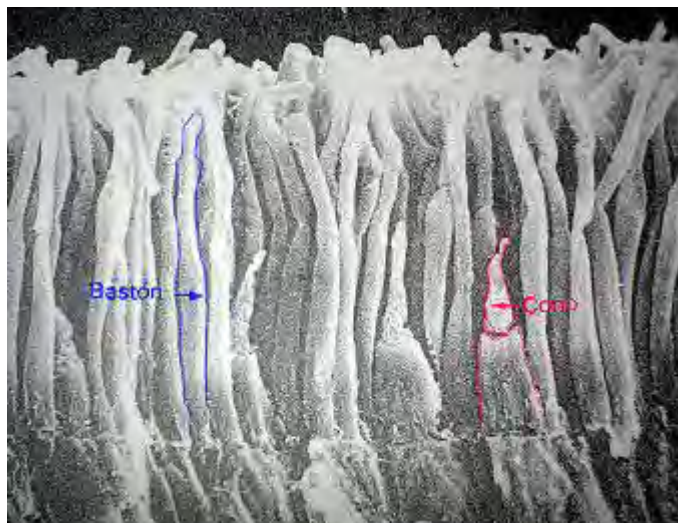


Figura 2.2.9. Micrografía electrónica de barrido de los conos y bastones de la capa fotorreceptora de la retina. (*Bioquímica, Lubert Stryer Tomo 2. Página 1043*). [109]

Bajo luz tenue, no hay suficiente iluminación para excitar adecuadamente los conos, y entonces predomina la visión escotópica, en la que intervienen los bastones, que son más sensibles. Sin embargo, la sensibilidad de la visión

escotópica no se logra sin un gasto: la visión escotópica carece del detalle y del color de la visión fotópica.

La diferencia entre la visión fotópica (conos) y la visión escotópica (bastones) resulta en parte de la diferencia en el modo en que los dos sistemas están conectados.

Debido a ello, los efectos de la luz tenue que estimula simultáneamente muchos bastones se pueden sumar al efecto de la emisión de una célula ganglionar retiniana que ha recibido la señal convergente de los cientos de bastones estimulados, mientras que los efectos de esa misma luz tenue en la capa de conos no puede sumarse en la misma proporción, y puede que las células ganglionares retinianas no respondan a esa luz.

Los conos y los bastones difieren en cuanto a su distribución en la retina. Como se observa en la figura 2.2.9, en la fóvea no hay bastones sino sólo conos. En los límites de la hendidura de la fóvea, la proporción de los conos desciende notablemente, y se produce un aumento de los bastones. La densidad de bastones alcanza un máximo a unos 20° del centro de la fóvea. [109]

En la periferia de la retina existen más bastones en la hemi-retina nasal, la mitad de la retina próxima a la nariz, que en la hemi-retina temporal, la mitad más próxima a las sienes.

Dado que la nariz impide la entrada de luz a los bordes de las hemi-retinas temporales, se necesitan menos receptores allí. La curva de sensibilidad espectral es un gráfico del brillo relativo de luces de la misma intensidad a distintas longitudes de onda.

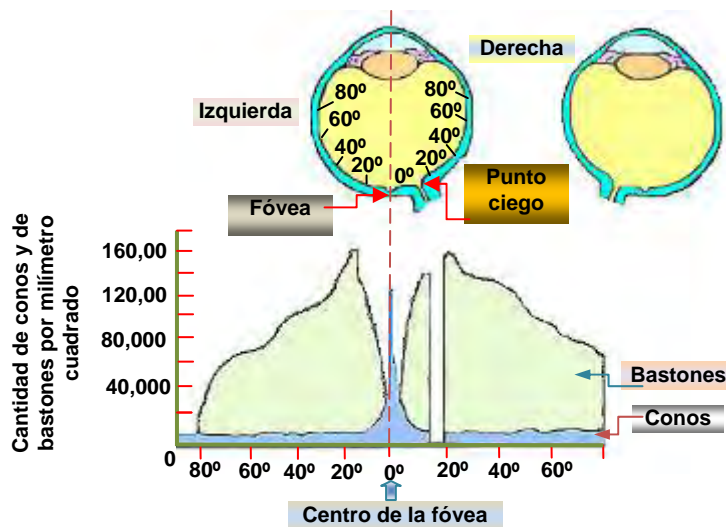


Figura 2.2.10. Distribución de los conos y bastones en la retina humana. La figura muestra el número de conos y de bastones por milímetro cuadrado como una función de la distancia desde el centro de la fóvea. (Adaptado de Lindsay and Norman 1977) (*Biopsicología*, John P. J. Pinel, 4ª edición. Página 191). [89]

Los seres humanos y otros animales que tienen tanto conos como bastones poseen dos curvas: una curva de sensibilidad espectral fotópica y una curva de sensibilidad espectral escotópica.

La sensibilidad espectral fotópica de los seres humanos puede determinarse haciendo que los sujetos juzguen el brillo relativo de distintas longitudes de onda de la luz que incide sobre la fovea.

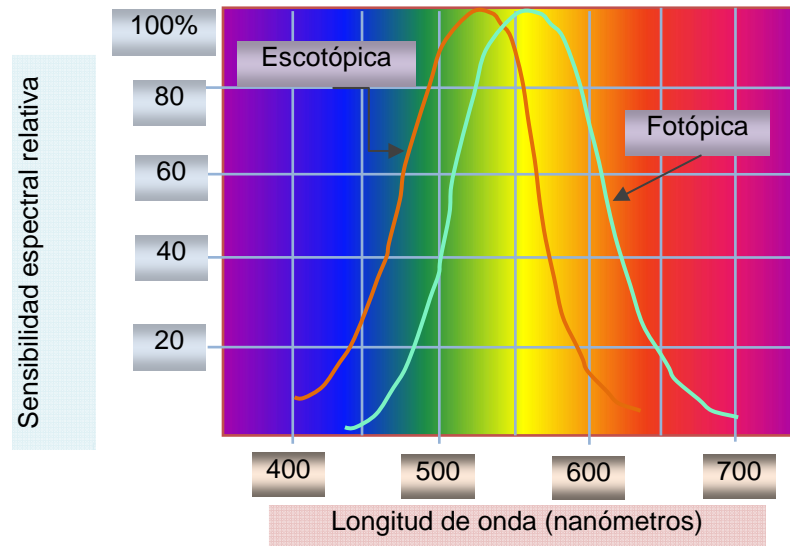


Figura 2.2.11. Curvas de sensibilidad espectral humanas, fotópica (conos) y escotópica (bastones). El pico de cada curva se ha situado de manera arbitraria al 100 por cien. (Adaptado de: *Biopsicología*, John P. J. Pinel, 4ª edición. Página 192). [89]

La sensibilidad espectral escotópica puede determinarse pidiendo a los sujetos que juzguen el brillo relativo de distintas longitudes de onda de la luz que incide sobre la periferia de la retina, de una intensidad demasiado débil para activar los pocos conos periféricos que se localizan en esa zona. [89]

La curva de la sensibilidad espectral fotópica y escotópica se muestran en la figura 2.2.11. Obsérvese que bajo condiciones fotópicas, el sistema visual posee una sensibilidad máxima a las longitudes de onda en torno a los 560 nm; así pues, bajo condiciones fotópicas, una luz de 500 nm tendría que ser mucho más intensa que una de 560 nm para ser igual de brillante. Por el contrario, bajo condiciones escotópicas, una luz de 560 nm tendría que ser mucho más intensa que una de 500 nm para ser percibida con igual brillo.

Debido a la diferencia existente entre la sensibilidad fotópica y la escotópica, se observa un efecto curioso durante la transición de la visión fotópica a la escotópica. En 1825, Purkinje describió el siguiente suceso, que ha pasado a ser conocido como el efecto Purkinje. Una noche, justo antes del crepúsculo, mientras Purkinje paseaba por el jardín, se dio cuenta de lo brillantes que parecían sus flores amarillas y rojas con respecto a las azules. [89]

Lo que le sorprendió fue que en unos minutos después del brillo relativo de sus flores se había invertido; la escena completa cuando se observa de noche, aparecía únicamente en tonos de gris, pero la mayoría de las flores azules aparecían en un tono de gris más brillante que las amarillas y las rojas.

La transducción es la conversión de una forma de energía en otra. La transducción visual es la conversión de la luz en señales neuronales por parte de los receptores visuales. [45]

En 1876 se produjo un avance en el estudio de la transducción visual cuando se extrajo un pigmento rojo (un pigmento es cualquier sustancia que absorba la luz) de la retina de la rana, y predominante en los bastones. Este pigmento presentaba una curiosa propiedad. Cuando el pigmento (que actualmente se conoce como rodopsina) se exponía a una luz intensa continua, se blanqueaba (perdía su color) y perdía su capacidad para absorber la luz: pero cuando se le devolvía a la oscuridad, recuperaba tanto su color rojo como su capacidad de absorber la luz.

La absorción y el blanqueamiento de la rodopsina por parte de la luz es el primer paso en la visión mediada por los bastones. La prueba se obtiene de las demostraciones del grado de absorción de la luz por parte de la rodopsina en diversas situaciones predice el modo en que los seres humanos ven en esas mismas condiciones.

Se ha demostrado que el grado de absorción de la luz de distintas longitudes de onda por parte de la rodopsina está relacionado con la capacidad de los seres humanos y de otros animales dotados con bastones para detectar la presencia de luz de diferente longitud de onda bajo condiciones escotópicas. En la figura 2.2.11, se ilustra la relación entre el espectro de absorción de la rodopsina y la curva de sensibilidad espectral escotópica de los seres humanos.

El buen ajuste entre ambas deja pocas dudas de que, bajo luz tenue, nuestra sensibilidad a diversas longitudes de onda es consecuencia directa de la capacidad de la rodopsina para absorberlas.

La absorción de la luz por los pigmentos visuales de los bastones y los conos activa una cascada de fenómenos, provocando un cambio de los *flujos iónicos* que tienen lugar a través de la membrana plasmática de estas células y, por tanto, un cambio del potencial de membrana.

Una **molécula esencial en la cascada** es el nucleótido cíclico 3'-5' monofosfato de guanosina (GMPc). En los bastones las moléculas (GMPc) actúan como segundo mensajero y transportan la información a través del citoplasma situado entre los discos que flotan libremente en la zona donde se absorbe la luz, hasta la membrana plasmática de la célula, donde se produce la alteración de los flujos iónicos.

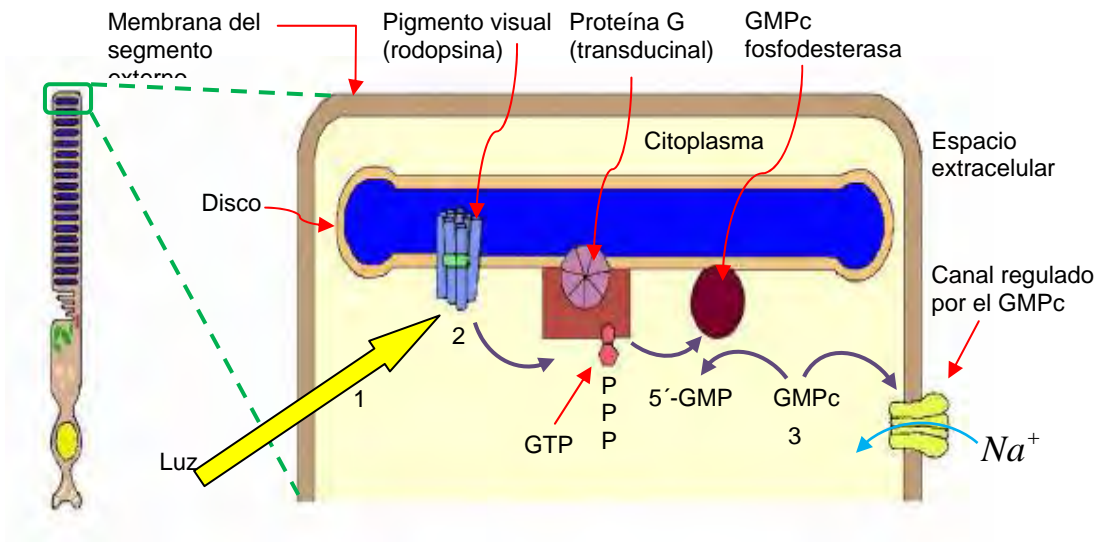


Figura 2.2.12. La fotoconversión implica el cierre de los canales catiónicos en el segmento externo de la membrana del fotorreceptor. En ausencia de luz, el GMPc intracelular mantiene abiertos estos canales de cationes, por los que penetra una corriente fundamentalmente por Na^+ . (Principios de Neurociencia, cuarta edición. E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. MacGraw-Hill-Interamericana. Página 512.). [62]

En los conos, debido a la continuidad entre los discos y la membrana plasmática, no es necesario un mensajero citoplasmático; sin embargo, en estas células el GMPc se usa del mismo modo que en los bastones. El GMPc cíclico controla los flujos de iones, abriendo unas clases especiales de canales iónicos, los canales iónicos regulados por el GMPc, y permitiendo que una corriente de entrada, que transporta sobre todo iones de Na^+ , penetre en la célula.

En la obscuridad, la concentración de GMPc es relativamente elevada, lo que determina que los canales regulados por esta molécula se encuentren abiertos y permitan la corriente de entrada que mantiene a la célula en un estado relativamente despolarizado. [1]

Por tanto, **la fotoconversión** tiene lugar a través de tres fases: (1) la luz activa los pigmentos visuales, (2) estas moléculas activadas estimulan a la fosfodiesterasa de GMPc, una enzima que reduce la concentración de GMPc en el citoplasma, y (3) la reducción de la concentración de GMPc cierra los canales regulados por él, hiperpolarizando al fotorreceptor.

Cuando el fotorreceptor, representado en la figura 2.2.12 por un bastón, recibe luz, los canales regulados por el GMPc se cierran mediante un proceso de tres pasos: (1) Absorción de la luz con activación de las moléculas de pigmento, rodopsina en los bastones, de la membrana del disco. El rectángulo verde de la molécula de rodopsina representa la porción que absorbe la luz, es decir, el

retinal. (2) El pigmento activado estimula una proteína G, la transducina en los bastones, que, a su vez, activa la GMPc fosfodiesterasa. Esta enzima cataliza la degradación de GMPc a 5'-GMPc. (3) Cuando la concentración de GMPc disminuye, los canales regulados por él se cierran, lo que reduce la corriente de entrada y provoca la hiperpolarización del fotorreceptor.

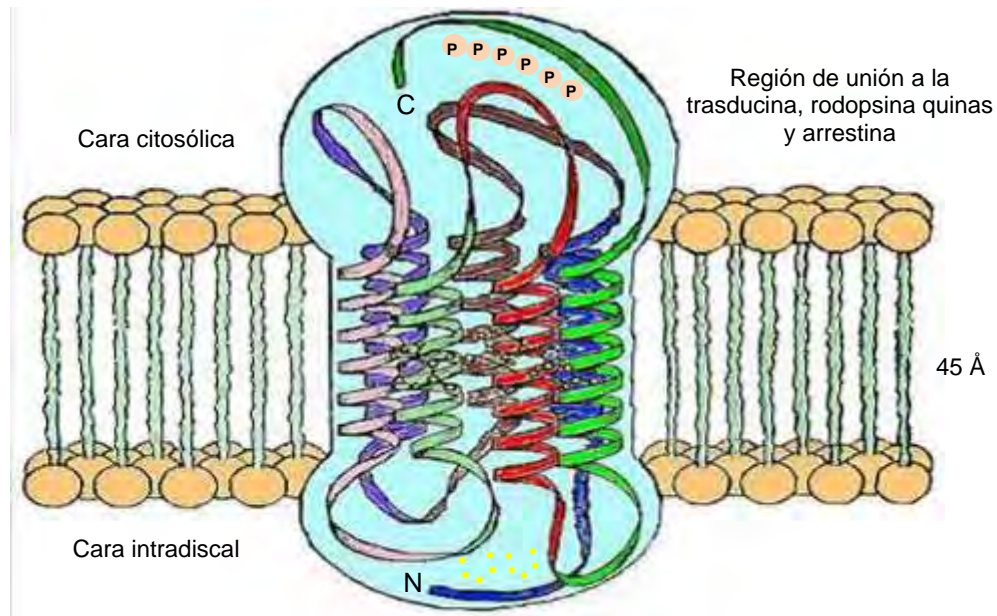


Figura 2.2.13. Modelo de rodopsina. La pauta de las siete hélices de este receptor transmembranar se presenta también en otros receptores sensoriales y hormonales. El cromóforo 11-cis-retinal está localizada cerca del centro de la bicapa. El segmento amino-terminal, localizado en la cara intradiscal de la membrana, contiene dos unidades oligosacáridicas unidas a N. El dominio citosólico transmite la señal de la excitación a la transducina. La fosforilación de múltiples serinas y treoninas (señaladas con una P), próximas al extremo carboxilo-terminal desactiva a la rodopsina excitada por la luz. (Adaptado de *Bioquímica*, Lubert Stryer, Tercera edición, tomo 2. Página 1036. A su vez tomado de E. A. Dratz and P. A. Hargrave. *Trends Biochem. Sci* 8(1983): 128, and L. Stryer, *Sci. Amer.* 255). [109]

Muchas membranas celulares pueden ser excitadas por estímulos específicos de naturaleza física o química. Las respuestas de una membrana de axón nervioso a un estímulo eléctrico, de una sinapsis a una sustancia transmisora, de un bastoncito de la retina a la luz y de las células móviles a las sustancias atrayentes, están mediadas por ensamblajes excitables situados en sus membranas. Los aspectos comunes de estos procesos y de otros llevados a cabo por ensamblajes son:

a) El Estímulo se detecta por un receptor proteico de alta especificidad, que es un componente integrante de la membrana excitable;

b) El estímulo específico induce un cambio conformacional en el receptor. Como resultado, cambia la permeabilidad de la membrana o la actividad de las

enzimas ligadas a la membrana. Muchas de las respuestas se amplifican extraordinariamente;

c) El cambio conformacional del receptor y las alteraciones resultantes de la función son reversibles. Existen mecanismos que vuelven el receptor a su estado de reposo y restablecen su excitabilidad.

La rodopsina es un receptor ligado a una *proteína G* que responde a la luz más que a moléculas neurotransmisoras (Koutalos y Yau, 1993; Molday y Hsu, 1995). Las *proteínas G* son intermediarios entre receptores activados y efectores. Estas proteínas son heterotrímeros con subunidades α , β , y γ . Se interconvierten entre una forma guanosina difosfato (GDP) inactiva y una forma guanosina trifosfato (GTP) activa. El papel del receptor activado es catalizar el intercambio GDP por GTP, haciendo que la *proteína G* libere G_n -GTP. La hidrólisis del GTP unido retorna al sistema al estado inactivo. Las *proteínas G* se activan por receptores que son proteínas intrínsecas de membrana.

Las *proteínas G* de mamíferos sugieren que la liberación y unión controlada de macromoléculas acopladas al intercambio GDP-GTP y posterior hidrólisis se alcanzó en los comienzos de la evolución, y se ha elaborado durante varios miles de años.

Este elegante mecanismo molecular se utiliza actualmente en una amplia variedad de funciones celulares, incluyendo la translocación de macromoléculas en síntesis protéica, la regulación de la proliferación celular y la transducción de señales hormonales y estímulos sensoriales, este último es nuestro caso. En la tabla siguiente pueden observarse procesos fisiológicos mediados por la *proteínas G*.

Los receptores de rodopsina, al igual que otros receptores ligados a *proteínas G*, inician una cascada de sucesos químicos intracelulares cuando son activados. La fotoisomerización de la rodopsina, la proteína fotorreceptora de los bastoncitos retinianos, desencadena una cascada de nucleótido cíclico que conduce a la generación de una señal nerviosa.

Un aspecto destacable de este sistema es su sensibilidad: un bastón puede ser excitado mediante un solo fotón (Selig Hecht, 1938). Para estimular la célula fotorreceptora, la luz debe ser absorbida.

El grupo absorbente de la luz (llamado cromóforo) después de absorber un fotón, debe sufrir un cambio conformacional. La molécula fotosensible de los bastones, la rodopsina, consta de una proteína opsina, y un grupo prostético, 11-cis-retinal.

Tabla 2.2.1. Procesos fisiológicos mediados por proteínas G. [1]

Estímulo	Receptor	Proteína G	Efecto	Respuesta fisiológica
Adrenalina	Receptor b-adrenérgico	G _s	Adenilato ciclasa	Lisis del glucógeno
Serotonina	Receptor de serotonina	G _s	Adenilato ciclasa	Sensibilización de la conducta
Luz	Rodopsina	Transducina	Fosfodiesterasa α de cGMP	Excitación Visual
Complejos IgE-antígeno	Receptor de IgE en célula cebador	GPLC	Fosfolipasa C	Secreción
Péptido f-Met	Receptor quimiotáctico	GPLC	Fosfolipasa C	Quiniotaxis
Acetilcolina	Receptor muscarínico	GK	Conducto de potasio	Disminución del ritmo

Nota: GPLC y GK son proteínas G todavía no identificadas en estas cascadas. Segun, L. Stryker y H. R. Bourne. *Ann. Rev. Cell Biol.* 2(1986):393

La opsina como otras proteínas sin grupo prostético, no absorbe por sí misma la luz visible. El color de la rodopsina y su respuesta a la luz dependen de la presencia del II-*cis*-retinal, que es un cromóforo muy eficaz.

El II-*cis*-retinal da a la rodopsina una banda amplia de absorción en la región visible del espectro, con un máximo de 500 nm, que se adapta muy adecuadamente a la emisión solar. El coeficiente de absorción de la rodopsina a 500 nm es de $40,000 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$, un valor elevado.

El II-*cis*-retinal está unido a la rodopsina mediante un enlace de base de Schiff. El grupo aldehído del II-*cis*-retinal se une al grupo e-amino de un residuo de lisina específico de la opsina. Las propiedades espectrales de la rodopsina indican que la base de Schiff está protonada.

Cuando un fotón luminoso ($h\nu$) alcanza a la rodopsina, ésta experimenta una serie de transformaciones que la convierten en unos intermediarios denominados metarrodopsina.

Durante este proceso se genera el impulso nervioso, a la par que el doble enlace en el carbono 11 del II-*cis*-retinal se convierte de *cis* a *trans*. Esta

configuración no se adapta bien a la opsina, por lo cual el grupo imina queda expuesto al ocurrir la isomerización. El enlace imina (de la metarrodopsina II) se rompe y libera el todo-*trans*-retinal.

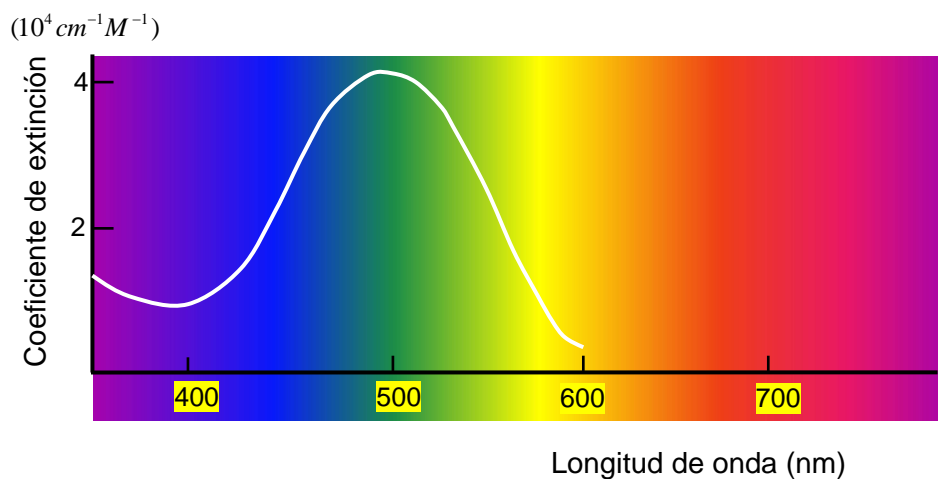


Figura 2.2.14. Espectro de absorción de la rodopsina. La fuerza de absorción integrada de la banda visible de absorción de la rodopsina se aproxima al valor máximo alcanzable por los compuestos orgánicos. El II-*cis*-retinal tiene estas propiedades porque es un *polieno*. La alternancia de sus seis enlaces dobles y sencillos constituye una larga red no saturada de electrones. (*Bioquímica. Tercera edición, tomo 2. Lubert Stryer. Página 1035*). [109]

Todavía no se comprende completamente el proceso de isomerización del doble enlace *cis* en el carbono 11. Posiblemente, la absorción de luz ocasiona la promoción de un electrón π (π), desde el orbital enlazante a uno antielazante.

En este estado excitado no hay superposición o traslape entre los dos orbitales atómicos p , por lo cual la barrera de energía de rotación se hace considerablemente pequeña y el giro alrededor del enlace carbono-carbono se produce con facilidad.

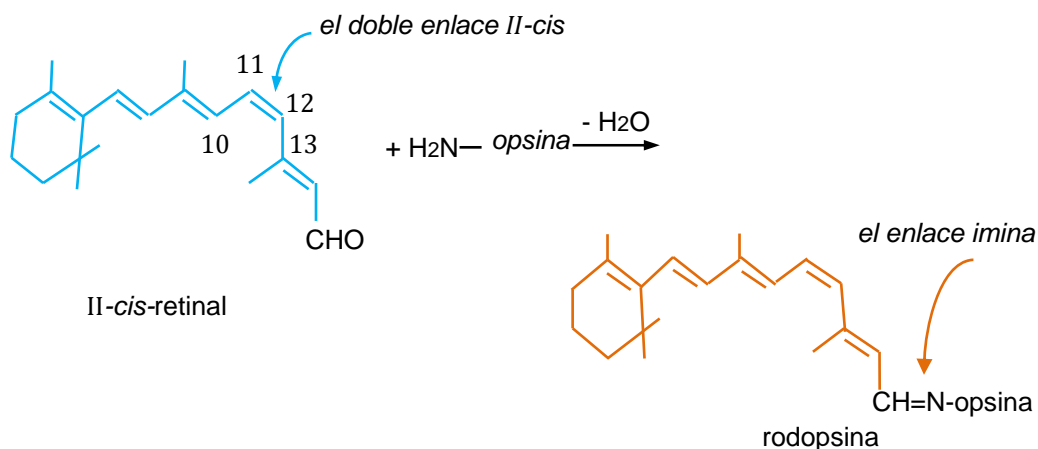


Figura 2.2.15. La rodopsina se forma a partir de un aldehído llamado II-*cis*-retinal y una proteína denominada opsina. (*Química Orgánica. J. Fessenden. Página 933*). [45]

Sin embargo, evidencia reciente apoya la teoría de que el paso de la isomerización es una reacción concertada sin intermediarios, que se inicia con la *protonación* del nitrógeno de la *imina*.

La rodopsina se debe regenerar para que se mantenga la visión. Una manera en que esto ocurre es por la reconversión foto inducida de la *metarrodopsina I* a *rodopsina*.

Esta reacción es la inversa del primer paso de la ecuación de flujo de la figura 2.2.15. Después de la hidrólisis de la *imina*, el *trans-retinal* también se puede fotoisomerizar a II-*cis*-retinal, el cual puede formar rodopsina de nuevo.

Bajo iluminación escasa, es poca la probabilidad de que estas reacciones inversas se lleven a cabo, por lo que el *trans-retinal* sufre una conversión química de varios pasos.

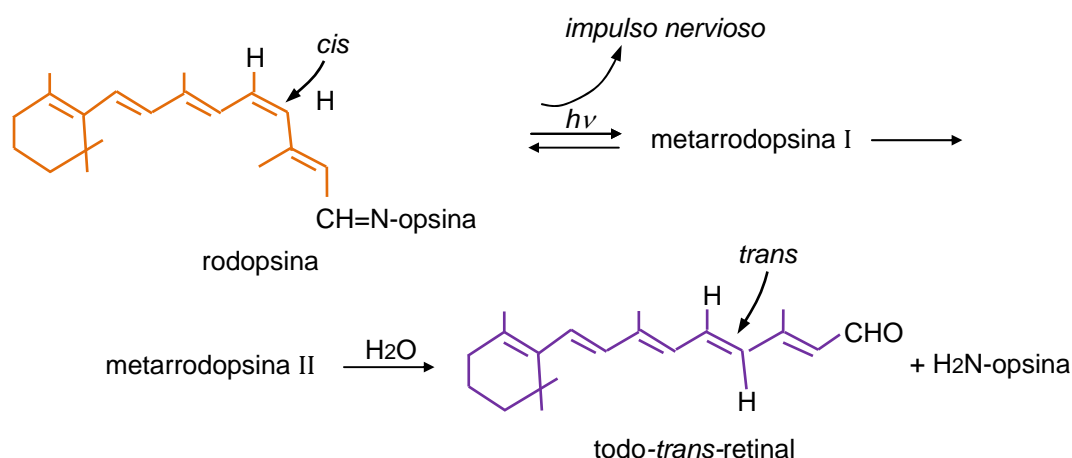


Figura 2.2.16. Ecuación donde se observa cuando la energía de un fotón luminoso ($h\nu$) alcanza a la rodopsina, está experimenta una serie de transformaciones que la convierten en unos intermediarios denominados metarrodopsinas. (*Química Organica. J. Fessenden. Página 933*). [45]

En este proceso, el *trans-retinal* se reduce enzimáticamente a *trans-vitamina A*, que es transportada al hígado, donde es isomerizada a la II-*cis*-vitamina A.

La II-*cis*-vitamina A se transporta después al ojo, donde se oxida a II-*cis*-retinal, que puede unirse de nuevo con la opsina. La figura 2.2.17 muestra un resumen de la química del ciclo visual. [43]. El precursor del II-*cis*-retinal es el *todo-trans-retinol* (vitamina A), que los mamíferos no pueden sintetizar de nuevo. El grupo alcohol se oxida a aldehído por la retinol deshidrogenasa que utiliza nicotinamida adenina dinucleótido, forma oxidada (NADP^+) como aceptor de electrones.

Entonces, el doble enlace entre C-11 y C-12 se isomeriza de la configuración *trans* a la *cis* por la retinal isomerasa. Una deficiencia de *vitamina A* da lugar a la ceguera nocturna y eventualmente al deterioro de los segmentos externos de los bastones.

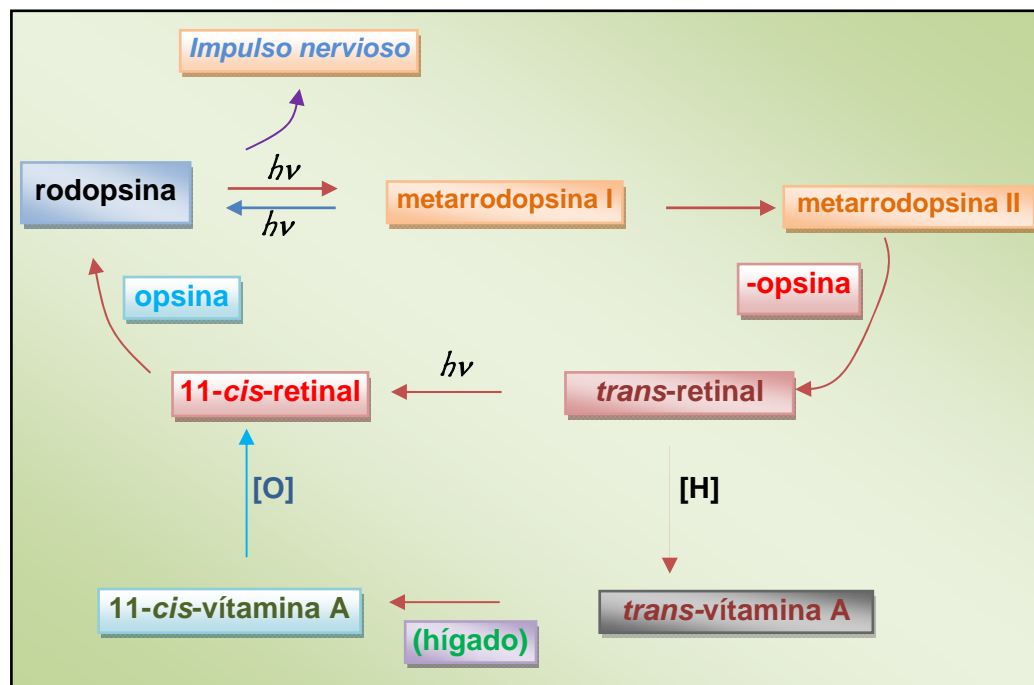


Figura 2.2.17. Resumen de las transformaciones del ciclo visual. (*Química Orgánica. J. Fessenden Página 934*). [45]

En 1958, George Wald y colaboradores demostraron que la luz isomeriza el grupo *II-cis-retinal* de la rodopsina hasta *todo-trans-retinal*. Esta isomerización, el acontecimiento inicial de la excitación visual, altera marcadamente la geometría del retinal (figura 2.2.18).

La unión por base de Schiff del retinal se desplaza aproximadamente 5 Å en relación a la porción del anillo del cromóforo. En esencia, *un fotón se ha convertido en un movimiento atómico*.

La membrana plasmática de un bastoncito contiene conductos específicos para cationes que en la oscuridad están abiertos. Los iones de sodio fluyen con rapidez hacia el segmento externo en la oscuridad porque existe un fuerte gradiente electroquímico para el Na^+ .

Este gradiente se mantiene gracias a la bomba $Na^+ - K^+ ATPasa$ localizada en el segmento interno. La luz bloquea estos conductos específicos para cationes del segmento externo. En consecuencia la entrada de Na^+ disminuye y la membrana plasmática se hiperpolariza, haciéndose más negativa en el interior.

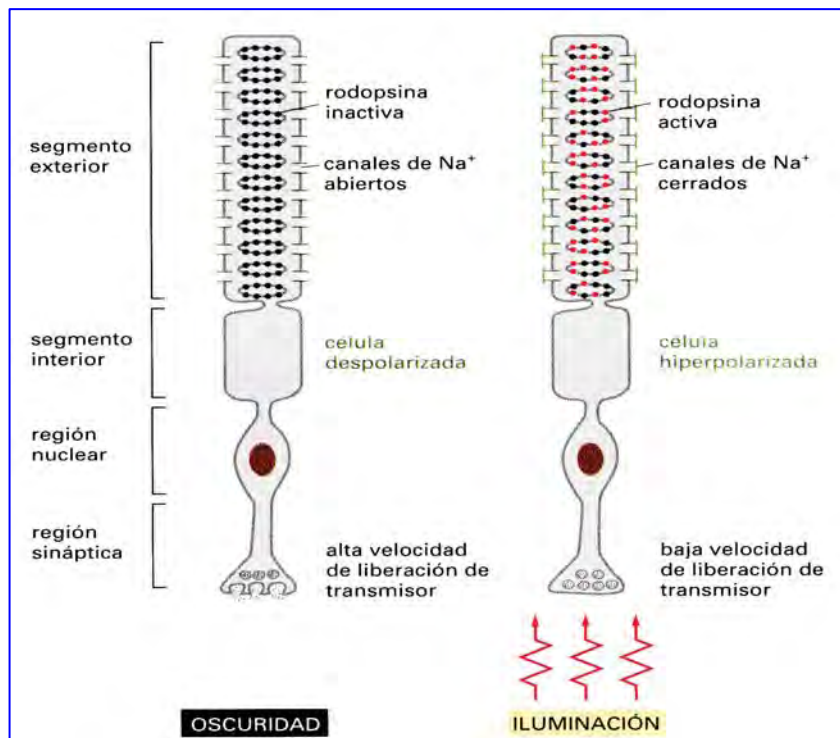


Figura 2.2.18. La respuesta de la luz de una célula fotorreceptora en bastón. Los fotones son absorbidos por las moléculas de rodopsina situadas en los discos del segmento exterior. Ello determina que los canales de Na^+ de la membrana plasmática se cierren, lo cual hiperpolariza la membrana y reduce la velocidad de liberación del neurotransmisor desde la región sináptica. Debido a que el neurotransmisor actúa inhibiendo muchas de las neuronas retinianas postsinápticas, la iluminación frena la inhibición y, de esta forma, de hecho, las activa. (Adaptado de *Biología Molecular*. B. Alberts. *Página 806*). [1]

Esta hiperpolarización inducida por la luz (figura 2.2.19 (b)) se transmite pasivamente por la membrana plasmática desde el segmento externo hasta el cuerpo sináptico.

La velocidad y la intensidad de la hiperpolarización dependen de la intensidad del pulso lumínico y del nivel basal de iluminación. La respuesta a un solo fotón tiene lugar en un tiempo aproximado de un segundo, mientras que un pulso intenso hiperpolariza la membrana plasmática en tan solo unos milisegundos.

El bastoncillo no presenta potenciales de acción. En cambio, su respuesta a la luz es gradual. La señal que envía el segmento externo a la sinapsis depende del número de fotones absorbidos.

En un bastoncillo, plenamente sensible, adaptado a la oscuridad, la hiperpolarización alcanza la mitad de su máximo cuando se absorben tan sólo 30×10^6 moléculas de rodopsina (figura 2.2.19(c)).

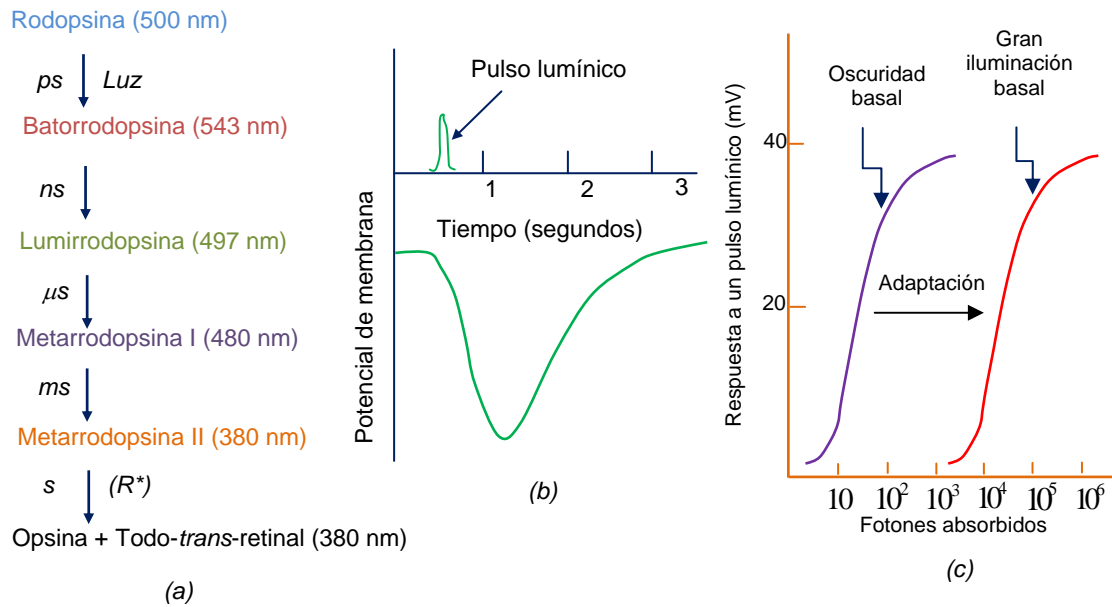


Figura 2.2.19. (a) Cadena de intermediarios de la fotólisis de la rodopsina. Se muestran las longitudes de onda de los máximos de absorción de cada especie molecular y la constante de tiempo de cada transición. (b) La luz hiperpolariza la membrana plasmática de los bastoncitos retinianos. (c) La sensibilidad del bastoncito retinal a un pulso lumínico depende del nivel de luz basal. (Lubert Stryer, *Bioquímica, Tercera edición, tomo 2, 1998. Página 1038*). [109]

Un solo fotón absorbido por un bastoncito adaptado a la oscuridad cierra centenares de conductos específicos para cationes y provoca una hiperpolarización de aproximadamente $1mV$, lo cual es detectado por la sinapsis y transmitido a otras neuronas de la retina.

Para excitar un bastoncito iluminado regularmente se precisan muchísimos más fotones de los necesarios si estuviera en la oscuridad. Esta propiedad, llamada adaptación, capacita a los bastones para percibir contrastes de iluminación del orden de una diezmilésima parte de la intensidad basal.

La rodopsina foto excitada desencadena una cascada de reacciones que producen la hidrólisis muy amplificada del GMP. En la figura 2.2.17 se ilustra el ciclo de la transducina activada por la luz en la excitación visual. En un bastoncito adaptado a la oscuridad, la absorción de un solo fotón bloquea el paso de más de un millón de iones de sodio.

El flujo de la información en la excitación visual va desde la rodopsina fotoexcitada (R^*) a la transducina (T-GTP) y a la fosfodiesterasa activada (PDE*), la cual hidroliza al GMP cíclico. La caída en la concentración de GMP cíclico, inducida por la luz, produce entonces el cierre de los conductos específicos para cationes de la membrana plasmática.

La visión del color está mediada por tres clases de células fotorreceptoras llamados conos. El extraordinario *Thomas Young* fue un médico práctico, ejerció

como **profesor de física** y se distinguió como egiptólogo. Demostró la naturaleza ondulatoria de la luz y descifró muchos de los signos jeroglíficos de la Piedra Rosetta.

En 1802, Young sugirió que la visión del color depende de tres receptores fundamentales. Los estudios espectrofotométricos de retinas intactas, más de siglo y medio más tarde, han revelado que hay tres tipos de conos retinianos que absorben respectivamente el azul, el verde y el rojo. [109]

Los espectros de absorción de estos tres pigmentos fotorreceptores se han obtenido iluminando los conos con un haz de luz de solamente $1\mu\text{m}$ de diámetro (figura 2.2.20).

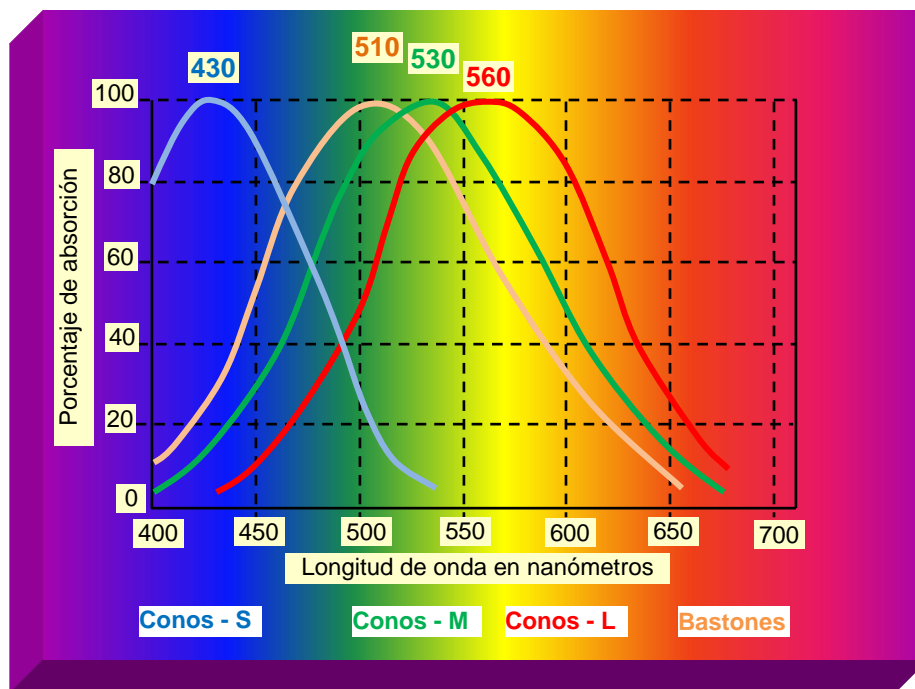


Figura 2.2.20. Porcentaje de absorción de conos y bastones por longitud de onda. La invención, al principio de la década de 1960, de la microespectrometría, una técnica para medir el espectro de absorción del fotorreceptor de un único cono, fue lo que permitió a los investigadores confirmar la conclusión a la que había llegado Young un siglo y medio antes. (Wald, 1964), (*Biopsicología*. 4ª edición. P. J. Pinel. Página 209). [89]

Las respuestas de las diferentes células cónicas de la retina a la luz monocromática de distintas longitudes de onda han demostrado que los conos pertenecen a tres grupos: unos experimentan la excitación máxima con la luz azul (430 nm); otro con la verde (530 nm) y los demás con la roja (560 nm). En el pez dorado, los máximos de absorción de los tres receptores de color, corresponden a 445, 530 y 625 nm, mientras que el de la rodopsina es de 500 nm.

El crómoforo de los tres tipos de conos es el 11-cis-retinal. La base de Schiff protonada del 11-cis-retinal, en ausencia de proteína, tiene un máximo de absorción en 440 nm. Los grupos químicos de la opsina tienen un gran efecto sobre las propiedades cromofóricas del 11-cis-retinal unido. Las propiedades cromofóricas del retinal pueden desplazarse más de 100 nm situando dipolos y grupos cargados eléctricamente en su vecindad y mediante torsión de la cadena polénica.

La dependencia de las propiedades de absorción de este cromóforo con respecto a su entorno protéico es un ejemplo de un principio general: las propiedades de un grupo protéico están moduladas por su interacción con la proteína.

Otro ejemplo característico es el grupo hemo que funciona como transportador de oxígeno en la hemoglobina, transportador de electrones en el citocromo c, y como catalizador en la peroxidasa.

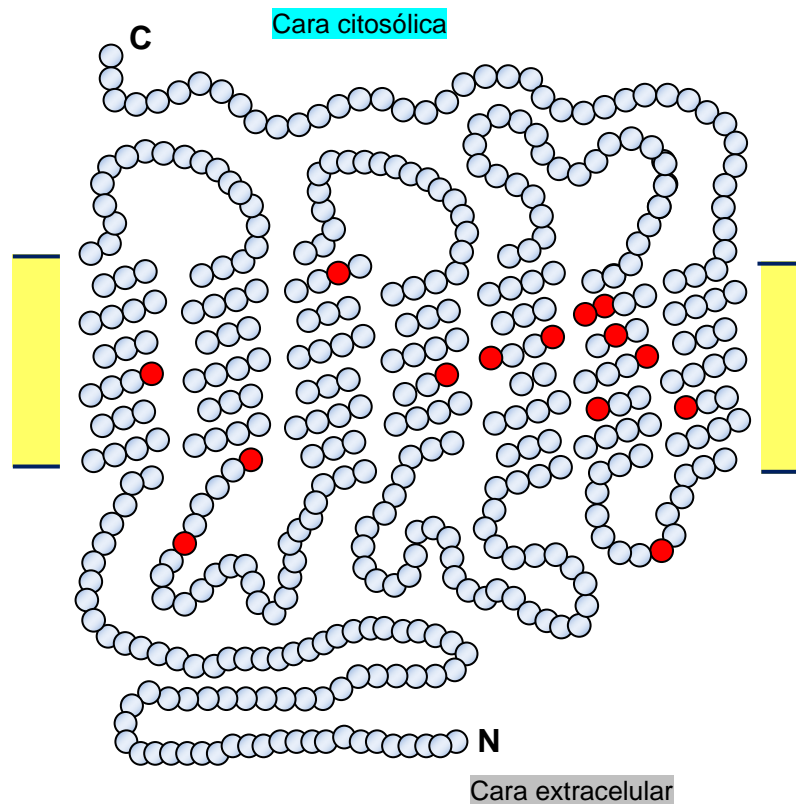


Figura 2.2.21. Las secuencias de aminoácidos de las proteínas fotorreceptoras que absorben en el verde o en el rojo son muy semejantes. Los círculos en azul representan los residuos idénticos y los círculos rojos, los que son diferentes. Estos receptores se pliegan probablemente en estructuras heptahelicoidales como la rodopsina. (Cortesía de los Dres. Jeremy Nathans y David Hogness. *Bioquímica. L. Stryer. 3ª edición, tomo 2. Página 1043*). [89]

Las proteínas fotorreceptoras de los conos todavía no han sido aisladas. Sin embargo, sus genes si se han clonado y secuenciado. Como se había previsto en los estudios psicofísicos y electro fisiológicos, en el hombre existen tres genes para los pigmentos de los conos: dos de ellos estrechamente relacionados, están situados en el cromosoma X, y codifican las proteínas fotorreceptoras absorbentes en el *verde* y en el *rojo*. El otro, situado en un autosoma, codifica la proteína que absorbe en el *azul*.

Aproximadamente la mitad de la secuencia de aminoácidos de cada pigmento de los conos es idéntica a la de la rodopsina. Los pigmentos que absorben en el *rojo* o *verde* difieren entre sí solamente en 15 de los 348 residuos que los integran (figura 2.2.21). Los pigmentos de los conos, igual que la rodopsina, se pliegan en una estructura de siete hélices.

Además, el mecanismo de transducción de los conos es igual que el de los bastones. La transducina, la fosfodiesterasa y el conducto sensible a GMP cíclico de los conos son muy semejantes a sus homólogos de los bastones.

Los genes correspondientes a los pigmentos de los conos y a la rodopsina proceden probablemente de un gen ancestral común del que derivan por duplicación y divergencia. Las diferencias en las secuencias de aminoácidos entre los pigmentos de los bastones y conos sugieren que el primero en aparecer fue el pigmento azul de los conos (figura 2.2.22).

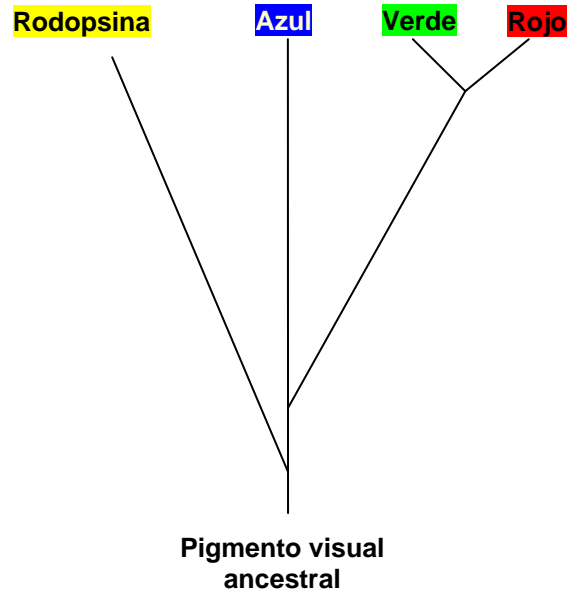


Figura 2.2.22. Relaciones evolutivas propuestas para los pigmentos visuales humanos. (Bioquímica. L. Stryer. 3ª edición, tomo 2. Página 1044). [109]

Después surgió un pigmento para las longitudes de onda mayores que se diversificó para dar los pigmentos *verde* y *rojo*. Es curioso advertir que los monos del Nuevo Mundo tienen solamente dos pigmentos en los conos (uno para el *azul* y otro para longitudes de onda mayores), mientras que los monos del Viejo mundo

y el hombre tienen tres pigmentos en los conos. Los monos del Viejo y Nuevo Mundo se separaron hace 30 millones de años. Por consiguiente, los pigmentos de los primeros para el rojo y el verde son los que han aparecido más recientemente. [89]

Las células receptoras sensoriales de luz y las fibras del cristalino, persisten a lo largo de toda la vida sin dividirse y sin ser substituidas. En las fibras maduras del cristalino adulto está formado por proteínas cristalinas producidas durante la vida embrionaria.

En la mayor parte de las células permanentes, la actividad de biosíntesis continúa y existe una renovación constante de componentes celulares. En los bastones retinianos, por ejemplo, se sintetizan nuevas capas de membrana fotorreceptora cerca del núcleo, que se desplazan constantemente hacia el exterior, hasta que son absorbidas y digeridas por células del epitelio pigmentario.

2.3 Redes neuronales de la percepción del color.

“La ciencia actual, a pesar de lo bien fundado de sus conclusiones, no tiene derecho de hipotecar el porvenir. Nuestras afirmaciones no sabrían ir más allá de las revelaciones de los métodos contemporáneos [...]. No se puede rechazar a priori la posibilidad de que el bosque inextricable del cerebro, del que nos imaginamos haber determinado las últimas ramas y hojas, no posea algún enigmático sistema de filamentos enlazando el conjunto neuronal como las lianas sujetan los árboles de los bosques tropicales”. Santiago Ramón y Cajal, Conferencia del premio Nobel, 12 de diciembre de 1906. [74]



Figura 2.3.1. Dr. Santiago Ramón y Cajal. (Página WEB, Instituto Ramón y Cajal, Madrid España)

En la sección anterior explicamos el proceso de la transformación de la energía luminosa en un potencial de acción (energía eléctrica). En esta sección describiremos como ese potencial de acción viaja a través de un sistema de redes

neuronales para llegar a la percepción del estímulo, en el caso específico de la investigación, definiremos el diagrama de flujo del sujeto cuando percibe la sensación del color y lo lleva a tomar una decisión en el proceso de la discriminación del color. La red neuronal que seguiremos es desde que el potencial de acción entra al nervio óptico, llega al cerebro, lo procesa, manda un orden al sistema motor y se realiza la discriminación del color, ordenando de forma secuencial cromática una serie de fichas con diferentes tonalidades.

Nuestro cerebro es una gran masa gelatinosa con la mayor complejidad de organización que hasta ahora hayamos conocido. Su función básica conduce a un objetivo aparentemente simple: mantener al individuo y en constante contacto con el medio que le rodea. Esta función básica, compartida con todos los demás seres vivos, se extiende en el hombre a sentir, soñar y tener conciencia de sí mismo.

El cerebro humano, nuestro cerebro, se ha construido a lo largo del proceso evolutivo como el resultado de constantes pruebas de azar y reajustes, hilando un tejido hecho de células tan entramado y complejo que ha tardado más de 500 millones de años en construirse. Tejido que se ha construido, no como un proceso sin rectificaciones, sino antes lo contrario, tejiendo y destejiendo a la vez, acorde a los aciertos y errores que las vicisitudes cambiantes del medio ambiente han impuesto sobre ese cerebro. Proceso de cambios que aun continúa, tanto a lo largo de las generaciones de seres humanos actuales como en la propia intimidad del cerebro de cada hombre concreto con el cambio y remodelamiento de los contactos de las células cerebrales, sinapsis, a lo largo de toda la vida.

Antes de la invención del microscopio compuesto en el siglo XVIII se consideraba que el tejido nervioso funcionaba como una glándula, una idea que se remonta al médico griego Galeno, que propuso que los nervios transportan hacia la periferia del cuerpo un líquido segregado por el encéfalo y la médula espinal.

El microscopio reveló la verdadera estructura de las células del tejido nervioso. A finales del siglo XIX Camilo Golgi y Santiago Ramón y Cajal emprendieron las primeras descripciones detalladas de las células nerviosas.

Golgi desarrolló un método para teñir las neuronas con sales de plata que revelaba toda su estructura con el microscopio. Pudo ver que las neuronas poseían cuerpos celulares y dos tipos principales de proyecciones o prolongaciones: las dendritas ramificadas en un extremo, y un axón largo, como un cable en el otro.

Empleando la técnica de Golgi, Ramón y Cajal fue capaz de teñir células individuales, con lo que demostró que el tejido nervioso no es una red continua, sino una malla de células separadas. [63]

La investigación fisiológica del sistema nervioso comenzó a finales del siglo XVIII cuando el médico y **físico** italiano Luigi Galvani descubrió que las células nerviosas y musculares excitables vivas producen electricidad. La moderna

electrofisiología nació del trabajo realizado por tres fisiólogos alemanes, Emil DuBois-Reymond, Johannes Müller, y Herman von Helmholtz, que lograron demostrar que la actividad eléctrica de una neurona afecta a la actividad de una célula vecina de manera predecible.

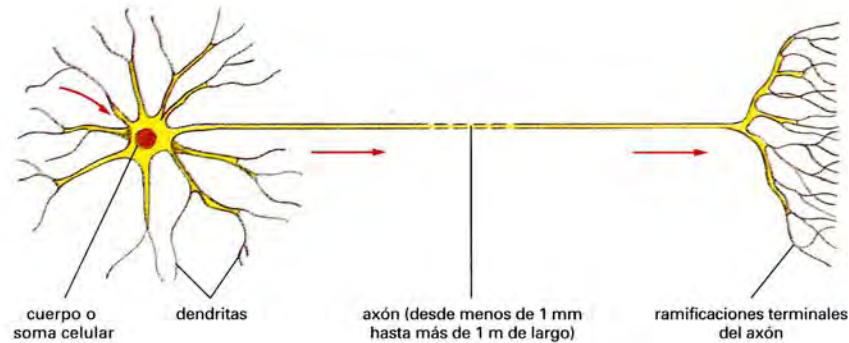


Figura 2.3.2. Diagrama esquemático de una neurona típica de vertebrado. Las flechas indican la dirección en que se transportan las señales. (*La Célula. Bruce Alberts, pagina 563*).[1]

El flujo de la corriente en las neuronas esta modelado con los principios básicos de la teoría de los circuitos eléctricos que involucran:

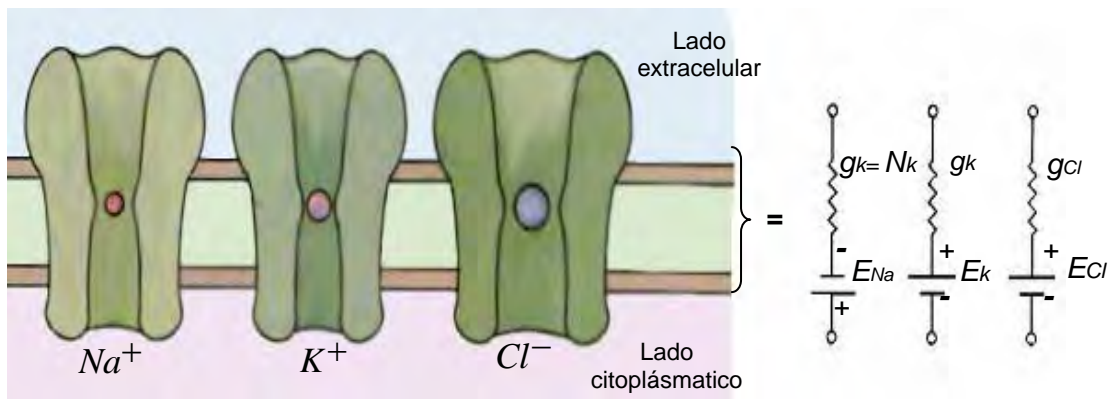


Figura 2.3.3. Cada grupo de canales iónicos selectivos para Na^+ , K^+ o Cl^- puede ser representado por una batería en serie con un conductor. Obsérvese la diferencia de los polos de las baterías, que indica una fuerza electromotriz negativa para el K^+ y Cl^- y positiva para el Na^+ . La fuente de potencial eléctrico recibe el nombre de fuerza electromotora, y la fuerza electromotora generada por una diferencia de potenciales químicos se denomina batería. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 134*). [62]

Los parámetros eléctricos:

- Diferencia de potencial (V o E).
- Corriente (I).
- Conductancia ($g = \sigma$).
- Capacitancia (C).

Los parámetros eléctricos para el análisis de circuitos:

- Conductancia
- Corriente.
- Capacitancia.
- Diferencia de potencial.

Flujo de corriente en circuitos con capacitancia:

- Circuito con condensador.
- Circuito con resistencia y condensador en serie.
- Circuito con resistencia y condensador en paralelo.

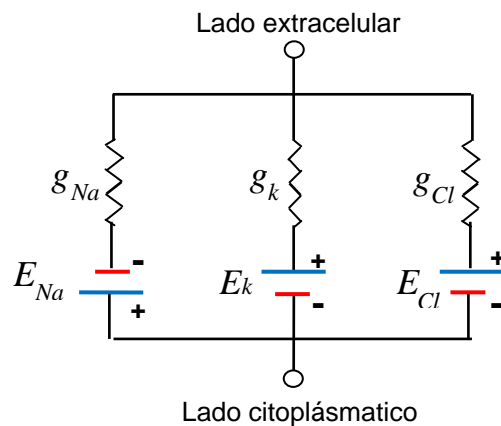


Figura 2.3.4. Las propiedades funcionales de la neurona pueden ser representadas en un circuito eléctrico equivalente. El circuito contiene los elementos que representan los canales de membrana específicos para un ión y los cortos circuitos proporcionados por el citoplasma y el líquido extracelular. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, j. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 135*). [62]

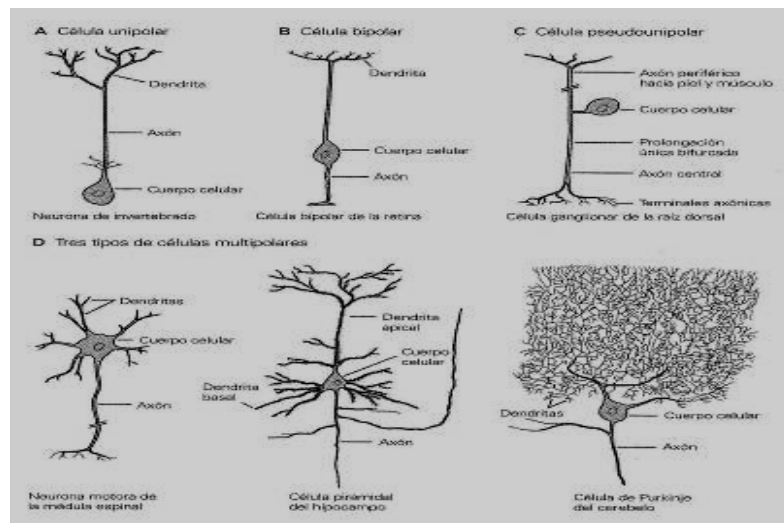


Figura 2.3.5. Tipos de células neuronales. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, j. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 24*). [62]

Las neuronas pueden clasificarse en unipolares, bipolares o multipolares de acuerdo con el número de prolongaciones que se originan en el cuerpo celular. Las células unipolares tienen una sola prolongación, las células bipolares tienen dos prolongaciones funcionalmente especializadas: la dendrita lleva información hacia la célula y el axón transmite información a otras células. Las células multipolares tienen un axón y muchas dendritas. Son el tipo más frecuente de neuronas en el sistema nervioso de los mamíferos.

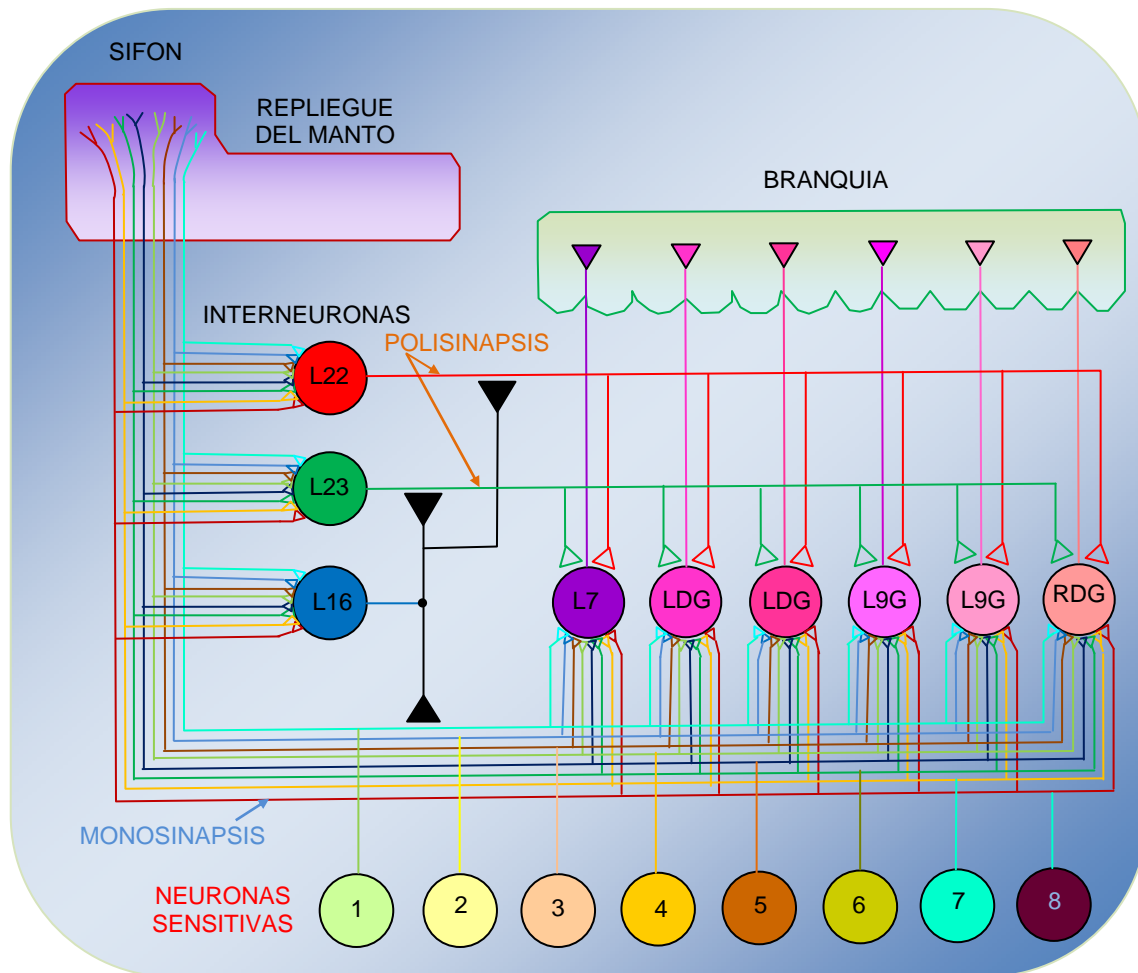
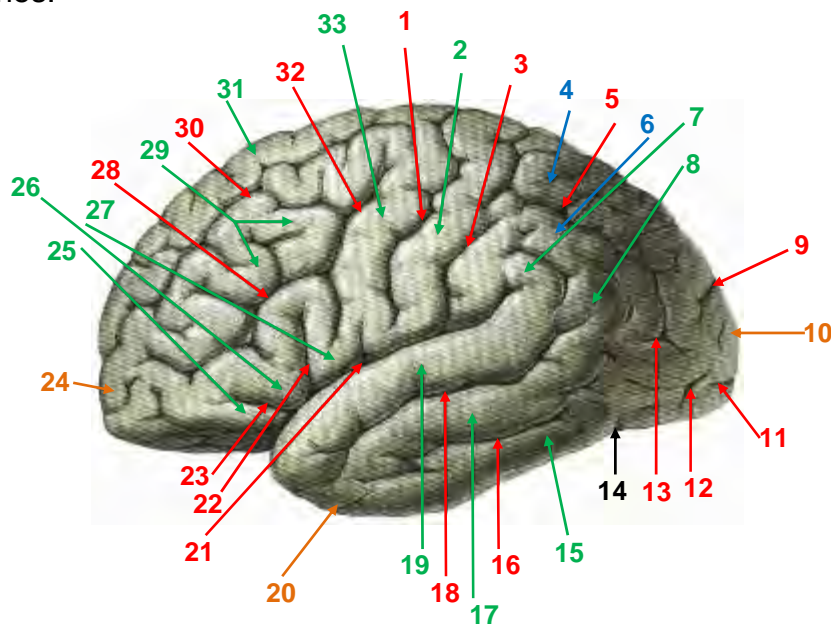


Figura 2.3.6. Circuito nervioso de un reflejo de comportamiento de Aplysia, el reflejo de retracción de la branquia, esquematizado. En la acción refleja, el animal retrae la branquia cuando el conducto carnosos, el sifón, de la cubierta protectora, el repliegue del manto, sufre una estimulación. La piel del sifón está inervada por unas 24 neuronas sensitivas; el diagrama se ha simplificado para centrar la atención de ocho de ellas. Las neuronas sensitivas establecen monosinapsis o conexiones directas con seis neuronas motoras branquiales, identificadas en la fila que comienza con L7 y con una célula inhibidora al menos, L16 y dos interneuronas excitadoras interpuestas, L22 y L23, que establecen sinapsis con neuronas motoras. (*Micro Sistemas de Neuronas. Eric R. Kandel. El Cerebro. Libros de Investigación y Ciencia. Scientific American. Página 43*). [62]

Las neuronas forman redes específicas de señalización que median conductas específicas, éstas transmiten la información de manera singular. La mayor diferencia entre las neuronas se produce a nivel molecular. Existen en la actualidad pruebas considerables sobre la plasticidad en las sinapsis químicas. Estas sinapsis a menudo poseen una notable capacidad de modificación fisiológica a corto plazo (de horas de duración) que aumentan o disminuyen la eficacia de la sinapsis.

Las variaciones a largo plazo (días de duración) pueden dar lugar a ulteriores modificaciones fisiológicas que inducen alteraciones anatómicas, como es la poda de conexiones preexistentes, e incluso el crecimiento de nuevas conexiones.



- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. Surco central de Rolando. | 19. Circunvolución temporal superior. |
| 2. Circunvolución poscentral. | 20. Polo temporal. |
| 3. Surco poscentral. | 21. Surco lateral de Silvio, ramo posterior. |
| 4. Lobulillo parietal superior. | 22. Surco lateral de Silvio, ramo ascendente. |
| 5. Surco intraparietal. | 23. Surco lateral de Silvio, ramo anterior. |
| 6. Lobulillo parietal inferior. | 24. Polo frontal. |
| 7. Circunvolución supramarginal. | 25. Circunvolución frontal inferior. Porción orbitaria. |
| 8. Circunvolución angular. | 26. Circunvolución frontal inferior. Porción triangular. |
| 9. Surco parieto-occipital. | 27. Circunvolución frontal inferior. Porción opercular. |
| 10. Polo occipital. | 28. Surco frontal inferior. |
| 11. Surco calcarino. | 29. Circunvolución frontal media. |
| 12. Surco semilunar (inconstante). | 30. Surco frontal superior. |
| 13. Surco occipital transverso. | 31. Circunvolución frontal superior. |
| 14. Escotadura preoccipital. | 32. Surco precentral. |
| 15. Circunvolución temporal inferior. | 33. Circunvolución precentral. |
| 16. Surco temporal inferior. | |
| 17. Circunvolución temporal media. | |
| 18. Surco temporal superior. | |

Figura 2.3.7. Topografía del cerebro humano, surcos, lobulillos y circunvoluciones. (*Atlas de Anatomía Humana*. F. Netter. 2ª edición. Lámina 99). [75]

Las sinapsis químicas se pueden modificar funcional y anatómicamente durante el desarrollo y la regeneración y, lo que es más importante, a través de la experiencia y el aprendizaje. Las alteraciones funcionales se producen generalmente a corto plazo e implican variaciones en la eficacia de las conexiones sinápticas ya existentes. Las alteraciones anatómicas sobreviven habitualmente a largo plazo y consisten en el crecimiento de nuevas conexiones sinápticas entre neuronas. Es este potencial de plasticidad de unidades relativamente estereotipadas del sistema nervioso lo que proporciona la individualidad a cada uno de nosotros.

El cerebro, sin embargo, no es un ovillo o una red continua entre células y sus ramificaciones como preconizaba el gran histólogo italiano Camilo Golgi. Por el contrario, cada neurona como demostró por primera vez Ramón y Cajal, conserva una perfecta individualidad, “son individualidades morfológicas”, como él mismo señalaba. Cada una de estas neuronas se comunica con otras tantas, miles, a través de los contactos que establecen sus prolongaciones.

Decía Cajal “...Esas disposiciones morfológicas atestiguan que los elementos nerviosos poseen relaciones recíprocas de contigüidad y no de continuidad y que estas relaciones de contactos más o menos íntimo se establecen siempre, no entre las arborizaciones nerviosas solas, sino entre estas ramificaciones, de una parte, y el cuerpo y las prolongaciones protoplasmáticas, de otra parte.” (Mora, 2007). [75]

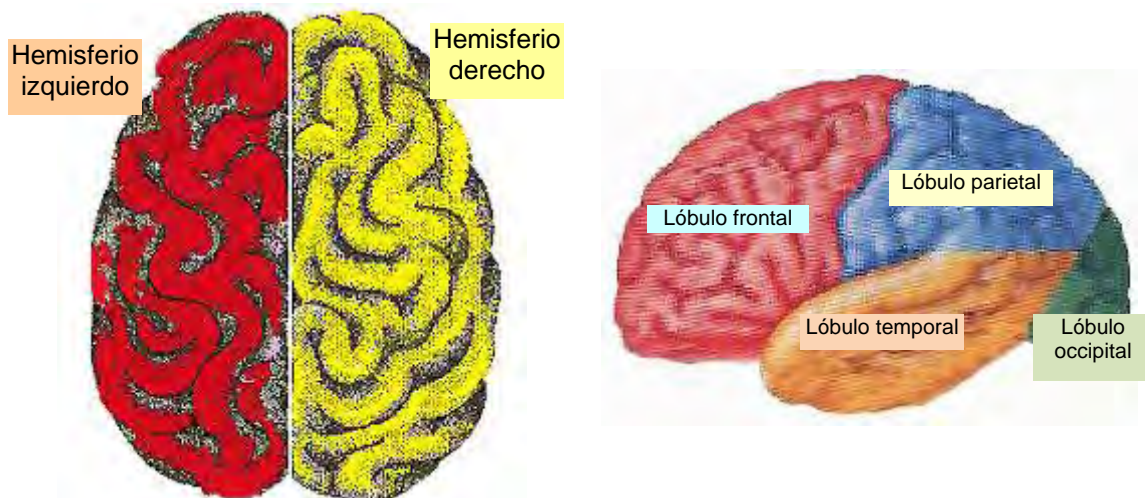


Figura 2.3.8. Los hemisferios cerebrales y los cuatro lóbulos de la corteza cerebral. (Principios de Neurociencias. E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 8). [63]

Los sistemas nerviosos de todos los animales tienen en común cierto número de funciones básicas, de las que las más notorias son el control del movimiento y el análisis de la sensación. Lo que distingue al cerebro humano es la variedad de actividades más especializadas que es capaz de aprender. Algunas

de estas funciones superiores del cerebro humano son gobernadas por retículos neuronales especializados.

El cortex cerebral, una placa muy replegada de tejido neuronal de unos dos milímetros de espesor, es una corteza externa que cubre los hemisferios cerebrales. En el hombre su superficie total, si se extendiera, sería de unos 1400 centímetros cuadrados. El tejido cortical alberga alrededor de cien mil neuronas por cada milímetro cuadrado, lo que sugiere que el cortex posee unas diez mil millones de neuronas.

En los albores del siglo XX Korbinian Brodmann dividió el cerebro humano en **52 áreas** diferenciadas basándose en las estructuras distintivas de sus neuronas y las disposiciones características de las capas celulares.

El esquema de la corteza de Brodmann sigue empleándose mucho en el presente y se sigue actualizando continuamente. Se ha observado que varias áreas definidas por Brodmann controlan funciones cerebrales específicas.

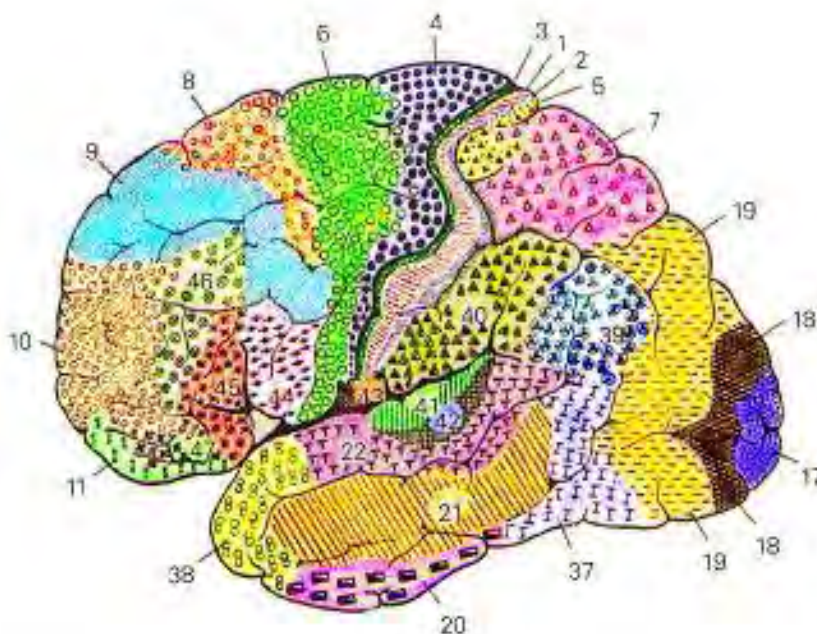


Figura 2.3.9. Esquema de la corteza de Brodmann. El área 17 es la corteza visual primaria que recibe señales de los ojos y las trasmite, para continuar su interpretación, a otras áreas. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, j. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 12*). [63]

Los cuerpos celulares se disponen en media docena de capas que son, alternativamente, pobres y ricas en células. En contraste con estos marcados cambios de densidad celular en capas sucesivas a distintas profundidades del cortex, hay una uniformidad notable de un lugar a otro en el plano de una capa determinada y en cualquier dirección dentro de este plano.

La teoría de Sperry de la dualidad y la asimetría cerebral han confirmado que los dos hemisferios del cerebro pueden funcionar de forma independiente, y que poseen capacidades diferentes que normalmente se integran las comisuras cerebrales.

La simetría física izquierda-derecha del cerebro y el cuerpo no implica, que los lados derecho e izquierdo sean equivalentes en todos sus aspectos. Solo tenemos que analizar las aptitudes de nuestras dos manos para observar los comienzos de asimetría de la función. Poca gente es realmente ambidiestra; la mayoría tiene una mano dominante. Las diferencias de aptitud en ambas manos solo es un reflejo de las asimetrías básicas funcionales de los dos hemisferios cerebrales.

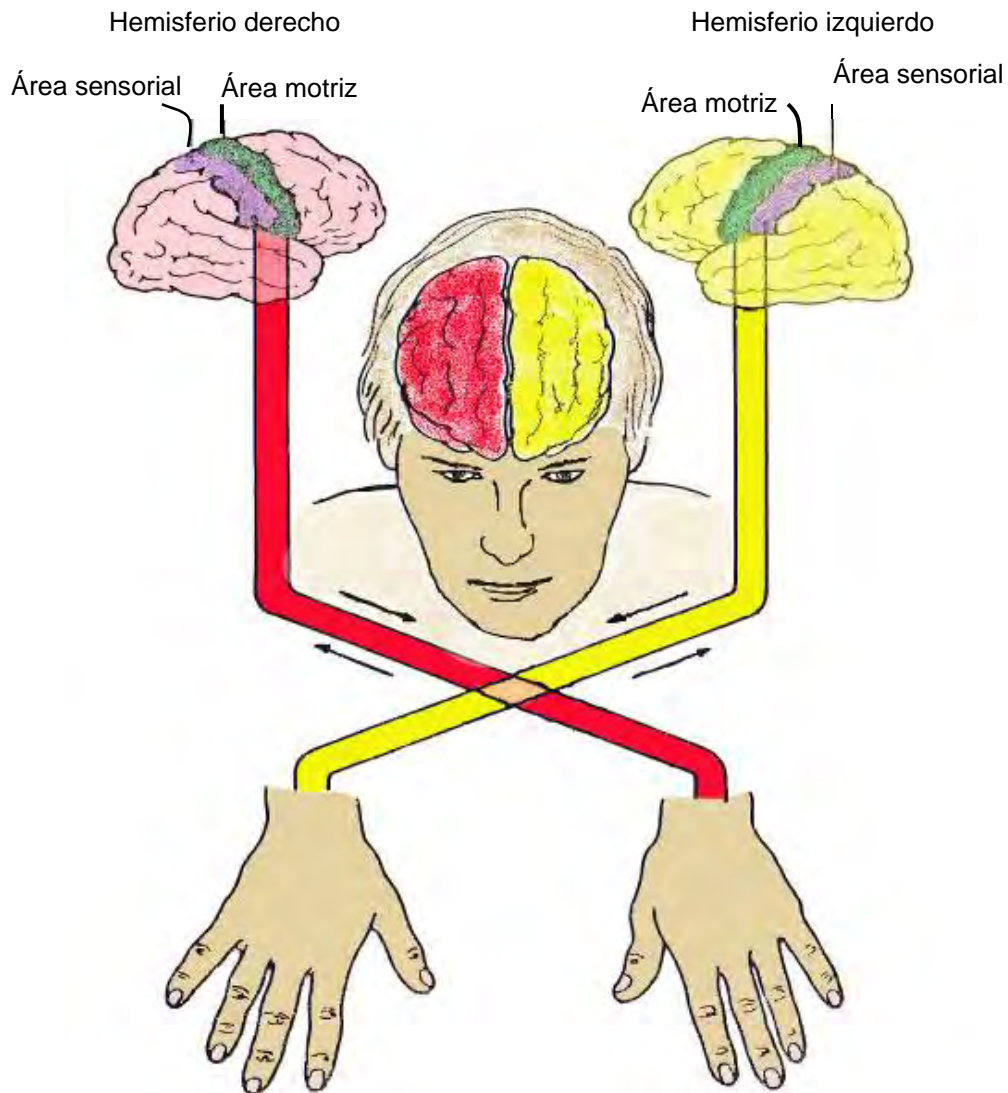


Figura 2.3.10. Control motor y vías sensoriales entre el cerebro y el resto del cuerpo; están casi completamente cruzadas. Cada mano es atendida principalmente por el hemisferio cerebral del lado contrario. (*Cerebro izquierdo, cerebro derecho*. S. P. Springer y G. Deutsch. GEDISA. Página 17). [107]

En los últimos años se ha obtenido gran cantidad de evidencias que demuestran el cerebro izquierdo y el derecho, con la ayuda de la tomografía de emisión de positrones, PET por sus siglas en inglés, y la resonancia magnética funcional, RM.

Aunque físicamente simétricos los dos hemisferios, no son idénticos en sus capacidades de organización. Hay razones para creer que las funciones mentales humanas más complejas y las conductas están divididas asimétricamente entre el cerebro izquierdo y el derecho. La evidencia más reciente y dramática de asimetría funcionales proviene de observaciones de la conducta en individuos con lesiones cerebrales.

En la figura siguiente se observa una lista de algunas de las capacidades que se ha visto que están lateralizadas. Se muestran en dos columnas: las que están más controladas por el hemisferio izquierdo, y las que están más controladas por el hemisferio derecho.

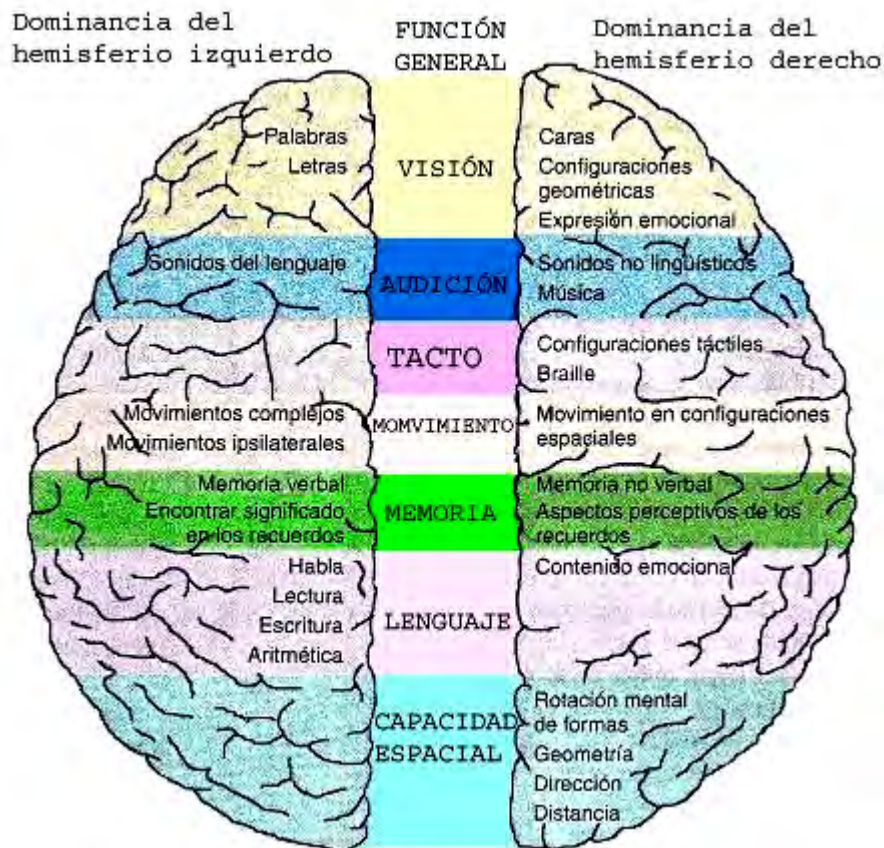


Figura 2.3.11. Recientemente se ha puesto de manifiesto una función lateralizada mediante estudios de neuroimagen funcional (véase Haaland y Harrington, 1996). Cuando se realizan movimientos complejos guiados cognitivamente con una mano, se observa la mayor parte de la actividad en el hemisferio contralateral, como era de esperar. Sin embargo, también se observa cierta activación en el hemisferio ipsilateral. Superioridad del hemisferio derecho en la capacidad musical. Kimura (1964). (*Biopsicología*. 4ª edición. P. J. Pinel. Página 518). [89]

El estudio de la lateralización de funciones ha dejado de lado la noción de dominancia del hemisferio izquierdo. Se ha demostrado que el hemisferio derecho es superior al izquierdo desde el punto de vista funcional en varios aspectos.

Los tres dominios de superioridad del hemisferio derecho mejor documentados son la capacidad espacial, la emoción y la capacidad musical. Asimismo, el hemisferio derecho es superior en algunas tareas de memoria.

Se han propuesto varias teorías para explicar la evolución de la simetría cerebral. Todas ellas se basan en la misma premisa general: que resulta ventajoso que las zonas del cerebro que realizan funciones similares se localicen en el mismo hemisferio. No obstante, cada teoría de la asimetría cerebral postula una distinción diferente entre las funciones de los hemisferios izquierdo y derecho.

2.3.1. Existen tres diferentes teorías de la asimetría cerebral.

1) *Teoría Analítico- Sintética*. Sostiene que existen dos modos básicos de pensar, un modo analítico y un modo sintético, que se han segregado durante el transcurso de la evolución hacia los hemisferios izquierdo y derecho, respectivamente; según esta teoría el hemisferio izquierdo funciona de una forma más lógica, analítica, como una computadora, que analiza la información de los estímulos visuales de forma secuencial y abstrae los detalles pertinentes, a los que adjunta etiquetas verbales; el hemisferio derecho es fundamentalmente un sintetizador, más relacionado con la configuración general del estímulo, que organiza y procesa la información en función de formas o totalidades (Harris, 1978, página 463).

2) *Teoría motora*: Según la teoría motora de la asimetría cerebral (Kimura, 1979), el hemisferio izquierdo no está en sí especializado en el control del habla, sino en el control de movimientos finos, de los que el lenguaje es solo una categoría. Wolff y colaboradores (1990) encontraron que los sujetos con discapacidades lectoras también tenían problemas a la hora de realizar una prueba de golpeteo con los dedos.

3) *Teoría lingüística*: Postula que la función principal del hemisferio izquierdo es lingüística, a diferencia de la teoría analítico-simétrica y motora, que consideran al lenguaje como una especialización secundaria que reside en el hemisferio izquierdo, debido a su especialización primaria en el pensamiento sintético y en la actividad motora especializada, respectivamente. La teoría lingüística de la asimetría cerebral se basa en gran medida en el estudio de personas sordas que utilizan el American Sign Language (ASL; un lenguaje de signos que tiene una estructura parecida al lenguaje hablado).

El **sistema visual** dispone del circuito nervioso más complejo de todos los sistemas sensitivos. El nervio auditivo consta de alrededor de 30 000 fibras, pero el óptico posee más de un millón. Casi todo lo que se conoce sobre la

organización funcional del sistema visual procede de experimentos similares a los utilizados para investigar el sistema sensitivo somático.

Las semejanzas entre estos sistemas permitieron identificar los principios generales que gobiernan la transformación de la información sensitiva en el encéfalo y la organización y el funcionamiento de la corteza cerebral.

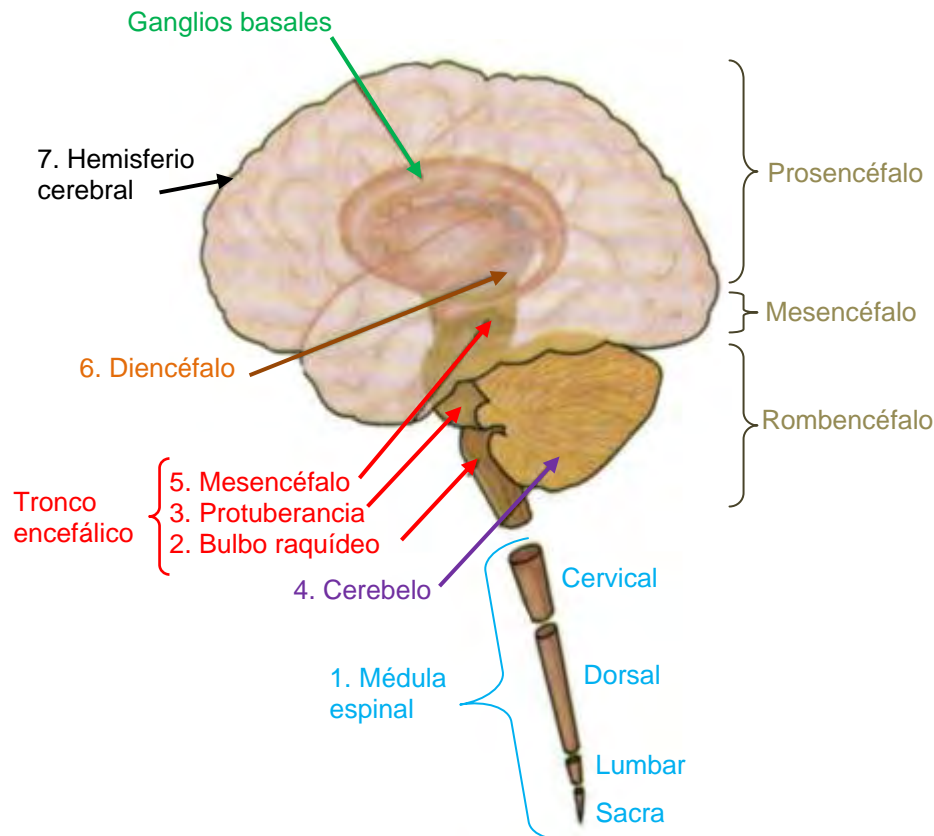


Figura 2.3.12. El sistema nervioso central se puede dividir en siete partes principales. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, j. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 8*). [62]

El flujo de la información visual se da en dos fases: primero, desde la retina al mesencéfalo y el tálamo; después, desde el tálamo a la corteza visual primaria. Se consideran en primer lugar la forma en que el mundo se proyecta sobre la retina y la proyección de la retina en tres áreas encefálicas subcorticales: la región del pretecho, el tubérculo cuadrigésimo superior del mesencéfalo y el núcleo geniculado lateral del tálamo

Con fines tanto clínicos como experimentales, es importante distinguir entre la imagen retiniana y el campo visual. La superficie de la retina se divide en dos mitades, cortadas por la línea media: la hemirretiniana nasal, situada por dentro de la fóvea, y la hemirretiniana temporal, por fuera de la fóvea. Cada una de estas mitades de la retina se divide a su vez en cuadrantes, dorsal (o superior) y ventral (o inferior).

El campo visual es la imagen vista por los dos ojos con la cabeza inmóvil. Cuando las fóveas de ambos ojos se fijan en un solo punto del espacio, pueden definirse las mitades izquierda y derecha del campo visual. El hemisferio visual izquierdo se proyecta sobre la hemirretiniana temporal del derecho. El hemicampo visual derecho se proyecta sobre la hemirretiniana nasal del ojo derecho y la hemirretina temporal del ojo izquierdo.

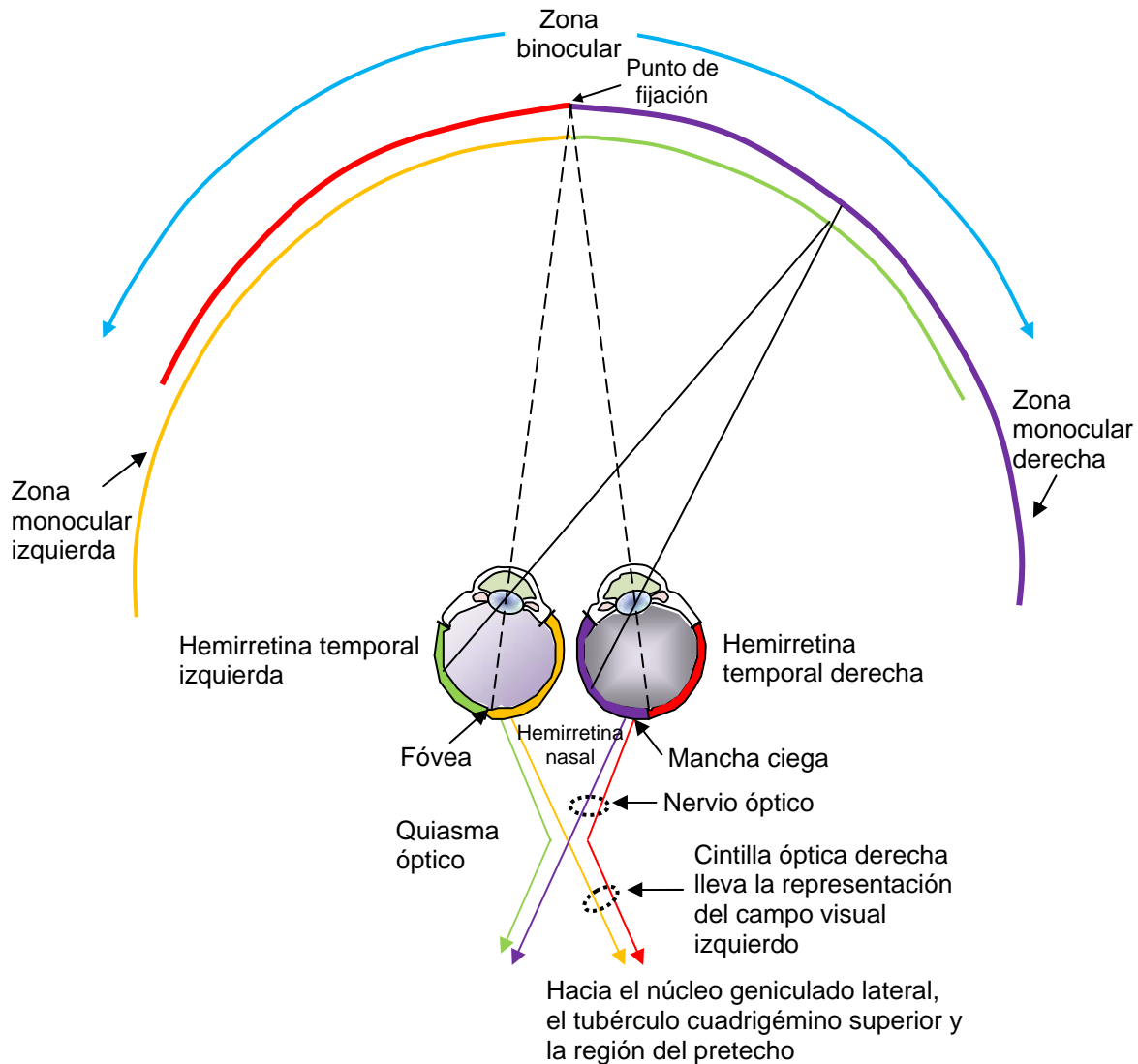


Figura 2.3.13. El campo visual tiene zonas tanto binoculares como monoculares. La luz procedente de la zona binocular alcanza la retina de ambos ojos, mientras que la luz de la zona monocular solo alcanza la retina del ojo del mismo lado. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, j. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 524*). [62]

La luz procedente de la región central del campo visual, llamada zona binocular, penetra en los dos ojos. En cada mitad del campo visual existe también una zona monocular: la luz de la porción temporal del hemicampo visual sólo se

proyecta en la hemirretina del ojo del mismo lado (hemirretina nasal homolateral). Esta porción monocular del campo visual se denomina también semiluna temporal, ya que constituye el extremo temporal, con forma de creciente lunar, de cada campo visual. Como en esta región no hay superposición binocular, las lesiones graves de la hemirretina nasal se asocian con pérdida de la visión de la tonalidad de la semiluna temporal.

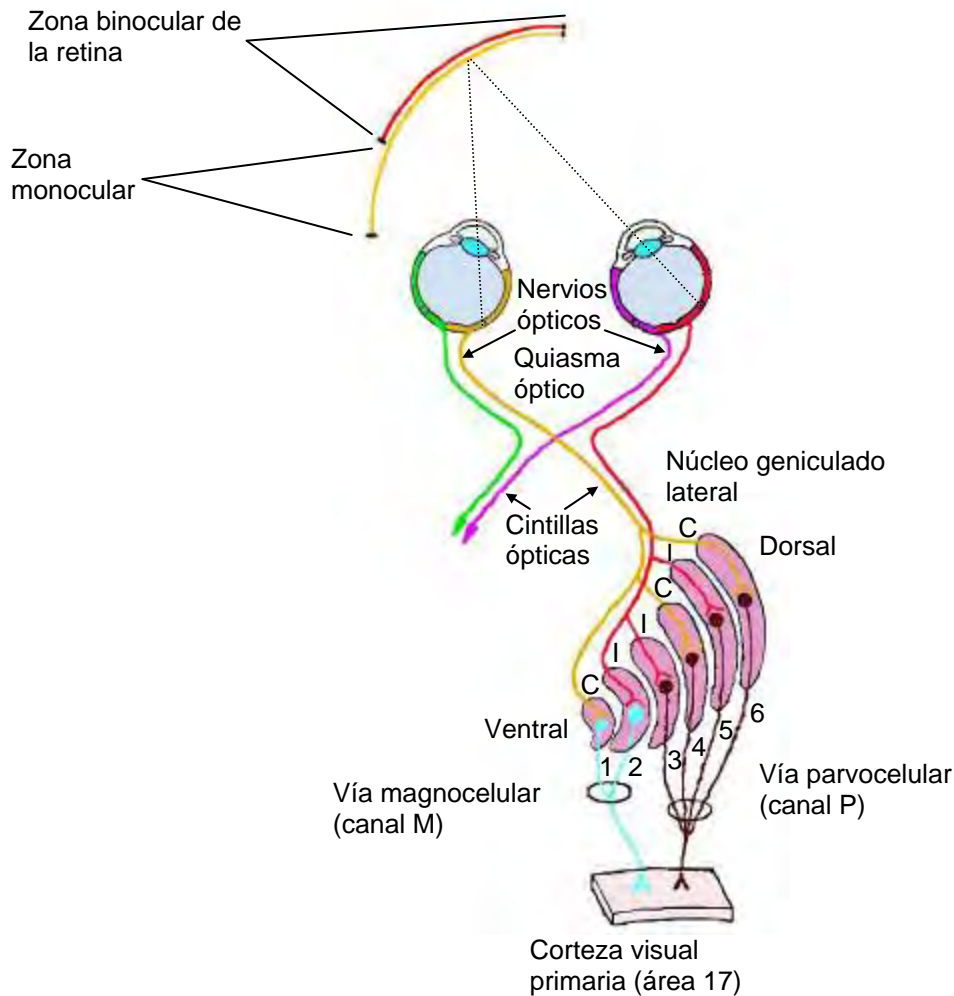


Figura 2.3.14. El núcleo geniculado lateral es la principal localización subcortical del procesamiento de la información visual. Las aferencias que proceden de la hemirretina derecha de cada ojo se proyectan en distintas capas del núcleo geniculado lateral derecho para crear una representación completa del hemisferio visual izquierdo. Las capas 1 y 2 forman las capas magnocelulares y las capas 3 a 6 son parvocelulares. Todas ellas se proyectan hacia el área 17, la corteza visual primaria (C=aférensia contralateral; I=aférensia homolateral). (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 529*). [62]

La papila óptica, la región por donde los axones de las células ganglionares abandonan la retina, carece de fotorreceptores, por lo que supone una solución de continuidad, o mancha ciega. Así como cada nervio óptico lleva la información visual de un ojo, cada cintilla óptica lleva la representación completa de una mitad de la zona binocular del campo visual. Las fibras de la hemirretina nasal de cada

ojo cruzan al lado opuesto en el quiasma, cosa que no hacen las fibras de la hemirretina temporal.

El núcleo geniculado lateral es el lugar principal de terminación de los impulsos dirigidos a la corteza visual. El 90 % de los axones retinianos terminan en el núcleo geniculado lateral, principal estructura subcortical encargada de transportar la información visual a la corteza cerebral. En ausencia de esta vía la percepción desaparece.

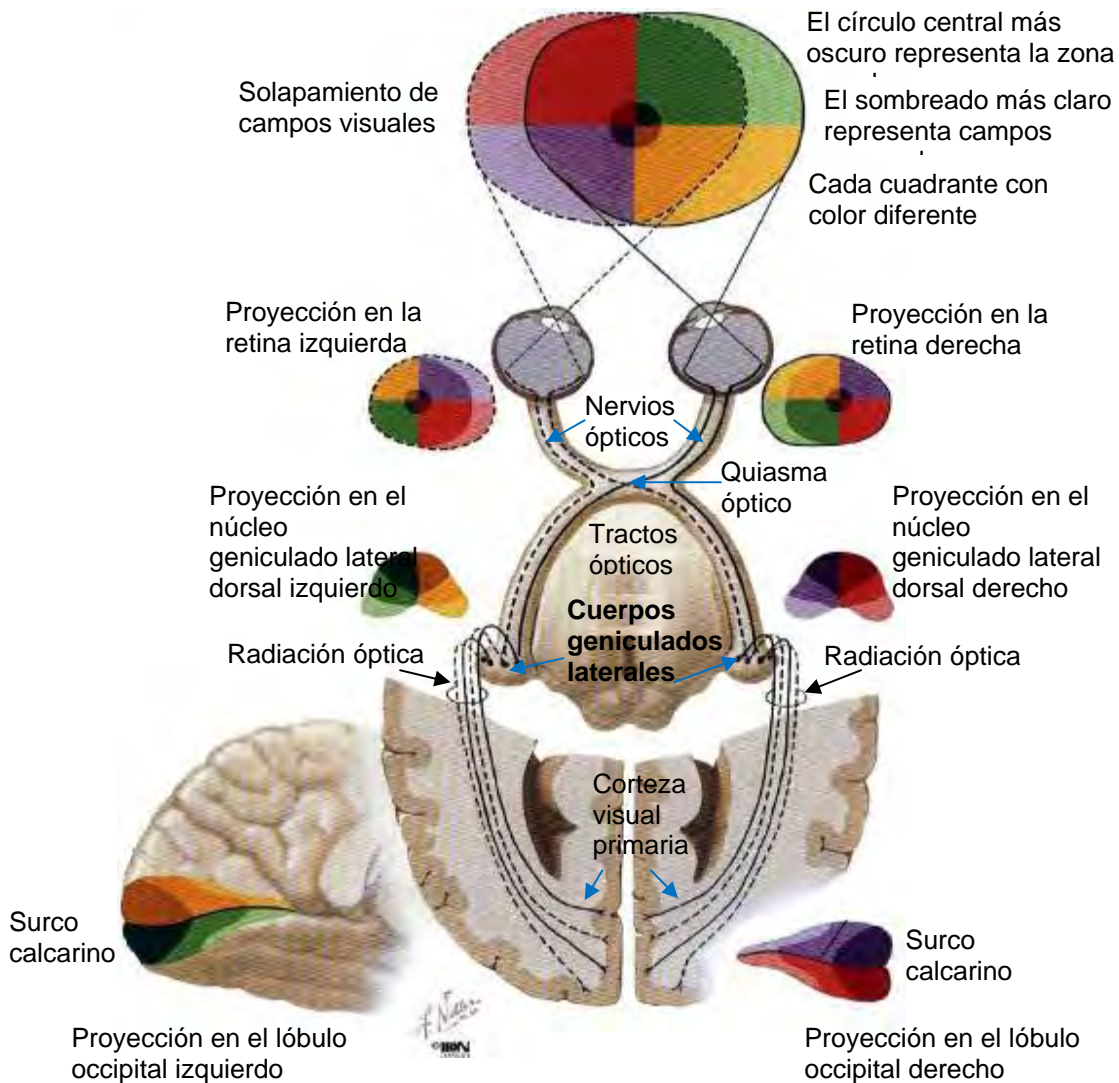


Figura 2.3.15. Sistema retino-geniculado-estriado: proyecciones nerviosas desde las retinas a través de los núcleos geniculados laterales hasta la corteza visual primaria (corteza estriada) izquierda y derecha. Los colores indican el sentido del flujo de información desde varias partes de los campos receptivos de cada ojo hasta varias partes del sistema visual. (Adaptado. *Texto: Biopsicología. 4ª edición. P. J. Pinel. Página 197. Imagen. Atlas de Anatomía Humana. 2ª edición. Lámina 114*). [75][89]

Las células ganglionares de la retina se proyectan de forma ordenada en zonas del núcleo geniculado lateral, por lo que cada núcleo geniculado lateral contiene una representación retinotópica de la mitad contralateral del campo visual.

Además del contraste y de los cambios rápidos de iluminación, el sistema visual analiza también otros aspectos de la imagen visual, como el color, la forma y el movimiento. El procesamiento de estas características tiene lugar en la corteza visual en vías paralelas. El procesamiento paralelo se inicia en la retina mediante las tramas paralelas de células ganglionares.

El sistema retinogeniculado-estriado está formado por dos canales de comunicación independiente. Estos dos canales son más evidentes en los núcleos geniculados laterales, donde se segregan de forma espacial. Uno de los canales por las cuatro capas superiores de cada núcleo geniculado lateral. Estas capas se denominan capas parvocelulares, o capas P, porque están compuestas de neuronas con cuerpos celulares pequeños, *parvus* significa pequeño. El otro canal discurre por las dos capas de la parte inferior llamadas capas magnocelulares, o capas M, porque están formadas por neuronas con cuerpos celulares grandes, *magnus* significa grande.

La vía P está formada por las neuronas parvocelulares de los núcleos geniculados laterales y por las células ganglionares retinianas que establecen sinapsis con ellas. Las neuronas de la vía P, que están en mayoría, responden de manera especial al color, a los detalles de las formas y a los objetos estacionarios o de movimiento lento.

Características del estímulo	Sensibilidad	
	Células M	Células P
Contraste de color	No	Si
Contraste de luminancia	Mayor	Menor
Frecuencia espacial	Menor	Mayor
Frecuencia temporal	Mayor	Menor

Tabla 2.3.1. Diferencias de sensibilidad de las células M y P según las características del estímulo. (*Principios de Neurociencias. E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Página 530*). [62]

La Vía M está formada por las neuronas magnocelulares de los núcleos geniculados laterales y por las células ganglionares retinianas que establecen

sinapsis con ellas. Las neuronas de la vía M son especialmente sensibles al movimiento.

Los conos proporcionan la mayor parte de la entrada de señales hacia la vía P, mientras que los bastones proporcionan la mayor parte de la entrada de señales hacia la vía M. Las vías M y P se proyectan hacia puntos ligeramente diferentes de la corteza estriada. Las neuronas magno celulares terminan encima de las neuronas parvocelulares, ambas en la capa inferior IV.

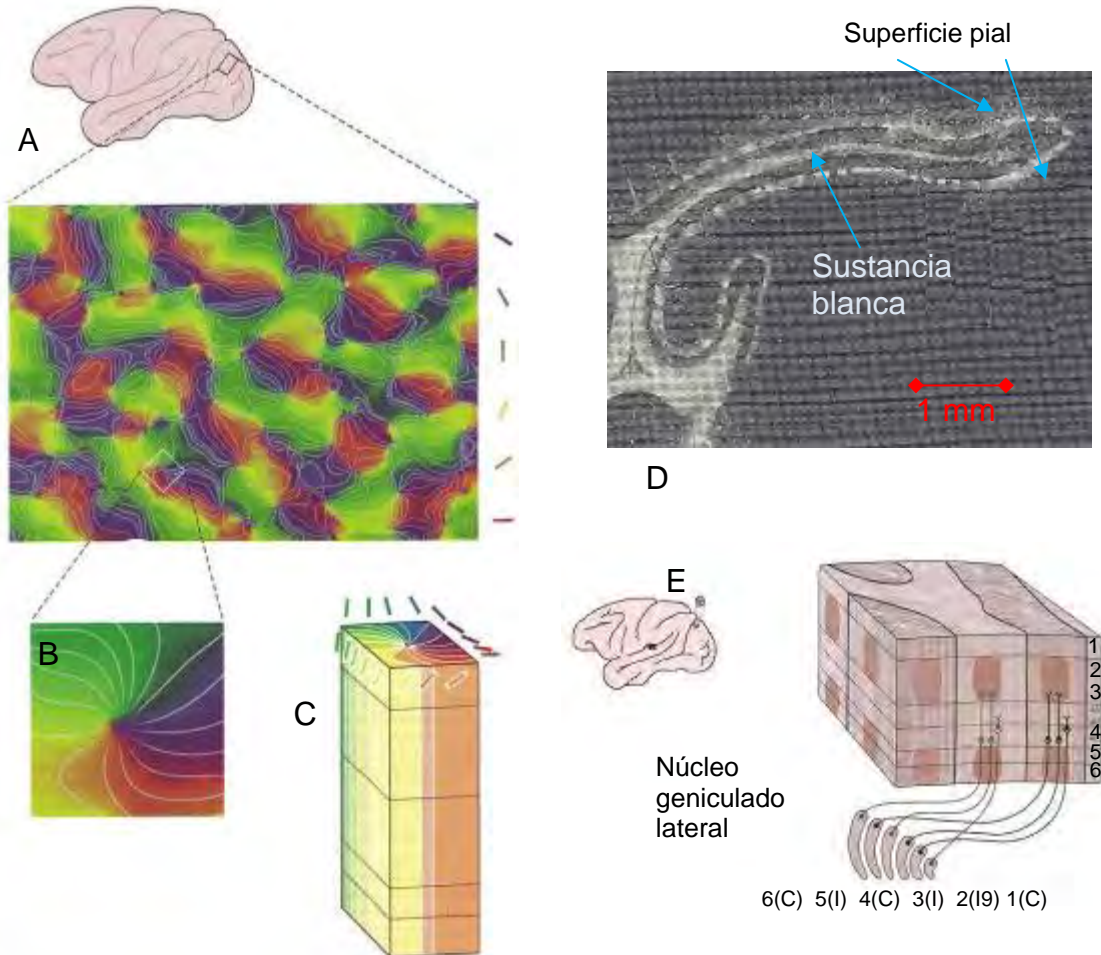


Figura 2.3.16. Columnas de orientación en la corteza visual del mono. (Cortesía de Gary Blasdel). (*Principios de Neurociencias*. E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. 4ª edición. Páginas 538, 540, 541). [62]

El estudio de los campos receptivos de las neuronas de la corteza visual primaria ha llevado a dos conclusiones importantes. La primera es que las características de los campos receptivos de las neuronas de la corteza visual se pueden atribuir al flujo de señales desde las neuronas dotadas de campos receptivos más sencillos hasta las que tienen campos más complejos (Reid y Alonso, 1996). Concretamente, parece que las señales fluyen desde las células

con centro <<on>> y centro <<off>> de la zona inferior de la capa cortical IV hacia las células simples, y desde las células simples hacia las células complejas.

La segunda conclusión es que las neuronas de la corteza visual primaria están agrupadas en columnas funcionales verticales, en este contexto, vertical significa en ángulos rectos respecto de las capas corticales. Una gran parte de las pruebas que apoyan esta conclusión se obtiene de los estudios sobre los campos receptivos de las neuronas a lo largo de varias vías, verticales y horizontales, de electrodos. La figura 2.3.16 muestra los siguientes aspectos.

En (A) vemos la imagen de un rectángulo de 9x12 mm de superficie cortical tomado mientras el mono veía contornos de distintas orientaciones.

En (B) se observa el aumento de un área “en molinillos” de (A). Las orientaciones que producen mayor actividad permanecen constante a lo largo de los radios extendiéndose hacia fuera desde el centro, pero cambian continuamente alrededor de $\pm 180^\circ$.

La figura (C) representa la organización tridimensional de las columnas de orientación de la corteza visual primaria situadas bajo la región de la superficie mostrada en (B).

(D) es una autorradiografía de la corteza visual primaria de un mono adulto muestra las columnas de predominio ocular como parches blancos y negros alternativos, marcados y no marcados, en la capa 4 de la corteza, por detrás de la superficie pial.

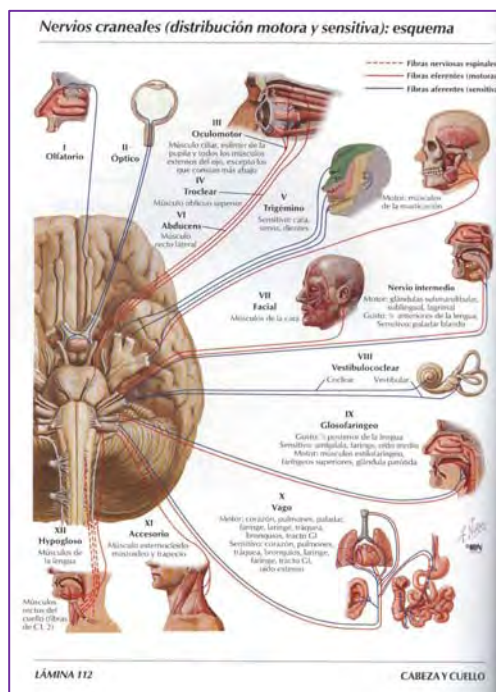
(E) muestra una selección de columnas funcionales de células de la corteza visual, posee la maquinaria nerviosa necesaria para analizar una región separada del campo visual y puede considerarse como un modulo funcional, que contiene un conjunto completo de columnas de orientación, un conjunto de columnas de predominio ocular, ojos derechos e izquierdo, y varias manchas, regiones de la corteza visual donde se lleva a cabo el procesamiento del color. La totalidad del campo visual puede representarse en la corteza visual por el agrupamiento regular de estos módulos.

La información visual importante para la percepción fluye desde la retina hacia el núcleo geniculado lateral. En estas dos estructuras, los campos receptivos de las células son circulares y pequeños. La corteza visual primaria elabora la información elemental procedente de estas células al menos de tres formas distintas:

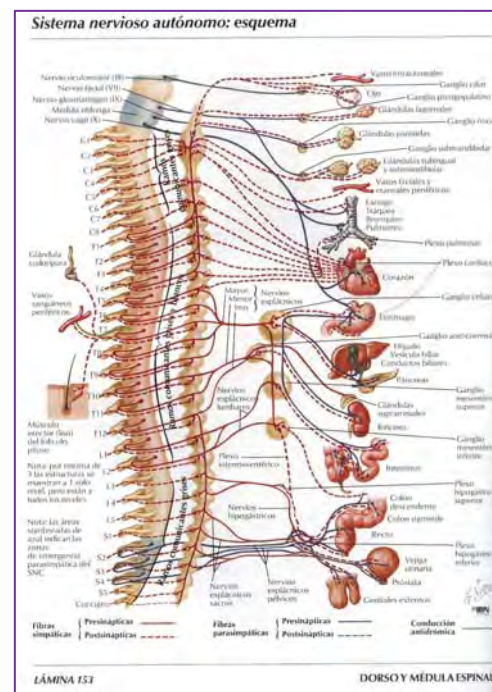
1. Las columnas de orientación descomponen cada parte del campo visual en cortos segmentos lineales de orientación diferente. Éste es el primer paso de un proceso aparentemente necesario para la discriminación de la forma.

2. El procesamiento del color tiene lugar en las células que no poseen selectividad de orientación y que se encuentran en regiones llamadas manchas.
3. Las aferencias procedentes de los ojos se combinan gracias a las columnas de predominio ocular, paso necesario para la percepción de la profundidad.

Este procesamiento paralelo del sistema visual se logra gracias a conexiones centrales muy específicas. Las células ganglionares de la retina se proyectan hasta el núcleo geniculado lateral del tálamo de una forma ordenada que crea en el núcleo un completo mapa retinotópico del campo visual de cada ojo. Además, las células ganglionares M y P de la retina se proyectan en capas distintas del núcleo geniculado lateral: las células en las capas magnocelulares y las células P, en las parvocelulares.



(a)



(b)

Figura 2.3.17. (a) En esta lámina se observan el esquema de la distribución motora y sensitiva de los nervios craneales. (b) Esquema del Sistema Nervioso Autónomo. Se estima que **el Sistema Nervioso Humano tiene aproximadamente dos billones de conexiones**. (Imágenes. Atlas de Anatomía Humana. 2ª edición. Láminas 112 y 153). [75]

Las células de estas capas se proyectan, a su vez, en distintas subcapas de la corteza estriada 4C. Por Tanto, existen dos vías separadas, M y P, que se extienden desde la retina hasta la corteza visual primaria. Las contribuciones funcionales de las vías M y P son distintas. La vía P es esencial para la visión del color y posee una sensibilidad especial para los estímulos de frecuencias

En la corteza estriada, los axones procedentes del núcleo geniculado terminan fundamentalmente en la capa 4, desde la que la información se distribuye a las demás capas, cada una de las cuales dispone de su propio patrón de conexiones con las demás regiones corticales y subcorticales. Además del circuito de capas, las células de la corteza visual se organizan en sistemas funcionales orientados verticalmente: columnas específicas para la orientación, columnas de predominio ocular y manchas.

Las neuronas con propiedades similares de respuestas contenidas en los distintos sistemas orientados verticalmente se encuentran unidas por conexiones horizontales. De esta forma, la información fluye en dos direcciones: entre las capas y en sentido horizontal a través de cada capa.

Este patrón de interconexiones mantiene la relación de varios sistemas de columnas; por ejemplo, un grupo de columnas específicas de la orientación y relacionada entre sí representaría todas las direcciones del movimiento en una región específica del campo visual.

Parece que estas hipercolumnas funcionan como módulos elementales de computación: reciben diversos impulsos aferentes, los transforman, y envían sus impulsos eferentes a varias regiones del encéfalo y de ahí a las distintas vías nerviosas del cuerpo humano, figura 2.3.17.

El diagrama de la figura 2.3.18, muestra un mapa de conectividad de los módulos en el sistema visual de los mamíferos, como se conoce en la actualidad (Van Essen, Anderson y Felleman, 1992).

Entre más detalles sepamos sobre la conectividad entre las regiones corticales, mayor se hará la complejidad de la conectividad global del sistema visual. En ningún sentido es la imagen de una sencilla red de alimentación progresiva. Se debe dar cuenta uno de que las líneas indicando proyecciones masivas, van en ambas direcciones. Esto es, para cada proyección ascendente hacia un nivel más alto de procesamiento, hay una proyección descendente de igual, o algunas veces de mayor tamaño.

Este sistema muestra signos distintos de una jerarquía de procesamiento, aunque la idea de "nivel" en una jerarquía, pudiera no ser siempre la mejor manera de pensar en dicho sistema acoplado. Las funciones detalladas para muchas regiones no se conocen, pero aun en el sistema visual, nuestro sistema cortical mejor estudiado, la función está claramente separada en algunos casos. [2]

Por ejemplo, la proyección de V1 \rightarrow MT \rightarrow MST parece ser una ruta ocupada principalmente con los cálculos involucrando movimiento. Crudamente, el área V1 contiene unidades que responden al movimiento de grandes objetos, un complejo cálculo que requiere integrar muchas señales ambiguas de movimiento local. Las áreas, tales como la MST, parecen responder a rotaciones y dilataciones todavía más complejas. Se ha sugerido que hay rutas visuales

paralelas involucrando diferentes aspectos de la visión. Una teoría, por ejemplo, sostiene que la percepción visual pudiera ser distinta del control visual de las acciones.

Decir que un objeto “está allá afuera”, utiliza un “flujo ventral de proyecciones desde la corteza inferotemporal”, mientras que estirar la mano para asir el objeto, utiliza un “flujo dorsal proyectándose desde la corteza estriada a la región parietal posterior” (Goodale y Milner, 1992, página 20; De Yoe y Van Essen, 1998).

Un punto que vale la pena mencionar, es que la profundidad del procesamiento cortical no es muy grande. La débil jerarquía ricamente interconectada sugerida en la figura 2.3.18, no contiene muchas capas. Una vez que la información sensorial entra a las áreas sensoriales corticales receptoras, puede no pasar a través de muchas sinapsis antes de que el procesamiento esté completo y emerja como una señal motora.

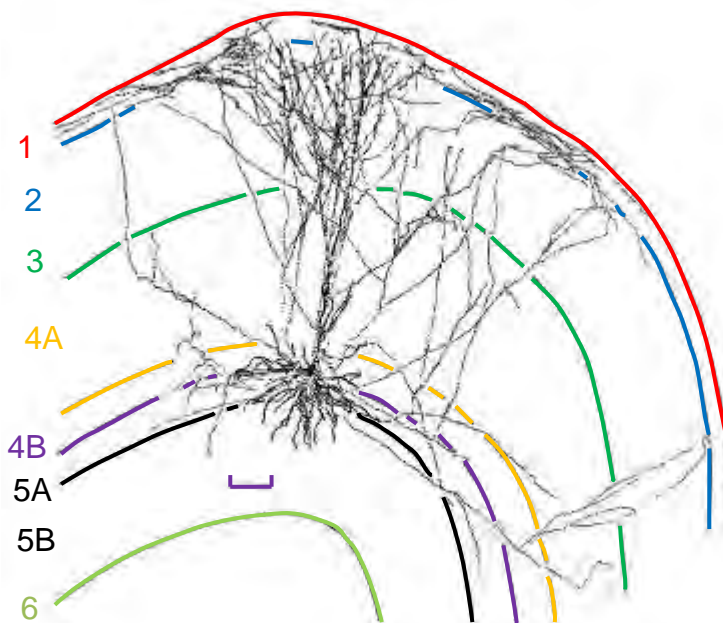


Figura 2.3.19. Célula piramidal en la corteza visual de un gato. (Tinción de peroxidasa de rábano). Las subcapas corticales están numeradas. El cuerpo celular, con forma piramidal, está ubicado en la capa 5^a, y la gruesa dendrita apical se proyecta perpendicularmente a la superficie cortical en la capa 1. Obsérvese las extensas ramificaciones colaterales. La célula piramidal en la capa 5A con proyecciones predominante hacia las capas supragranulares. El complejo campo receptivo es de 0.9 por 2.0°. Impulsada polisinápticamente, las propiedades de suma de longitud no han sido probadas. El axón se extiende 1 050 μ anteriormente y 550 μ posteriormente. Barra de escala: 100 μ . Tomada de Martín (1984). Reimpresa con su permiso. (*Redes Neuronales*. James A. Anderson. 2007. Página 297). [2]

Una suposición basada en los patrones de conectividad, pudiera estar en el orden de una docena de sinapsis, desde la entrada hasta la salida, y a menudo menos. No hay signos de cadenas extendidas de más y más complejos cálculos seriales en los que cientos o miles de pasos pudieran estar involucrados para obtener un resultado. Este es un lugar en que la computación neural diverge fundamentalmente de la computación digital.

Las operaciones elementales del cerebro pueden ser muy poderosas, pero no hay muchas de ellas en serie. Las respuestas deben ser obtenidas en un pequeño número de pasos de procesamiento.



Figura 2.3.20. Espina dendrítica. Figuras incluyendo espinas dendríticas. La sección longitudinal de una dendrita apical en la corteza visual de una rata. Una espina emerge del eje dendrítico y forma una sinapsis asimétrica en su engrosamiento terminal (S). Los constituyentes citoplasmáticos del eje dendrítico son los microtúbulos orientados axialmente. Línea de calibración: 0.5μ . Tomada de Feldman (1984). Reimpreso con su permiso. (*Redes Neuronales*. James A. Anderson. 2007. Página 299). [2]

Las células piramidales reciben entradas sinápticas a sus dendritas en la punta de estructuras conocidas como espinas dendríticas. El pequeño proceso de espina da a la neurona una apariencia difusa bajo el microscopio óptico. El tamaño y apariencia de las espinas responde a la manipulación ambiental, y generalmente se cree que las espinas tienen algo que ver con los cambios sinápticos que subyacen al aprendizaje.

Las sinapsis dendríticas en las células piramidales son excitadoras. Los axones sensoriales entrantes y contactos entre las células piramidales son excitadores. Las sinapsis inhibitoras parecen estar localizadas en el cuerpo celular. Las otras clases de células en la corteza, son de clases diferentes y se les conoce como células estelares, median la inhibición. Las células estelares son locales, en el sentido de que no parecen proyectarse fuera de regiones locales en la corteza.

Se sugiere que la modificabilidad detallada de esta clase que hemos supuesto para nuestros sencillos modelos de redes hebbianas, se encuentran en las sinapsis excitadoras. Si el aprendizaje o la modificabilidad están involucrados en los sistemas inhibitorios de la corteza, se desconoce.

Una característica de las células piramidales, es la presencia de un gran número de colaterales recurrentes. Cuando el axón de una célula piramidal deja la corteza, se ramifica extensamente y envía colaterales recurrentes de regreso hacia la región local de la corteza alrededor de la célula.

Si las conexiones modificables en la corteza son principalmente excitadoras y también recurrentes, existe el potencial para una desastrosa inestabilidad causada por una retroalimentación positiva local. Es sorprendente que el cerebro sea tan estable y despliegue una operación normal a lo largo de toda una vida. La poderosa inhibición local presumiblemente proporciona control y estabilidad. Si la inhibición local es desconectada mediante drogas tales como la estricnina, rápidamente resultan convulsiones, sugiriendo un considerable potencial para la inestabilidad que es manteniendo bajo un estricto control inhibitorio.

Los modelos abstractos que hasta hace poco explicaban una conectividad total, en la que se estipula que cada unidad se conecta a todas las demás, es claramente falso para el cerebro. De acuerdo a Nelson y Bower (1990), un cálculo aproximado mostraría que si las neuronas corticales estuvieran distribuidas sobre la superficie de una esfera y totalmente conectadas entre sí mediante conexiones de $0.1\mu m$ de diámetro, esfera debería tener un diámetro de 20 km.

Los estimados son que las células piramidales tienen miles de sinapsis, por ejemplo en un rango de 7 000 en la corteza visual a 50 000 para las grandes células piramidales en la corteza motora. Esta conectividad es mucho menor que el número de células en una región cortical. Si suponemos que la corteza visual primaria de un primate tiene del orden de 100 millones de células (los estimados varían de 70 millones a 150 millones), una sola célula piramidal hace contacto con menos de una centésima parte del 1% de las otras células en esa región. [62]

El supuesto usual de las redes neuronales sobre la conectividad total está en un grave error. Esta principal diferencia, por sí misma, genera serias dudas sobre los muchos intentos por aplicar las ideas de las redes neuronales artificiales al sistema nervioso. Si una red artificial depende críticamente de una completa conectividad para funcionar, y muchas lo hacen, no puede ser un modelo satisfactorio del sistema nervioso biológico.

Con estas hipótesis sobre la conectividad de las redes neuronales y su función, entendemos que no es fácil crear un modelo que describa todo el complejo sistema visual.

Existen varias limitantes para avanzar en este estudio, la mayoría de los experimentos se llevan a cabo, en seres diferentes al hombre, como gatos, monos, ratas, perros y otros. Agradezco a todas estas especies su aportación a la ciencia, pero no podemos experimentar en cerebros vivos humanos.

La idea de crear simuladores que describan el funcionamiento del cerebro aun es lejana, describir más de dos billones de conexiones del sistema nervioso, lleva tiempo.

Aun no podemos monitorear fisiológicamente si una persona está o no discriminando un color, es por eso que la Psicofísica es una herramienta útil en el diagnostico de las capacidades y discapacidades del sistema visual.



Figura 2.3.21. Los científicos utilizan los animales de laboratorio para investigar procesos biológicos en los seres humanos y en los animales, para estudiar las causas de las enfermedades, para testar fármacos, vacunas y técnicas quirúrgicas y para evaluar la seguridad de algunas sustancias químicas empleadas en pesticidas, cosméticos y otros productos. (Experimentación animal. *Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001*)

2.4 Sistema Munsell del color.

En esta sección veremos que con los estudios actuales en neurofisiología, no se puede crear una escala psicométrica que mida la sensación del color, entonces es necesario recurrir a las pruebas psicofísicas del color para crear un modelo que explique los cambios en la sensación del color, de acuerdo a la dimensiones de los atributos de brillantez, hue y saturación.

Con estos atributos se concretaron las diferentes teorías, sobre la percepción del color, derivando en un sin número de sistemas, que tratan de explicar con un modelo matemático las diferentes escalas psicofísicas para la sensación del color.

Antes de ver el Sistema Munsell del color, mencionaremos algunos aspectos fisiológicos y una breve historia de cómo se creó este sistema.

2.4.1. Aspectos fisiológicos de la sensación del color.

En 1630, el filósofo Descartes atribuyó el color de los objetos al cambio experimentado en la luz cuando ésta se refleja desde aquéllos. Hasta entonces se creyó que la luz carecía de color, que éste pertenecía a los objetos y la luz los hacía visibles. El color, como luz, es un concepto psicofísico que depende de una energía radiante, estímulo físico, y de las sensaciones visuales, respuesta psicológica.



Figura 2.4.1 Renato Descartes (1596-1650), el más influyente de los filósofos modernos. Es difícil captar ahora su dualidad de mente y materia, de que está impregnado todo el pensamiento psicológico moderno. Describió claramente el alcance perceptivo y la constancia en la forma mucho antes de que se estudiaran experimentalmente. (*Adaptado de Psicología de la Visión. Ojo y Cerebro. R. C. Gregory. 1972*). [54]

El color enriquece nuestra experiencia visual y nos permite discernir objetos y patrones que, de otra manera, no podríamos ver. El color es una experiencia subjetiva ligada a la composición espectral de la luz que llega al ojo. La luz que

detecta el ojo solo es una pequeña parte del espectro electromagnético, cubriendo las longitudes de onda de los 400 a los 700 nm.

La mayor parte del color que vemos procede de la luz reflejada por las superficies de los objetos. Estas superficies reflejan la luz de varias formas: por ejemplo, la piel brillante de una manzana contiene un pigmento que le proporciona un color verdoso o rojizo característico. También muestra reflejos brillantes que revelan el color de la luz que incide sobre ella. [48]. Estos reflejos, o reflexiones especulares, dependen de la lisura de la superficie y, aunque son característicos de algunos objetos, suelen ser menos distintivos que la reflexión producida por la pigmentación superficial.

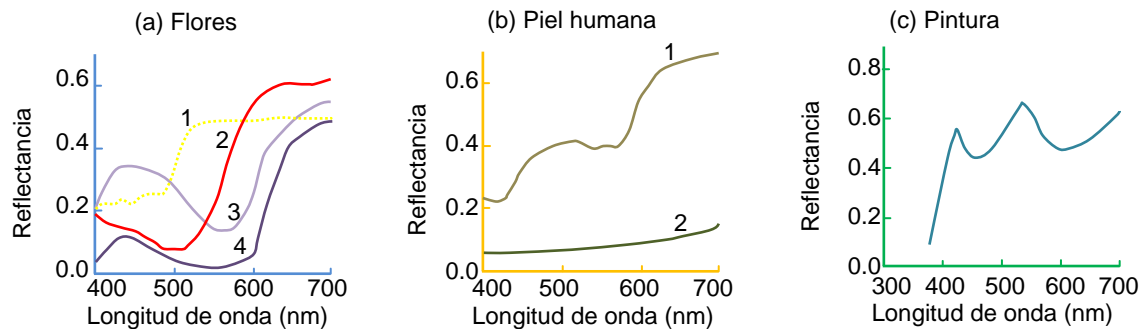


Figura 2.4.2. La función de reflectancia de la superficie de un objeto describe la fracción de la luz incidente que es reflejada por su superficie para cada longitud de onda. Una reflectancia de 1 significa que toda la luz se refleja. Las funciones de reflectancia de los pigmentos de las superficies naturales suelen variar de forma lenta y continua a lo largo del espectro visible, mientras que los pigmentos sintéticos suelen tener una estructura más compleja. (a) Funciones de reflectancia de un ramo de flores. (b) funciones de reflectancia de la piel blanca(1), piel negra (2). (c) Funcion de reflectancia de la superficie de la pintura de esmalte verde claro. (*Adaptado de: Principios de Neurociencias. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 575*). [62]

Las superficies pueden diferenciarse según la proporción de luz incidente que reflejan, las oscuras reflejan menos luz que las claras, y según la composición espectral de la luz reflejada. Estas propiedades pueden describirse como una función reflectante, que especifica la fracción de luz incidente que refleja la superficie para cada longitud de onda.

La función de reflectancia es un atributo estable y distintivo, no cambia con la composición de la luz espectral ni con la intensidad de la luz que incide sobre la superficie, y puede proporcionar una forma física del objeto. Para distinguir una superficie con fiabilidad, el sistema visual debe diferenciar sus funciones de reflectancia.

La información disponible sobre la función de reflectancia de la superficie está contenida en la distribución espectral de la luz que refleja esa superficie, pero esta distribución espectral depende tanto de la función de reflectancia de la superficie como de la distribución espectral de la energía de la luz que ilumina dicha superficie.

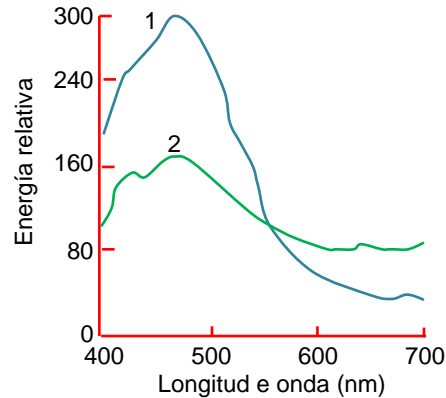


Figura 2.4.3. La luz reflejada por una superficie depende tanto de la función de reflectancia de la superficie del objeto como de la composición espectral de la fuente de iluminación. El gráfico muestra la composición espectral de la luz reflejada por la superficie de un vaso azul iluminado por la luz solar directa (1), y por un cielo uniformemente nublado (2). Las distintas fases de la luz diurna producen un cambio sustancial de la distribución de la luz reflejada por la superficie del objeto. (Adaptado de: Evans, 1948. *Principios de Neurociencias*. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 575). [62]

La visión del color depende de los fotorreceptores de tipo cono. El sistema visual humano normal utiliza tres sistemas de conos para representar las propiedades espectrales de las superficies.

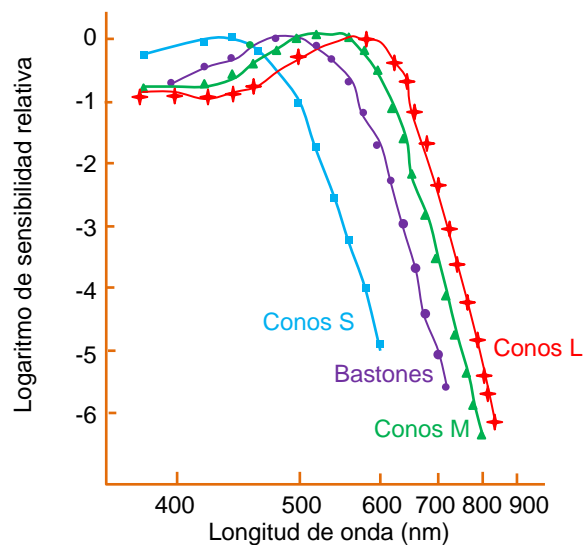


Figura 2.4.4. Las sensibilidades espectrales de las tres clases de conos y bastones. La sensibilidad varía a lo largo de una amplia gama, representada en una escala logarítmica. Las distintas clases de fotorreceptores son sensibles a intervalos amplios y superpuestos de longitudes de onda. Los bastones no contribuyen normalmente a la visión de la luz diurna. (Adaptado de: Scnapt y colaboradores. 1988. *Principios de Neurociencias*. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 577). [62]

La idea de que la visión del color del ser humano depende de tres mecanismos con amplias sensibilidades espectrales, cada uno de ellos con mayor capacidad de respuesta a una parte distinta del espectro visible, fue propuesta a comienzos del siglo XIX por Thomas Young.

Actualmente sabemos que estos mecanismos corresponden a tres clases distintas de conos, cada una de ellas con un foto pigmento diferente.

Las funciones de reflectancia de las mayorías de las superficies naturales varían de forma relativamente continua y lenta con las longitudes de onda. La curva que describe la reflectancia de la superficie puede trazarse a partir de un número pequeño de curvas subyacentes más simples que pueden considerarse como constituyentes elementales comunes a todas las funciones de reflectancia.

La figura 2.4.5., muestra un grupo de tres de estas curvas. Sumando estas tres curvas fundamentales reunidas en las proporciones adecuadas, pueden sintetizarse muy bien la función de reflectancia de una superficie real; si se añadieran aun más curvas fundamentales, podría hacerse aún mejor, aunque cada curva adicional contribuiría progresivamente con menos información sobre la estructura de la función de reflectancia completa.

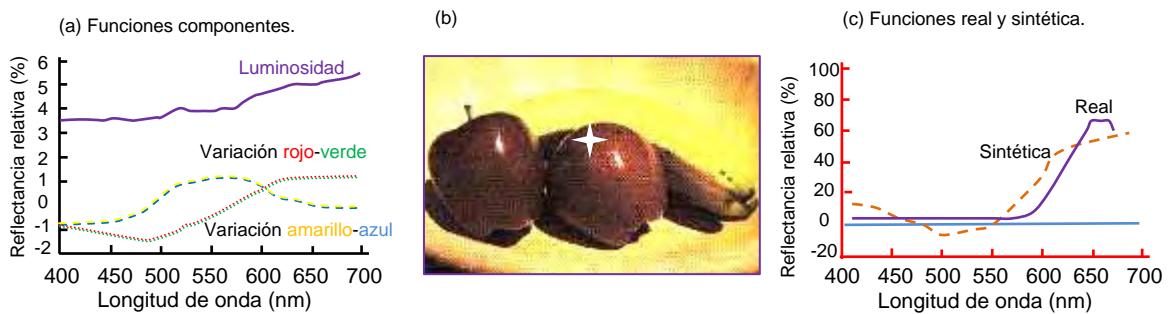


Figura 2.4.5. La función de reflectancia de una superficie natural tiene funciones componentes. (a) Tres funciones componentes, cuando se reúnen en proporciones adecuadas, suministran la mejor descripción de tres variables de las funciones de reflectancia de la superficie de una gran cantidad de objetos naturales. Puede considerarse que una curva representa la dimensión de la luminosidad de la imagen; otras dos curvas pueden corresponder a las representaciones de las dimensiones de la variación rojo-verde y amarillo-azul. Estas tres funciones componentes justifican el 99% de la varianza de las funciones de reflectancia de las superficies naturales estudiadas. La adaptación puede ser casi perfecta cuando se utilizan tres funciones componentes adicionales, lo que suma un conjunto de seis. (b) La reflectancia de la superficie de una manzana se midió en el punto marcado con una cruz. (c) La función de reflectancia superficial real de la manzana puede representarse de forma muy aproximada por la curva que mejor se adapta, línea discontinua, y que puede sintetizarse reuniendo en proporciones adecuadas las tres curvas fijas de (a). (Adaptado de: Cohen 1964 y Moloney, 1984. *Principios de Neurociencias. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 578*). [62]

Por tanto, un sistema visual con algunos mecanismos sensores, dos o tres, y sensibilidades espectrales que permitieran al sistema representar las curvas subyacentes con exactitud podría hacer un buen trabajo representando el abanico

de funciones de reflectancia espectral de las superficies naturales. Lawrence Maloney demostró que tres mecanismos con las sensibilidades espectrales de los conos humanos pueden llevar a cabo bien esta tarea.

Aunque el sistema visual humano no suele confundir las distribuciones de la luz reflejadas por distintas superficies naturales, una representación con tres valores deja abierta la posibilidad de que los medios artificiales pueden confundir el sistema. Este hecho se explota en los sistemas de reproducción de color para obtener una gama de colores a partir de un pequeño número de fuentes primarias.

Por ejemplo, en la televisión a color, inventada por el Ing. Guillermo González Camarena, que consistía en un dispositivo llamado *adaptador cromoscópico* para aparatos de televisión, que posteriormente fue sustituido por un tubo, en donde cada punto de la imagen sintetiza una amplia gama de colores y luminosidades mediante variaciones de intensidad que excitan los tres filamentos existentes en el tubo; uno que emite luz de longitud de onda larga, otro que emite luz de longitud de onda media y otro que emite luz de longitud de onda corta.

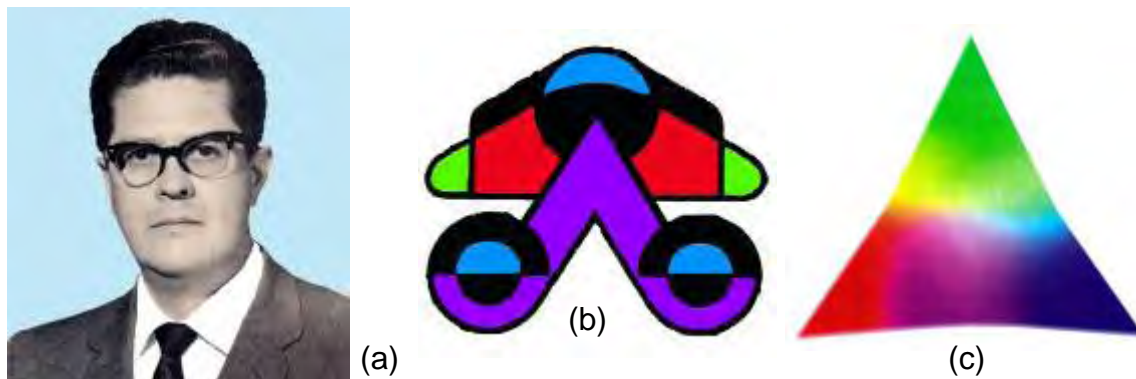


Figura 2.4.6. (a) Dr. Guillermo González Camarena. (b) Logo de identificación del Canal 5 XHGC, realizado por el Dr. Guillermo González Camarena, bajo el estudio de que como el pueblo Nahuatl significaría "Televisión", El color oscuro en esta imagen, originalmente era azul grisáceo, y son dos ojos en la base que ven a un tercero, sobre el cual está el templo del Dios del Viento, Egecatl. (c) Puede obtenerse una amplia variedad de colores mezclando tres luces primarias en diversas proporciones. En esta figura, el rojo, el verde y el azul primarios de la mancha central sólo varían en la intensidad. Cada uno tiene un gradiente desde el claro al oscuro. (Adaptado de: (a) y (b), *Historia de la Televisión Mexicana*. Editado por el Lic. Fernando González y Gonzalez. Presidente de la Agrupación de Iniciadores de la Televisión Mexicana. 1985. (c) *Principios de Neurociencias*. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 579). [51][62]

La vía visual podría transmitir una información más eficiente si se eliminara las partes compartidas por los conos. La forma más sencilla de hacerlo consiste en transmitir las diferencias entre las señales. La mejor transformación sería la que proporcionara, a partir de los tipos de estímulos visuales que alcanzan normalmente los ojos, la menor correlación entre las señales de las tres vías.

Dadas la composición espectral de la luz que penetra en el ojo y las sensibilidades espectrales de los fotorreceptores de tipo cono, las mejores transformaciones son las siguientes:

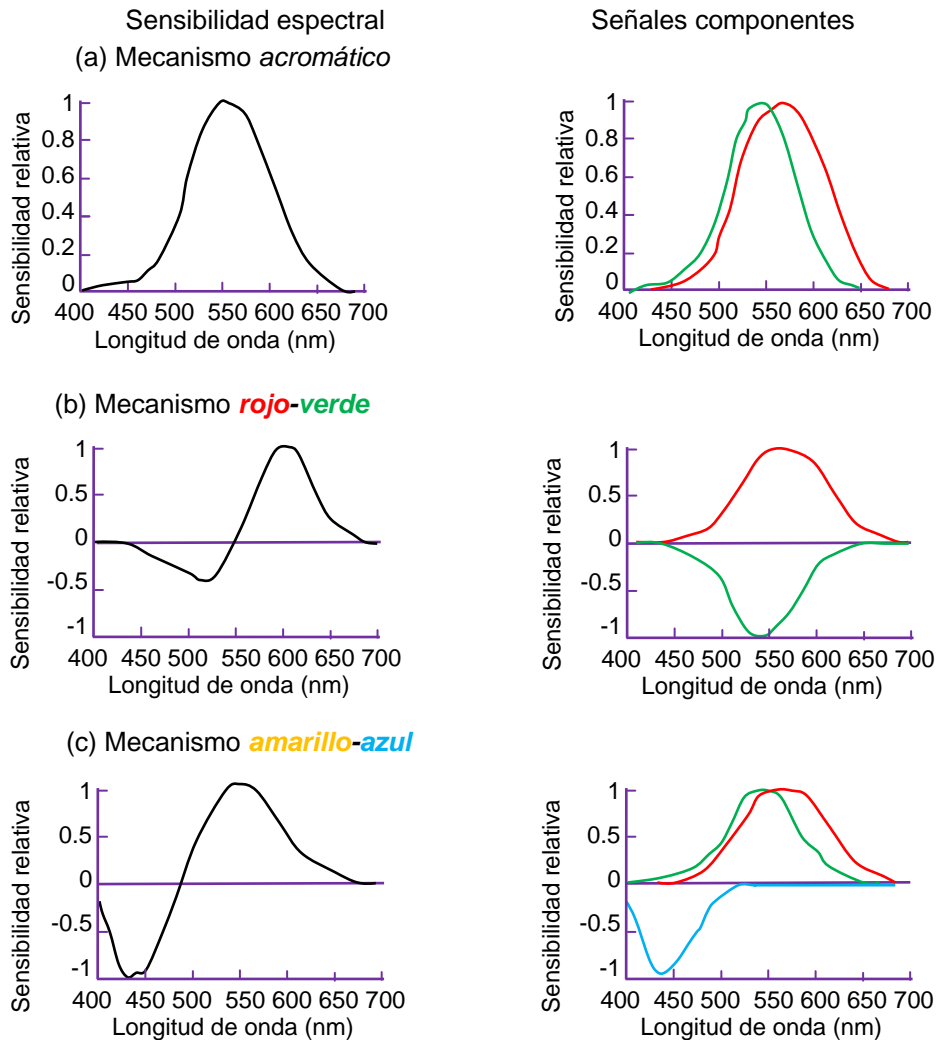


Figura 2.4.7. Sensibilidades espectrales de los mecanismos de tres “segundas fases” que pueden transformar las señales procedentes de las tres clases de conos. (a) La sensibilidad espectral del mecanismo acromático (izquierda) se transforma por la suma de las señales procedentes de los conos L y M (derecha) y, posiblemente con una contribución muy pequeña de los conos S. (b) La sensibilidad espectral del mecanismo rojo-verde resulta de restar las señales de los conos M de las de los conos L. Algunas observaciones psicofísicas indican que los conos S contribuyen a este mecanismo con el mismo signo que los conos L, aunque ello no ha podido confirmarse en el estudio de las neuronas del núcleo geniculado lateral. (c) La sensibilidad espectral del mecanismo amarillo-azul se obtiene restando las señales de los conos L y M de la de los conos S. (Adaptado de: *Principios de Neurociencias*. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 580). [62]

La suma de las señales procedentes de las tres clases de conos (L+M+S).

La diferencia entre las señales de los conos L y M (L-M).

La diferencia entre las señales de los conos S y algunas señales combinadas de los conos L y M (S-LM). [61]

Los mecanismos que transforman de esta forma las señales de los conos tendrían unas sensibilidades espectrales parecidas, grosso modo, a las mostradas en la figura 2.4.7. Este resultado es muy importante, ya que proporciona pruebas de una transformación de las señales de los conos que se había intuido desde hace tiempo a partir de las observaciones de los experimentos de la percepción del color y que más recientemente se estudiaron mediante experimentos fisiológicos.

A finales del siglo XIX, Ewald Hering fue el primero en llamar la atención sobre el hecho de que los tonos rojo, amarillo, verde y azul tienen propiedades especiales: son fundamentales, en el sentido de que los demás tonos pueden describirse como mezclas de ellos y porque pueden considerarse que forman pares mutuamente excluyentes, rojo frente a verde y azul frente a amarillo, de forma que, por ejemplo, resulta imposible lograr un color rojo-verdoso. [32]

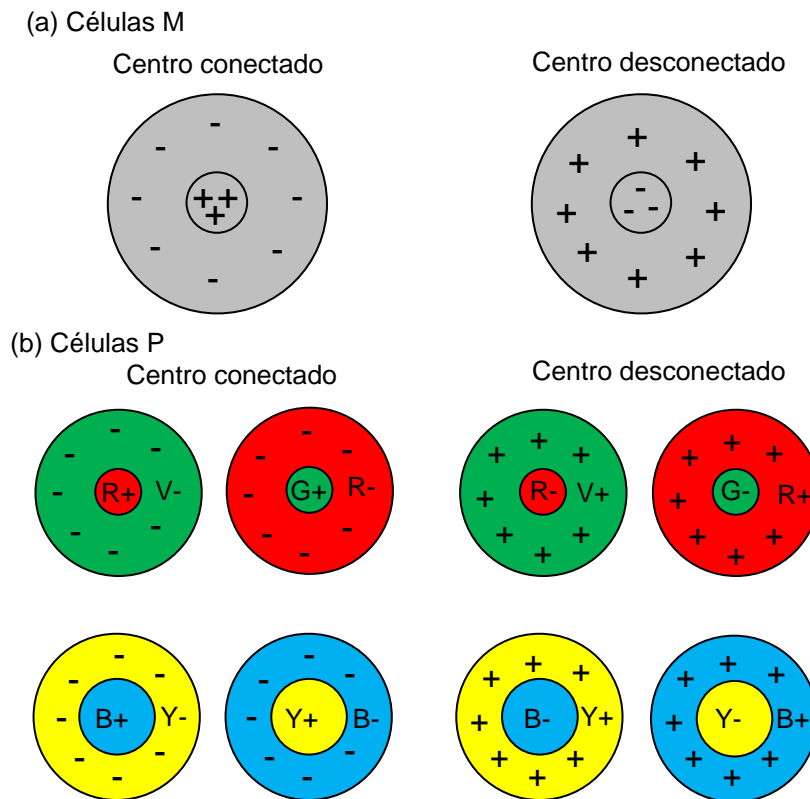


Figura 2.4.8. Los campos receptivos de las células ganglionares de la retina de los primates tienen dos regiones organizadas concéntricamente, un centro y una periferia antagonista. (Adaptado de: *Principios de Neurociencias. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 582*). [62]

Estas observaciones llevaron a Hering a defender que la visión depende de tres mecanismos oponentes distintos. Uno de ellos captaría la variación rojo-verde de la imagen, siendo excitado por la luz roja e inhibido por la verde o viceversa; otro captaría la variación azul-amarillo de la imagen, siendo quizá excitado por la luz azul e inhibido por la luz amarilla; el tercero captaría la variación luz-oscuridad de la imagen, sistema acromático, y sería excitado por la luz e inhibido por la oscuridad.

Durante mucho tiempo esta descripción se consideró como una alternativa a la que defendía los tres sistemas de sensores del tipo representado por los conos, pero acabó tomándose como una descripción de los mecanismos de recepción y transformación de las señales procedentes de los conos.

Esta organización fundamental se expresa en dos formas básicas, figura 2.4.8. En una célula de centro conectado, la luz que incide en el centro excita la célula, mientras que la que incide en el borde la inhibe. En una célula de centro desconectado, la luz que incide en el centro produce inhibición, pero la que incide en la periferia causa excitación. Los distintos tipos de células ganglionares se diferencian por los tamaños de sus campos receptivos y por la forma en que sus centros y periferias integran las señales procedentes de las distintas clases de conos.

La figura 2.4.8(a) Las células M constituyen alrededor del 8% de todas las células ganglionares. Incluso el centro más pequeño recibe impulsos procedentes de varios conos. Las sensibilidades espectrales del centro y la periferia difieren poco o nada.

En la figura 2.4.8(b), las células P constituyen alrededor del 80% de todas las células ganglionares. La organización de los impulsos procedentes de los conos permite dividir las en dos subtipos. El Tipo oponente "rojo-verde" sólo recibe impulsos procedentes de los conos M y L, mientras que el tipo "amarillo-azul" recibe impulsos procedentes de las tres clases de conos.

Dentro de la clase rojo verde las distintas conexiones con los conos originan múltiples subtipos de células: células de centro conectado o desconectado y centros con aferencias procedentes de los conos L o M. Las aferencias que llegan desde los conos a las periferias de los campos se conocen peor, pero en general se cree que surgen de la clase que no alimenta el centro.

En las células de la fóvea o cercanas a ella, el centro de cada campo receptivo recibe las aferencias de un solo cono; en las regiones más periféricas de la retina, varios conos proporcionan aferencias a cada centro. Menos conocida es la estructura de los campos receptivos de tipo azul-amarillo de las células P.

Parece que los mecanismos antagonistas se superponen en mayor medida, posiblemente porque la aberración cromática desenfoca la luz de longitud de onda

corta y el centro y el borde son más difíciles de distinguir. Las células en las que los conos S contribuyen a la señal de “desconexión” son raras.

En los años 50'S obtuvo mucha aceptación, cuando Leo Hurvich y Dorothea Jamenson aportaron pruebas sustanciales obtenidas mediante *experimentos psicofísicos* y otros varios investigadores encontraron pruebas fisiológicas directas de la existencia de mecanismos que combinan de diversas formas las señales de los conos.

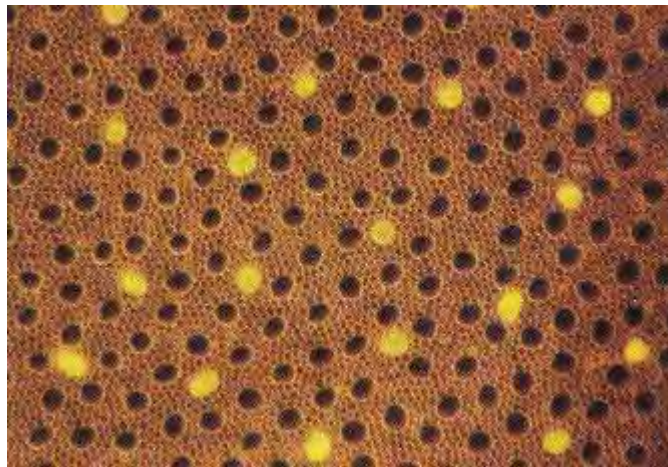


Figura 2.4.9. Mosaico de conos en la retina del macaco, teñidos con el colorante amarillo Proción, para identificar a los conos S. Los conos S aparecen en una organización casi regular de manchas brillantes. Las manchas oscuras más numerosas son los segmentos internos de los conos L y M, también dispuestos en forma casi regular. No existe ningún método anatómico que permita distinguir los conos L y M. Las manchas pequeñas y pálidas que ocupan los espacios entre los conos son bastones. (Fotografía cortesía de S. Schein y F. M. de Monasterio. Adaptado de: *Principios de Neurociencias. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 585*). [62]

El código utilizado por el cerebro para transmitir la información sobre el color se carga profundamente en la corteza visual primaria. El cuadro general surgido de los estudios de la corteza estriada es que el color es sólo una de las distintas dimensiones de variación de la imagen a la que responde de forma selectiva cada neurona; la información sobre el color se codifica junto con la información sobre otros atributos de la imagen.

Un aspecto importante es si la corteza analiza o no las señales de color de forma aislada o junto con las señales relativas a otros atributos de la imagen. Si el color se analiza mediante una línea especial, sería posible que en el área cortical superior existiera una región con predominio de células que respondieran bien a las variaciones del color de la imagen, pero que fueran relativamente poco selectivas para los demás atributos del estímulo visual.

Por otra parte, si cada neurona estuviera sintonizada a múltiples dimensiones, cuando las imágenes variaran, movimiento, color, superficie, profundidad, orientación, el análisis de la información sobre el color estaría inextricablemente unido al de la información sobre los demás atributos de la imagen.

Las observaciones sobre la fisiología de la corteza estriada no han logrado resolver aún este problema. Se ha observado que, tras un ictus, el paciente puede sufrir una debilidad o una pérdida de la visión del color, sin una alteración proporcional de las demás capacidades visuales.

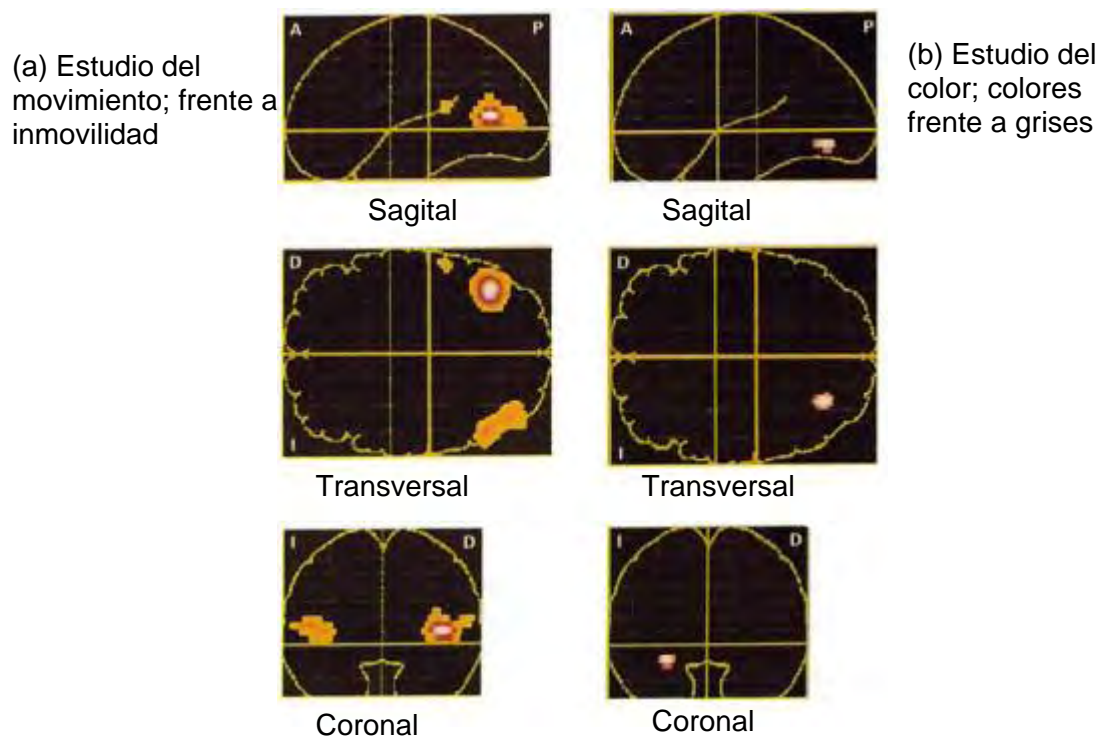


Figura 2.4.10. El movimiento y el color activan áreas distintas del cerebro humano. (a) Estudios del movimiento. Seis personas miraron un patrón de manchas aleatorias en blanco y negro que se movían en una de ocho direcciones o que permanecían estacionarias. La figura muestra el efecto del movimiento porque las exploraciones de PET efectuadas mientras el patrón permanecía estacionario se sustrajeron de las tomadas cuando el patrón estaba en movimiento. Las áreas blancas y rojas muestran el extremo superior de actividad, aumento del flujo sanguíneo cerebral, las áreas se localizan en la convexidad de la corteza preestriada, en la unión de las áreas 19 y 37 de Brodmann. (b) Estudios del color. Estas personas miraron un conjunto de 15 cuadros y rectángulos de distintos colores o, alternativamente, los mismos patrones pero sólo con sombras de gris. La figura refleja la diferencia del flujo sanguíneo observada al mirar los patrones coloreados y grises. El área que muestra un aumento del flujo sanguíneo, en la que se efectúa la percepción del color, ocupa una posición inferior y medial en la corteza occipital. (Tomado de Zeki y colaboradores. 1991. Adaptado de: *Principios de Neurociencias*. Kandel, Schwartz, Jessell. 2002. Página 552). [62]

Esta pérdida selectiva, junto con los resultados de estudios recientes en los que se utilizó la tomografía de emisión de positrones (PET) para estudiar las regiones de la corteza visual especialmente activas, cuando el sujeto ve patrones coloreados en contraposición a patrones acromáticos, indica que la corteza humana contiene una región especializada en el análisis del color. Además, estudios experimentales efectuados en monos demuestran que las neuronas oponentes al color son especialmente numerosas en el área V4.

A pesar de estos indicios sobre la existencia de una vía o región especialmente dedicada al color, otras pruebas indican que una especialización de este tipo debe ser, en todo caso, modesta.

Algunas de las pruebas más convincentes proceden de experimentos de percepción según los cuales la visión prolongada de un patrón de color, forma y orientación determinados hace que el observador pierda sensibilidad a ese patrón pero no a otros que difieren del primero por su color, forma u orientación, por experimentos fisiológicos sabemos que estos efectos perceptivos surgen en la corteza y no en niveles inferiores. [62][89]

Esto implica la existencia de mecanismos fatigables, cada uno de ellos sensible no sólo a una sino a varias dimensiones de variación de la imagen. Otros tipos de pruebas señalan también que V4 debe ejercer funciones visuales más amplias y complejas que el mero análisis del color.

En primer lugar, las células sensibles al color constituyen una pequeña fracción de las que se proyectan desde V2 a V4. En segundo lugar, los estudios sobre las capacidades visuales de los monos con lesiones en V4 demuestran que llevan a cabo de manera satisfactoria tareas visuales simples pero que presentan grandes alteraciones durante la discriminación de formas más complejas.

Los datos fisiológicos respaldan la idea de que la información sobre el color no se analiza en una vía o módulo especializados, sino que siempre se encuentra inextricablemente unida al análisis de los demás atributos de los objetos, al menos en la vía principal que conecta con el lóbulo temporal. Según esta hipótesis, el color es solo uno de los diversos aspectos de una imagen que responde de forma selectiva una neurona cortical.

2.4.2. Aspectos psicológicos de la sensación del color.

Los aspectos psicológicos de la sensación de color, son *hue*, *crominancia* y *luminancia*, ninguno susceptible de ser medido directamente. Puesto que los aspectos físicos no especifican con precisión el color, la solución está en hallar una combinación de las variantes psicofísicas: *longitud de onda*, *crominancia* y *luminosidad*.

El ojo no puede distinguir las longitudes de onda en una muestra de color. Dos luces de distinto color, mezcladas, dan un tercer color y ningún ojo humano puede descubrir su composición.

La distribución de energía de la luz se puede presentar gráficamente, pero la sensación de color del observador, su respuesta o reacción ante la luz que penetra por sus ojos, no se puede mostrar de igual modo.

Los psicólogos experimentales tienen palabras para describir la intensidad física de los estímulos visuales, todas derivadas de la palabra radiante, y palabras para describir la intensidad psicológica de la sensación visual, todas derivadas de la palabra brillantez.

Por lo tanto, la psicofísica del color debería ser la simple interrelación empírica entre los estímulos visuales, descritos por medio de radiante y la sensación visual, descrita por medio de la luminancia. Pero no es así.

<i>Estímulo físico (luz)</i>	<i>Constructo interventor</i>	<i>Sensación del color</i>
La radiación es el flujo radiante proveniente de una fuente o de una zona luminosa por sí misma.	La luminancia es la transformación psicofisiológica de la radiancia.	La brillantez iluminante es la interpretación psicológica de la luminancia. La fuente o zona luminosa por sí misma se ve con gradaciones de intensidad desde lo invisible hasta lo deslumbrante.
La reflectancia radiante es el flujo radiante proveniente de una superficie opaca.	La reflectancia luminosa es la transformación psicofisiológica de la reflectancia radiante.	La brillantez de superficie es la interpretación psicológica de la reflectancia luminosa. La superficie opaca se ve en gradaciones de intensidad desde negro hasta blanco.
La transmitancia radiante es el flujo radiante proveniente de una superficie transparente.	La transmitancia luminosa es la transformación psicofisiológica de la transmitancia radiante.	La brillantez de volumen es la interpretación psicológica de la reflectancia luminosa. La superficie transparente se ve con gradaciones de intensidad desde lo oscuro hasta lo claro.

Tabla 2.4.1 Resumen la nomenclatura del flujo radiante de acuerdo a su fuente y la nomenclatura de su sensación visual correspondiente, y resume la nomenclatura de los términos derivados de luminoso que intervienen entre el estímulo visual y la sensación visual. (*Adaptado de: Sensación y percepción visuales. Jozef Cohen. Página 30*). [32]

La psicofísica del color es complicada por dos razones:

1. Categorías disímiles de energía física luminosa o flujo radiante ocasionan categorías disímiles de sensaciones visuales. El flujo radiante de una fuente provoca una sensación diferente a la provocada por el flujo radiante de una superficie opaca, la cual a su vez, provoca una sensación diferente a la del

flujo radiante de una superficie transparente. La tabla 2.4.1 resume la nomenclatura del flujo radiante de acuerdo a su fuente y la nomenclatura de su sensación visual correspondiente.

2. La investigación visual se ha negado a correlacionar los estímulos visuales con las sensaciones visuales directamente. Los estímulos se relacionan con las sensaciones por medio de un constructo intercurrente psicofisiológico, descrito con palabras derivadas del término luminoso, una invención humana que permite el uso de ecuaciones lineales elegantes. El flujo radiante cualquiera que sea su fuente y nombre, se transforma en una cantidad luminosa correspondiente, invisible, que se interpreta psicológicamente como brillantez. [32]

El análisis del color se hace en términos de la luminancia y la crominancia originadas por la radiancia. Isaac Newton conoció las dificultades del problema: *“Pero determinar más absolutamente lo que es la luz...y por medio de que modos o acciones produce en nuestras mentes los fantasmas de los colores, no es fácil”*. [18]

2.4.3. Psicofísica del color: Datos empíricos y modelo.

Thomas Young, como ya se ha mencionado, demostró las pautas de difracción de la luz, estableció la base psicofísica de las sensaciones de color que acompañan a los estímulos luminosos: *“Ahora bien, como es posible creer que cada punto sensitivo de la retina contenga un número infinito de partículas, cada una de ellas capaz de vibrar al unísono con cada ondulación posible (longitud de onda), se vuelve necesario suponer que el número está limitado, por ejemplo, a los tres colores principales...”*. [54]

James Clerck Maxwell, celebre físico inglés del siglo XIX, afirmó que: *“...Toda visión es una visión de color, pues solo observando las diferencias de color distinguimos las formas de los objetos. Yo incluso a las diferencias de brillantez entre las diferencias de color... Thomas Young hizo la primera exposición precisa de la doctrina de la visión de los colores que me propongo ilustrar. Podemos sentir tres sensaciones de color diferentes. Diferentes tipos de luz excitan estas sensaciones en proporciones diferentes y es mediante las combinaciones diferentes de estas sensaciones primarias como se producen todas las variedades de color visible... En este enunciado hay una palabra en la que debemos fijar nuestra atención. Esta palabra es la sensación. Es casi perogrullada decir que el color es una sensación... Sin embargo, Thomas Young fue el primero que, partiendo del hecho bien conocido de que existen tres colores primarios, buscó la explicación de este hecho no en la naturaleza de la luz, sino en la constitución del hombre... La sensación que nosotros llamamos color obedece algunas leyes, debe haber algo en nuestra propia naturaleza que determine la forma de esas leyes; y no necesito decir que el único testimonio que podemos obtener respecto a nosotros mismos se deriva de la conciencia. Por tanto, la*

ciencia del color debe considerarse esencialmente como una ciencia mental...".
[32]

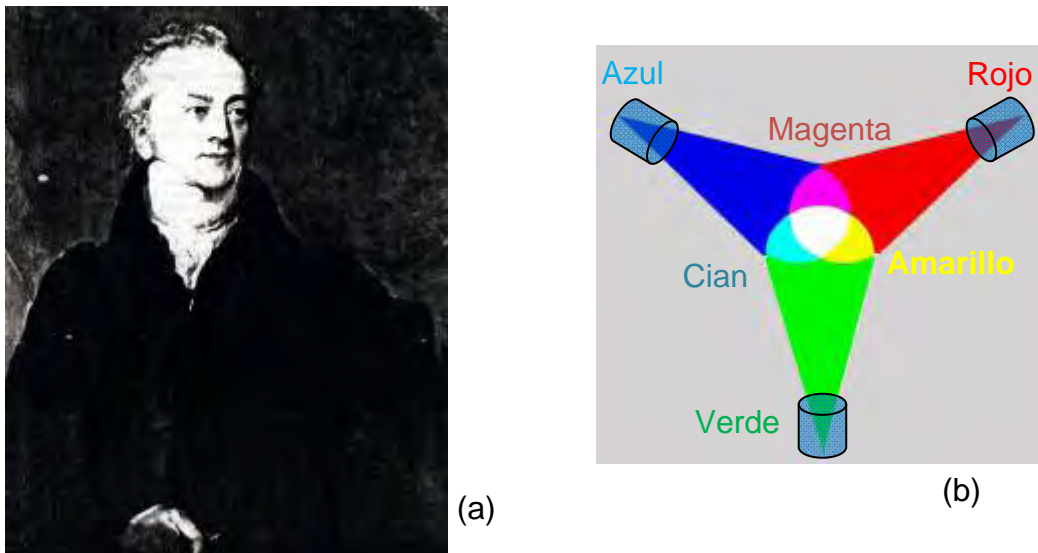


Figura 2.4.11. (a) Thomas Young (1773-1829), pintado por Lawrence. Es el precursor, con Helmholtz, de los estudios modernos sobre la visión cromática. Fue un genio polivalente, pues realizó también importantes descubrimientos científicos y contribuyó a descifrar la piedra de Rosetta. (b) Experiencias de Young sobre las mezcla de colores, probó que se puede obtener cualquier matiz del espectro mediante la combinación apropiada de tres luces, no pigmentos, situadas en zonas muy distintas del espectro; produjo también el blanco, pero no el negro ni los colores no espectrales como el marrón. Dedujo de su experiencia que el ojo mezcla en realidad tres colores a los que en principio es sensible; esta idea es la clave de la explicación de la visión cromática. (Adaptado de: *Psicología de la visión*. R. L. Gregory. *Ojo y Cerebro*. Página 120). [54]

Los psicólogos experimentales han ideado modelos matemáticos que establecen una relación isomórfica, de uno a uno, entre los estímulos visuales, la luminancia y la sensación. Describiremos a continuación el aparato colorimétrico que relaciona los estímulos con la luminancia, la construcción del modelo de luminancia y las leyes de la mezcla de colores inherentes en el modelo. [32]

Los experimentos colorimétricos ideales emplean el llamado método nulo y un punto de vista maxweliano, el campo bipartito usado por James Clerk Maxwell, véase la figura 2.4.21. El método establece sensaciones equivalentes producidas por estímulos con contenido espectro radiométrico diferente.

El observador ajusta el estímulo en un campo hasta que las sensaciones de color de ambos campos son idénticas; no describe sus sensaciones subjetivas. Aun cuando los estímulos sean idénticos, no puede suponerse que las sensaciones subjetivas de un observador sean las de otro. Por supuesto, las sensaciones del otro son un antiguo problema filosófico e indeterminable científicamente.

Sin embargo el doctor J. I. Guillotin no lo creyó así, y opinó de otro modo ante la Asamblea Nacional Francesa en 1789: “*Mi maquina cortará la cabeza en un abrir y cerrar de ojos, y la victima no sentirá más que una sensación de frescura refrescante. Nos falta tiempo, caballeros, para permitir a la nación disfrutar de esta ventaja*”.

Los colorímetros básicos y generales producen los estímulos de color a cada lado del campo bipartito. Los colorímetros básicos son monocromáticos y crean estímulos en luz casi homogénea con intensidades variables. Los tricromáticos crean estímulos al mezclar tres luces casi homogéneas monocromáticas.

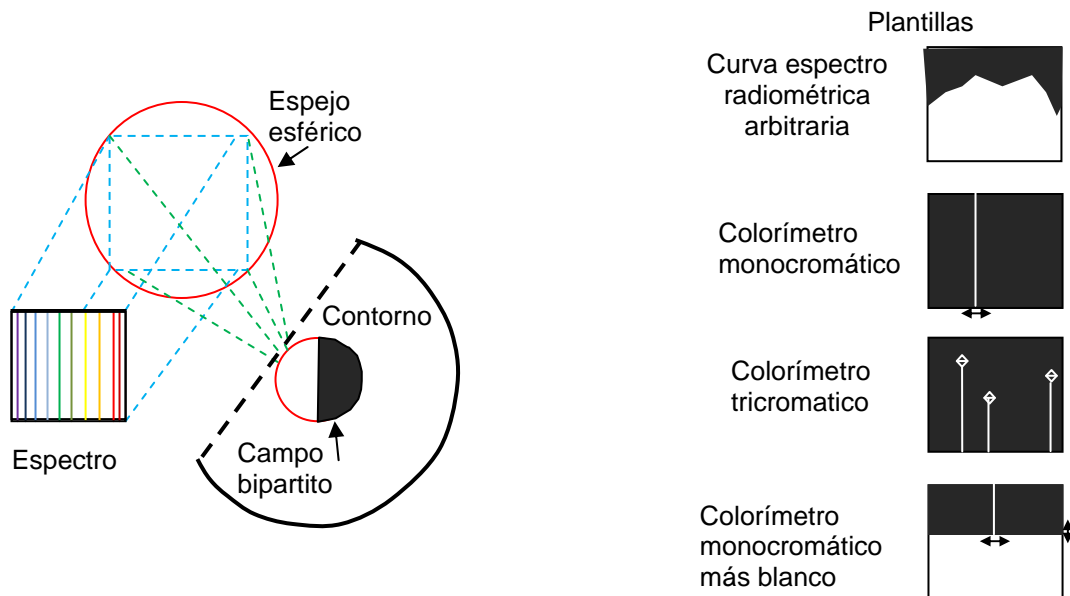


Figura 2.4.12. El aparato colorimétrico se compone de un espectro proyectado sobre un espejo esférico para obtener la integración sobre un lado del campo bipartito. Las plantillas, colocadas sobre el espectro, proporcionan las combinaciones de longitudes de onda necesarias para la integración. Un aparato similar proporciona estímulos para el otro lado. (Adaptado de: *Sensación y percepción visuales. Jozef Cohen. Página 31*). [32].

Los colorímetros generales o multícromáticos crean estímulos con diversas distribuciones espectrales y pueden duplicar los estímulos de todos los colorímetros básicos. Un espectro se proyecta sobre la superficie posterior de una lente colectora amplia para integrarse en una mancha blanca en uno de los lados del campo bipartito. [65]

Esto no es sino un derivado del aparato mezclador de colores de Newton y se muestra en la figura 2.4.12. Plantillas de formas variadas obstruyen mecánicamente partes del espectro, y el color resultante es la integración de la luz no obstruida que se trasmite.

Una plantilla bien cortada puede producir un estímulo de cualquier distribución espectrorradiométrica. Como se muestra la figura 2.4.12., una ranura única forma un colorímetro monocromático, tres ranuras un colorímetro tricromático, y una ranura más, una banda de transmisión amplia forman un colorímetro monocromático más blanco.

Los estímulos monocromáticos de energía igual con diferentes longitudes de onda, observados en condiciones uniformes, producen sensaciones de brillantez diferente; Isaac Newton, al estudiar su espectro prismático, dijo que *“algunos colores afectan a los sentidos con más fuerza”*.

Dados un verde espectral y un azul espectral que tengan la misma radiancia elevada, el verde espectral parece ser más brillante. La diferencia de brillantez se atribuye a la diferencia de luminancia asociada a estímulos monocromáticos de diferentes longitudes de onda.

Las funciones de luminosidad son gráficas de la luminancia relativa de las sensaciones producidas por espectros de igual energía; la función de luminosidad fotópica se deriva de los espectros de alta radiancia y la función de luminosidad escotópica se deriva de los espectros de baja radiancia.

El método de cascada, ilustrado en la figura 2.4.13, es la técnica preferida para medir funciones de luminosidad. El método compara las luminosidades relativas de los estímulos adyacentes a lo largo del espectro. Una luz de 400 nm se coloca en el lado izquierdo del campo bipartito y una luz de 403 nm, por ejemplo, en el lado derecho.

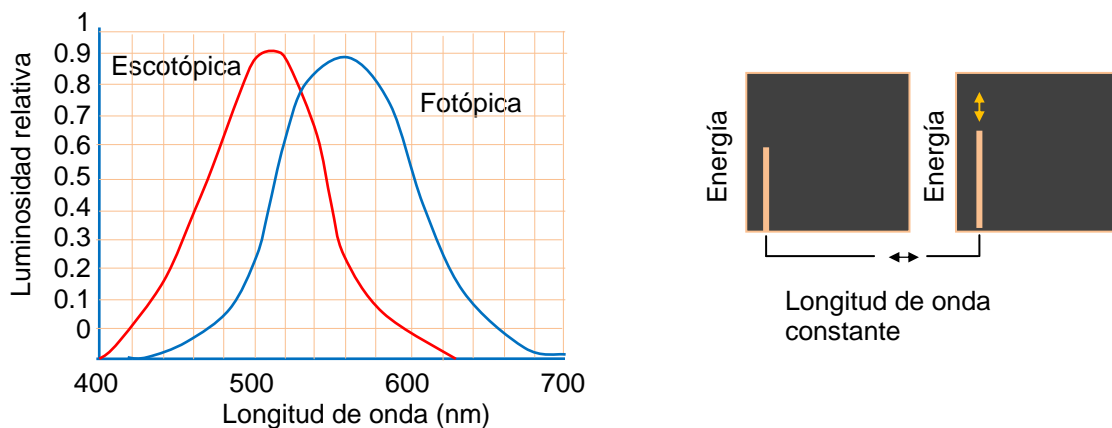


Figura 2.4.13. Las curvas de luminosidad representan a la luminancia relativa como una función de la longitud de onda. Se calculan igualando parejas de luces con longitudes de onda muy adyacentes. (Adaptado de: *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. Página 33). [32]

Un observador ajusta la radiancia del estímulo de la derecha hasta que ambos campos parecen idénticos; los iguala con facilidad relativa, ya que no

puede distinguir la diferencia de hue entre 400 nm y 403 nm, por haber atribuido menos luminancia a 400 nm y más luminancia a 403 nm.

Entonces, continuando con el procedimiento, se coloca una luz de 406 nm en el derecho. El observador ajusta otra vez la radiancia del estímulo de la derecha hasta que ambos campos aparecen idénticos. El observador los iguala con más radiancia en 403 nm y menos radiancia en 406 nm, por haber atribuido menos luminancia a 403 nm y más luminancia a 406 nm. El método de cascada avanza entonces paso a paso hasta los 700 nm, hasta que se compara cada par de estímulos adyacentes. [32]

Las funciones de luminosidad fotópica y escotópica de la figura 1.10 fueron adaptados por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE por sus siglas en francés), como patrones colorimétricos.

La curva fotópica, medida con estímulos de alta intensidad, muestra que un estímulo de 555 nm provoca una sensación basada en el máximo de luminancia, y se le asigna un coeficiente de luminosidad de 1.00; todos los demás coeficientes de luminosidad son relativos. Así que una unidad de radiancia de 555 nm es aproximadamente igual en luminancia a dos unidades de radiancia de 510 nm o a tres unidades de 625 nm.

Los estímulos inferiores a 400 nm y superiores a 700 nm tienen aproximadamente cero de luminancia, e independientemente de su radiancia, casi no provocan sensaciones de brillantes.

La curva escotópica, medida con estímulos de baja intensidad, muestra que un estímulo de 510 nm provoca una sensación basada en el máximo de luminancia, y se le asigna un coeficiente de luminosidad de 1.00; todos los demás coeficientes de luminosidad son relativos.

El desplazamiento gradual desde la función fotópica hasta escotópica, al ir reduciendo la radiancia del estímulo, se llama desplazamiento de Purkinje, en honor de E. J. Purkinje, quien notó que los rojos de la luz de día se convierten en los negros de la luz de las estrellas y los verdes de la luz de día se van convirtiendo en los grises de la luz de las estrellas. [71][56]

2.4.4. Los espacios de color.

El espacio de color es un modelo matemático que relaciona el estímulo de color con la sensación de color. La correspondencia ha sido establecida a dos aspectos de una propiedad fundamental del sentido de la vista. [20]

El primero establece que ninguna sensación de color se puede descomponer en estímulos componentes; de modo que la sensación de amarillo no revela la composición en longitudes de onda del estímulo, si está compuesta, por ejemplo, de radiaciones de aproximadamente 580 nm, amarillo, o compuesta

de una mezcla de radiaciones de 560 nm, verde, y 610 nm, rojo, sin radiaciones de 580 nm.

El aparato visual es un mecanismo sintetizador, que produce una sensación unitaria única; nunca descompone un estímulo en sus componentes. El aparato auditivo es un mecanismo analizador; descompone al estímulo en componentes. [32]

El segundo es que cada sensación de color, con excepciones insignificantes, puede ser provocada por un número infinito de estímulos de color, cada uno con una distribución espectro radiométrico diferente. Los estímulos de color diferentes que provocan la misma sensación se denominan metámeros.

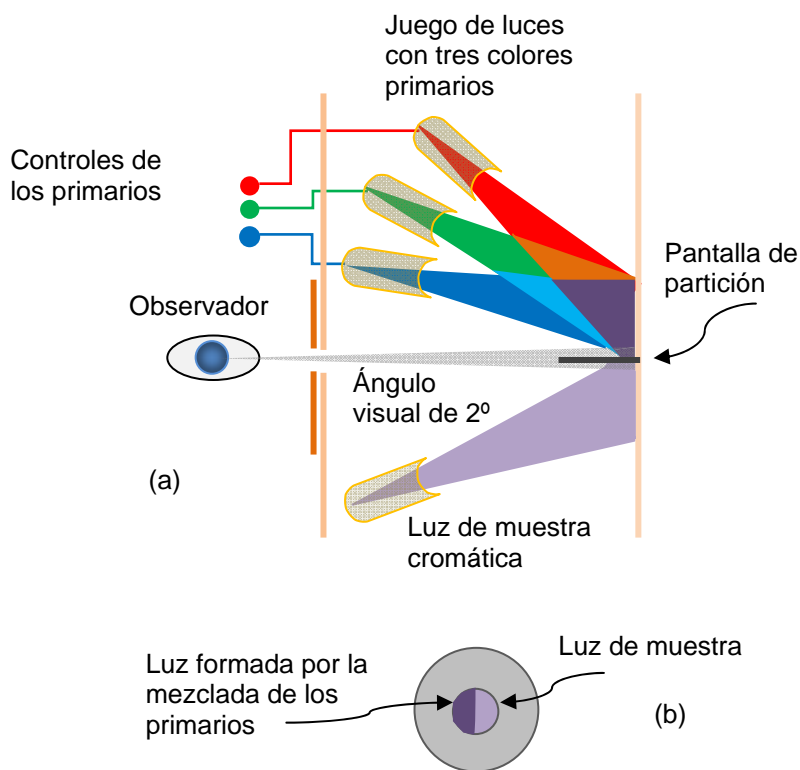


Figura 2.4.14. (a) Experimento de correspondencia de colores mediante mezcla aditiva. (b) El experimento concluye cuando el observador ve ambas mitades iguales. (Adaptado de: Stephen Westland. 2001). [60]

La generación del espacio de color va precedida de un experimento fallido de igualación de colores. Un estímulo monocromático estándar de cualquier longitud de onda, por ejemplo, un amarillo de 580 nm, ocupa el lado izquierdo del campo bipartito. Tres estímulos primarios monocromáticos mezclados de casi cualquier longitud de onda, digamos un azul de 470 nm, un verde de 550 nm, y un rojo de 630 nm, ocupa el lado derecho.

El observador trata de establecer el metamerismo de los dos campos ajustando las tres radiancias primarias. Los experimentos revelan que no puede igualarlos con los tres primarios dados, que no puede igualarlos con otros primarios y que no puede igualarlos con más de tres primarios.

Tabla 2.4.2. Matriz espectral

Longitud de onda (nm)	470	550	630
400	0	-0	0
410	0	-0	0
420	0	-0	0
430	0	-0	0
440	0	-0	0
450	0	-0	0
460	0	-0	0
470	1	0	0
480	0	0	-0
490	0	0	-0
500	0	0	-0
510	0	0	-0
520	0	0	-0
530	0	0	-0
540	0	0	-0
550	0	1	0
560	-0	0	0
570	-0	0	0
580	-0	0	0
590	-0	0	0
600	-0	0	0
610	-0	0	0
620	-0	0	0
630	0	0	1
640	0	-0	0
650	0	-0	0
660	0	-0	0
670	0	-0	0
680	0	-0	0
690	0	-0	0
700	0	-0	0

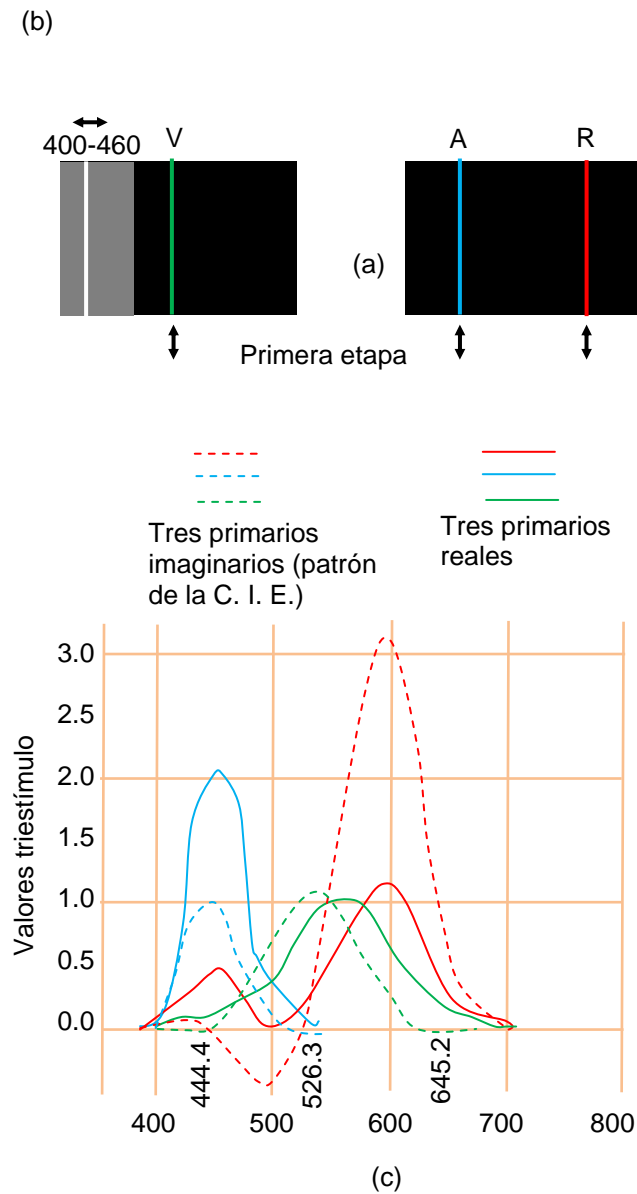


Figura 2.4.15. (a) Cualquier matriz espectral se determina experimentalmente igualando colores con pares de estímulos. (b) Matriz espectral, los círculos llenos indican entradas diferentes de cero. (c) Curvas de sensación fundamental, de las matrices espectrales, con tres primarios reales y tres primarios imaginarios, C. I. E. (Adaptado de: *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. Página 33). [32]

Por tanto, **el espacio de color se genera mediante un ardid psicofísico**, figura 2.4.14(a). Uno de los primarios se transfiere de la derecha a la izquierda, y

el observador establece una igualación metamérica: ajusta un primario mezclado con el estándar constante en el campo izquierdo y ajusta los dos primarios mezclados el uno con el otro en el campo derecho; por ejemplo, un amarillo estándar de 580 nm mezclado con un azul primario de 470 nm, a la izquierda, puede igualarse con un verde primario de 550 nm mezclado con un rojo primario de 630 nm, a la derecha.

El primario de la izquierda fue sustraído del de la derecha y es negativo, dado un signo negativo, en relación a los dos primarios que quedan a la derecha. Por tanto, el estándar se especifica por medio de las cantidades de tres primarios cualesquiera, uno negativo, a pesar del hecho experimental de que el estándar no puede ser igualado directamente por medio de la mezcla de tres primarios cualesquiera.

La matriz espectral de la figura 2.4.15b. Es la especificación sistemática de los estándares a lo largo del espectro en términos de tres primarios arbitrarios. Las hileras corresponden a los estándares, seleccionados, digamos, a intervalos de 10 nm, y las columnas corresponden a los primarios, seleccionados, digamos a 470 nm, 550 nm y 630 nm. Cada hilera de la matriz especifica una unidad estándar espectral de radiancia por medio de tres valores triestímulos, dos positivos y uno negativo. [32]

2.4.5. C. I. E. "primarios imaginarios"

Es imposible elegir tres primarios reales mediante mezclas aditivas, y conseguir todos los colores posibles.

Esta es la razón por la que en un sistema de reproducción del color aditivo real sólo se puede mostrar un gamut, es decir, la gama de colores reproducibles limitado. En 1931, cuando se especificó el sistema C. I. E., se decidió el uso de tres colores primarios imaginarios (los valores triestímulo X, Y y Z) de modo que siempre fueran posibles todos los estímulos cromáticos del mundo real.

El concepto de primarios imaginarios es complejo, pero no es estrictamente necesario comprenderlo para entender o usar las especificaciones de colores. De hecho, C. I. E., podía haber usado tres primarios reales como las luces roja, verde y azul, de modo que los valores triestímulos habrían estado representados por R, G y B.

Hubo varias razones para la adopción de primarios imaginarios. La primera fue que los primarios se eligieron de modo que X, Y y Z fueran siempre valores positivos para todos los estímulos reales posibles. Aunque en la actualidad esto pueda parecer poco importante, la eliminación de valores triestímulos negativos era una precaución bastante ingeniosa en los días previos al uso de ordenadores.

La segunda razón fue que los primarios se eligieron de modo que el valor triestímulo Y fuera directamente proporcional a la luminancia de la mezcla aditiva.

La tercera fue que los primarios $X=Y=Z$ se eligieron de modo que hubiera una correspondencia con el estímulo equienergético

Consecuentemente, la matriz espectral, figura 2.14.15(c), tiene varias propiedades importantes:

a) El primario negativo depende del estándar y está predeterminado por el sentido del color; el primario negativo no puede elegirse al azar. Los dos estímulos mezclados, en ambos lados del campo bipartito, no pueden ser adyacentes; de modo que cuando el estándar es 630 nm y los primarios son 420 nm y 620 nm, 630 nm debe mezclarse con 590 nm, a la izquierda, para igualarse con 420 nm mezclado con 620 nm, a la derecha.

b) Los primarios corresponden a las hileras de la matriz espectral que contienen las anotaciones 100, 010, y 001. Esto es, por supuesto, en el caso especial en que el estándar y un primario tienen la misma longitud de onda.

c) Una matriz espectral no puede generarse con menos de tres primarios.

d) Una matriz espectral puede generarse con tres primarios cualesquiera, sin embargo, la matriz es más exacta cuando los primarios están distribuidos sobre el espectro. Una matriz espectral es única para cada conjunto de primarios; cada estándar puede especificarse de un modo solamente.

e) Una matriz espectral puede generarse con cuatro, o más, primarios cualesquiera, pero la matriz no es única; cada estándar puede especificarse por medio de combinaciones infinitas de los cuatro primarios. Por tanto, el número tres tiene una importancia capital para la visión del color.

f) Una matriz espectral, obtenida con un conjunto de primarios, puede transformarse matemáticamente en otra matriz espectral, obtenida con otro conjunto de primarios. La transformación es lineal y exacta; las nuevas matrices espectrales no necesitan obtenerse por medio de un experimento. El número de matrices espectrales, cada una correspondiente a una selección arbitraria de los tres primarios, es infinito.

g) Cualquier matriz espectral guarda una relación extraordinaria con la curva de visibilidad fotópica. Cada primario, columna, tiene un coeficiente de luminosidad asociado y cada estándar, renglón, tiene un coeficiente de luminosidad asociado, tomado de la curva de luminosidad fotópica de la figura 2.4.13; introdúzcase la longitud de onda y léanse los coeficientes de luminosidad. [32]

La aplicación de la actividad de luminancias, enunciada por H. Grassmann como su cuarta ley: *La luminancia de varios estímulos luminosos sumados es la suma de las luminancias separadas de los estímulos luminosos.*

Los valores triestímulo de la matriz espectral, medidos en radiancia, se convierten en luminancia multiplicando los valores de cada columna por el coeficiente de luminosidad asociado con el primario de la columna.

La suma algebraica de las luminosidades de cada renglón es el coeficiente de luminosidad del estándar del renglón o, dicho de modo diferente, es igual a la unidad de radiancia del estándar multiplicada por el coeficiente de luminosidad del estándar.

Los valores triestímulo se pueden calcular si el espectro de reflectancia de una muestra de color se conoce. Ese espectro de reflectancia (*reflectance spectrum*) se puede medir usando un espectrofotómetro de reflectancia. [22]

$$X = \frac{1}{k} \sum R(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda)$$

$$Y = \frac{1}{k} \sum R(\lambda) E(\lambda) \bar{y}(\lambda)$$

$$Z = \frac{1}{k} \sum R(\lambda) E(\lambda) \bar{z}(\lambda)$$

Los valores triestímulo X, Y, y Z se pueden calcular integrando los valores de reflectancia $R(\lambda)$, las distribuciones de la energía espectral relativa del iluminante $E(\lambda)$ y las funciones de observadores estándar $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ y $z(\lambda)$. La integración se logra aproximando por sumatoria, donde $k = \sum E(\lambda) y(\lambda)$, donde λ es la longitud de onda. [65]

El factor de normalización $1/k$ se introduce para que $Y=100$ para cualquier muestra que refleje el 100% en todas las longitudes de onda: Hay que recordar que Y es proporcional a la luminancia del estímulo. La introducción de esta normalización es conveniente ya que significa que se pueden usar las distribuciones de energía espectral relativas (y no absolutas), de modo que las unidades en las que se expresen sean irrelevantes.

La igualación de colores en el campo bipartito puede representarse por medio de una ecuación lineal algebraica siempre que las cantidades se conviertan en luminancia del estándar sumada a la luminancia del primario en el lado izquierdo es igual a la luminancia de un primario sumado a la luminancia del otro primario en el lado derecho. Cuando las columnas de las matrices espectrales den la actividad de la luminancia. No obstante, los patrones internacionales de colorimetría fueron ajustados para asegurar la aditividad de la luminancia.

Cualquier matriz espectral puede representarse en gráfica por medio de columnas y renglones. La grafica de la columna tiene tres curvas, cada columna corresponde a un primario, denominadas curvas de sensación fundamentales, un conjunto de las cuales se muestra en la figura 2.4.15(c).

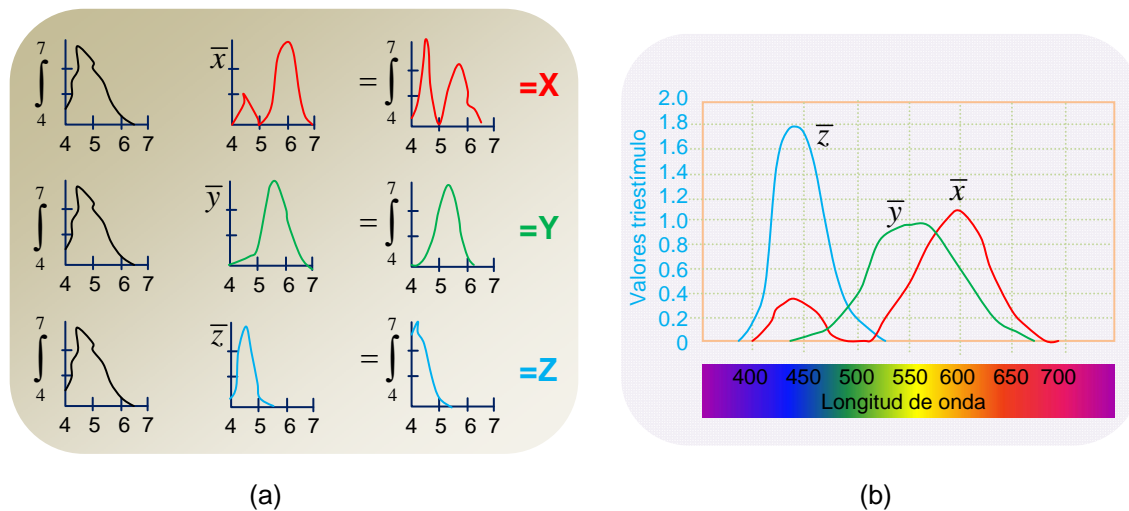


Figura 2.4.16. Los valores triestímulo de la C. I. E., están calculados por la curva de la izquierda. Para dar una demostración, las funciones de la C. I. E., han sido ajustadas para igualar los puntos máximos. (b) En el gráfico se ven las funciones de correspondencia o igualación de colores (*colour matching functions: CMF*) para los primarios C. I. E. X, Y y Z. Esas son literalmente las cantidades de los tres primarios que un observador promedio necesitará para igualar una unidad de luz en cada longitud de onda. (Adaptado de: *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. Página 33, y Stephen Westland. 2001). [32]

Si admitimos la proposición de Thomas Young de que la retina posee tres tipos de conos diferentes, entonces, las curvas de sensación fundamentales son la función de respuesta de un conjunto potencial de conos retinianos.

Sin embargo, el número de matrices espectrales, y de conjuntos de curvas de sensación fundamentales, es infinito, y surge una pasmosa incógnita colorimétrica, ¿Cuáles son las curvas de sensación fundamentales que son funciones de respuesta de los conos retinianos existentes?

Las numerosas respuestas constituyen otras tantas teorías de la visión del color; un conjunto dado de curvas de sensación fundamentales basado en testimonios colorimétricos además de los datos producidos por la igualación de colores, es una *teoría del color*.

La grafica de la hilera es el espacio de color. Cada hilera, que corresponde a un estándar, designa un vector fijo en el origen en el espacio de tres dimensiones; los ejes perpendiculares, que corresponden a los primarios, constituyen unas coordenadas cartesianas. El espacio de color y sus proyecciones definen el color y predicen la mezcla de colores.

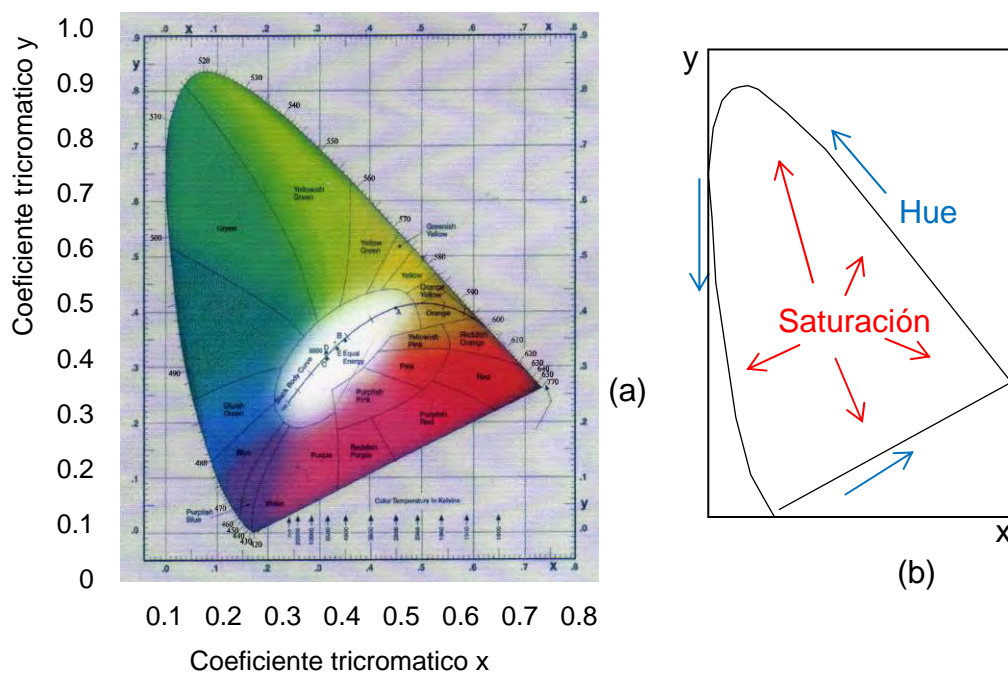


Figura 2.4.17. (a) El diagrama cromático de la $CIExy$, muestra la localización del *hue* y la crominancia que es la intensidad del color. La mezcla aditiva de los colores A, B, C, produce cromatismo solamente dentro del triángulo. (b) Dirección de la saturación (*crominancia*) y del *hue*. Adaptado de: *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. *Página 37*, y *Comunicación precisa de los colores*. Konika Minolta. 2002). [32][65]

La matriz espectral de la C. I. E. (CIE), fue adoptada como patrón universal por la Comisión Internationale d'Eclairege, (Comisión Internacional de Iluminación) en 1931; la matriz espectral es el llamado observador patrón u observador estándar. Las curvas de sensación fundamentales de la C. I. E., que se ven en la figura 2.4.15(b), no pretenden ser respuestas de los conos retinianos.

La comisión transformó una matriz espectral obtenida experimentalmente en la matriz espectral de la C. I. E., cuyos primarios son todos imaginarios, no corresponden a ningún estímulo del espectro visible, cuyos primarios tienen coeficientes de luminosidad 0, 1 y 0, es decir, una curva de sensación fundamental es la función de luminosidad.

Cuando las columnas de las matrices espectrales de la C. I. E., son evaluadas por sus coeficientes de luminosidad, las hileras, como es de esperarse, suman la función de luminosidad. En este caso especial, las columnas primera y última no tienen luminosidad y desaparecen.

El espacio de color de C. I. E., es una gráfica de hilera tridimensional de la matriz espectral de la C. I. E. Cualquier sensación de color puede representarse por medio de un vector fijo en el origen; y sus coordenadas, denominadas valores triestímulo, se calculan por medio del procedimiento ilustrado en la figura 2.4.15.

El proceso requiere la multiplicación de la curva, las curvas de sensación fundamentales de la C. I. E., actúan como filtros de transmisión y la integración de la curva para obtener **X, Y, Z**.

2.4.6. Albert H. Munsell.

En 1905 Albert H. Munsell, maestro de arte de Boston, inventó una famosa taxonomía para las sensaciones de color, publicada ahora con el título de *Libro de Color de Munsell*.

La definición de Munsell se usa en la investigación de laboratorio y comercialmente para la estandarización de los colores industriales. Ha sido ajustada y encaja con facilidad en el espacio de color de la CIE.

De acuerdo con el sistema de Munsell, toda sensación de color puede definirse en términos de sólo tres atributos:

- **El hue.**
- **La luminancia.**
- **La crominancia.**

El hue es el nombre “obvio” de la sensación del color. Munsell definió al *hue* como “*la cualidad por la cual distinguimos una familia de colores de otra, cómo el rojo del amarillo, o el verde del azul o del púrpura. Es específicamente aquella cualidad de coloración distintiva de un objeto o de una superficie...*” [14][20]

El *hue* depende generalmente de la longitud de onda mayor o dominante de un estímulo compuesto.

El valor o luminancia, es la claridad u oscuridad de una sensación en una sensación de color. Munsell definió a la luminancia “*como aquellas cualidades llamadas vagamente luces y sombras... un valor claro sería un tinte y un valor oscuro sería una sombra*”. El valor (la brillantez) depende de la luminancia del estímulo. [20][14]

La intensidad del color o crominancia, es la fuerza o debilidad de una sensación de color. Munsell definió la intensidad de color como “*aquella cualidad del color que denota su grado de desviación respecto de un gris del mismo valor*”. La crominancia depende generalmente (pero no siempre) de la homogeneidad del estímulo; los colores de intensidad alta son “puros” generalmente (compuestos por pocas longitudes de onda diferentes) y los colores de intensidad baja son impuros generalmente (compuestos por muchas longitudes de ondas diferentes). [20][14]

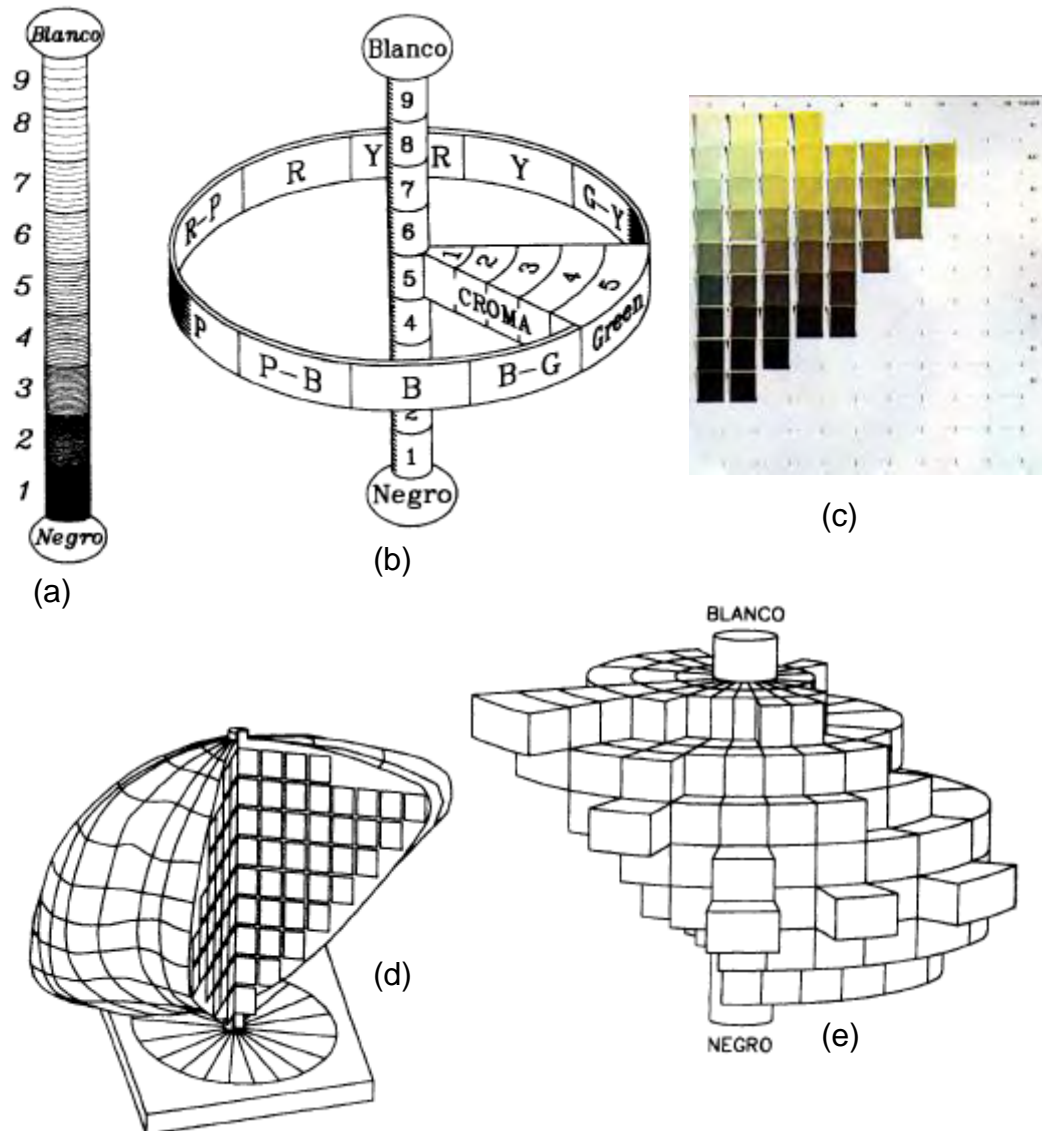


Figura 2.4.18. Sistema de color Munsell (a). Organización de la variable *valor* a través de la escala de neutros y la correspondencia de cualquier tono con esta escala. (b) Organización de la variable *chroma* (saturación), en pasos de igualdad absoluta, que van desde los neutros a los colores intensos. (c) y (d), Dos representaciones del sólido de color, formado a partir de reunir los diferentes planos de tinte alrededor del eje de neutros. (Adaptado de: (a), (c) y (d), *Sistemas de Orden de Color*. José Luís Caivano. 1995. Página 17. (b) *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. 1982. Página 41. [20][32])

Se llaman cromáticas a las sensaciones de color que tienen matiz. Las sensaciones de color que tienen solamente valor se denominan acromáticas: negros, grises y blancos.

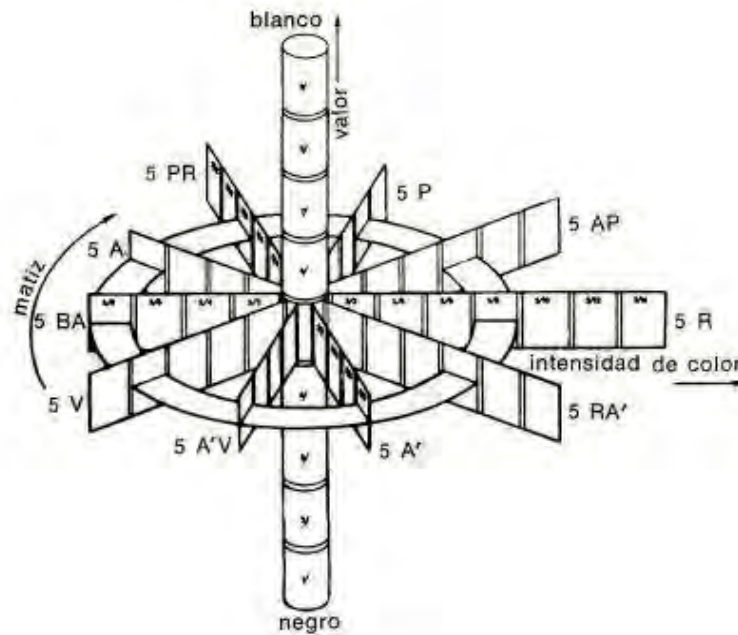


Figura 2.4.19. El sistema de A. H. Munsell clasifica las sensaciones de color en tres dimensiones de acuerdo con tres variables psicológicas. (Adaptado de: *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. 1982. Página 45). [32]

Como lo muestra la figura 2.4.19, el modelo geométrico idealizado del sistema de Munsell es un cilindro; cada sensación de color está representada por un punto dentro del sólido. Este cilindro irregular tiene varias características:

El hue se representa por medio de círculos concéntricos a la pared del cilindro. En teoría, el número de *hue* es infinito, pero la circunferencia del círculo se divide por lo común en diez segmentos: azul, azul-verde, verde, verde-amarillo, amarillo, amarillo-rojo, rojo, rojo-morado, morado, y morado-azul. Los *hue* se designan por medio de letras, como A-V para azul-verde.

La luminancia es representada por el eje central como una serie de grises; la parte inferior es el negro fundamental y la parte superior el blanco fundamental. En teoría el número de luminancia es infinito, pero el eje se divide comúnmente en once pasos, asignando el cero al negro inferior, el 5 al gris central, y el 10 al blanco superior. La luminancia de cualquier sensación de color es el valor de su gris equivalente. Se designa el valor por medio de un número seguido de una diagonal, como 6/ para definir un color equivalente al sexto valor de gris.

La intensidad de color está representada por los de los círculos concéntricos del hue. Las sensaciones de color con radios largos tienen una crominancia alta (muy poco gris), las sensaciones de color con radios cortos tiene

una crominancia baja (más gris) y las sensaciones de color con cero radios son acromáticos (totalmente gris) y coinciden con el eje de la luminancia. En teoría, el número de pasos de la crominancia es infinita, pero los radios se dividen generalmente en dieciocho segmentos. La crominancia se designa por medio de una diagonal seguida de un número, como /4 que define un color en el cuarto paso de la intensidad del color.

Por tanto, el sistema Munsell define cualquier sensación con una letra (el hue) y dos números (la luminancia y la crominancia); por ejemplo, R 8/12 define un rojo de luminancia 8 y crominancia 12.

El *libro del color de Munsell* es una muestra de fichas de colores a lo largo del cilindro; cada página o carta es una “dispositiva” vertical de *hue* constante que corre a lo largo del cilindro, figura 2.4.18(c), y representa un “sólido de fichas” que tiene estas propiedades:

- No todas las fichas de colores existen en cada una de sus combinaciones de hue, luminancia y crominancia.
- Las fichas opuestas (en cualquiera de los lados del eje central) son complementarias.
- Las fichas no cromáticas se encuentran en el valor de 0 a 10.
- Existen diferentes crominancias máximas; por ejemplo, la crominancia máxima del rojo es /14 y la crominancia máxima del azul-verde es /8.
- Las fichas con crominancia máxima pueden presentarse en diferentes niveles de luminancia.
- Por tanto, el “sólido de fichas” de Munsell es irregular cuando se le compara con un cilindro teórico y uniforme. La distribución de las fichas refleja una propiedad de la visión del color, la de que unas sensaciones de color espectrales están más saturadas que otras. Los límites prácticos del sistema de Munsell están dados, por tanto, por los pigmentos existentes.

A las sensaciones de color especificadas mediante las fichas de Munsell se les han adjudicado nombres de colores. Estos son algunos ejemplos:

Clasificación Sistema Munsell	Se denomina
R 7/14	rosa vívido, carmín, rosa, rosáceo.
R 5/10	rojo moderado, amarilis, rojo aurora, luciérnaga, granza.
A 7/6	amarillo moderado, bronce, maíz, rosa italiano, luz de sol
A` 4/4	azul grisáceo, azul orquídea, azul nomeolvides, porcelana antigua.

Los nombres de los colores muestran una variedad infinita. Tal vez los más ingeniosos son los reunidos por la señorita Ravera Afferbach; Por siempre ambar, vuélvete azul, café hachich, canela original, cobre ven-y-tómame, culpa freudiana, uva estatuaria, gris prematuro, limón cita-a-ciega, moneda U. S., no mucha mostaza, plomo político, mejor-muerto-que-rojo, Arre Plata, última paja, blanco desangrado, blanco sólo-tú-Henry-Higgins, amarillo piedra de parque. [80][48]

2.4.7. Teoría del color.

Una teoría del color es una matriz espectral simple a la que se considera “mejor” que todas las demás matrices espectrales. Cada matriz espectral, y su conversión matemática, predice una mezcla de colores con igual exactitud. Algunas matrices espectrales, las identificadas con las teorías del color, predicen también uno u otros fenómenos de color psicofísico (como la ceguera a los colores y las posimágenes); la matriz espectral identificada con la teoría del color fundamental, que todavía no se ha construido, predecirá todos los fenómenos de color psicofísicos. La matriz espectral, representada por columnas, da las funciones de respuesta fundamentales asociadas con tres receptores hipotéticos; en la retina, en el tracto neuronal óptico, o en ambos. [60][22]

Las teorías del color han proliferado, pero dos son representativas de todas las demás.

En 1856, el gran psicofisiólogo alemán Hermann Ludwing Ferdinand von Helmholtz completó la primera edición de su amplísimo *Manual de óptica fisiológica*, en él esbozó tres funciones fundamentales para tres tipos de receptores retinales de acuerdo con la sugerencia que hizo Thomas Young en 1802. [56]



Figura 2.4.20. Herman von Helmholtz (1821-1894), es la figura más destacada en el estudio de la visión; su *Physiological Optics* es todavía el libro más importante sobre la materia, y por desgracia, es poco lo que se ha podido añadir. (Adaptado de: *Psicología de la Visión*. R. C. Gregory. 1972. Página 90). [54]

Young y von Helmholtz formaron concepciones similares, pero no idénticas. Young consideraba que los receptores eran “resonadores” mientras que Helmholtz consideraba que los receptores eran “filtros reactivos”. Young, el creador de la teoría ondulatoria de la luz, postuló que cada receptor respondía con una vibración simpática; al máximo a su longitud de onda armónica y cada vez menos a sus longitudes de onda más divergentes.

Helmholtz y otros teóricos posteriores postularon que cada receptor respondía del modo característico de su función; al máximo a una longitud de onda y tal vez casi al máximo a longitudes de onda de otras partes del espectro.

Esta teoría de tres componentes supone la existencia de tres tipos de receptores localizados en la retina; el azul, el verde y el rojo; una representación diagramática de la interacción de los receptores aparece en la figura 2.2.21a.

La versión moderna de Deane B. Judd de las curvas de sensación fundamentales de Young-Helmholtz (tal como lo concibió Young) es ilustrada en la figura 2.4.21(a); los puntos máximos de la curva corresponden, por supuesto, al azul, al verde y al rojo. La teoría de Helmholtz supone además: a) que una excitación igual de los tres receptores provoca una sensación blanca, y b) que una excitación igual de los receptores rojo y verde, sin excitación del receptor azul, provoca una sensación de amarillo; en la figura 2.4.21(a), las curvas de sensación fundamentales del rojo y del verde son iguales a 580 nm, el amarillo.

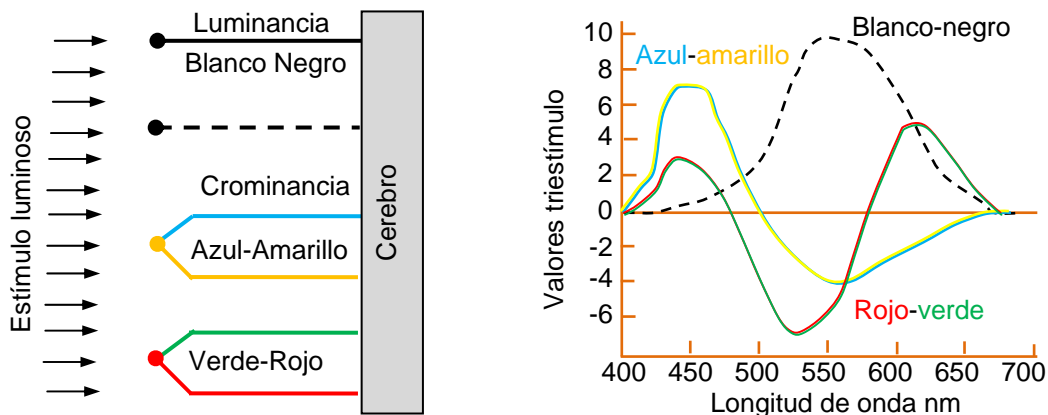


Figura 2.4.21. (a) H. E. Hering propuso que amarillo frente a azul, y rojo frente a verde eran pares de señales opuestas. Esto servía, en cierto modo, para explicar por qué existen psicológicamente cuatro colores primarios: Rojo, verde, amarillo y azul, y no sólo tres. (b) La teoría de Hering-Hurvich-Jamenson, cuyas curvas de sensaciones fundamentales, supone la existencia de tres receptores retinianos neurales; dos transmiten la crominancia y uno la luminancia. Un estímulo monocromático excita los tres receptores en “cantidades” positivas o negativas indicadas por las curvas. (Adaptado de: *Sensación y percepción visuales*. Jozef Cohen. 1982. *Página 54*). [32]

Helmholtz agregó que con la hipótesis de las curvas de sensación fundamentales se explica fácilmente la existencia de los que tiene deficiente la percepción de los colores. La teoría Young-Helmholtz, es una de las muchas

teorías donde *cada receptor soporta alguna sensación de luminancia y alguna sensación de crominancia, matiz e intensidad del color.*

En 1876, el distinguido fisiólogo alemán Ewald Hering completó su tratado titulado *Doctrinas sobre el sentido de la luz*, en el que desafiaba directamente la autoridad del venerado Helmholtz. Hering afirmó que el blanco y el amarillo no son sensaciones de color compuestas, como pretendía Helmholtz, sino que son tan puras y elementales como lo parecen; con igual significado que el rojo, el verde y el violeta, y también que el negro.

Hering sostenía que la naturaleza de la visión de los colores se encuentra en el apareamiento aparente de las sensaciones de color; el azul se aparea con el amarillo, el rojo se aparea con el verde, y el blanco se aparea con el negro. Cada sensación da lugar a su pareja como posimágen coloreada, y cada sensación da lugar a su pareja por contraste de color en una capa gris. Hering sostuvo que el diagrama siguiente exponía las verdades básicas de la visión de los colores:



Las sensaciones de color intermedias reconocibles resultan de la mezcla de dos matrices adyacentes; por ejemplo, las mezclas de verde y amarillo dan sensaciones de verde y amarillo y las mezclas de rojo y amarillo dan sensaciones de rojo y amarillo. Las sensaciones de color intermedias reconocibles no resultan de la mezcla de los matices opuestos; por ejemplo, las mezclas de azul y amarillo no dan sensaciones de azul y amarillo. [32][53]

Hering sacó en conclusión que los matices apareados eran facetas mutuamente exclusivas de la misma curva de sensación fundamental; cada mecanismo receptor está asociado con un par de colores oponentes y transmite información acerca de uno o de otro, pero no de ambos simultáneamente.

Esta teoría de los tres componentes supone la existencia de tres tipos de receptores con localizaciones combinadas tanto en la retina como en los nervios; azul-amarillo, verde-rojo y blanco-negro; una representación diagramática de la interacción de los receptores se presenta en la figura 2.4.21(a).

La figura 2.4.21(b) ilustra la versión moderna de Deane B. Judd sobre las curvas de sensación fundamentales de Hering. La teoría supone además que de toda la crominancia, matiz y saturación, se encargan dos receptores bipolares cuyas respuestas son los puntos máximos positivos y negativo, azul-amarillo y verde-rojo, y que de toda la luminancia se encarga un tercer receptor unipolar cuya respuesta es idéntica a la función de luminosidad fotópica con un punto máximo positivo.

La teoría de Hering ha obtenido una extraordinaria comprobación empírica en fechas recientes. Leo M. Hurvich y Dorothea Jamenson rastrearon directamente las curvas de sensación fundamentales mediante un ingenioso experimento. Para empezar seleccionaron cuatro estímulos primarios que daban lugar a las sensaciones primarias únicas de Hering; de 467 nm para el azul, de 490 nm para el verde, de 588 nm para el amarillo, y de 700 nm para el rojo.

Los observadores, que eran los propios investigadores, observaron entonces un campo de prueba que contenía un estímulo monocromático secundario tomado de otra parte del espectro y le fueron sumando el estímulo primario hasta que el estímulo secundario pareció quedar anulado; por ejemplo, el sujeto observaba un campo de prueba con una unidad de radiancia de 550 nm y le sumaba 467 nm hasta que la mezcla no era ni azul ni amarilla, complementario del azul primario.

Cuando todos los estímulos primarios hubieron cancelado a todos los estímulos secundarios a lo largo del espectro, los análisis matemáticos produjeron dos curvas de sensación fundamentales de crominancia; estas funciones experimentales fueron casi idénticas a las imaginadas por Hering, y se les da el nombre colectivo de teoría Hering-Hurvich-Jamenson.

La televisión a colores se trasmite por medio de funciones de respuesta extrañamente similares a las de la teoría Hering-Hurvich-Jamenson. Toda la información de luminancia es llevada por una señal, la que reciben los receptores de televisión en blanco y negro y los de la televisión a colores. Toda la información de crominancia es llevada por dos señales las que reciben solo los receptores de televisión a colores. [54][115]

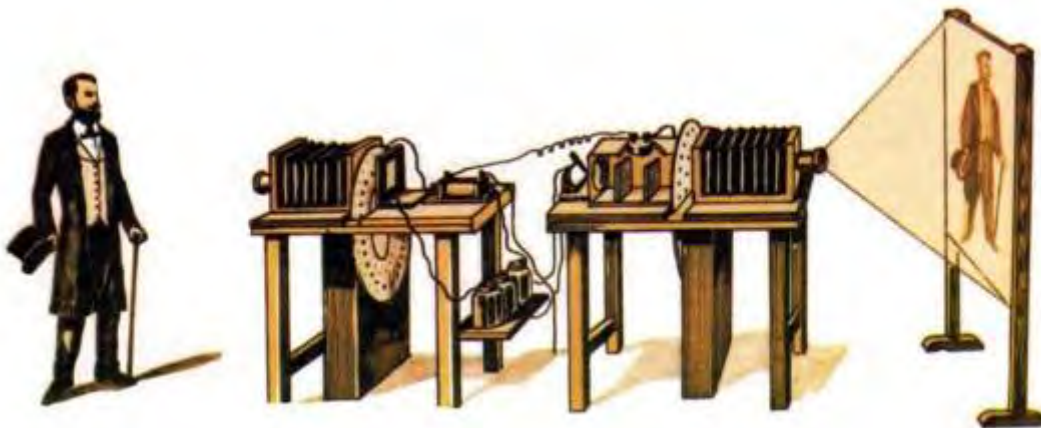


Figura 2.4.22. La televisión experimental del principio de siglo XX. (Adaptado de: *La Televisión. Enciclopedia Temática. Fundación Cultural Televisa A. C. 1980*)

Robert M. Boynton sugiere, que la primera sensación humana de color fue acromática y subsiste como receptor de la luminancia. El desarrollo filogenético siguió adelante y la crominancia fue añadida por dos receptores adicionales; uno "extra" para la visión y la supervivencia. [72][60][48]

2.5 Evaluación visual.

Ver es una actividad del organismo que implica una determinada armonía entre un sinnúmero de factores, entre los que destaca una adecuada agudeza visual. La agudeza visual puede ser normal pero la visión no será confortable. A esta situación se le conoce con el nombre de *astenopia* y tanto su génesis como sus manifestaciones son pleomórficas.

Las condiciones de vida del hombre moderno han modificado sustancialmente los requerimientos visuales del individuo en un lapso tan breve que el sistema visual no ha podido evolucionar al ritmo que se han modificado las demandas. Si analizamos nuestra vida diaria veremos que en la mayoría de las actividades nuestras necesidades visuales se reducen a un entorno de sólo unos cuantos metros.

Las horas pasadas en el interior de una casa, de una oficina o de una fábrica, los reducidos sitios de esparcimiento son sólo algunos ejemplos que nos señalan que, para la mayoría de los humanos, la visión se desenvuelve fundamentalmente en un espacio de unos cuantos metros.



Figura 2.5.1. Vivimos más tiempo bajo luz artificial que de la natural. (*Foto de archivo personal*).

Las manifestaciones de la *astenopia* son características de un esfuerzo sostenido por mantener una visión lo más adecuada posible, el sujeto experimenta una disminución en su visión o una confusión visual que si bien son transitorias no por ello pasan inadvertidas.

El cansancio ocular, producto de un esfuerzo muscular sostenido, puede evolucionar a dolor ocular e incluso cefalea (dolor de cabeza) que no en pocas ocasiones se acompaña de mareos de intensidad variable. El enrojecimiento ocular y el lagrimeo son acompañantes obligados de estos trastornos.

Un individuo con visión normal o con una ametropía corregida en forma adecuada, que no padece de trastornos en la motilidad ocular y en la acomodación, puede presentar astenopia.

La naturaleza del objeto que se observa puede ser motivo de astenopia. El tamaño del objeto en sí, el número y dimensiones de sus detalles y la presencia o ausencia de contrastes hacen que el objeto sea fácil o difícilmente visible. Ejemplos de ello los tenemos en las cadenas de montaje de equipo electrónico, en los talleres de costura o en la actividad del relojero. [70]



Figura 2.5.2. En la iluminación intervienen varios factores tales como su cantidad o intensidad, su calidad, distribución, reflexión del material, contraste, tamaño del objeto. (*La costurera, autor Vermeer, Internet*)

La cantidad de luz requerida depende esencialmente de las necesidades particulares de la actividad y de los individuos que la desempeñan. Numerosos estudios se han llevado a cabo para determinar la iluminación óptima requerida en diferentes actividades, ya que una iluminación defectuosa o excesiva redundaría invariablemente en astenopia.

En una casa-habitación las necesidades de iluminación en la cocina, la estancia, el estudio o la sala de baño son diferentes. En una escuela los requerimientos de iluminación son mayores que en un restaurante.

La calidad de la iluminación, es decir el tipo de luz, es asimismo un factor determinante en el bienestar visual. Se reconoce en la luz natural la mejor fuente de iluminación, aunque tiene el gran inconveniente, para las necesidades modernas, de ser muy variable en las diferentes horas del día y en función de las condiciones atmosféricas, por lo que su control es difícil. Por otro lado, la iluminación artificial puede normalizarse en función de las demandas sin importar las condiciones ambientales. [110]

Los focos incandescentes (filamento de tungsteno) proporcionan una iluminación estable de buena calidad, teniendo como posible defecto el ser igualmente una fuente importante de calor.



Figura 2.5.3. La Ergofoftalmología, ciencia que nace de la unión de la ergonomía y la oftalmología, trata de optimizar las condiciones de trabajo en relación a la salud visual de los trabajadores. (Artículo: *Ergofoftalmología: Análisis de los Factores que Inciden en la Astenopía de los Trabajadores de Inspección Visual en la Industria Electrónica de Ciudad Juárez*. Autor: Héctor Antonio Solano Lamphar. MsC, PhD. Departamento de proyectos de ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña.)

Es necesario recordar que el polvo y el tiempo disminuyen progresivamente la eficiencia de los focos. La luz neón y fluorescente no dan un espectro de iluminación continuo y presentan fluctuaciones, por lo que con frecuencia inducen cansancio visual.

En todos los casos deberá tenerse especial cuidado en la colocación y distribución de la fuente de luz, que nunca deberá incidir directamente sobre los ojos del usuario, ni crear sombras o reflejos. En una sección más adelante regresaremos a este tema mencionando la ergonomía laboral, basada en la Norma Oficial Mexicana para el tipo de actividad y la luminaria adecuada para cada actividad.

2.5.1 Evaluación del sistema visual

El sistema visual es un aparato altamente complejo que ofrece una información de extrema importancia para el contacto del sujeto con su entorno.

Es aconsejable la prevención de trastornos visuales a través de revisiones oftalmológicas periódicas. Resulta imprescindible acudir al especialista cuando exista alguna alteración de la capacidad visual. Hay tres profesionales relacionados directamente con el cuidado de los ojos con funciones delimitadas: los oftalmólogos, los optometristas y los ópticos.

- Un oftalmólogo es un médico con formación especializada de postgrado en el diagnóstico y tratamiento de problemas oculares de cualquier tipo, incluyendo la prescripción de lentes correctoras.
- Un optometrista es un especialista en el examen ocular y en la prescripción y confección de lentes, no es un médico y en la mayoría de los países no está autorizado para prescribir medicamentos. Si en el transcurso del examen del ojo observa alguna enfermedad ocular debe enviar su paciente al oftalmólogo.
- El óptico es un profesional capacitado para la confección de lentes correctoras.

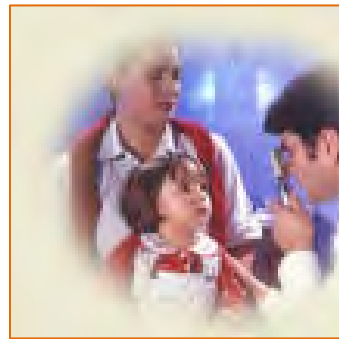


Figura 2.5.4. El funcionamiento de la vista depende de la agudeza visual, la amplitud de campo visual, la capacidad de adaptación al campo y del uso de la vista. (Fotos de Internet www.clinicadam.com/Salud/5/003396.html).

En ocasiones, otros profesionales, pueden utilizar pruebas de percepción visual diseñadas con el propósito de hacer una primera detección de problemas visuales, descubrir problemas que afecten específicamente la actividad en el ámbito laboral o en el aula, o ayudar al desarrollo de programas de rehabilitación visual. [43]

2.5.2. Historia Clínica.

La evaluación visual, requiere como primera instancia, la elaboración de una historia clínica, en entrevista con el sujeto se le pregunta su edad, sexo, ocupación, enfermedades que se padecen, dolores o molestias oculares, diplopía o vértigos, cambios en el aspecto de los ojos, en la secreción lacrimal o sobre la posible presencia de exudados.

La edad del enfermo permite orientar el diagnóstico hacia ciertos padecimientos y descartar otros debido a su baja frecuencia o incluso inexistentes. El sexo del paciente es relevante principalmente porque se asocia con diferentes incidencias de enfermedades, como por ejemplo, la mayor frecuencia de artritis reumatoide en mujeres hace que el síndrome de ojo seco y las escleritis tengan un notorio predominio por el sexo femenino.

Por otra parte existen padecimientos hereditarios asociados al cromosoma X, por ejemplo, el daltonismo, los cuales serán observados únicamente en varones. El origen y sitio de residencia permiten sospechar ciertas enfermedades endémicas como es el caso de la oncocercosis y tracoma al sur de la República Mexicana. [43]



Figura 2.5.5. Los optometristas son especialistas que examinan los ojos para detectar defectos de la visión y prescribir el uso de lentes correctoras. Larry Mulvehill/Science Source/Photo Researchers, Inc. (*Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001*. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos).

Asimismo, el medio ambiente donde vive el individuo puede indicar factores de riesgo como por ejemplo, la mayor incidencia de pterigión en poblaciones con alta exposición al sol.

La ocupación de la persona es importante no solamente como orientación a padecimientos de origen laboral como es la mayor incidencia de lesiones corneales en soldadores, sino también como parámetro esencial para la decisión del tipo de rehabilitación visual que requiere cada paciente (lentes de armazón, de contacto, lente intraocular, cirugía refractiva, etc.).

Es necesario hacer especial énfasis en las enfermedades sistémicas más frecuentes que tienen manifestaciones oftalmológicas, como son: diabetes mellitus, hipertensión arterial, colagenopatías (lupus eritematoso sistémico, artritis reumatoide, espondiloartropatías) y alteraciones tiroideas.

Actualmente es importante investigar si el paciente es seropositivo para el virus de la inmunodeficiencia humana o tiene factores de riesgo, debido al alarmante incremento de esta patología que tiene múltiples y frecuentes manifestaciones oculares generalmente secundarias a infecciones oportunistas.

Los antecedentes perinatales son relevantes principalmente cuando existió parto pretérmino debido al mayor riesgo de sufrir retinopatía del prematuro.



Figura 2.5.6. Trabajadoras de la Escuela Secundaria Madame Curie, perteneciente a la Secretaría de Educación Pública. Nunca se han realizado un examen oftalmológico. (Foto archivo personal).

La utilización actual y previa de drogas y medicamentos es otro aspecto imprescindible del interrogatorio ya que existen infinidad de reacciones secundarias oculares, por ejemplo: el uso de metanol, arsénico, talio, mercurio, plomo, inhibidores de la monoaminoxidasa y etambutol producen neuritis óptica; el dinitrofenol y los corticoesteroides provocan catarata; las sales de oro, colirios de plata, fenotiazinas, amiodarona y cloroquina forman depósitos a nivel de córnea y cristalino; la cloroquina, además de que se acumula en el epitelio corneal desencadena una retinopatía a nivel macular de tipo dosis dependiente.

Es de rutina indagar sobre el diagnóstico previo de errores refractivos, tipo de rehabilitación visual empleada, medicamentos tópicos utilizados y el antecedente de intervenciones quirúrgicas oculares o perioculares y la aplicación de láser.

Existen algunos padecimientos oftalmológicos con cierta tendencia familiar como el glaucoma primario de ángulo abierto y otros con patrones hereditarios más definidos como la retinosis pigmentaria, el retinoblastoma y algunas distrofias corneales y retinianas.

2.5.3. La medida de la agudeza visual.

El primero que introdujo una estandarización científica en la medida de la agudeza visual fue el holandés Herman Snellen (1834-1908). Su escala de optotipos la dio a conocer en su comunicación *Optotypi, ad visum determinandum* (Utrecht, 1862) y su justificación teórica en el capítulo "*Die Funtionsprüfungen der Auges*", escrito en colaboración con Landolt, en su clásico artículo en la primera edición del Graefe-Saemisch's Handbuch (1874).



Figura 2.5.7. Herman Snellen. (Foto de José L. Fresquet, Internet)

Su línea de trabajo estuvo siempre ligada a la oftalmología, destacando los trabajos llevados a cabo sobre el astigmatismo, el glaucoma, y las enfermedades de la retina, entre otros. Las tablas de Snellen se difundieron durante la Primera Guerra mundial como medida de la agudeza visual.



Figura 2.5.8. Dos uniformes de camuflaje militar, producidos y evaluados por Fabric Printing Of Colours Measured In Nature And The Field Evaluation There-of J Baumbach CSIR, DPSS, (Optronic Sensor Systems POBox 395, Pretoria, 0001, South Africa e-mail: jbaumbac@csir.co.za)

Los optotipos son tablas que llevan impresas letras, números y figuras en diferentes tamaños, previamente determinados, y se catalogan en décimas de visión. Existen dos versiones: una que utiliza letras mayúsculas y otra que usa un símbolo parecido a una E o una U en diversas posiciones, que suele utilizarse con adultos que no saben leer y con niños que aún no conozcan la denominación de cada letra.

Snellen calculó matemáticamente cuál era, en condiciones normales, la mínima separación entre dos objetos que podía ser reconocida a una distancia determinada. Elaboró unas tablas de letras de distintos tamaños que debían ser leídas, por un ojo normal, a diferentes distancias.

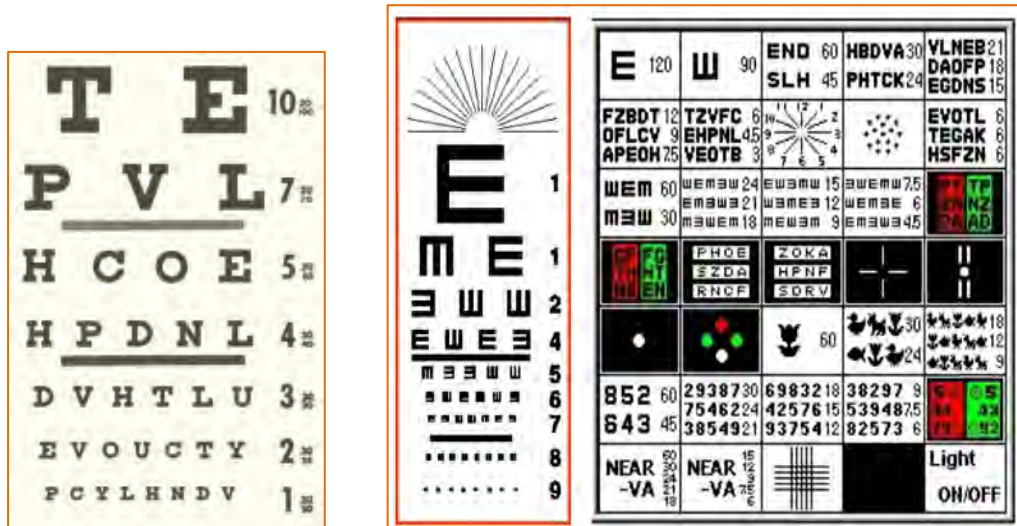


Figura 2.5.9. Tabla de Snellen, de la E y de símbolos. (Dra. Raquel Bañón Navarro y Dra. Laura Solevila Bacardit Sociedad Oftalmológica de la Comunidad Valenciana informacion@socv.org Avda. de la Plata, 2046013 Valencia)

Tabla Snellen	
LÍNEA	AGUDEZA VISUAL
E	20/200
FP	20/100
TOZ	20/70
LPED	20/50
PECFD	20/40
EDFCZP	20/30
DEFPOTEC	20/20

Tabla 2.5.10. Equivalencias de la tabla. Tomada de José R. T., (1988). *Visión subnormal*. Madrid: ONCE.

Cuando un médico determina la agudeza visual de su paciente, lo que está registrando es la distancia a la que el paciente puede leer las letras o reconocer las figuras impresas o proyectadas, tomando como punto de referencia la distancia normal establecida.

A cada fila de letras de la carta de Snellen, se hace corresponder una determinada expresión numérica en forma de fracción, llamada fórmula de

Snellen. El numerador se refiere a la distancia a la que cada tamaño de letra subtiende un ángulo de cinco minutos de arco, y a la que se presenta la carta respecto al ojo del sujeto a examinar, mientras que el denominador se refiere al tamaño del símbolo que se presenta.

Esta fórmula puede interpretarse también como la proporción entre la distancia a la que el paciente puede identificar el símbolo y la distancia a la que lo hace un ojo normal.

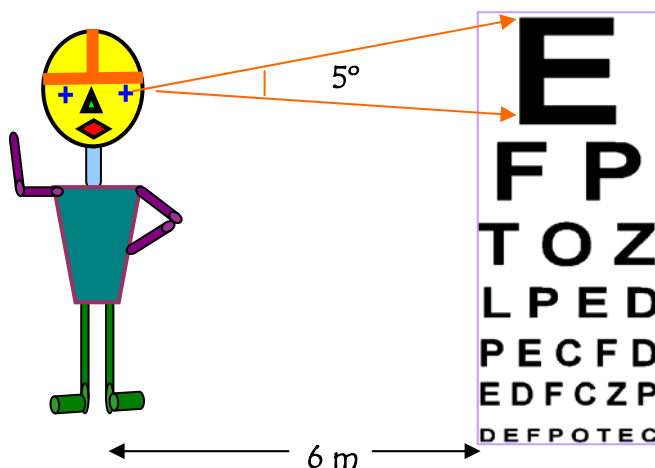


Figura 2.5.10. La toma de la agudeza visual constituye una de las prácticas más habituales en la exploración oftalmológica, realizándose de forma progresiva desde imágenes grandes hasta la línea menor que es capaz de distinguir el individuo con cada ojo. (Adaptado de: *Agudeza Visual* PAC Oftalmología Parte B Libro 4 3.htm).

La *visión central lejana*, también conocida como *agudeza visual*, se refiere a la medida clínica de la habilidad para discriminar claramente detalles finos en objetos o símbolos a una distancia determinada.

Se explora en cada ojo por separado, cubriendo el otro y mirando a una distancia de 6 metros en una cartilla o pantalla los optotipos de tamaño decreciente que se le muestren. [64]

Si distingue la figura menor se dice que tiene la unidad de visión, el 100% o 20/20, expresión numérica del tamaño de la imagen y la distancia que le separa del observador, es decir, que el paciente vio a 20 pies o 6 metros el optotipo 20, que es el más pequeño perceptible a esa distancia. [77]

Si el sujeto percibe sólo el optotipo 200 tiene un 10% de la visión normal, ya que a 20 pies vio un optotipo 200 que normalmente se ve a 200 pies o 60 metros

Cuando no puede ser visto este optotipo, se procede a la toma de contar con los dedos, movimientos de manos o percepción luminosa en todos los cuadrantes.

Esta es la prueba de función visual más importante y utilizada, dependiendo del sistema óptico, del estado de la retina y de la vía visual, lográndose con ella la discriminación de la forma de los objetos del mundo exterior.

Existen también cartas que miden la *agudeza visual cercana*, bien a través de la fórmula de Snellen, o mediante una escala numérica llamada *escala de Jaeger* que utiliza como material líneas de texto con tipos de diferentes tamaños.

TABLA APROXIMADA DE LAS NOTACIONES DE AGUDEZA VISUAL EQUIVALENTE PARA VISIÓN DE CERCA

Equivalencia en metros	Eq. Snellen	Jaeger	Notación de la American Medical Association	Tamaño letras minúsculas (puntos)	Altura en mm	Ángulo visual en minutos	Tamaño texto usual	Equivalencia de agudeza en la lectura
0,4	20/20		14/14	3	0,58	5,00	Nota pié de página	Libros en rústica y periódicos
0,5	20/25	J1 - J2	14/17,5	4	0,75	6,25	Libros en rústica	Revistas
0,8	20/40	J4 - J5	14/28	6	1,15	10,00	Periódicos	Textos de escuela secundaria
1,0	20/50	J6	14/35	8	1,50	12,50	Revistas	Libros para niños
1,2	20/60	J8	14/42	10	1,75	15,00	Libros para niños	Macrotipo
1,6	20/80	J9 - J11	14/56	14	2,30	20,00	Macrotipo	
2,0	20/100	J11 - J12	14/70	18	3,00	25,00	Subtítulos de periódicos	
4,0	20/200	J17	14/140	36	6,00	50,00	Títulos de periódicos	
5,0	20/250	J18	14/175		7,50	62,50	Letras de 1/2" (1,27 cm)	
10,0	20/500	J19	14/350		15,00	125,00	Letras de 1" (2,54 cm)	
20,0	20/1000		14/700		30,00	250,00		

Tabla 2.5.2. Tomada de José R. T., (1988). *Visión subnormal*. Madrid: ONCE.

La *visión central cercana*, se explora solicitando a la persona que vea una cartilla de figuras, letras, texto impreso, números, a una distancia de 40 cm y anotando la imagen más pequeña que se alcanza a ver con nitidez. Si solamente se aprecian claramente las más grandes se considera que el paciente tiene "vista cansada" (presbicia). [64]

Para establecer la agudeza visual cercana de una persona hay que hacerlo para cada ojo por separado. Para calcular el porcentaje de pérdida visual se toma la media entre la visión lejana y la visión de cerca. En los dos casos conviene conocer la agudeza visual de cada ojo con y sin lentes correctoras.

2.5.4. Anomalías de la visión en los colores.

Como hemos visto el ser humano tiene la capacidad para igualar cualquier color mediante mezcla aditiva de ciertos primarios y que además puede distinguir una amplia gama de colores.

Existe una serie de anomalías genéticas que producen alteraciones en la visión de los colores. Generalmente son anomalías heredadas, que no requieren tratamiento, pero es importante una detección de estas alteraciones de los colores en la edad infantil para valorar si son necesarias adaptaciones en la vida diaria o simplemente para comprender mejor la visión de estos niños.

La *acromatopsia*, ceguera para distinguir los colores, puede ser congénita o adquirida. Pocas personas son ciegas para los colores en el sentido de que son incapaces de distinguir entre el cambio de color de una luz y el cambio en su intensidad, pero muchas sufren importantes alteraciones de la visión del color, su percepción del color se limita a diferencias de claridad o luminosidad, como si se tratara de visión en blanco y negro.



Figura 2.5.11. Discos de matiz y saturación de color. El dicromatismo lo padece aproximadamente el 2% de los hombres blancos y el 0.03% de las mujeres. Alrededor de la cuarta parte de las personas con defectos de la visión del color son dicromáticas y pueden igualar todos los colores con mezcla de dos luces primarias mejor que con las tres utilizadas por un observador normal. (*Luz y Color. Clarence Rainwater. Página 115*). [92]

El estudio de las anomalías congénitas ha contribuido en gran medida a nuestro conocimiento sobre los mecanismos de la visión del color. La primera información importante, ya bien conocida en el siglo XIX, fue que algunas personas sólo poseen dos de las tres clases de receptores que caracterizan la visión tricromática normal.

Para estas personas dicromáticas, resulta difícil o imposible distinguir algunas superficies cuyos colores aparecen distintos para los tricromáticos. El problema del dicromático es que todas las funciones de reflectancia de la superficie se representan mediante una descripción de dos valores en lugar de tres y que esta reducción de la descripción hace que confundan muchas más superficies que los tricromáticos.

Las *dicromatopsias* pueden presentarse como deficiencias de tipo *protán* llamadas protanopía (1% de los hombres, 0.02% de las mujeres), y del tipo *deután*, deuteranopía (1.1% de los hombres, 0.01% de las mujeres). A los *tricrómata anormal*, se les denomina protanomalia (1% de los hombres y 0.02% de las mujeres) y deuteranomalia (4.9% de los hombres y 0.38% de las mujeres). [63]

Un observador con visión del color normal no puede distinguir entre dos funciones de reflectancia de la superficie físicamente distintas, tampoco podrá hacerlo un dicromático. El fallo significa que cada clase de conos origina la misma señal cuando absorbe la luz reflejada por cualquier superficie, por lo que el hecho de que las mismas superficies confundan al dicromático y al tricromático demuestra que el pigmento de los conos de aquél es normal.

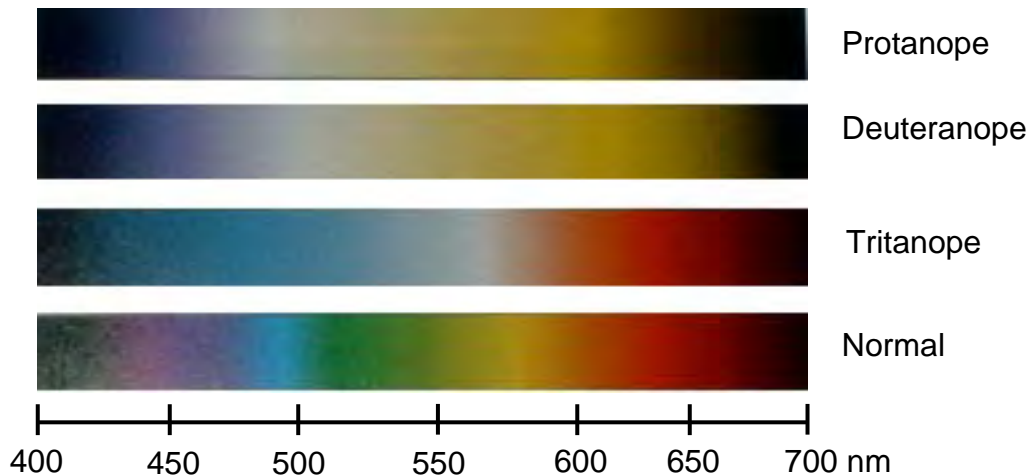


Figura 2.5.12. Apariencia del espectro visible para tres tipos de anomalías de la visión del color. (*Color Vision. From Genes To Perception. Edited By Karl R. Gegenfurtner, Lindsay T. Sharpe. Página 30*). [48]

En las tres formas de dicromasia, también llamada *dicromatopsia* o *dicrotismo*, le corresponde la pérdida de uno de los tres tipos de conos. En la protanopia son la pérdida de conos L, la deuteranopia de conos M, y la tritanopia corresponde a la pérdida de conos S, esta última es una alteración rara, alrededor de 1 por cada 10 000 personas, que afecta por igual a ambos sexos y cuya causa genética se encuentra en el cromosoma 7. Casi siempre afectan a varones y sus frecuencias respectivas varían en torno a 1%.

Como el número de conos L y M es muy grande, podría pensarse que la pérdida de uno u otro tipo deberían producir una alteración general de la visión y no limitarse a debilitar la percepción del color. Sin embargo, esto no sucede, lo que indica que más que una pérdida de un gran número de conos L y M, el dicromático posee un número normal de conos, pero todos de tipo L o M.

Además de las formas relativamente graves de ceguera para los colores del tipo de la dicromasia, existen formas más leves que también afectan en mayor medida a los varones y que producen una ligera incapacidad para distinguir funciones de reflectancia fáciles de distinguir para los tricromáticos normales.

Estas personas con alteraciones leves son, en realidad, tricromáticas, ya que sus conos proporcionan descripciones de tres valores de las luces reflejadas por las superficies, pero, aparentemente, las sensibilidades espectrales de sus conos son distintas de los conos normales.

Esta tricromasia anómala adopta distintas formas, dependiendo de cuál sea el pigmento normal de los conos que haya sido sustituido por un pigmento de sensibilidad espectral diferente. En dos de las formas más frecuentes, el pigmento normal de los conos L y M es sustituido por otro de sensibilidad espectral inmediata. Estas formas, llamadas respectivamente protanomalia y deuteranomalia, afectan en conjunto al 7 u 8% de los varones. [63][70]

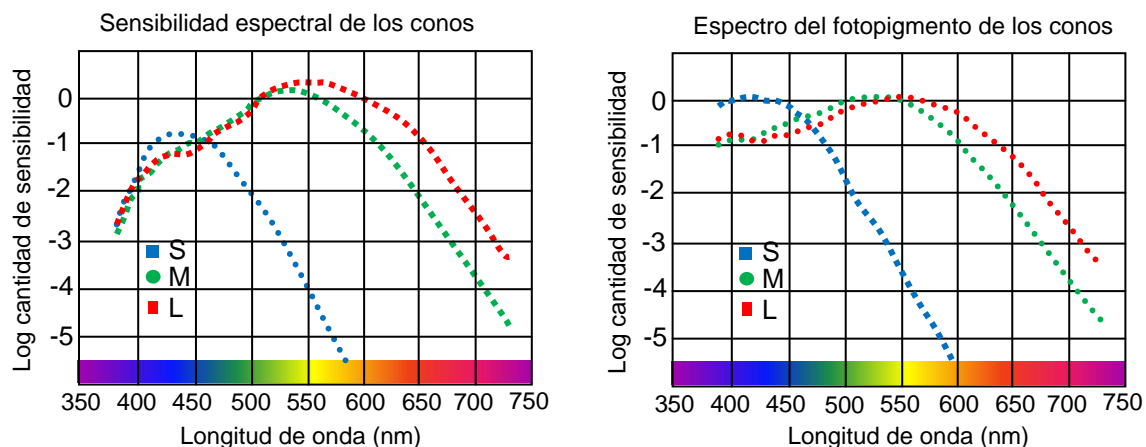


Figura 2.5.13. Sensibilidad espectral de los conos y de su pigmento. (*Color Vision. From Genes To Perception. Edited By Karl R. Gegenfurtner, Lindsay T. Sharpe. Página 18*). [48]

Debido a este cambio de receptores, los caminos cromáticos sufren variaciones. En el caso de los *deuteranopes* son menos sensibles al *verde* y los *protanopes* son menos sensibles al *rojo*. Los deuteranopes son de apariencia normal mientras que los protanopes son menos sensibles a la luz ya que les falta el cono L que proporciona el doble de señal en el canal de intensidad luminosa.

Para este tipo de observadores (dicrómatas rojo-verde) el espectro visible tiene dos tonalidades únicamente, una de longitud de onda corta y otra de longitud de onda larga, separando ambas zonas se encuentra una región situada hacia los 480 nm acromática.

Los observadores que confunden el azul y el amarillo, alrededor de un 0.003 % para deficiencias congénitas, aumenta debido a un amarilleo del cristalino o de los humores con la edad, o por desarrollar algún tipo de enfermedad que afecte a ese canal cromático. Estos observadores se denominan de tipo *tritan* y poseen dos grados: la *tritanomalía* y la *tritanopía*.

La mayoría de los defectos en la percepción del color provienen de alteraciones en la síntesis de los fotorreceptores. La discromatopsia o daltonismo, será más o menos acentuada según el número de pigmentos afectados y el grado de afectación de cada uno de ellos.



(a) Normal



(b) Protanope



(c) Tritranope



(d) Deuteranope

Figura 2.5.14. Escena de frutas en un mercado como las percibe un: (a) tricrómatas normal, (b) un protanope, (c) un tritanope, y un deuteranope (d). La simulación está basada en un algoritmo que incorpora una transformación colorimétrica. (Vienot, 1995; Brettel, 1997). La escena original es reproducida con permiso de Minolta Corporation). (*Color Vision. From Genes To Perception. Edited By Karl R. Gegenfurtner, Lindsay T. Sharpe. Página 18*). [48]

El estudio de las anomalías rojo-verde es un claro ejemplo de herencia ligada al sexo, al cromosoma X. El gen ligado a esta deficiencia es *recesivo*, esto es, que el alelo normal es el dominante en una pareja de cromosomas XX en la que uno de ellos lleve el gen defectivo. La mujer poseedora del par XX en su código genético será defectiva si ambos cromosomas del par poseen el mencionado gen. Con respecto al hombre basta que el cromosoma X sea defectivo para desarrollarlo.

Este modelo de transmisión genética se ajusta a las frecuencias de aparición de deficiencias rojo-verde pero para el tipo de deficiencias como las azul-amarillo no se ajusta, porque la alta frecuencia relativa de la misma en mujeres hace dudar de que esta deficiencia esté ligada al cromosoma X.

La existencia de defectos hereditarios de los conos L y M ligados al cromosoma X indica que en este cromosoma radican los loci de los genes que codifican los pigmentos visuales de tales conos. Los trabajos de Jeremy Nathans y sus colaboradores, han podido identificarse estos genes y la secuencia de aminoácidos de los pigmentos. Sus descubrimientos revelaron algunas complejidades interesantes de la organización genética de la visión del color.

La clonación molecular de los genes de los pigmentos L y M demuestra que los genes son muy similares y que se disponen de cabeza a cola en el cromosoma X. También son muy semejantes las estructuras de los pigmentos, que sólo difieren el 4% de los aminoácidos.

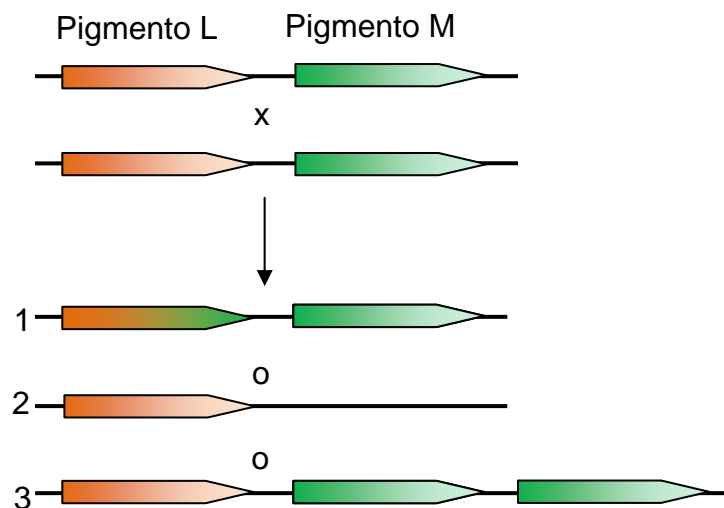


Figura 2.5.15. La disposición de los genes de los pigmentos L y M en el cromosoma X podría explicar las variaciones observadas de dichos genes, tanto en las personas normales como en las acromatopsias. Debido a la proximidad de sus localizaciones en el cromosoma X normal, la recombinación entre estos genes puede causar la aparición de un gen híbrido (1) o la pérdida de un gen (2), los patrones observados en los varones con ceguera para los colores. También puede conducir a la duplicación de un gen (3), patrón observado en algunas personas con visión de color normal. (Adaptado de Stryer 1988. *Principios de Neurociencia*. Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell. 2002). [62]

Las personas con visión de color normal sólo poseen una copia del gen para el pigmento L y de una a tres, a veces hasta cinco, copias idénticas del gen para pigmento M. La proximidad y similitud de los genes parece predisponerlos a varias formas de recombinación, con la consiguiente pérdida de uno de ellos o la formación de genes híbridos que justifican las formas frecuentes de defecto rojo-verde.

El estudio de los genes en los varones con ceguera para los colores demuestra que la sustitución del gen del pigmento L por un gen híbrido puede causar tanto protanopía como protanomalia; la sustitución del gen del pigmento M por un híbrido se traduce bien en deuteranopía o bien en deuteranomalia, siempre esta última si existen otros genes adicionales para el pigmento M.

Género	Muestra	Protan		Deutan	
		Anomalia	Anopia	Anomalia	Anopia
Hombres	45,989	1.08	1.01	4.63	1.27
Mujeres	30,711	0.03	0.02	0.36	0.01

Tabla 2. 5. 3. Incidencia, en porcentaje, para cromosoma X, ligado a las deficiencias de color en hombres y mujeres. Las muestras son un conjunto de diferentes poblaciones. Noruega (Waalder, 1927), Suiza ((von Planta, 1928), Alemania (Schmidt, 1936), Gran Bretaña (Nelson, 1938), Francia (Francois, 1957), Holanda ((Crone, 1968), Grecia (Koliopoulos, 1976), y Iran (Modarres, 1996-1997). (*Color Vision. From Genes To Perception. Edited By Karl R. Gegenfurtner, Lindsay T. Sharpe. Página 66*). [48]

Las personas que a lo largo de su vida han tenido una visión normal de los colores pierden esta capacidad en grado muy variable debido a varias enfermedades que afecta a la retina, al nervio óptico o a la corteza cerebral del lóbulo occipital del cerebro.

Los trastornos de la visión del color son frecuentes en las personas que sufren enfermedades oculares, como la retinitis pigmentosa y el glaucoma, lo que indica que los conos son más vulnerables que los bastones, afectando la dimensión azul-amarilla del color. [84]

Parece que esta selectividad se debe a una vulnerabilidad especial de los conos S, que se alteran con mucha mayor facilidad que los L y M. Los métodos histológicos de marcado selectivo de los conos S explotan esta vulnerabilidad y permiten revelar su disposición bien definida y casi regular.

Una lesión de la corteza visual, puede producir la pérdida de visión del color, la acromatopsia. El hecho de que pueda producirse una alteración selectiva

de la visión del color indica que existen algunas regiones corticales especializadas en el análisis de la información relativa a dichos atributos.

Grupo racial	Hombres		Mujeres	
	Muestra	Incidencia (%)	Muestra	Incidencia (%)
Descendientes Europeos	250,281	7.40	48,080	0.50
Asiáticos	349,185	4.17	231,208	0.58
Africanos	3,874	2.61	1,287	0.54
Aborígenes Australianos	4,455	1.98	3.201	0.03
Indios Americanos	1,548	1.94	1.420	0.63
Isleños del Pacífico Sur	608	0.82	-----	-----

Tabla 2. 5. 4. Incidencia racial de la deficiencia de la visión de color rojo-verde en hombres y mujeres. La incidencia, en porcentaje, corresponde al número total de anómalos detectados en la muestra, dividido entre el total de la muestra de cada grupo racial. Obtenido de 67 estudios listados en Waaler (1927), Cox (1961), Waardenburg (1963), Crone (1968), Iinuma y Handa (1976), y Koliopoulos (1976). (*Color Vision. From Genes To Perception. Edited By Karl R. Gegenfurtner, Lindsay T. Sharpe. Página 63*). [48]

No obstante, la idea de una especialización cortical para el procesamiento del color ha suscitado controversias. Aunque muchos sujetos con acromatopsias sufren un llamativo defecto de la visión, cuando se estudian con cuidado suelen encontrarse otras deficiencias adicionales de la percepción.

Sobre la evolución de la visión cromática con la edad tiende a mejorar y perfeccionarse durante la adolescencia y a deteriorarse en la senescencia. La mayoría de los autores aceptan que los cambios seniles en la visión cromática, son debidos fundamentalmente a la coloración amarillenta que adquiere el cristalino con la edad y a la "miosis senil".

Trastornos en la visión de los colores azul-amarillo disminuyen durante la adolescencia, desaparecen en la tercera década y aumentan gradualmente después, la edad influye de manera importante. La mayor capacidad de discriminación cromática ocurre en la tercera década. (*Verriest, 1963*).

2.5.5. Pruebas de detección para la visión del color.

El Dr. Shinobu Ishihara, estudió el postgrado en oftalmología en la Universidad Imperial de Tokio, es conocido mundialmente por su prueba de ceguera a los colores, utilizando unas cartas que elaboró en 1918 y que llevan su nombre: Cartas de Ishihara.

Estas cartas o láminas consisten en numerosos puntos de los distintos colores primarios, dispuestos sobre fondos de colores similares, agrupados de modo que una persona normal puede distinguir en ellos números o formas conocidas. Los sujetos experimentales serán personas normales, cuando no tengan dificultad para realizar discriminación de colores.

La versión de la prueba original con cartas del Dr. Shinobu Ishihara, fué diseñada para ser realizada en un cuarto iluminado adecuadamente por luz diurna. La presencia de la luz del sol directa o de la luz artificial puede producir una cierta discrepancia en los resultados, debido a la alteración en el aspecto de las sombras del color.

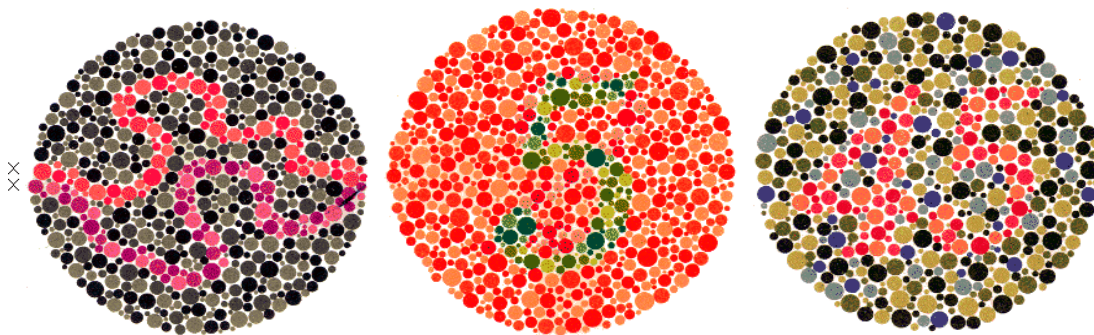


Figura 2.5.16. Ejemplos de las Láminas de Ishihara. El método de confección de un test de este tipo [Irtel, 1999] comienza con un modelo de puntos distribuidos al azar con distintos niveles de grises. Posteriormente agregamos un modelo igual de puntos pero que sólo está definido por variaciones azul-amarillo. (Pedro José Pardos Fernández. *Realización y Validación de un programa Informático para la detección de las deficiencias en la visión de colores. Tesis de Licenciatura. Universidad de Extremadura. España, 2000*)

Un observador con deficiencia del rojo-verde podrá hacer discriminación del azul- amarillo, distinguiendo la figura en la carta. Los observadores con deficiencia de rojo-verde no podrán ver la figura rojo-verde y sólo observaran la figura amarillo-azul. Los observadores normales verán el amarillo-azul y la figura rojo-verde.

La prueba con las láminas de Ishihara para explorar la visión del color, se realiza a cada ojo de manera independiente, se coloca la lámina a una distancia de 40 cm del ojo, se le pide que distinga los números que se muestran en cada

patrón. El examinado debe saber interpretar las 24 cartas de Ishihara, utilizando menos de 3 segundos por cada una. Es una prueba cualitativa, que orienta sobre el defecto pero no informa sobre la gravedad. Verá números donde no los tiene que ver o confundirá los mismos según el defecto que prevalezca. [63]

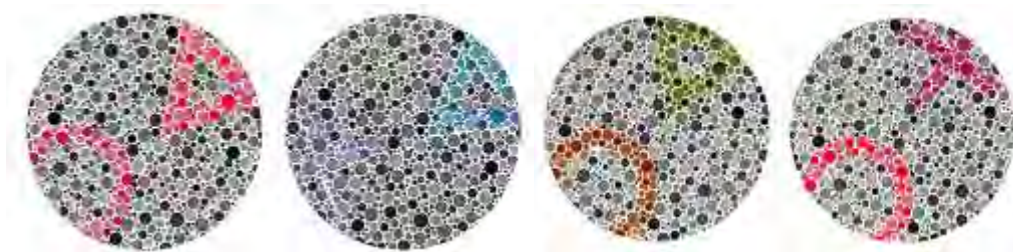


Figura 2.5.17. Las tablas de Hardy-Rand-Ritter, permiten la detección de los tritanopes, pero son menos sensibles, las figuras que hay que reconocer ya no son cifras, sino cruces, círculos y triángulos. (*Luz y Color. Clarence Rainwater. Página 116*). [92]

Si el sujeto falla en más de 5 láminas de las primeras 13, es probable que padezca un defecto congénito. Pero menos de 5 fallos suelen ser no predictivos. Esto significa que como cualquier prueba tiene falsos positivos y se tiene que reevaluar a la persona con otras pruebas.

Constituye una prueba poco costosa, simple, rápida y sensible para el diagnóstico de discromatopsias congénitas rojo-verde. No permite apreciar con precisión su gravedad ni descubrir la tritanopía.

Las personas con discromatopsia, es decir, con la discapacidad para ver uno o varios colores, tienen limitaciones para desarrollar una actividad laboral en la cual sea indispensable distinguir diversas tonalidades, como piloto aviador, diseñador gráfico, industria textil, actividades militares o de seguridad. No existe una cura o tratamiento para este trastorno. (Monroy, IMSS, 2008).



Figura 2.5.18. Las trabajadoras de la industria textil en la prueba cotidiana de la discriminación del color. (*Industria Textil, costureras. Foto Internet*).

Otro tipo de prueba de visión cromática es la llamada *prueba de ordenación*, el modelo más extendido es el Farnsworth 100-Hue desarrollado por Farnsworth-Munsell (1943). Es un test de discriminación de color constituido por ocho fichas de referencia y 85 fichas para ser ordenadas. Los colores pertenecen a la escala de Munsell, presentan una **saturación (crominancia) y luminosidad (luminancia)**, constantes y difieren solamente por su posición en el espectro visible (atributo de **hue**).

Entre dos colores vecinos existe una variación en su hue, los colores se seleccionan y se van acomodando en los estuches que contienen las fichas de referencia, para completar las 85 fichas.



Figura 2.5.19. Formato de presentación del test Farnsworth Munsell de 100 hue. (*Farnsworth-Munsell 100 Hue Test, Munsell Color, Macbeth, una división de Kollmorgen Coop*).

Como el fabricante original, Munsell certifica la exactitud de cada prueba, el equipo incluye:

- Cuatro estuches con un total de 85 fichas con *hue* diversos.
- El tamaño de la referencia del color es 7/16 " diámetro.
- Cada ficha está numerada por la parte posterior y permite la toma de datos.
- Esta prueba incluye el software Windows para PC que proporciona una gráfica de la posición angular de los errores cometidos durante la prueba.

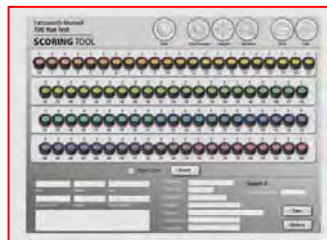


Figura 2.5.20. Pantalla del software del test Farnsworth Munsell de 100 tonos. (*Farnsworth-Munsell 100 Hue Test, Munsell Color, Macbeth, una división de Kollmorgen Coop*).

Esta prueba permite clasificar los observadores que tienen una visión normal del color de acuerdo con su nivel de discriminación cromática. Con el *Farnsworth 100 Hue* se puede detectar discromatopías, indicar su tipo y su grado, y separar a la población normal en varias categorías (*Douane*):

Visión a los colores superior	16 %
Visión a los colores normal	68 %
Discriminación a los colores baja	16 %

Tabla 2.5.5. Porcentajes de la población con respecto a su capacidad de discriminación cromática. (*Hue Test* \ *Consulta Oftalmológica Virtual Dra_ Laguna Zona de Investigación_archivos\INDEXA.HTM*, 2002)

Una persona normal sólo colocará de forma errónea una o dos fichas por estuche y la gráfica polar aparecerá con pocas protuberancias. Para las diferentes anomalías de color, el esquema se deforma a lo largo de un eje específico. El eje de deformación es típico para una deficiencia de color determinada, y se muestran ejemplos de los ejes en la protanomalia, la deuteranomalia y la tritanomalia. Los observadores con defectos de color adquiridos inespecíficos suelen cometer errores en todas las zonas de la rueda.

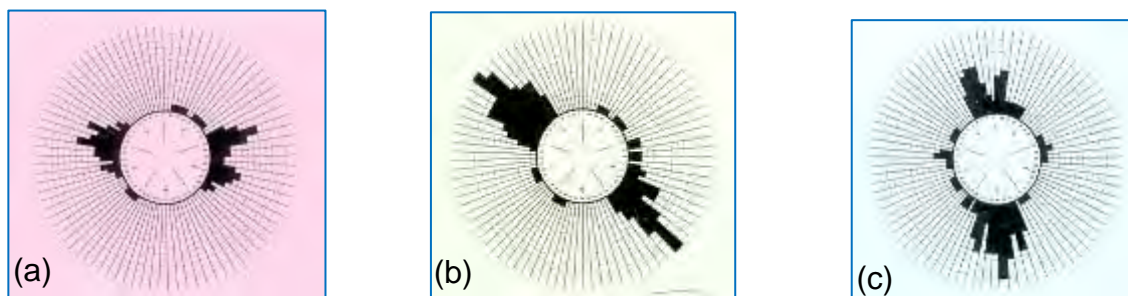


Figura 2.5.21. Ejemplos de los ejes en la protanomalia (a), la deuteranomalia (b) y la tritanomalia (c). (2005 - *Master Color Control, S.A. de C.V.*).

La visión del color normal es el requisito previo para las personas que realizan estimaciones sobre colores. Aunque no se puede controlar la visión humana del color, si se puede someter a las personas a pruebas para determinar su capacidad para ver diferencias de color.

El *Farnsworth-Munsell Hue Test* es una de las pruebas más usadas en las empresas dónde las decisiones de color son cruciales. A través de los años, el test también se ha usado en aplicaciones clínicas para el estudio de enfermedades oculares y otras condiciones médicas como la diabetes y la enfermedad de Parkinson. También se ha usado para determinar los efectos de fármacos en la

visión de color. La prueba, se ha utilizado por más de 50 años como el estándar definitivo para la discriminación de color. [70]

La prueba *Farnsworth-Munsell Hue Test*, es especificada por diferentes sociedades americanas como la ASTM E1499, que establece una guía estándar para la selección, evaluación y entrenamiento de observadores de color. La asociación americana AATCC de la industria textil, recomienda un procedimiento para la evaluación de los químicos y de los colores de la materia prima. Otras industrias como la automotriz y plásticos especifican en su normatividad la evaluación periódica del personal responsable en la toma de decisiones para la selección del color.

El color es integral a los productos que se diseñan y se producen. La visión de color superior es esencial para cualquier persona que toma decisiones del color como: los artistas, diseñadores, ingenieros, técnicos, producción, fabricación y comercialización.

Otro instrumento para la evaluación de la discriminación cromática es el anomaloscopio. Es esencialmente un colorímetro que produce un par metámero a partir de la mezcla de dos colores espectrales puros de proporciones variables para igualar otro de referencia sobre un campo bipartito.

En su concepción original, ideada por Lord Rayleigh en 1881, los dos colores a mezclar eran rojo (670 nm) y verde (545 nm) y el color a igualar era amarillo (589 nm). Se comercializó hasta 1907 cuando Nagel elaboró el primer anomaloscopio haciendo uso de la ecuación Rayleigh referida, denominándolo anomaloscopio Nagel Modelo I ya que posteriormente realizó otro para detectar la deficiencia tritán y la mezcla se produce entre un color violeta (470 nm) y un azul-verdoso (517 nm) para igualar el azul estándar (490 nm), el anomaloscopio Nagel Modelo II (Schmidt, 1970).

Es uno de las mejores técnicas para reconocer los trastornos de la visión cromática: *hue, crominancia y luminancia*. Es muy preciso debido a la utilización de colores espectrales y no pigmentarios, estos últimos utilizados en los modelos anteriores. Permite apreciar la gravedad del déficit congénito o adquirido, pero es costoso y exige una cierta colaboración del sujeto.

2.6 La discriminación del color en la Industria del Vestido.

En este apartado veremos las condiciones ambientales donde los profesionales de la industria textil y del vestido, diseñan y fabrican los productos que comercializaran. Las condiciones de trabajo (iluminación, ángulo de visión, contraste y superficie del objeto); y la aptitud visual (agudeza visual y cromaticidad), son factores ergoftalmológicos que influyen en la Astenopía y Presbicia, de las personas que se desempeñan en actividades en el área de

inspección visual. Mencionaremos la importancia que tiene la ergonomía en el centro de trabajo y la normatividad a la que está impuesta.

La industria textil en México se ha caracterizado por su riqueza y legendaria tradición desde antes de la conquista española. La historia ha registrado el modo de vida indígena, en el cual se había desarrollado el universo textil y el uso artístico de materiales naturales, con los que producían una gama de objetos textiles y artísticos.

Las manos indígenas usaban fibras de algodón, henequén y maguey, a las cuales daban color rojo con la cochinilla de grana (nochixtli); rubio y anaranjado, con la semilla de aciote; amarillo ocre, con las hojas de xochipali, entre otras materias primas para producir pigmentos.

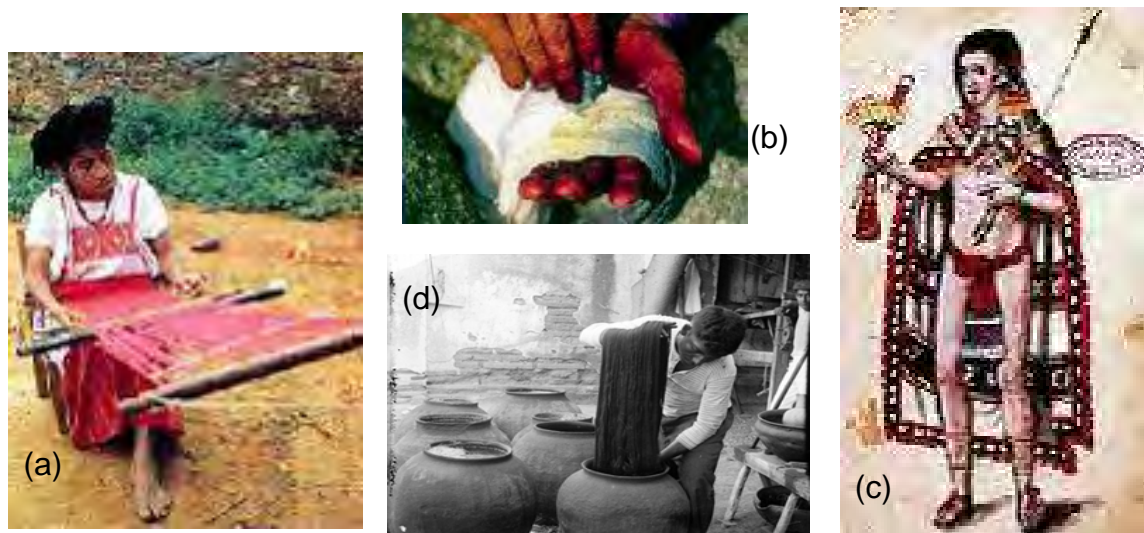


Figura 2.6.1 Las fibras de mayor uso en la época prehispánica fueron las vegetales. (a) Tejedora realizando su trabajo bajo luz natural. (b) Caracol, Púrpura Patula Pansa, tinte del molusco marino que habita a lo largo de la costa del Pacífico desde México a Perú, el cual desprende una secreción cuando se sopla sobre él, en un principio es incolora, pero por un proceso de oxidación y por la exposición al sol, logra un color morado intenso. (c) Noble azteca. (d) El proceso de teñido de las telas sigue vigente. (Fotos: *Raíces para Arqueología Mexicana* No. 17).

Hacia el año 200 de nuestra era, los teotihuacanos comienzan a extraer de las montañas del altiplano los minerales azurita (azul) y malaquita (verde) y aprendieron a transformar colores con otros minerales terrosos como la hematita (rojo) y la limonita (amarillo), así obtuvieron tonos que van desde el naranja hasta el rojo sangre o *rojo teotihuacano*.

Con estos y otros elementos naturales confeccionaban prendas diversas para lucir y proteger el cuerpo, la amplia variedad de mantas, faldas de enredo, quechquémele, taparrabos, túnicas, huipillis y fajas adornadas muchas veces con plata, oro y piedras preciosas. Actualmente se está recuperando este tipo de

industria-taller, orientando su comercialización a mercados de alto nivel adquisitivo. [16]

Los industriales en México, fundaron las primeras fábricas de hilados mecanizados en la década de 1830, logrando grandes beneficios derivados de la industria textil del algodón a partir de grandes fábricas instaladas principalmente en el estado de Puebla. La industria propiamente dicha sólo pudo iniciar su desarrollo con la consolidación del capitalismo en México, sobre todo con el uso de la electricidad y la introducción de la maquinaria moderna movida por energía hidroeléctrica que impulsó cambios cuantitativos y cualitativos en la rama textil.

Muchas empresas generaban la energía por sí mismas y otras la compraban a las plantas cercanas. Por tanto, las plantas textiles tendieron a instalarse en regiones con abundante agua como Veracruz, Puebla, Tlaxcala y la Ciudad de México.



Figura 2.6.2. Las transformaciones que produjo la Revolución Industrial en la historia contemporánea, también tuvieron impacto en nuestro país. La colocación de tragaluzes como una fuente de iluminación natural. (Selección de imagen: Rogelia Laguna. Fototeca Nacional del INAH)

La organización de los trabajadores textiles fue impulsada en la Convención Obrera Textil efectuada en los años 1925-1929, surgió como una necesidad de la lucha obrero-patronal. Con esta convención se lograron conquistas obreras de gran relevancia en materia de reducción de la jornada, establecimiento de tres días de descanso obligatorio en el curso del año, con salario integro, entre otros logros.

La industria textil mexicana a finales del siglo XIX y a mediados del XX, se caracterizó por sus exportaciones y su gran aportación al Producto Interno Bruto (PIB) del país. Debido a la falta de apoyo y a la apertura comercial, actualmente este sector productivo está en crisis. [91]

La Cámara Nacional de la Industria del Vestido (CNIV) con más de 60 años de existencia en México, se ha encargado de mantener viva esta industria, para ello, fue necesario fortalecer el mercado interno, revertir la recesión y el desempleo, así como reactivar el consumo.



Figura 2.6.3. Logo de la Cámara Nacional de la Industria del Vestido. Albert Einstein señaló “No pretendamos que las cosas cambien, si siempre hacemos lo mismo. En la crisis nace la inventiva, quien supera la crisis, se supera así mismo”. (Cita del C. P. Simón Feldman, presidente de la CNIV, en el marco de los trabajos de la LXIV Asamblea General ordinaria, 2009).

Con la participación conjunta de empresarios y gobierno, se fomentan las exportaciones, la diversificación de las relaciones comerciales y la promoción de los productos en el extranjero. [44]

La Cámara Nacional de la Industria del Vestido ha realizado acciones enérgicas y constantes en el combate al contrabando y la piratería, trabajando junto con la Procuraduría General de la República y la Dirección General de Aduanas en los operativos y decomisos de ropa ilegal.



Figura 2.6.5. La percepción del color está directamente relacionada con la visión y, al igual que la iluminación, determina el rendimiento visual del trabajador. (Imagen adaptada de *Indumentaria Artesana*. www.pilarvalverde.com).

Un buen rendimiento visual en el trabajador repercute positivamente en sus resultados generales, como un valor añadido a sus destrezas profesionales. Un

especialista en ergonomía conoce los límites de la visión humana, establece los factores de visibilidad de las tareas a niveles supra-umbrales, para que se puedan ejecutar cómodamente.

Los límites de la visión cromática humana determinan el nivel visualmente confortable en el puesto de trabajo. Es importante conocer en detalle cuáles de los factores ambientales en el entorno laboral, como iluminación, contraste, distancia, entre otros, influyen en el rendimiento visual del trabajador.



Figura 2.6.6. La astenopia, fatiga visual, es mayor en operadores de terminales de computadoras que en trabajadores administrativos no expuestos. (*Factores de Riesgo para la astenopia en operadores de computadoras. M en C. Carlos Pérez Lucio y colaboradores. Instituto Nacional de Salud Pública en México. Mayo –Junio, 1996, Vol. 38. No. 3, Página 189*).

Hay que tener en cuenta que la visión puede acarrear cambios psicológicos positivos y negativos en el comportamiento de los trabajadores. Los factores ambientales regulados convenientemente, son capaces de aumentar el rendimiento general del proceso productivo; pero, mal gestionados pueden provocar indirectamente una disminución del rendimiento general de la tarea.



Figura 2.6.7. Un buen rendimiento visual en el trabajador repercute positivamente en sus resultados, como un valor añadido más a sus destrezas profesionales. (*Foto adaptada: Modelo profesional, Internet*)

En algunas profesiones resulta crucial tener una visión normal del color, ya que en numerosas tareas se realizan juicios nominales y comparativos de colores para realizar controles visuales de calidad de los productos o pre-productos fabricados. Algunos de los trabajos que requieren un nivel normal o superior de discriminación del color son: publicistas, cineastas, comunicadores, piloto aviador, artistas visuales, ingenieros textiles, decoradores, arquitectos, entre otros.

Por tanto, un trabajador con un perfil deficiente claro en la percepción de los colores no puede rendir al cien por ciento, ya que se equivocaría y en algunos casos, podría poner en riesgo la seguridad y la salud de sus compañeros y/o la de los clientes de la empresa.

De hecho, en ningún país se concede la licencia para dirigir navíos, trenes, aviones y vehículos terrestres a las personas con defectos cromáticos (Comisión Internacional de la Iluminación, CIE 143:2001).

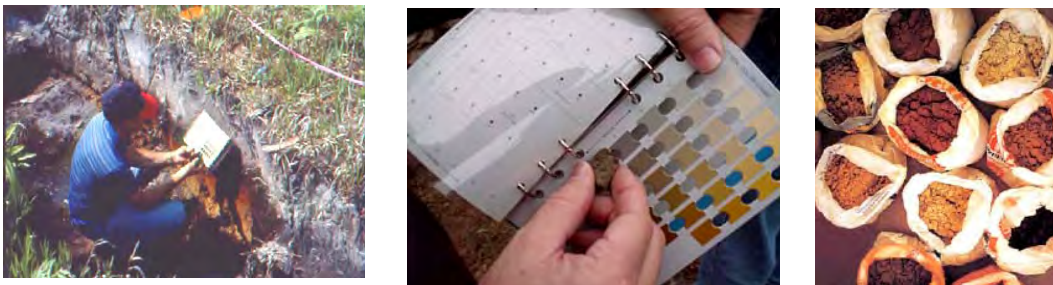


Figura 2.6.8. Medición del color del suelo, realizando la comparación de la muestra con las plaquitas de colores del sistema de notación Munsell. Francisco A. Ovalles Viani. (*Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela No. 3, septiembre-diciembre de 2003*).

Algunos países pioneros en Ergonomía y Medicina del Trabajo (como Gran Bretaña o Estados Unidos) han elaborado una serie de listas de profesiones (North, R.V., 1996), especificando en cuáles no son importantes para el rendimiento y la salud laboral, la presencia activa de trabajadores con deficiencias cromáticas.

Para aquéllas profesiones donde es imperativo un estado de visión cromática normal, es necesario la realización de pruebas detección/clasificación para la selección de personal o para la vigilancia de la salud de los trabajadores. Estas pruebas de detección y clasificación son también importantes a la hora de que una empresa pueda conseguir un certificado de calidad ISO.

Para conseguir el certificado de calidad ISO, no se especifica como obligatoria ninguna prueba visual de detección y clasificación de deficiencias cromáticas, pero si se recomienda hacerla, la mayoría de las compañías utilizan la prueba de Farnsworth Munsell 100 junto con la prueba de Ishihara. [116]

En algunas especializaciones en la elaboración de los productos de la Industria del vestido requieren un alto grado de destreza visual sobre todo en la discriminación del color. Los objetos a clasificar visualmente son de tamaño pequeño, por lo que es necesario subir el nivel de iluminación.

Estas actividades laborales deben ejecutarse confortablemente a nivel visual y eso implica una coordinación entre la capacidad visual del individuo, que disminuye con la edad, y los factores de visibilidad de la tarea, iluminación, color, contraste, tamaño, distancia. Los ergonomistas oftalmológicos establecen los adecuados criterios de vigilancia de la salud de los trabajadores y de selección de personal.

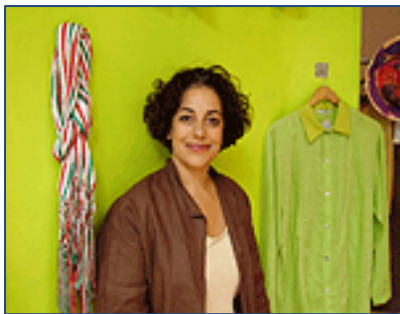


Figura 2.6.9. Carmen Rión. Diseñadora Mexicana. Av. Michoacán 30, Colonia Condesa, México, D. F., Tel. 55. 5264 6179. contacto_crion@yahoo.com.

2.7 Fuentes iluminantes en aparadores y tiendas.

Cuando vamos a comprar una prenda de vestir, regularmente acudimos a las tiendas departamentales, tiendas de marca o tianguis de ropa, observamos los aparadores o los maniquís vestidos con la ropa de temporada, estos pueden tener una iluminación natural, artificial o mixta. La pregunta es ¿qué tanto cambia el diseño del color original de la prenda cuando la exponemos a diferentes clases de iluminantes?

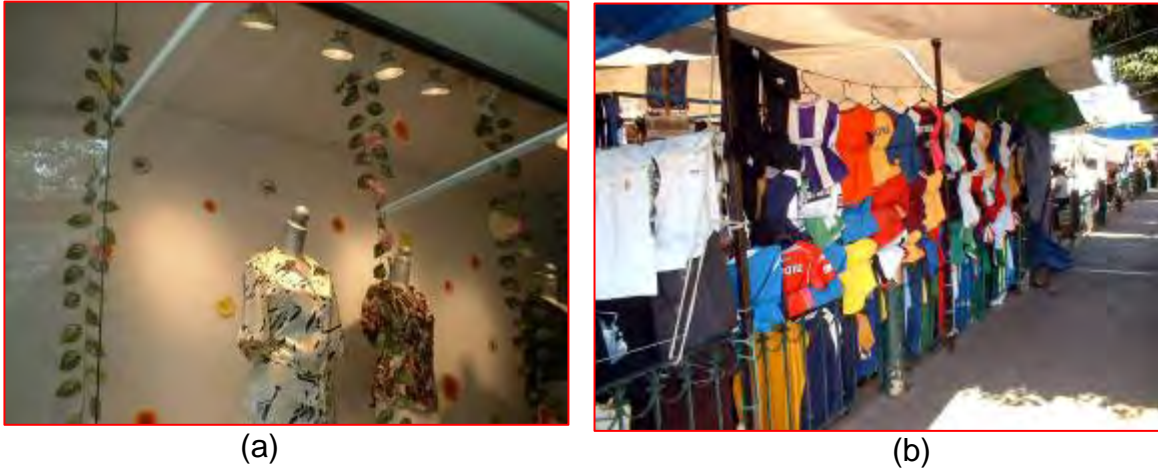


Figura 2.7.1. Diferencia promocional. (a) Aparador de una tienda del corredor comercial de tiendas de ropa de las calles de Izazaga en la ciudad de México D. F. (b) Tianguis en Ixtapan de la Sal Edo. De México. (Imágenes de archivo personal, 2008).

Las aportaciones de estudiosos del color como son Goethe, Luckiesh, Lüscher, Kandinsky, Le Heart, Graves, Deriberé y Escudero principalmente, han reunido una serie de significados para diferentes propósitos, a partir de sus experiencias personales y de considerar las tradiciones y leyendas del grupo cultural al cual pertenecen.



Figura 2.7.2. Una deficiente iluminación distorsiona el color original de la prenda de vestir causando aberración. (Imagen de archivo personal, 2008).

Los colores cálidos se han asociado con la actividad, la intensidad y la asimilación, pertenecen a este grupo el rojo, anaranjado, amarillo y por extensión el blanco, en tanto que los fríos son representantes de pasividad, debilitamiento, desasimilación y corresponden a este grupo el azul, índigo, violáceo y por extensión al negro. [104]

Estas características de los colores podrían dar lugar a pensar que existen significados universales.

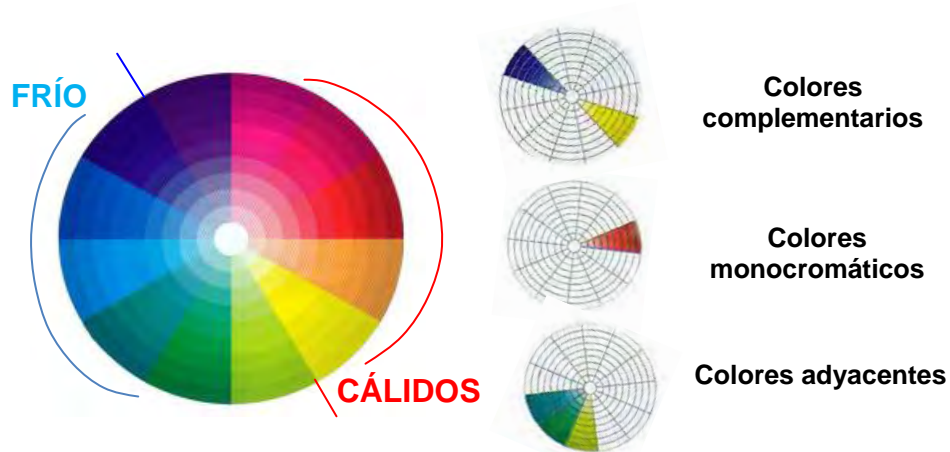


Figura 2.7.3. Círculo cromático que es de gran utilidad para aprender a combinar y contrastar colores. (*Sensaciones Comex, Color, Decoración y Arquitectura. Octubre–Noviembre, 2004. Página 21*). [104]

Hacia el año 1800, sir William Herschell descubrió que si se coloca un termómetro en el extremo rojo del espectro, aquél indica una temperatura más elevada que si se pone en el extremo azul, y que registra una temperatura aún mayor más allá de la banda del color rojo, donde nada puede verse con la vista ordinaria.

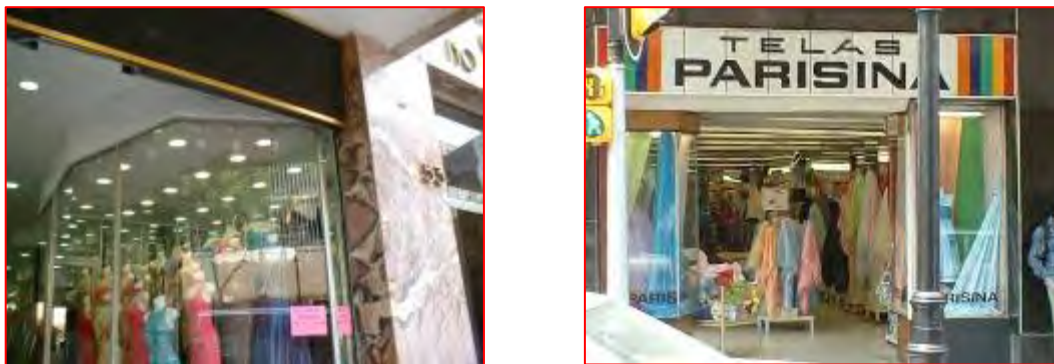


Figura 2.7.4. Las tiendas de ropa y telas utilizan una iluminación mixta, cálida y fría. (*Imágenes de tiendas del Centro Histórico de la ciudad de México. Archivo personal 2008*)

La temperatura de color es una medida que se especifica en las lámparas y se refiere a la apariencia y tonalidad de la luz que emite la fuente luminosa. La

forma en que vemos cierto ambiente depende de la tonalidad de luz de la lámpara y es crucial para establecer una atmósfera de confort o frescura. [88]

Las fuentes de luz que percibimos blancas y brillantes o azuladas tienen una temperatura de color arriba de los 6500 °K, y la luz se denomina luz fría. Se utiliza en aplicaciones industriales, oficinas y hospitales. [88]

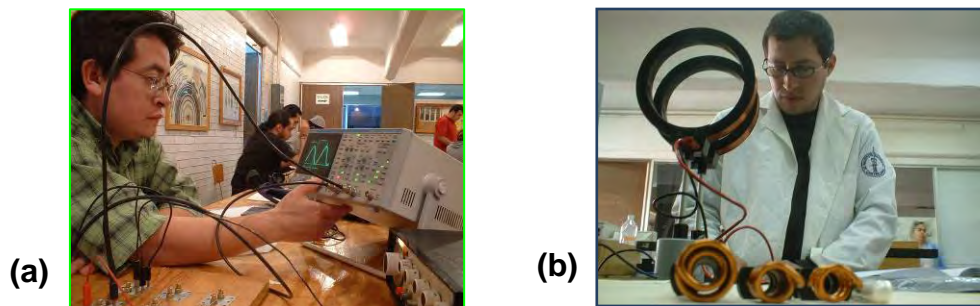


Figura 2.7.5. Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UNAM. (a) Práctica en el laboratorio de Electricidad y Magnetismo con luz artificial. (b) Práctica en el laboratorio de Física Moderna II, con luz natural. (Fotos archivo personal, 2006-2008).

Las fuentes de luz que percibimos rojizas o amarillentas tienen una temperatura de color debajo de los 3400 °K y se denominan de luz cálida. Se usan en lugares donde se requiere un ambiente de hospitalidad y confort, como por ejemplo tiendas de ropa, hogar y restaurantes.

Las fuentes de luz con temperatura de color de 5500 °K se consideran neutras y comúnmente son usadas en lugares de trabajo incluyendo oficinas, sala de conferencias, bibliotecas y escuelas.

Como mencionamos anteriormente el espectrógrafo separa en un haz luminoso las longitudes de onda y las despliega en forma de espectro. El espectro de una lámpara incandescente es de banda continua que va del violeta al rojo, pasando por el azul, verde, amarillo y anaranjado.

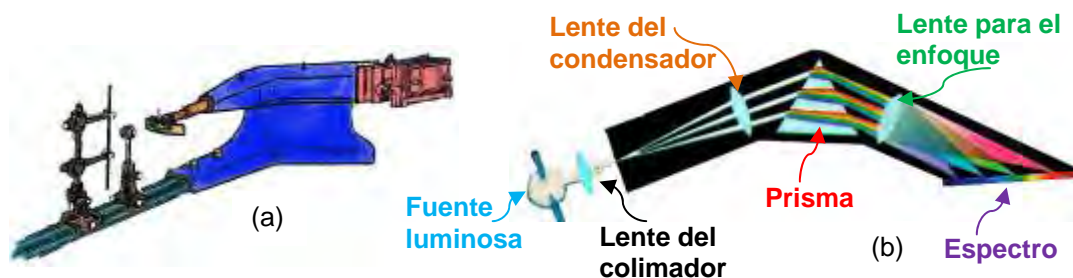


Figura 2.7.6. (a) Espectrógrafo Hilger, separa en un haz luminoso las longitudes de onda y las despliega en forma de espectro. (b) Un prisma dispersa la luz de una lámpara incandescente, en un espectrógrafo de laboratorio, para formar un espectro de banda continua que va del violeta al rojo, pasando por el azul, verde, amarillo y anaranjado, al igual que las gotas de agua de lluvia, dispersan la luz formando un arco iris. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 5) [92]

Cada fuente luminosa emite un espectro que se puede representar gráficamente, mostrando cómo la energía relativa varía con la longitud de onda. Esta relación se llama curva de la distribución de la energía espectral para la fuente luminosa. La luz blanca, al igual que la luz solar, es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles.

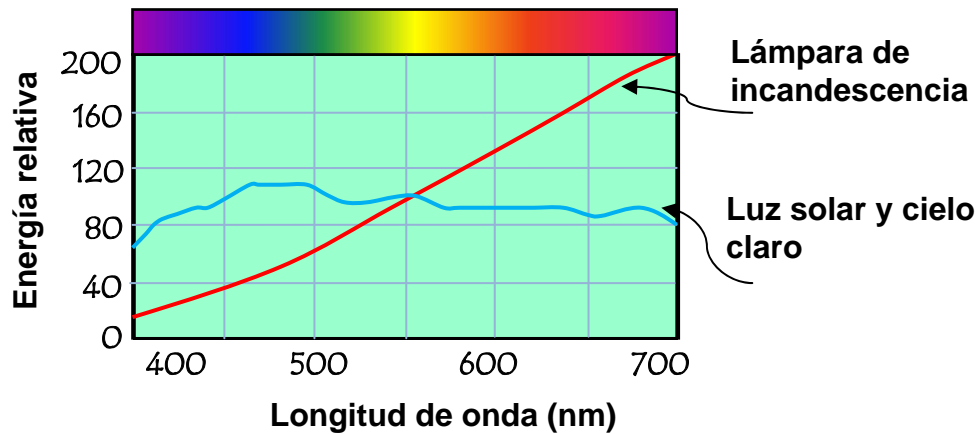


Figura 2.7.7. Curvas de distribución de la energía espectral. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 13). [92]

Algunas fuentes luminosas muestran la presencia de radiaciones ultravioleta e infrarrojas, de modo que el espectro incluye algo más que el espectro visible.

2.7.1 La temperatura de color.

Toda sustancia emite radiación electromagnética, cuyas características dependen de la naturaleza y la temperatura de la sustancia. Los cuerpos sólidos dan lugar a espectros continuos, en los que están presentes todas las frecuencias. Los átomos en un cuerpo sólido están tan próximos unos de otros, que sus interacciones mutuas dan lugar a una gran cantidad de estados cuánticos indistinguibles, produciendo una banda continua de energías permitidas.

La facultad de un cuerpo para emitir radiación está estrechamente relacionada con la capacidad de absorberla. Un cuerpo a temperatura constante está en equilibrio térmico con su ambiente y debe absorber energía en la misma proporción que la emite. Un cuerpo ideal es aquel que absorbe toda la radiación que sobre él incide, independientemente de la frecuencia de que se trate. Un cuerpo que tenga estas propiedades recibe el nombre de cuerpo negro.

La temperatura del color se puede fijar en cualquier fuente luminosa por comparación visual con un cuerpo negro radiador. Cuando la temperatura de éste iguale el color de la fuente luminosa se dice que es la temperatura del color de dicha fuente.

$$e = \sigma T^4 \quad \text{Ecuación 2.7.1}$$

La energía radiada e por un cuerpo negro por unidad de área y por segundo es proporcional a T^4 . Esta conclusión está incorporada en la ley de Stefan-Boltzman (ecuación 2.7.1), donde el valor de la constante de Stefan σ es:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

Un observador verá de color rojo la estrella Antares, con una temperatura del color de casi 5000°K; Sirio, de unos 11000°K, es más caliente y aparece blanca. [9][38]

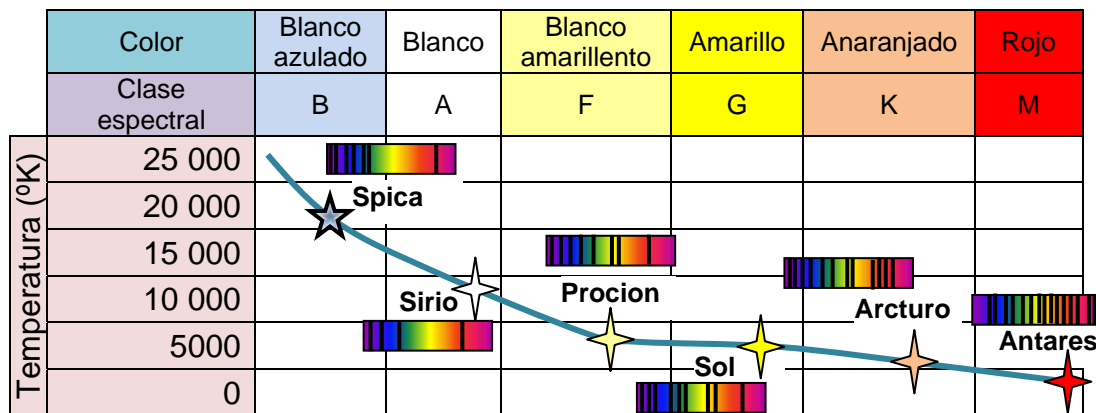


Figura 2.7.8. Clasificación de las estrellas por la temperatura del color. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 15). [92]

Sin embargo la temperatura del color de algunas fuentes luminosas nada tiene que ver con la temperatura verdadera. En las de incandescencia, una lámpara eléctrica, por ejemplo, la temperatura del color se relaciona con la verdadera temperatura y casi siempre es aproximadamente igual. Un tubo fluorescente, por ejemplo, puede tener hasta 6500°K, y está tan frío que es posible tocarlo con la mano. La lámpara incandescente normalizada opera a una temperatura de color de 2854°K, es decir, la curva para la lámpara incandescente normalizada, por su filamento de tungsteno, es igual que para un cuerpo negro a 2854°K. [88][82]

2.7.2. Fuentes luminosas.

Las expresiones "fuente de luz" o "fuente luminosa" (*light source*), e "iluminante" (*illuminant*) tienen significados concretos y distintos. Una fuente de luz es un emisor físico de radiación luminosa; por ejemplo: Una vela, una bombilla de tungsteno, entre otros ejemplos.

Un iluminante es la especificación de una fuente de luz potencial. Todas las fuentes de luz se pueden especificar como iluminantes, pero no todos los iluminantes pueden ver su realización física como fuentes de luz.

Los iluminantes se suelen definir en términos de energía relativa tabulada para cada longitud de onda o franja de longitudes de onda. Existen varios iluminantes de amplio uso en la industria del color. Entre ellos están: A, C, D65 y TL84.

Los iluminantes A y C fueron definidos por CIE en 1931 para representar las típicas luces de bombillas de tungsteno y de la luz solar, respectivamente. Con el tiempo se vio que el iluminante C era una representación muy pobre de la luz del día, ya que contenía energía en las longitudes de onda más cortas. Por eso fue reemplazada por una serie de iluminantes conocida como "*clase D*" (como el D65, entre otros).

La "*clase D*" de iluminantes especifica unas distribuciones relativas de energía que se corresponden muy estrechamente con la radiación emitida por lo que se llama un "cuerpo negro" (*black body*). [92]

En un cuerpo negro, cuando se aumenta la temperatura, hay un cambio en la radiación que se emite hacia longitudes de onda más cortas. Un iluminante de tipo D se indica haciendo referencia a la temperatura absoluta, en grados Kelvin, del cuerpo negro al que más se aproxima: Un cuerpo negro a 6500 grados Kelvin.

El iluminante D65 también se parece muy estrechamente a la distribución espacial relativa de energía de la luz del día en un cielo septentrional, por lo que es especialmente importante para definir colores en Europa Septentrional. Otros iluminantes, como D55, son importantes en otras partes del mundo.

2.7.3. *Proceso de la iluminación eléctrica.*

La transformación de la energía para la creación de fuentes iluminantes a lo largo de la historia del hombre ha sido muy diversa. Los manantiales luminosos transforman en radiación visible otras clases de energía. El sol utiliza la energía nuclear; antorchas, bujías, lámparas de gas y otras llamas, la energía química. Gran parte de los focos luminosos de nuestros días utiliza energía eléctrica.

En la producción de luz estas fuentes de luz malgastan la energía en forma de calor. En 1866, la luz de gas se incremento con el manguito de Welsbach, especie de dedal blanco colocado sobre la llama compuesto de oxido de torio y una modesta cantidad de cerio.

Cuando se calienta, emite una luz visible sin que pierda energía por emisión infrarroja, como gran parte de los objetos calientes, y su temperatura se eleva a casi la temperatura de la llama, que con el manguito da una luz blanca brillante.

Si un cuerpo negro, fuese colocado en la llama habría una pérdida de la energía mayor por emisión infrarroja, permanecería relativamente fría y daría menos luz que el manguito.

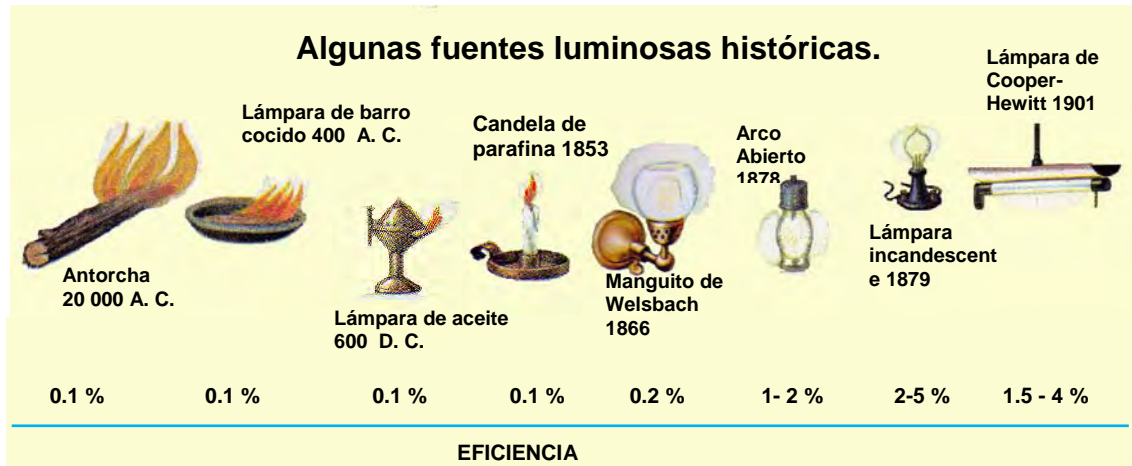


Figura 2.7.9. Las fuentes luminosas transforman en radiación visible otras clases de energía. El sol utiliza la energía nuclear; antorchas, bujías, lámparas de gas y otras llamas, la energía química. Gran parte de los focos luminosos de nuestros días utilizan energía eléctrica. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 18). [92]

Las lámparas de arco voltaico, corriente eléctrica de alta tensión que produce una descarga entre electrodos de carbón, aparecieron en el alumbrado público hacia 1879. Los arcos voltaicos aún se utilizan como fuentes de luz en ciertas circunstancias.

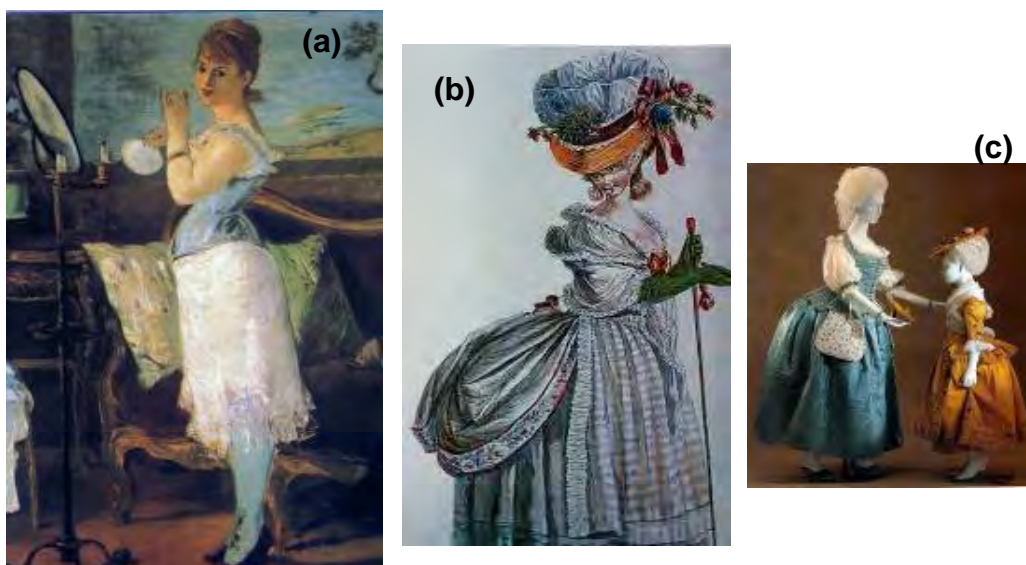


Figura 2.7.10. Conforme las fuentes iluminantes evolucionaban, el diseño en la moda, se hacía cada vez más complicado y detallado. En (a), vemos una mujer arreglándose frente al espejo, observemos el par de velas a cada lado. En (b), un vestido a la polonesa, 1779, Grabado de moda de la *Galiere des Modes et du Costume Français*. En (c) un Jubon y falda, en seda, de mediados del siglo XVIII, ingles. (Adaptado de: *Moda Una historia desde el siglo XVIII al XX, Tomo I Siglo XVIII y Siglo XIX*. Colección del Instituto de Indumentaria de Kioto. Páginas 271, 77 y 84). [47]

En 1879, Thomas A. Edison inventó la lámpara incandescente, hoy más perfeccionada constituye nuestra iluminación más frecuente. El primer tubo incandescente, fabricado en 1850, apareció como artilugio de laboratorio, pero ha llegado a ser común como en forma de tubo de “neón”. El arco de mercurio de Cooper-Hewitt, 1901, es otro tubo que utiliza descargas eléctricas, es un antecedente de las actuales lámparas fluorescentes.



(a)



(b)

Figura 2.7.11. La moda militar en México ha sido vanguardista, con un toque de distinción particular, desde los Aztecas con el Emperador Moctezuma hasta el día de hoy. (a) El Emperador Agustín de Iturbide Varón de Dios, 1821, (b) Litografía de Casimiro Castro que muestra la calle donde se ubicaba El Palacio de Iturbide, observemos el farol con un iluminante de cera de cebo de origen animal. (Adaptado de *Iturbide Varón de Dios*, Rafael Heliodoro Valle. *Artes de México*, No. 146, año XVIII, 1971)

La luz de una lámpara incandescente está más concentrada y parece más brillante, pero su eficacia es una tercera parte de la lámpara fluorescente. Un arco de carbón es menos eficaz y conveniente que cualquier otro foco luminoso, pero proporciona una fuente puntiforme más caliente y brillante.

La lámpara incandescente es la más común de las fuentes de luz producidas por el hombre. Se compone de un filamento de tungsteno enrollado helicoidalmente y encerrado en un globo de vidrio llenado de una mezcla de gases de argón y nitrógeno. Al pasar una corriente eléctrica por el filamento, éste se calienta a una temperatura de 2900°K y los gases inertes que lo rodean evitan que se queme.

La distribución de luz de una lámpara incandescente, depende de la temperatura del filamento, de modo que la luz tiende a ser más rojiza que la luz

solar, 5750°K. De hecho, la mayor parte de la radiación de una lámpara de tungsteno yace en la parte infrarroja del espectro.

Más del 95% de la energía es irradiada en forma de calor, y menos del 5% como luz. A pesar de tan elevada pérdida, las bombillas modernas son 10 veces más eficientes que las primeras lámparas con filamento de carbón. Las bombillas de vidrio transparente van siendo sustituidas por las de vidrio esmerilado o translucido, con frecuencia coloreado, que proporcionan una iluminación más agradable.

Distribución espectral de una bombilla de filamento de tungsteno

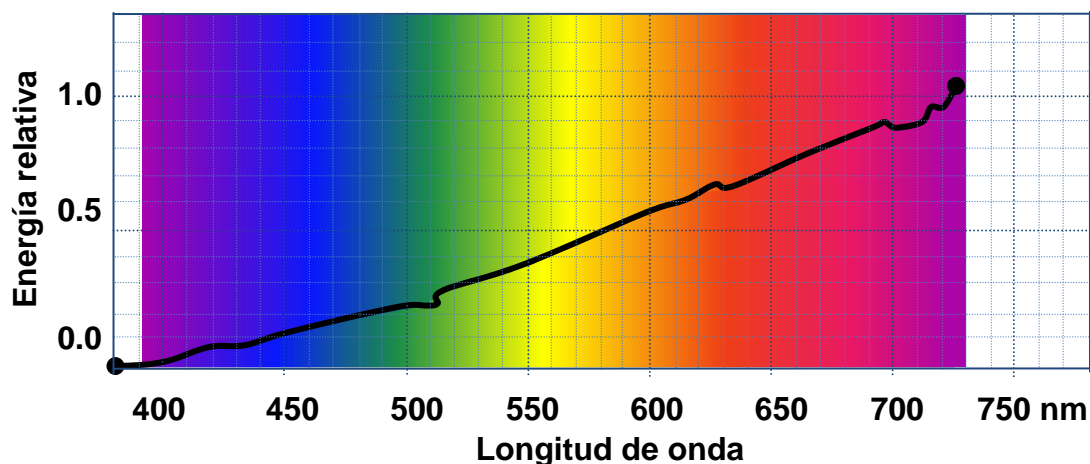


Figura 2.7.12. Los valores se pueden disponer de forma relativa, con el valor de la energía en 730 nanómetros. También se puede fijar el valor máximo de energía en 1 o en 100. En ese caso, la distribución se llama curva relativa de los estímulos de color. En el gráfico el valor máximo del primero se ha fijado en 1. (Adaptado *Psicofísica*, Mauro Boscarol. 2007). [14]

Los tubos incandescentes llevan un electrodo de metal que cierran sus dos extremos, tras haberles sido extraídos el aire y rellenos con neón u otro gas. Son los conocidos rótulos luminosos comerciales.

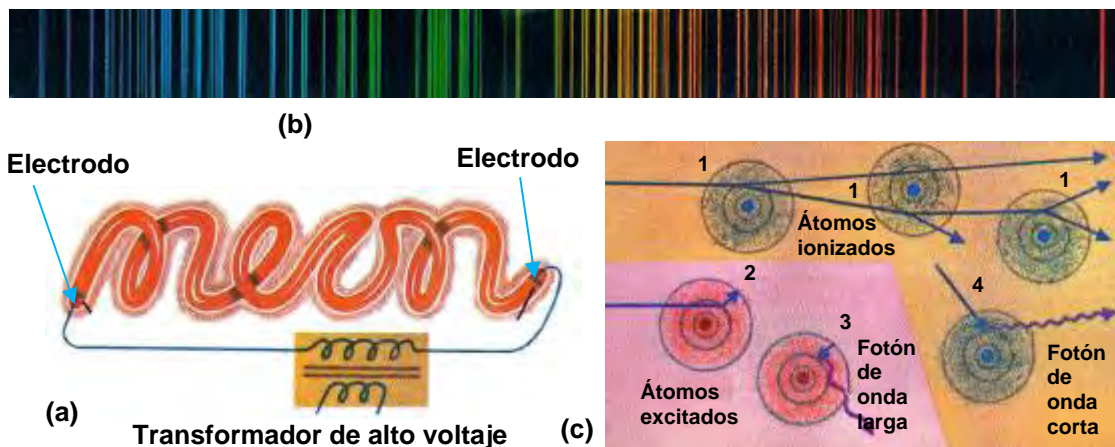


Figura 2.7.13. (a) Letrero de neón y sus conexiones eléctricas, (b) Espectro de líneas de emisión característico del gas neón. (c) Reacción de cascada. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 24). [92]

Cuando se aplica a los electrodos un voltaje elevado (1000 a 15000 volts), los electrones que atraviesan el tubo son acelerados hasta adquirir grandes velocidades, chocan con los átomos del gas y arrancan de estos otros tantos electrones que a su vez chocan con otros átomos. Esta cascada de electrones llega a producir la corriente eléctrica que fluye a través del tubo.

Estos electrones en movimiento transfieren energía cuando chocan con átomos neutros del gas. La colisión puede ionizar al átomo al arrancarle uno de los electrones (1), o excitar al átomo al producirse el movimiento del electrón hacia una posición de energía más elevada dentro del átomo (2).

La energía emitida toma la forma de un fotón de luz cuando el átomo vuelve a su estado normal (3). Cuando un electrón es capturado por un átomo ionizado (4) cede su energía en forma de un fotón. (Manual de Laboratorio I de Física Moderna, facultad de Ciencias, UNAM, 2007)

Al ser excitado, cada átomo emite una luz cuya frecuencia viene determinada por su estructura. Algunos gases emiten luz de unas pocas longitudes de onda. El espectro del sodio, por ejemplo, muestra dos líneas amarillas muy junto, y en la lámpara de vapor de sodio se producen una luz amarilla, ya que las rayas más brillantes del espectro determinan este color. Los tubos de incandescencia de neón dan una coloración rojo anaranjada, y los llenos de criptón una luz azul.

También se utilizan otros gases o mezcla de ellos, a veces en tubos de vidrio coloreado o fluorescente que modifican el color de la luz.



Figura 2.7.14. Las lámparas de mercurio fluorescentes son usadas regularmente en sitios de áreas comunes como el metro, esta iluminación es de 40 a 60 Lux. Pasamos diariamente de 4 a 6 horas bajo estas luminarias. (Imagen de pasillo de la estación del Metro 18 de Marzo en el D.F. 2008, archivo personal).

El arco de mercurio, parecido a un tubo de incandescencia, utiliza corriente de tensión más elevada y el electrodo opera al calor. Si la presión del vapor del mercurio en el tubo es elevada, de 1/100 a varios centenares de atmosferas, el arco emitirá una luz intensa blanco azulada y algo de ultravioleta; si es baja, de 1/100 000 a 1/1000 de la presión atmosférica, gran parte de la radiación se hallará en el ultravioleta.

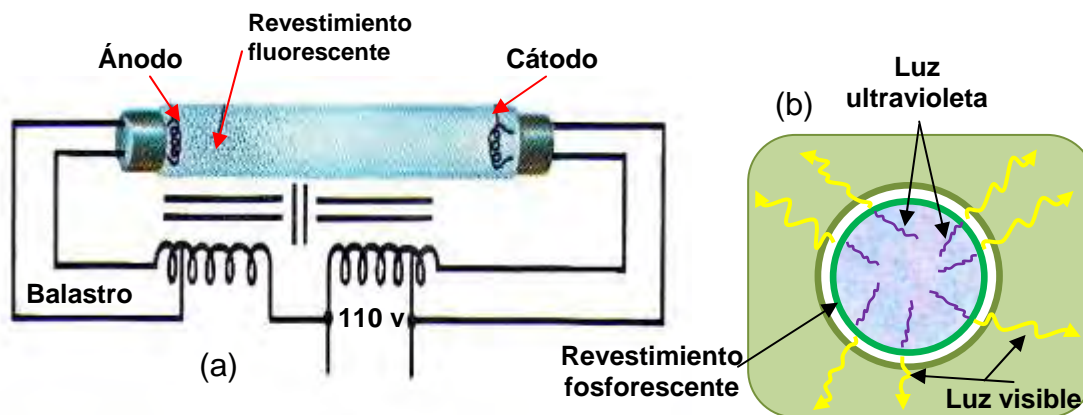


Figura 2.7.15. (a) Los circuitos fluorescentes de arranque son más eficientes, un balastro en el circuito evita las fluctuaciones. (b) Tubo fluorescente, en corte transversal, se enciende cuando los rayos ultravioletas excitan a los electrones del barniz del revestimiento fosforescente, como estos electrones excitados descienden a niveles de inferior energía, se produce emisión de fotones (luz), y su color depende de la sustancia fosforescente. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 27). [92]

Las “lámparas solares” son arcos de mercurio a baja presión encerrados en bombillas de cuarzo fundido. Las lámparas de alta presión son empleadas para la iluminación urbana.

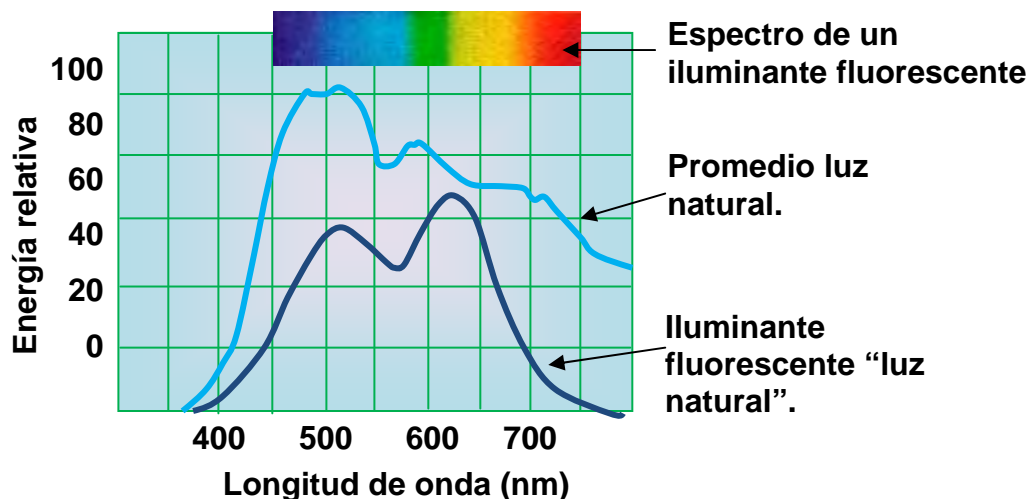


Figura 2.7.16. Comparación de la curva de energía espectral de una lámpara de “luz natural” fluorescente, con la curva de promedio de la luz natural. El espectro de un fluorescente, al cambiar la luz del mercurio y de la sustancia fluorescente, se acerca a la de la luz solar. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 27). [92]

Las lámparas fluorescentes utilizan un arco de mercurio a baja presión en un tubo de vidrio revestido en su interior con una sustancia fosforescente, por ejemplo, tungsteno de calcio, sustancia que absorbe los rayos ultravioletas y reemite la energía en forma de luz.

El espectro emitido por un tubo fluorescente depende de la mezcla de productos fluorescentes utilizados para el revestimiento fosfórico. Una selección de tales productos originará una radiación con anchas bandas en la región visible del espectro y pequeñas en el ultravioleta y en el infrarrojo.

Los productos fosforescentes pueden dar una imitación del color de la luz solar, sin que la temperatura sea elevada. La luminiscencia o emisión de luz puede ser debida a causas distintas al calor, termoluminiscencia.

La bioluminiscencia es la producción de luz por quimioluminiscencia en los organismos vivos, como hongos, bacterias, luciérnagas y peces. El gusano de luz es una larva de insecto, bioluminiscente en dos colores.



Figura 2.7.17. Las luciérnagas son insectos bioluminiscentes capaces de producir químicamente energía luminosa. Tanto el macho como la hembra pueden generar luz, que se cree les sirve para atraerse el uno al otro. La luz se genera cuando dos sustancias, la luciferina y la luciferasa, generadas por el animal, entran en contacto con el oxígeno. (Gregory Scott/Photo Researchers, Inc. "Luciérnaga." *Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001*. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos).

La fluorescencia se produce cuando una sustancia ha sido expuesta al ultravioleta u otra radiación, incluyendo los haces de electrones u otras partículas. Muchos casos de fluorescencia son realmente ejemplos de fosforescencia.

La fosforescencia es la fluorescencia retardada. La luz continúa después de cesada la radiación excitante. Los tubos de televisión llevan un revestimiento fosforescente para dar imágenes sin volubilidad aparente.

Electroluminiscencia es una nueva iluminación difusa. Aplicando corriente alterna a paneles de escasa conductancia excita la luminiscencia del material interpuesto entre ellos y produce una incandescencia suave.

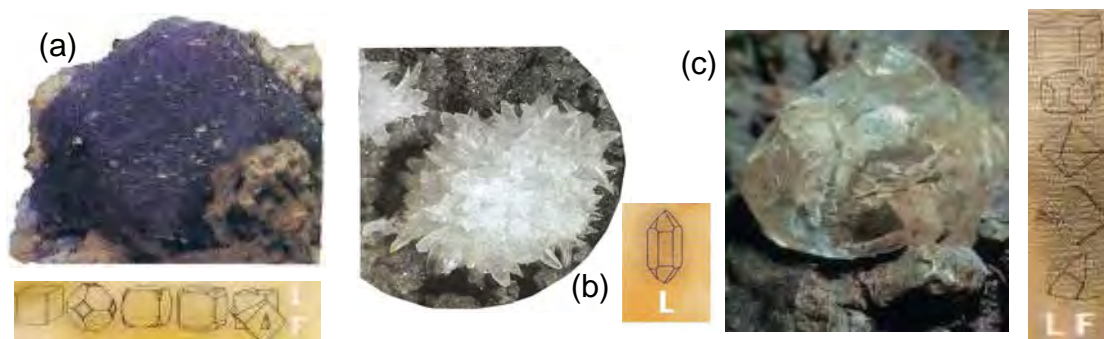


Figura 2.7.18. (a) La Fluorita cuando se le somete a radiaciones invisibles, de corta o larga longitud de onda, produce fotoluminiscencia, luminiscencia que solo dura el tiempo de exposición a las radiaciones, conocida como fluorescencia. (b) La Estroncianita produce fosforescencia, luminiscencia que se prolonga después de la exposición. (c) El Diamante cuando es calentado por debajo del punto de fusión, produce una luminiscencia llamada termoluminiscencia. (*Atlas Ilustrado de los Minerales*. Isabel Ortíz. Dirección editorial. España, 2006. Páginas 222, 323, 602). [81]

2.7.4. La voz iluminación se usa con carácter general al referirse a la cantidad y calidad de la luz.

La iluminación puede ser clara u oscura, dura o suave y, tal vez fría o caliente, términos que se refieren vagamente a la cantidad, contraste y matiz (color) de la luz. En un sentido más estricto iluminación es la cantidad de luz que recibe una superficie o área. [88]

La sensibilidad de nuestros ojos es tan grande que puede ver claramente en varias condiciones de iluminación. El cociente de ésta al mediodía dividido por la iluminación en una noche sin luna puede ser del orden de los 10 millones. En un día claro, puede ser 20 veces mayor, sobre el lado soleado de un edificio que sobre el lado en sombra.



Figura 2.7.19. Medidor digital de intensidad luminosa en foot candelas (pies-candelas), e iluminancia Lux, marca Lutron modelo LM-8000. (*Imagen archivo particular*, 2008)

La iluminación de un interior viene a ser aproximadamente igual a una quinta parte de la que se observa sobre el lado de la sombra de un edificio en un día claro, y 20 veces mayor que la considerada como óptima para el hogar hace algunos años. La iluminación aumenta las facilidades con que puede llevarse a cabo una tarea delicada.

El ojo humano no puede distinguir las longitudes de onda de un haz de luz, ni detectar pequeños cambios en la distribución espectral; tampoco es sensible por igual a todas las longitudes de onda. Las medidas efectuadas sobre gran número de personas han sido compendiadas en la curva luminosa normalizada, que representa la sensibilidad relativa promedio de ojos para las diferentes longitudes de onda de la luz.

Energía radiante, luz incluida, es una magnitud física que se puede medir con diversos detectores, como termopilas, bolómetros y ondámetros. La luz visible se puede medir con un fotómetro o con otro aparato que mida el flujo luminoso.

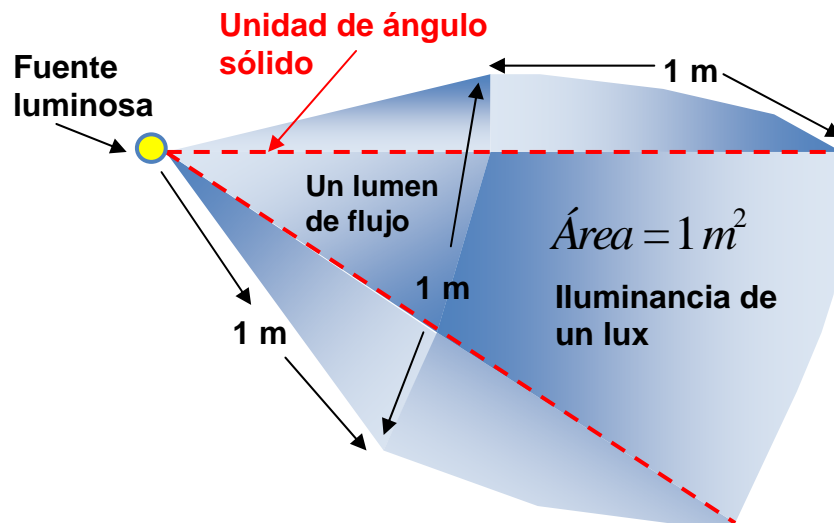


Figura 2.7.20. Las unidades fotométricas se utilizan para la medición cuantitativa de la iluminación. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 33). [92]

2.7.5. Magnitudes fotométricas

Basándose en la distinta sensibilidad espectral del ojo humano a las radiaciones visibles, de las magnitudes radiométricas se derivan dos familias de magnitudes fotométricas: Escotópica y fotópica. Las radiaciones visibles adaptadas según la sensibilidad del ojo se llaman "luz". Las magnitudes fotométricas son:

- ✦ *Cantidad de luz* (lúmenes por segundo, lm s)
- ✦ *Flujo luminoso* es la cantidad de luz y se mide en lumen. (lumens, lm)
- ✦ *Intensidad luminosa* es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido y se mide en candelas, en ingles, candles (candelas, cd). La

equivalencia de una candela es igual a 1 lumen por unidad de ángulo sólido.

- ✦ *Emitancia luminosa* (lúmenes por metro cuadrado, lm/m^2)
- ✦ *Iluminancia* es el flujo incidente por unidad de superficie y se mide en lux (lux, lx). Un lux es igual a 1 lumen por metro cuadrado.
- ✦ *Luminancia o Luminosidad* es la intensidad por unidad de superficie y se mide en candelas por metro cuadrado. (candelas por metro cuadrado, cd/m^2)

Con luz natural de día, a un vatio le corresponden, en el caso fotópico 683 lúmenes, en el caso escotópico, 1700 lúmenes.

La película fotográfica para interiores, usando lámparas de incandescencia, produce una imagen azulada o fría si se usa para exteriores, y la de exteriores da una imagen anaranjada o caliente cuando se usa en interiores con luz artificial.

La luz natural cambia de continuo desde la salida hasta la puesta del sol. Una fotografía tomada a primeras horas de la mañana o al atardecer tendrá más colores con tendencia al rojo, que la tomada cuando el sol está en el cenit. La película registra las diferencias en el color de la luz natural, pero la visión humana compensa las diferencias. El observador advierte los cambios extremados en el color de la luz natural.



Figura 2.7.21. Esta Secuencia fotográfica del Grupo de danza del Taller Coreográfico de la UNAM, dirigido por la Maestra Gloria Contreras, muestra los diferentes cambios de intensidad y tonalidad luminosa, creando diferentes sensaciones en el espectador que lo llevan a una percepción imaginativa en cada escena. (*Imágenes archivo personal, teatro anexo de la Facultad de Arquitectura, 2007*)

Como ya mencionamos, la luminosidad es un concepto meramente psicológico, una sensación que no puede medirse con instrumentos. La capacidad del ojo para juzgar la brillantez de la luz es escasa debido a su gran poder de adaptación. El ojo es muy sensible a las diferencias de luminosidad, pero a condición de que los campos a comparar sean presentados simultáneamente. La medida de la luz por comparación visual es la base científica de la fotometría.

La intensidad de la luz depende de la cantidad de luz emitida y de la pequeñez del ángulo sólido cónico en que es emitida. En resumen, es la cantidad de luz emitida en una dirección dada.

La luminosidad se asocia a la cuantía del estímulo luminoso, es la sensación visual que corresponde a la percepción del brillo. Luminosidad, cantidad de luz por unidad de área, e intensidad de una fuente luminosa son, con frecuencia, causa de confusiones y por ello vamos a describirlas con ejemplos.

Dos esferas luminosas de distintos tamaños, figura 2.7.26 (a), tienen idénticas bombillas eléctricas. Emiten luz difusa y aparecerán como discos luminosos desde cualquier punto. Ambas emiten la misma cantidad de luz y tienen igual intensidad, pero la más pequeña aparecerá como más brillante para el observador y tendrá una luminosidad más elevada.

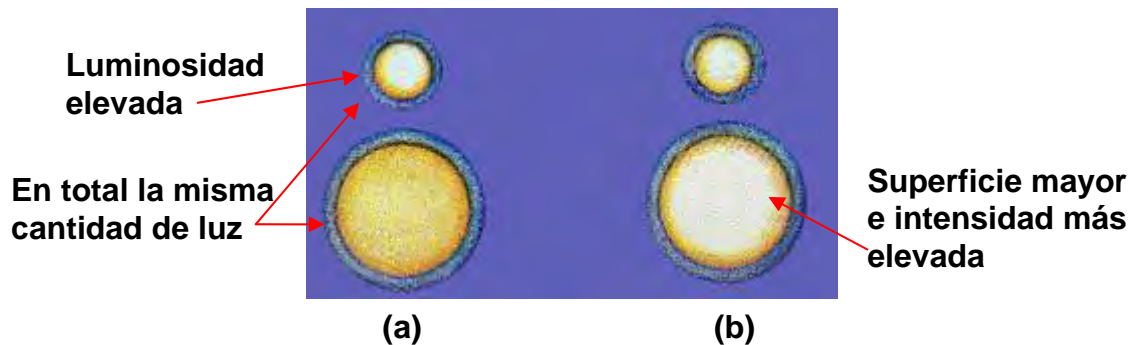


Figura 2.7.22. Dos esferas luminosas. (a) Con la misma intensidad. (b) Con la misma luminancia. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 32). [92]

Para que ambas esferas tengan la misma luminosidad, figura 2.7.26 (b), la mayor, requerirá una fuente luminosa más grande, o sea más intensa. Entonces emitirá la misma cantidad de luz por unidad de superficie que la esfera pequeña. Ambas esferas aparecerán igualmente brillantes, pero la mayor habrá de tener mayor intensidad.

La relación de la intensidad con el ángulo sólido cónico, se demuestra por comparación de dos reflectores, uno cilíndrico y otro cónico, con bombillas idénticas y cuyo diámetro sea igual pero su forma distinta.

El haz cilíndrico concentrará los rayos, que casi son paralelos, mientras que el otro reflector emite igual cantidad de luz, pero se desparrama en un ancho cono. Así, el primero da mayor luminosidad, aunque sobre una superficie más pequeña.

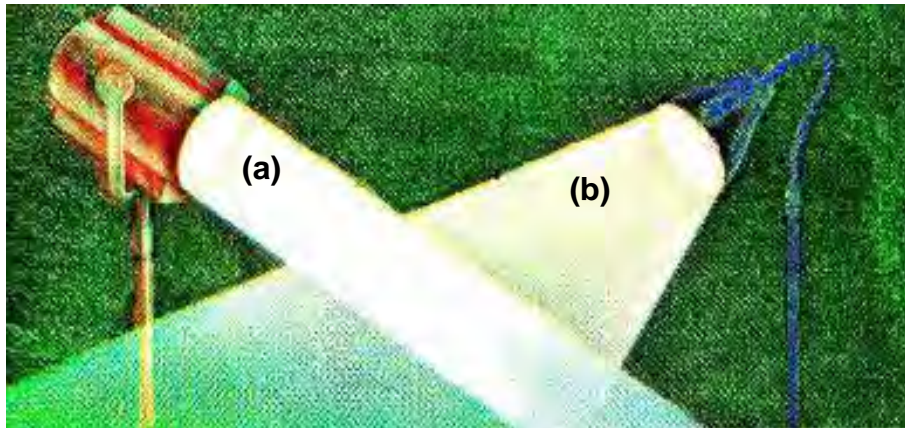


Figura 2.7.23. En (a), luz concentrada casi paralela, en (b), luz más dispersa, haz bastante cónico. (Adaptado de *Luz y Color*. Clarence Rainwater. 1976. Página. 33). [92]

Si miramos en la dirección del haz de ambas fuentes, la cilíndrica parece más brillante que la cónica. En esta única dirección, la intensidad y la luminosidad son mayores en la primera que en la segunda, pero si observamos ambas fuentes luminosas desde otras direcciones exteriores al haz, la intensidad y luminosidad del reflector cilíndrico son menores porque en el haz que está situado a la izquierda de la ilustración se concentra más luz que en otras direcciones.

2.7.6. ¿Cuándo cambia la fuente de luz cambia el color aparente?

Como ya hemos mencionado diferentes fuentes de luz hacen que los colores parezcan distintos. Para medir el color, la C. I. E. ha definido las características espectrales de diferentes tipos de iluminantes típicos.



Figura 2.7.24. En la mayoría de los aparadores se utilizan ambas fuentes luminosas la concentrada y la difusa. La concentrada resalta el detalle a promover, la difusa sirve de relleno. (Imagen de un aparador de una tienda del centro Histórico de la Ciudad de México. Archivo personal, 2008).

1) **Iluminante estándar D65.** Luz diurna media (incluyendo la región de longitud de onda ultravioleta) con una temperatura de color correlativa de 6504°K. Deberá utilizarse para medir especímenes que sean iluminados por luz diurna incluyendo radiación ultravioleta.

2) **Iluminante estándar C.** Luz diurna media (no incluyendo la región de longitud de onda ultravioleta) con una temperatura de color correlativa de 6774°K. Deberá utilizarse para medir especímenes que sean iluminados por la luz diurna en el rango de longitudes de onda visibles, pero no incluyendo radiación ultravioleta.

3) **Iluminante estándar A.** Luz incandescente con una temperatura correlativa de 2856°K. Deberá utilizarse para medir especímenes que se iluminen mediante lámparas incandescentes. [65]

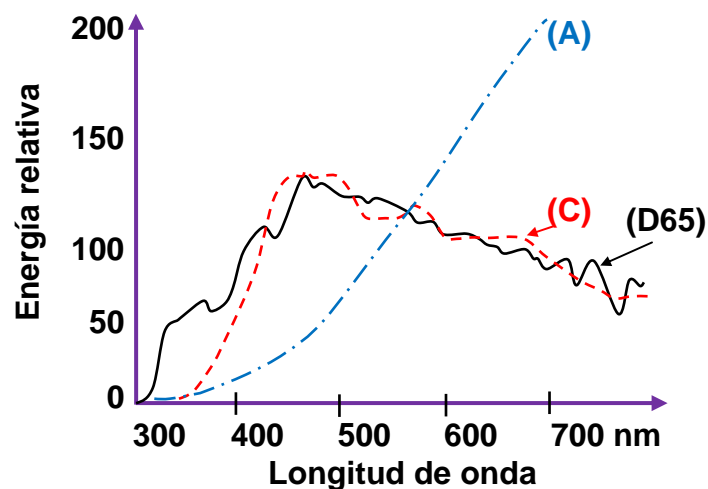


Figura 2.7.25. La gráfica muestra las distribuciones de potencia espectral de (1) iluminante estándar D65, (2) iluminante estándar C, (3) iluminante estándar A. (Adaptado de: *Comunicación precisa de los colores*). [65]

Iluminantes fluorescentes recomendados por el J. I. S. para mediciones.

4) F6: blanco frío

5) F8: luz diurna

6) F10: blanco de luz diurna de tres bandas estrechas

Iluminantes fluorescentes recomendados por la C. I. E. para mediciones.

7) F2: blanco frío

8) F7: luz diurna

9) F11: blanco frío de tres bandas estrechas.

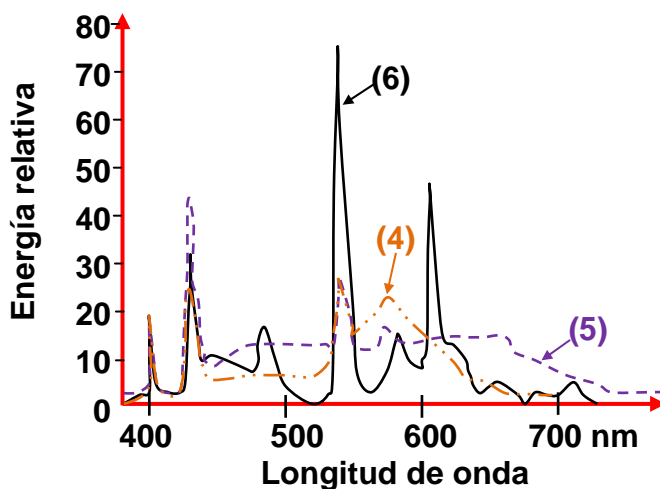


Figura 2.7.26. Gráfica espectral de los Iluminantes fluorescentes, recomendados por el JIS para mediciones. (4) F6: blanco frío, (5) F8: luz diurna, (6) F10: blanco de luz diurna de tres bandas estrechas. (Adaptado de: *Comunicación precisa de los colores*. <http://www.konicaminoltaeurope.com/pcc/es/index.html>). [65]

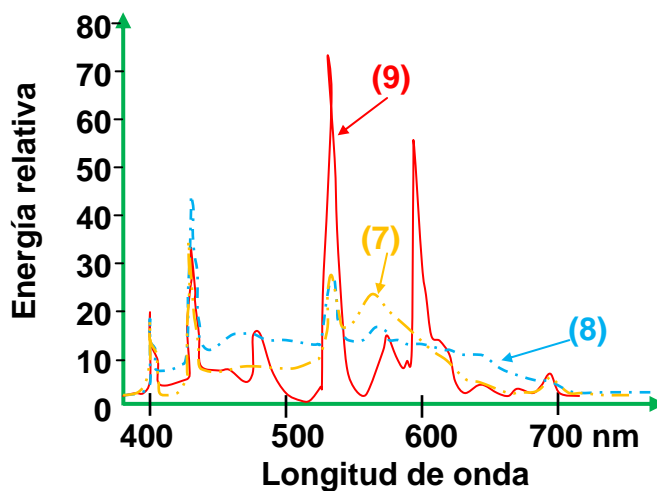


Figura 2.7.27. Gráfica espectral de los Iluminantes fluorescentes recomendados por el CIE para mediciones. (7) F2: blanco frío, (8) F7: luz diurna, (9) F11: blanco de luz diurna de tres bandas estrechas. (Adaptado de: *Comunicación precisa de los colores*. <http://www.konicaminoltaeurope.com/pcc/es/index.html>). [65]

Los siguientes ejemplos muestran lo que ocurre si medimos un espécimen, una manzana, utilizando un espectrofotómetro bajo Iluminante estándar D65 (ejemplo 1) e Iluminante estándar A (ejemplo 2) (Konika ,2008).

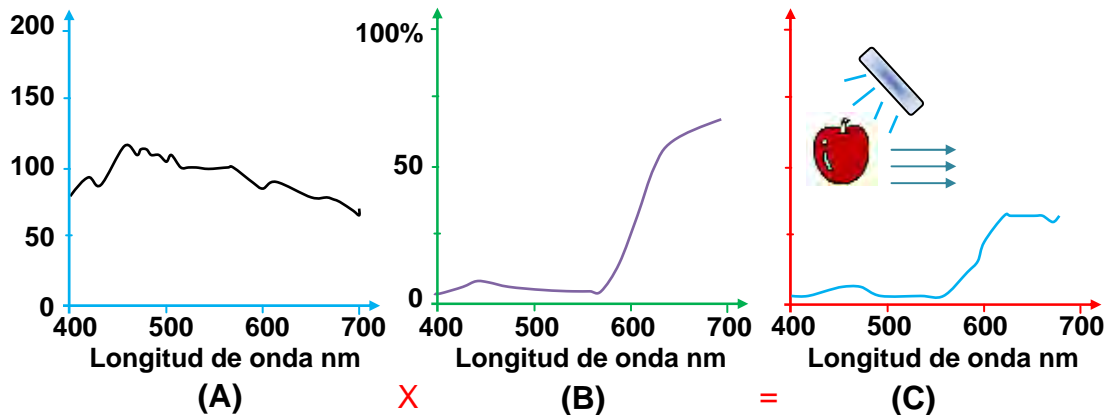


Figura 2.7.28. Ejemplo 1. (A) Distribución de potencia espectral de iluminante estándar D65. (B) Reflectancia espectral del espécimen (manzana). (C) Distribución espectrales de luz reflejada desde el espécimen, manzana, es igual al producto $A \times B$. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC).

En el ejemplo 1, (A) es el gráfico de la distribución de potencia espectral del iluminante estándar D65 y (B) es el gráfico de la reflectancia espectral de la manzana. (C) es la distribución de potencia espectral de la luz reflejada desde el espécimen (manzana) y es el producto de (A) y (B).

En el ejemplo 2, (A') es la distribución de potencia espectral del iluminante estándar A y (B') es la reflectancia espectral del espécimen manzana, que es la misma que en el ejemplo 1. (C') es la distribución de potencia espectral de la luz reflejada desde el espécimen manzana y es el producto de (A') y (B).

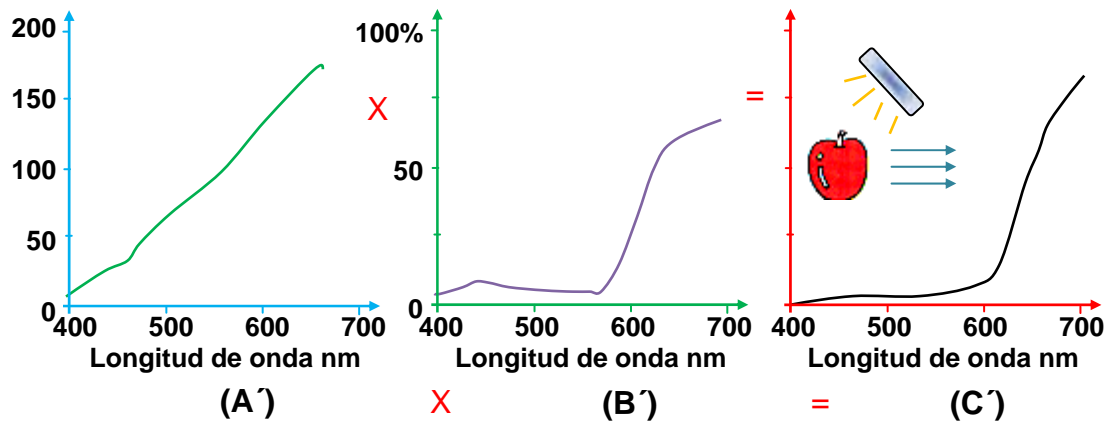


Figura 2.7.29. Ejemplo 2. (A') Distribución de potencia espectral de iluminante estándar A. (B') Reflectancia espectral del espécimen manzana. (C') Distribución espectral de luz reflejada desde el espécimen, manzana, es igual al producto $A' \times B'$. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

Si comparamos (C) y (C'), vemos que la luz de la región roja es mucho más fuerte en (C'), lo que significa que la manzana parecería mucho más roja bajo el iluminante estándar A.

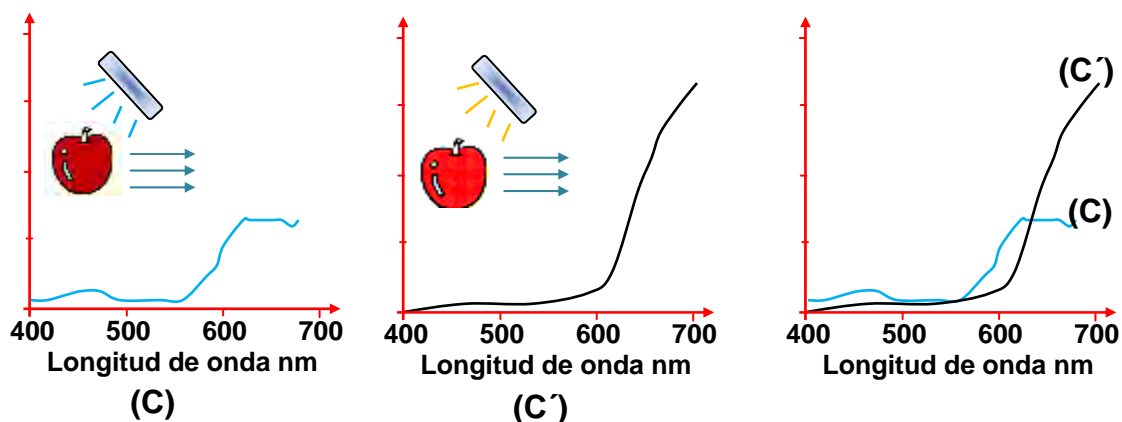


Figura 2.7.30. Comparando las gráficas de (C) y (C'), el color se observa más rojo en (C'). (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

Esto demuestra que el color de un objeto cambia de acuerdo con la luz bajo la cual se ve. Un espectrofotómetro realmente mide la reflectancia espectral del espécimen.

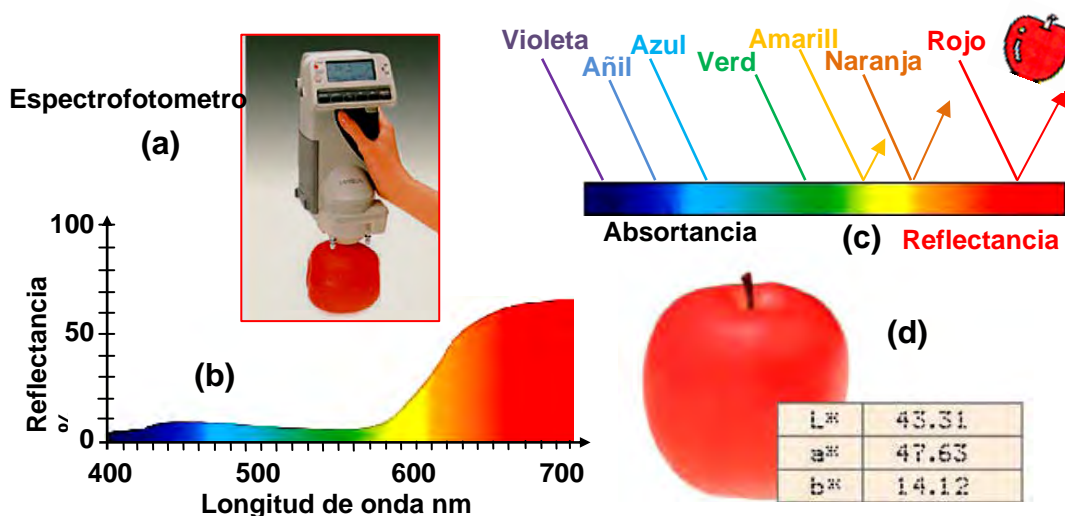


Figura 2.7.31. (a) Cada uno de los múltiples sensores de un espectrofotómetro, 40 en el Minolta Spectrophotometer CM-2002, detecta cómo un objeto absorbe parte de la luz de la fuente luminosa y refleja la luz restante. (b) Si medimos una manzana, obtenemos el gráfico espectral, vemos que en la región de longitud de onda del rojo, la reflectancia (la cantidad de luz reflejada) es alta pero que en otras regiones de longitud de onda, la reflectancia es baja. (c) se muestra que la manzana refleja luz en las regiones de longitud de onda del naranja y el rojo y absorbe luz en las regiones de longitud de onda del verde, el azul, el añil y el violeta. (d) visualización de los resultados. El espectrofotómetro puede medir diferencias en los elementos de color que no son percibibles por el ojo humano. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

El instrumento puede seguidamente calcular valores numéricos de color en distintos espacios de color utilizando los datos de distribución de potencia espectral para el iluminante seleccionado y datos para las funciones de coincidencia de color del Observador estándar.

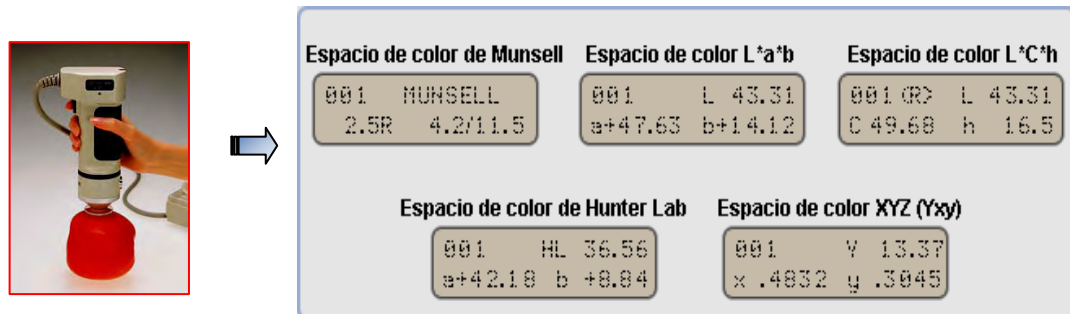


Figura 2.7.32 Si medimos objetos con un colorímetro triestímulo, podremos obtener únicamente datos numéricos de color en varios espacios de color. La imagen (a) muestra el colorímetro Chroma Meter CR-400 de KONICA MINOLTA. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

Creando escalas para tono, claridad y saturación conforme a los modelos de sistemas de color ya estudiados anteriormente. Los colorímetros simplifican la cuantificación de los colores, con estos instrumentos podemos obtener resultados instantáneos en cada espacio de color.

Si utilizamos un espectrofotómetro para las mediciones, no sólo podremos obtener los mismos tipos de datos numéricos sino que también podremos ver el gráfico de reflectancia espectral de dicho color. Además, con su sensor de alta precisión y la inclusión de datos para una gran variedad de condiciones del iluminante, el espectrofotómetro proporciona una mayor precisión que la que puede obtenerse con un colorímetro triestímulo.

Un espectrómetro puede tratar incluso el metamerismo, un problema complejo. Describimos en qué medida el color de un objeto depende de la fuente de luz bajo la cual se ve. Un problema relacionado es si, por ejemplo, los colores de dos objetos parecieran ser iguales bajo la luz diurna, pero distintos con una iluminación interior. Dicho fenómeno, mediante el cual dos colores parecen el mismo bajo una fuente de luz pero diferentes bajo otra, se llama metamerismo.

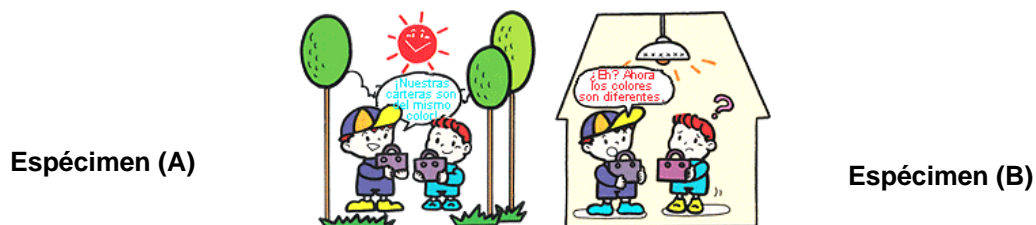


Figura 2.7.33. Para los objetos metaméricos, las características de reflectancia espectral de los colores de los objetos son diferentes pero los valores triestímulos resultantes son los mismos bajo una fuente de luz y diferentes bajo otra. Este problema se debe normalmente al uso de diferentes pigmentos o materiales. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

Si observamos las curvas de reflectancia espectral de los dos especímenes, podemos ver inmediatamente que son diferentes. Sin embargo, los valores de $L^*a^*b^*$ para las mediciones con Iluminante estándar D65 son los mismos para los dos especímenes, pero los valores para las mediciones con el iluminante estándar A son diferentes entre sí. Esto demuestra que aunque los dos especímenes tienen características distintas de reflectancia espectral, parecerían de igual color bajo la luz diurna (Iluminante estándar D65).

Aunque tanto los colorímetros triestímulos como los espectrofotómetros utilizan una sola fuente de luz, pueden calcular los resultados de medición basándose en los datos de iluminantes almacenados en la memoria para proporcionar datos de mediciones bajo distintos iluminantes.

Los colorímetros generalmente sólo pueden efectuar mediciones bajo el iluminante estándar A y el iluminante estándar D65, representando ambos la luz diurna y con distribuciones de potencia espectral similar. Por esta razón, los colorímetros triestímulos no pueden utilizarse para medir el metamerismo.

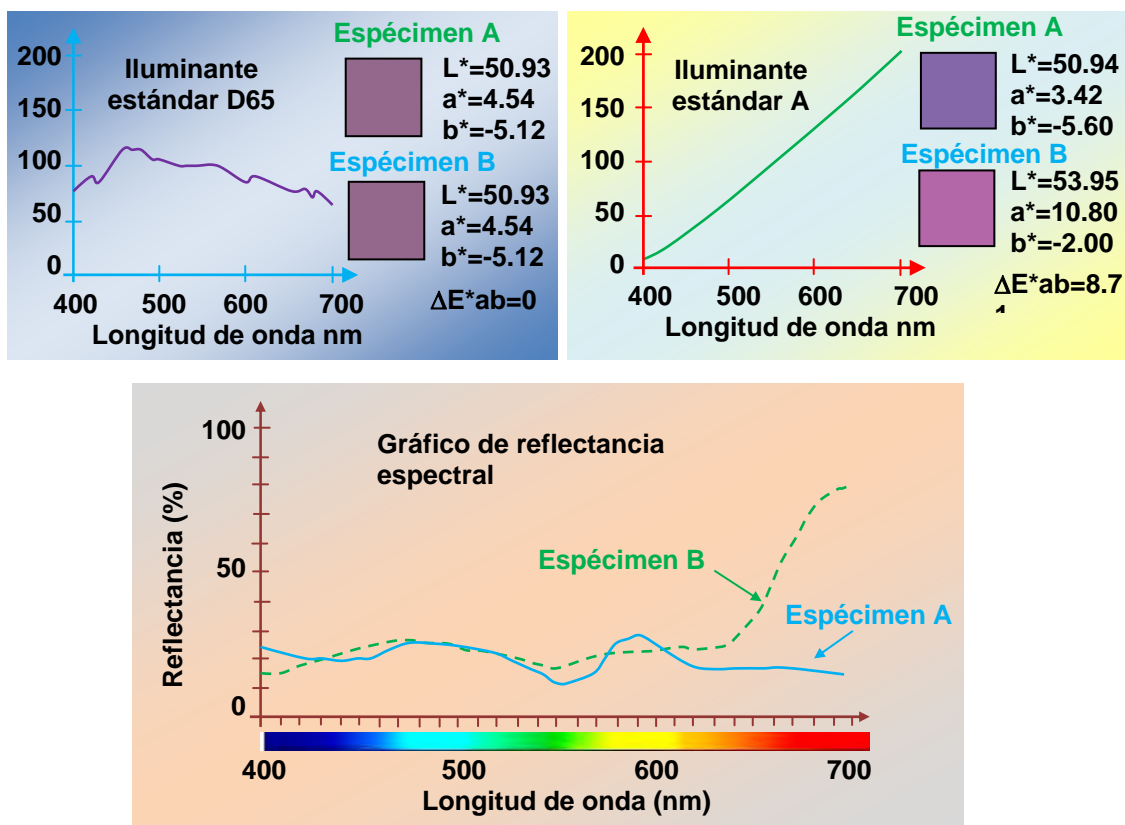


Figura 2.7.34. Para evaluar el metamerismo, es necesario medir los especímenes bajo dos o más iluminantes con distribuciones de potencia espectral muy diferentes como, por ejemplo, el Iluminante estándar D65 y el Iluminante estándar A. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

Los espectrofotómetros, por otro lado, están equipados con las distribuciones de potencia espectral de una amplia gama de iluminantes y, por tanto, pueden determinar el metamerismo. Además, con la capacidad del espectrofotómetro de presentar gráficos de reflectancia espectral, podrá ver exactamente las diferencias de las reflectancias espectrales de los dos colores.

El colorímetro se utiliza principalmente en aplicaciones de producción e inspección para mediciones de diferencia de color y medición de diagramas de color. El espectrofotómetro se emplea para análisis de alta precisión y gestión precisa del color principalmente en laboratorios y en aplicaciones de investigación y desarrollo.

Cuando vemos un color fluorescente, parece como si tuviera luz propia aunque no es realmente una fuente de luz. Cuando se aplica una luz a un material fluorescente, los rayos son absorbidos y emitidos de nuevo como una luz visible en otras regiones del espectro, normalmente en longitudes de onda más largas.

La región de luz visible es radiación electromagnética entre 380 y 780 nm. Por ejemplo, cuando una radiación de 360 nm es absorbida y emitida a 420 nm, el valor de medición a 420 nm puede rebasar el 100%. Al poder verse una cantidad de luz superior a la esperada, al ojo humano le parece como si el material luciera por sí mismo.

Muchas pinturas, especialmente en aplicaciones de automoción, emplean una combinación de escamas metálicas y colorantes para lograr un efecto de color total. En una pintura metalizada, la luz se refleja en diferentes ángulos debido a la orientación de las escamas metálicas de la pintura, aunque las escamas estén alineadas generalmente en la misma dirección.

2.7.7. Luz negra y material fluorescente.

En una sala oscura o iluminada con una luz violeta los aspectos de las camisetas, calcetines o dibujos blancos en la pared parecen tener luz propia y ser extraordinariamente brillantes.

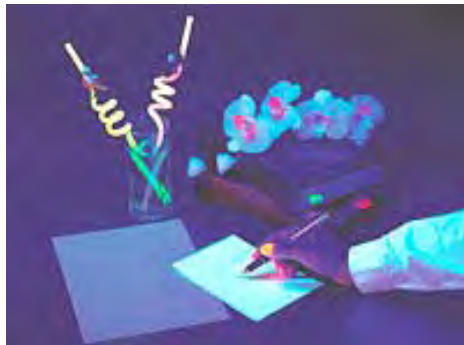


Figura 2.7.35. Un lugar como éste está iluminado por una fuente de luz llamada "luz negra". (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

La luz negra es una iluminación que utiliza longitudes de onda que se encuentran en su mayoría fuera de las regiones visibles del espectro. Se ha vendido para iluminar minerales fluorescentes. De hecho, esta luz negra emite energía en la región ultravioleta.

Se ha añadido a los objetos un material fluorescente que absorbe esta energía y la vuelve a emitir como luz en la región visible. Los materiales parecen emitir luz cuando son iluminados por una luz negra.

Un objeto parece blanco cuando refleja todas las longitudes de onda en las regiones visibles prácticamente en un 100%. Sin embargo, si existe menos reflectancia en las longitudes de onda del azul, el objeto parece amarillento. En muchos casos, se añade un material fluorescente (algunas veces llamado abrillantador óptico).

Este material fluorescente proporciona un aumento de la reflectancia en las longitudes de onda del azul para que el objeto parezca blanco. Como resultado de ello, una camiseta blanca parece tener luz propia cuando es iluminada por una luz negra y blanca bajo la luz diurna.

Cuando la ropa blanca se lava repetidamente, se pone amarillenta. Esto no se debe a que haya sido manchada por un color amarillo sino a que el material fluorescente va desapareciendo con los lavados y reaparece el color original del tejido. Es habitual devolver la ropa amarillenta al color blanco lavándola con un detergente que contenga un material fluorescente.

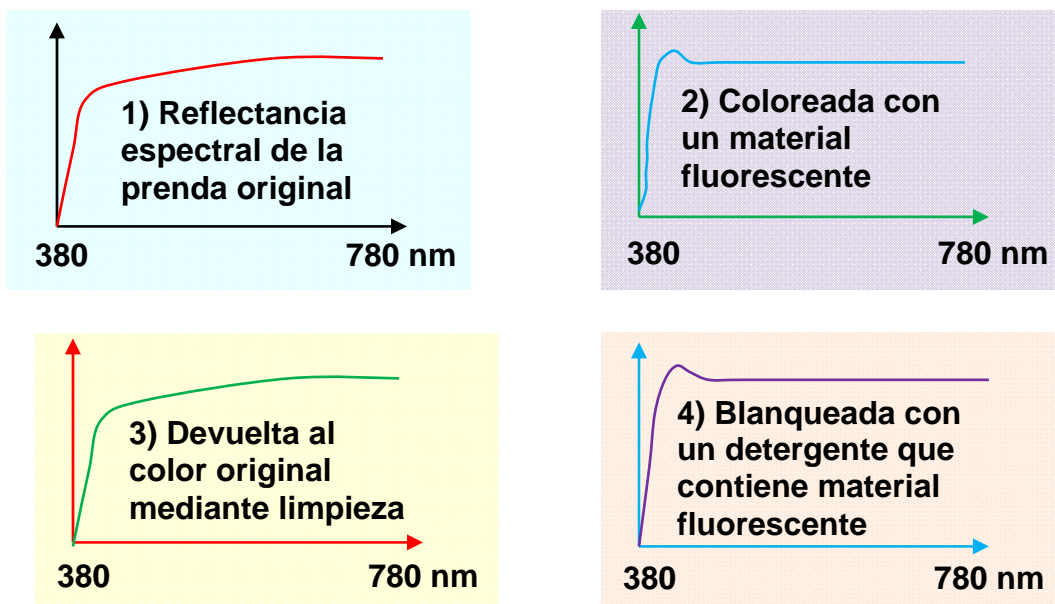


Figura 2.7.36. Secuencia grafica del comportamiento de la reflectancia espectral al recibir una prenda de vestir un tratamiento fluorescente, como se va desgastando con las lavadas y como recupera su color original. (Adaptado de: KONICA MINOLTA SENSING, INC). [65]

2.7.8. Cabinas de iluminación.

Para realizar la evaluación del color de diferentes productos se utilizan las cabinas de iluminación. La cabina de iluminación es un área controlada dentro de la cual se procura crear una iluminación con características conocidas y reproducibles para realizar la comparación de colores y texturas de diversos objetos, que pueden ser contruidos incluso con materiales diferentes.

Existe una gran variedad de diseños en las cabinas de iluminación, desde una “caja” con paredes en color neutro (normalmente gris medio) y diferentes fuentes de iluminación en su parte superior.



Figura 2.7.37. Las características relevantes que deben cubrir las cabinas de iluminación empleadas para la comparación de color están descritas en diversas normas internacionales entre las que se encuentran: ISO 3664:2000, ASTM D1729-96, ASTM D2616-96, ASTM D4086-92a. (Adaptado de: Carlos H. Matamoros. División de Óptica y Radiometría, Centro Nacional de Metrología, 2006)

Los aspectos que son necesarios asegurar son las fuentes luminosas con las que se debe hacer la comparación, los niveles de iluminación y las características presentes en el entorno, además de aspectos más subjetivos como el observador y el propio objeto bajo evaluación.

2.7.9. Fuentes luminosas en las cabinas de iluminación.

Existen diversas fuentes de iluminación empleadas en la comparación de colores, donde por lo general se encuentran algunos de los iluminantes conocidos como A, D50, D65, D75, TL84, luz de día, horizonte, blanco frío, además de una fuente de radiación ultravioleta que puede ser empleada en conjunto con cualquiera de las fuentes luminosas citadas.

Estas fuentes de iluminación han sido documentadas por la Comisión Internacional de la Iluminación (C. I. E.), como iluminantes patrón o iluminantes de referencia. Dentro del campo de la colorimetría la distribución espectral de densidad energética emitida de los siguientes iluminantes: A, D50, D55, D65 y D75, cuyos espectros se muestran en la siguiente figura 2.7.39. [82][88]

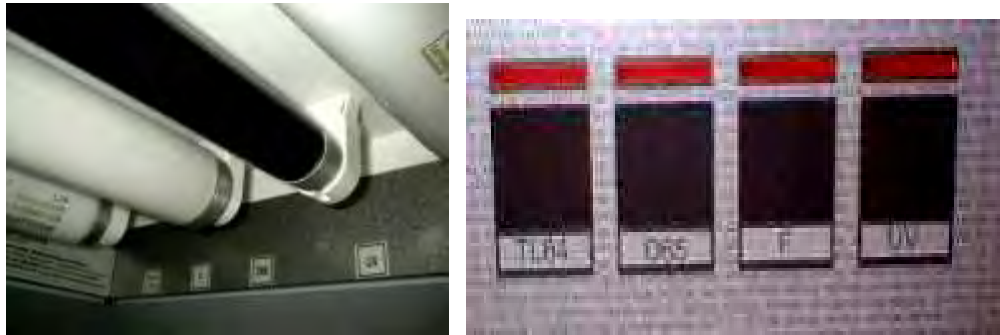


Figura 2.7.38. Distribución de las fuentes iluminantes en una cabina de iluminación. (Imagen de archivo personal, 2008)

La publicación CIE 15:2004 establece las recomendaciones para reproducir el iluminante tipo A, sin embargo para los iluminantes D (que representan a la luz de día en diferentes fases) no se tiene una práctica recomendada debido a la dificultad que presenta el igualar la distribución espectral de densidad energética de éstos. La propia CIE ha emitido recomendaciones para la evaluación del desempeño de diferentes simuladores de la luz de día mediante la publicación CIE 51.2.

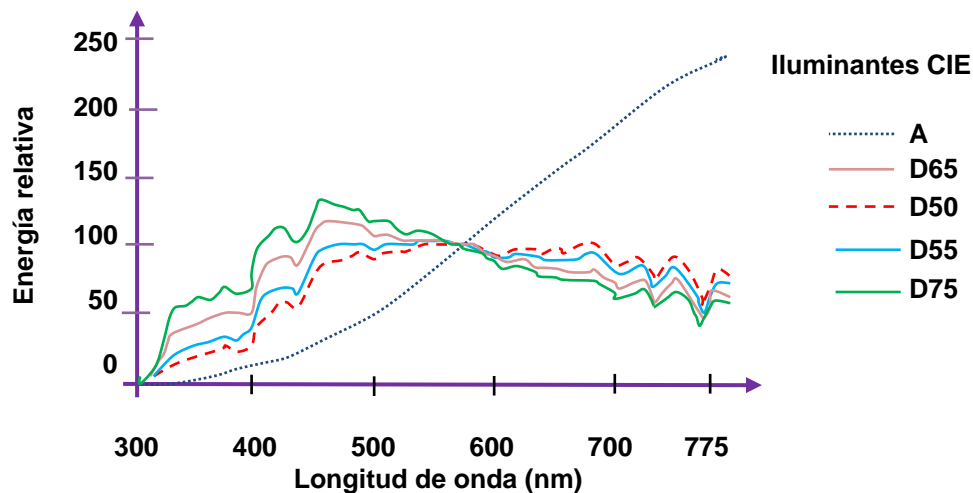


Figura 2.7.39. Espectros típicos de los iluminantes CIE A, D65, D50, D55 y D75. (Adaptado de: Carlos H. Matamoros División de Óptica y Radiometría, Centro Nacional de Metrología, 2006)

Las demás fuentes luminosas han sido introducidas por los fabricantes de las cabinas de iluminación con la finalidad de proporcionar mayores alternativas a los usuarios para el proceso de evaluación, como son las denominaciones TL84, la horizonte o la blanco frío, sin embargo éstas fuentes no han sido consensuadas y tampoco son referidas en las normas internacionales que generalmente se aplican en el campo.

Los fabricantes tratan de proporcionar fuentes de radiación que se asemejen a las ideales, sin embargo, como se aprecia en la figura 2.7.40., existen diferencias apreciables.

Estas diferencias serán más significativas en los momentos de comparar muestras que presenten comportamientos con metamerismo considerable; por ejemplo por la influencia de elementos fluorescentes. Aquí es donde aparece el primer aspecto sobre la calibración de las fuentes luminosas.

Al diseñar las cabinas de iluminación, la intención es obtener una emisión espectral lo más semejante posible a los iluminantes patrón, entonces lo que procede es caracterizar esta emisión espectral mediante el uso de un espectrorradiómetro calibrado, como se indica en la publicación CIE 51.2 y en la ISO 3664:2000.

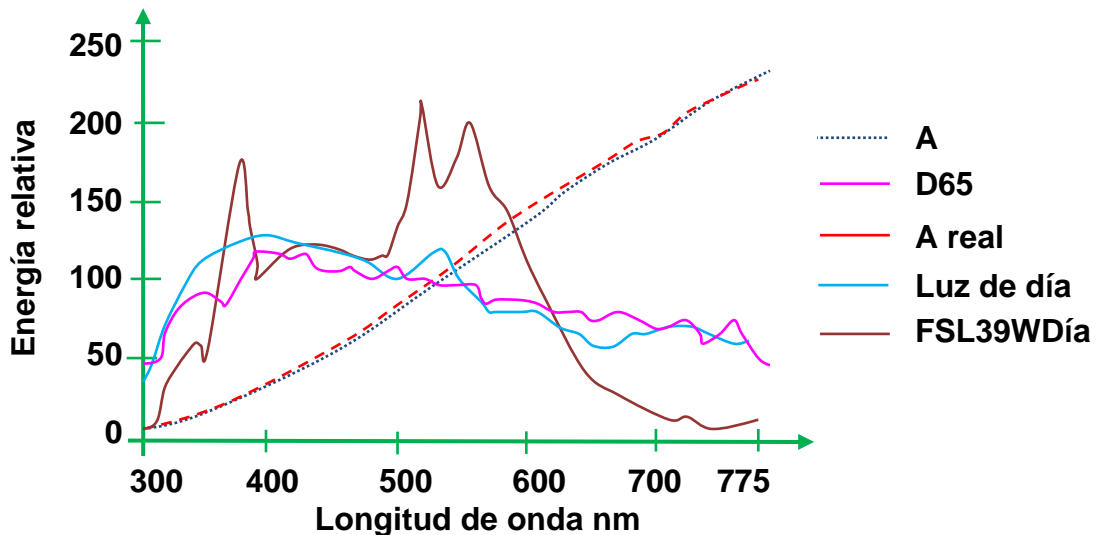


Figura 2.7.40. Comparación de los iluminantes A y D65 ideales contra A-real y luz de día simulada, así como una lámpara fluorescente común. (Adaptado de: Carlos H. Matamoros División de Óptica y Radiometría, Centro Nacional de Metrología, 2006)

Esto es realizado por los fabricantes que, mientras se mantengan las condiciones de operación recomendadas por los productores y considerando las recomendaciones de las diferentes normas aplicables, además de proporcionar el mantenimiento requerido, permite asegurar que la emisión espectral se mantendrá dentro de los parámetros de diseño que se considera cubren las recomendaciones de las publicaciones CIE.

La ISO 3664:2000 da la responsabilidad a los usuarios de las cabinas de iluminación sobre la verificación de la emisión espectral. Por lo tanto, debido a que el diseño de las fuentes es robusto, no se requiere realizar la calibración de la emisión espectral, sólo es conveniente realizar la verificación de que la densidad espectral de emisión en la cabina de iluminación cumple con las especificaciones

al transcurrir el tiempo, y para ello se sugiere seguir lo indicado en la norma ISO 3664:2000, así como en la publicación CIE 51.2.

Por otro lado, si por cualquier circunstancia el usuario modifica el diseño, por ejemplo reemplazando alguna lámpara por otra distinta a la recomendada por el propio fabricante (a pesar de que otros parámetros empleados también como una característica típica de la emisión, como la temperatura correlacionada de color o las coordenadas de cromaticidad, permanezcan dentro de los esperados), será indispensable caracterizar su emisión espectral para garantizar que se cumple con las recomendaciones descritas por la CIE, procurando que se asegure la trazabilidad en las mediciones.

2.7.10. Nivel de iluminación en las cabinas.

Conforme al nivel de detalle que se pretende evaluar, existen recomendaciones sobre el nivel de iluminancia que debe existir en la superficie de evaluación. Por ejemplo en la ISO 3664:2000 refiere niveles de $2\ 000\ \text{lux} \pm 500\ \text{lux}$ sobre el área de evaluación para una evaluación con detalles finos o diferencias de color sutiles. Para evaluaciones más burdas, niveles de $500\ \text{lux} \pm 125\ \text{lux}$ son suficientes.

Se hace mención sobre la uniformidad que se debe tener en todo el campo de la cabina de iluminación, no debiendo ser menor a un 75 % el nivel de iluminación en las orillas de la cabina respecto al centro, para cabinas con hasta un metro cuadrado de área, mientras que para cabinas con mayores dimensiones se permite que disminuya hasta 60 % el nivel de iluminancia.



Figura 2.7.41. Regularmente las cabinas de iluminación se ubican en un lugar con paredes oscuras, para evitar reflectancia. (Imagen de archivo personal, 2008).

Para verificar este parámetro se emplea un fotómetro que cuenta con un detector para la medición de iluminancia, o equipos denominados luxómetros, los

cuales deben contar con una respuesta espectral semejante a la del observador estándar definido por la C. I. E.

Los luxómetros comerciales pueden presentar fuertes diferencias contra la curva fotópica definida por la C. I. E., como se puede observar en la figura 2.7.42., donde se presentan las respuestas espectrales de tres luxómetros comerciales, de los más comúnmente recibidos para calibración en el CENAM, contra la respuesta de un medidor de iluminancia construido con alta calidad (denominado fotómetro) y la curva del observador estándar definido por la C. I. E.

Las diferencias encontradas contra el observador estándar son compensadas por algunos fabricantes mediante factores de corrección introducidos ya sea de forma electrónica o proporcionada numéricamente al usuario. El ignorar estos factores puede producir errores como los que se reflejan en la gráfica de la figura 2.7.42, donde se evaluó el error que puede cometerse por los tres equipos comerciales empleados y el instrumento de alta calidad.

Todos los equipos son generalmente ajustados, disminuyendo los errores sistemáticos, y calibrados empleando un iluminante tipo A, sin embargo, al medir fuentes con emisión espectral distinta al iluminante A, los errores pueden verse incrementados significativamente, como se observa en la figura 2.7.42, donde los errores de los equipos empleados como ejemplo pueden llegar arriba del 10 %.

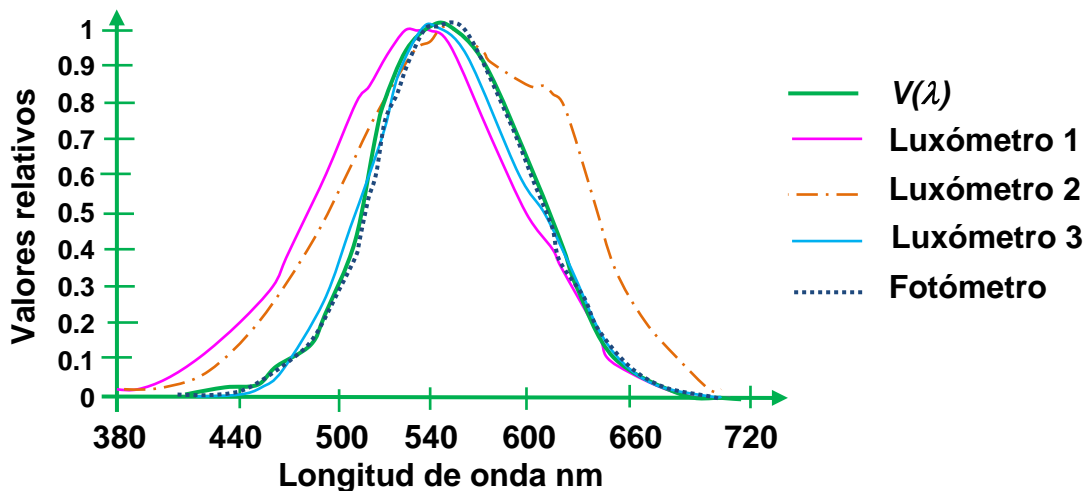


Figura 2.7.42. Respuesta espectral de tres luxómetros comerciales comparada contra un fotómetro de alta calidad y el observador estándar $V(\lambda)$. (Adaptado de: Carlos H. Matamoras División de Óptica y Radiometría, Centro Nacional de Metrología, 2006)

Las cabinas de iluminación, pueden presentar variaciones en los niveles de iluminación por muy diversas circunstancias, como son variaciones en el suministro eléctrico, el propio envejecimiento de las lámparas, las condiciones ambientales de operación, limpieza de los componentes de la cabina de

iluminación, entre otras, y que dependiendo del propio diseño de la cabina, a diferencia de lo que sucede con la emisión espectral, la fluctuación en iluminación puede ser importante.

Esta es una de las justificaciones por las que la ISO 3664:2000 maneja tolerancias tan amplias en los niveles de iluminación y, a pesar de que algunas cabinas cuentan con circuitos que permiten ajustar el nivel de iluminación, es necesario no perder de vista los errores que se pueden cometer por las características de los equipos de medición de iluminancia.

Hablar de calibrar los niveles de iluminación que la cabina proporciona no resulta práctico. En primer lugar porque como se ha mencionado, el nivel de iluminación puede sufrir variaciones o una disminución gradual con el tiempo.

Se requiere obviamente de una caracterización bastante completa, incluyendo una evaluación del envejecimiento del sistema, para establecerlo. En todo caso lo recomendable es contar con el medidor de iluminancia calibrado, como lo menciona la ISO 3664:2000, considerando los posibles factores de corrección por cada iluminante, para realizar una verificación rutinaria de los niveles de iluminación a los que debe emplearse la cabina de iluminación, considerando en todo momento las diferentes ubicaciones, en los tres ejes, que puede tener la muestra bajo evaluación.

2.7.11. El entorno del área de evaluación.

Uno de los aspectos que pueden influir fuertemente en la evaluación visual es el entorno dentro del cual se realiza ésta. Por lo general se debe contar con un entorno donde las fuentes luminosas externas a la cabina de iluminación no produzcan una influencia apreciable en la evaluación, ya que esto puede producir que se modifique la densidad de energía espectral que incide en la muestra.

Como primera medida es necesario seguir las recomendaciones que la normatividad y recomendaciones internacionales, como la ISO 3664:2000, establecen. Éstas incluyen el que la iluminación aledaña sea de una amplitud aproximadamente 50 % menor a la que genera la propia cabina de iluminación bajo condiciones normales de operación. Esto se puede verificar al medir el nivel de iluminancia que incide en el área de la muestra dentro de la cabina de iluminación cuando ésta se encuentra apagada.

Al cumplir con esta condición, la modificación espectral es poco significativa y permanece dentro de los parámetros que permiten las recomendaciones de la CIE. En los casos donde sí se aprecie una afectación a la evaluación, será necesario modificar el entorno de tal forma que se minimice el efecto.

Esto se puede lograr modificando el esquema de iluminación ambiental y colocando pantallas que limitan la incidencia de la radiación externa hacia el área de muestra de la cabina de luces. Otro aspecto importante es considerar los

colores presentes en el entorno. Como una de las funciones primordiales es la comparación de superficies de color, es necesario que el entorno no modifique la apreciación del observador.

Se sugiere hacer uso de colores neutros como el blanco, negro o gris. El uso del color neutro apropiado depende de la aplicación y tonalidades a comparar. En la normatividad internacional, así como en diversos documentos relacionados con el tema, se establecen las recomendaciones a seguir, siendo la más común el usar un gris medio, con el que se pueden realizar la mayoría de las evaluaciones, de hecho es el color que emplean la mayoría de los fabricantes de las cabinas de iluminación, y algunos pueden suministrar recubrimientos removibles en tonos diversos para adaptarse a las condiciones requeridas.



Figura 2.7.43. Los operarios de la cabina de iluminación se ponen batas de color gris Oxford o negras. (*Imagen de archivo personal, 2008*)

En caso de ser requerido, todos estos efectos deben ser evaluados mediante el uso del espectrorradiómetro calibrado, que puede evaluar la densidad energética de radiación incidente en la muestra, para compararla con la recomendada en las normas; esto refuerza la disposición de la ISO 3664:2000, que establece que el usuario debe asegurar que la distribución espectral de densidad energética incidente en la muestra, cumple con las recomendaciones dadas por la C. I. E.

2.7.12. Fuentes luminosas en establecimientos comerciales.

En nuestra investigación validaremos con métodos psicofísicos como cambia la sensación del color con los diferentes iluminantes y compararemos este cambio con el programa digital Adobe Photoshop.

A continuación mencionaremos los diferentes tipos de iluminantes utilizados en las tiendas departamentales y aparadores, como una introducción a la aplicación de la psicofísica del color.

El índice de rendimiento de color (IRC), es la capacidad que tiene una lámpara para reproducir realmente los colores de los objetos, y es un factor muy importante a considerar en cualquier aplicación de iluminación.

El IRC se mide en una escala de 0 a 100. La luz del sol y la luz de una lámpara incandescente tienen un IRC de 100. Es importante saber que los objetos y personas iluminados bajo luz con un alto IRC se ven más naturales, además de que el nivel de iluminación se percibe como mayor.



Figura 2.7.44. Cada tienda de marca de ropa utiliza una iluminación propia, en algunas como en Corneleani, utilizan una iluminación mas calida, es una tienda para hombres, en Calvin Klein, tienda para damas, la iluminación es más fría. (Centro comercial Antara Polanco, México D. F., 2008)

En aplicaciones comerciales, las lámparas Philips con alto índice de rendimiento de color hacen que la mercancía sea más atractiva al cliente, la comida más apetitosa en los restaurantes y la gente en general luzca mejor, más saludable y más natural. En las oficinas incrementa la productividad del trabajador, reduce el ausentismo en el lugar de trabajo y disminuye el riesgo de cometer errores.

La eficacia se define como la habilidad de una lámpara de generar luz, flujo luminoso, por watt consumido, potencia, expresada en términos de lumens por watt, LPW. La eficacia es la clave para poder evaluar una lámpara ya que la iluminación representa del 30% al 50% del total del costo de operación en una instalación típica y puede afectar otros costos relativos, como el aire acondicionado, disminuye este costo cuando la lámpara genera poco o nulo calor. Además un sistema de iluminación eficiente beneficia el medio ambiente.

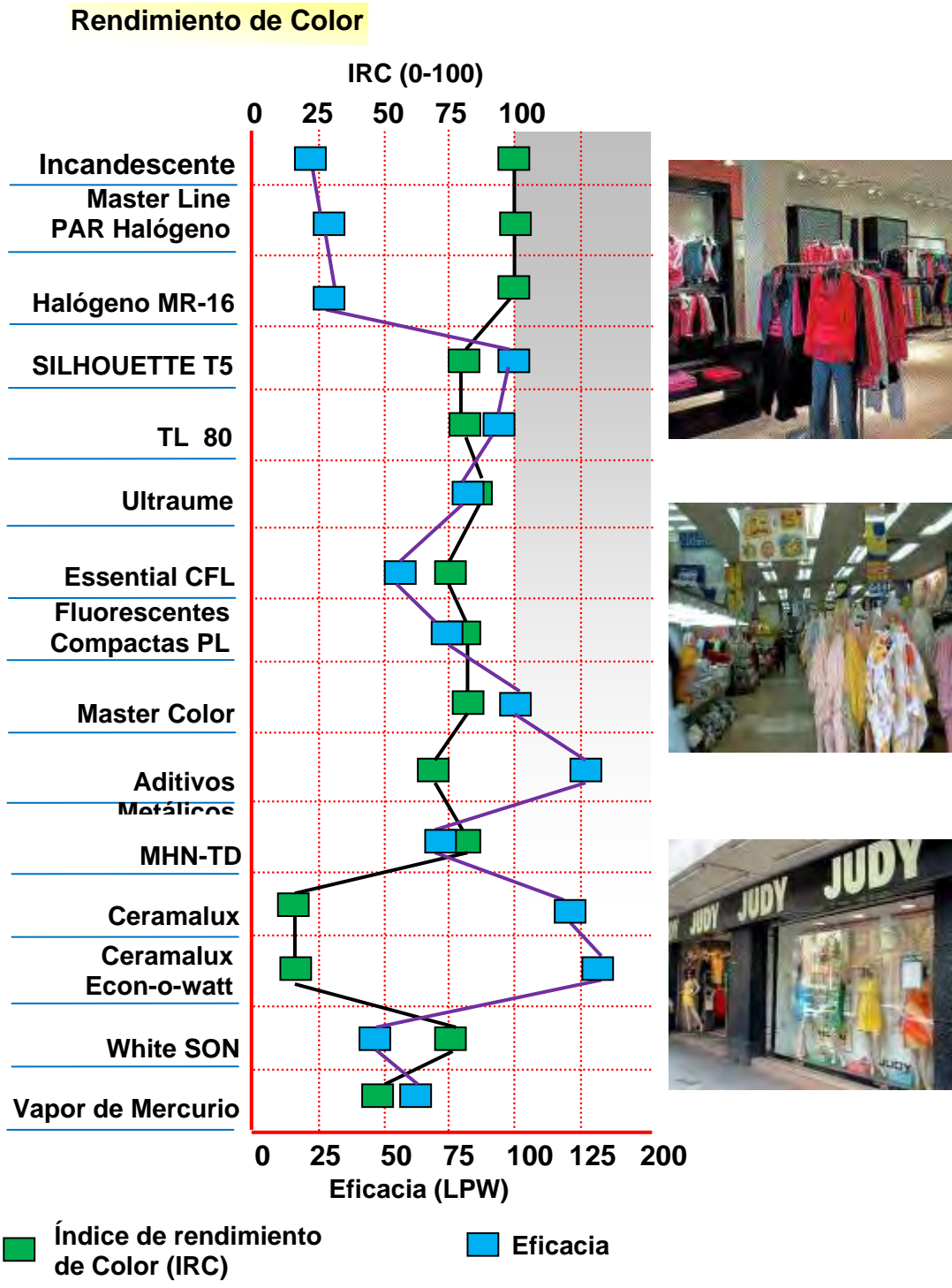


Figura 2.7.45. Gráfica comparativa de rendimiento de color y eficacia, entre diferentes iluminantes y algunos de sus usos. (Adaptado de: Philips Lighting. Catálogo de Especificaciones 2006-2007). [88]

Una Iluminación comercial eficiente genera mayor tráfico en la tienda a través de displays o materiales llamativos. Una iluminación adecuada también crea un ambiente agradable dentro de la tienda que enfatiza la mercancía y hace sentir al cliente confortable.

Si un cliente encuentra la mercancía bien iluminada, entonces deseará pasar más tiempo curioseando. [88]



Figura 2.7.46. Los consumidores se han vuelto más exigentes con los centros comerciales ya que el propósito de su compra es más bien aspiracional y social. Entendiendo cómo la iluminación afecta el humor del consumidor, es importante mantener una atmósfera propicia en el ambiente comercial. (Tiendas Centro Histórico, México D. F. Imagen archivo personal, 2008)

Cada almacén tiene su propio estilo de iluminación, algunos utilizan luz fría y otros, luz cálida, el foto-tactismo y la cromo-taxia, dependen de la genética y la formación cultural del sujeto para seleccionar su propio estilo de vestir y color favorito.

La iluminación comercial depende de su clasificación, variedad de productos, tipo de atención, frecuencia de compra y precio, permitiendo la comparación de lo que se recomienda hacer en cada uno.

Como un ejemplo de las diferentes formas de iluminar una tienda o un aparador de ropa de marca, Phillips recomienda los siguientes productos para una excelente iluminación comercial. [88]



Iluminante	Descripción	Potencia (Watts)	Vida Promedio (Horas)	Flujo Luminoso (Lumens)	Intensidad Luminosa (Candelas)	Temperatura de color ^a K	IRC
	Lámpara Halógenas ALR III	50 a 60	3000		3000 a 23000		
	Lámpara fluorescente compactas PL	7 a 42	10,000 a 20,000	400 a 3,200		2,700 a 4,100	82
	Lámpara fluorescente lineales T5	14 a 54	18,000 a 24,000	M1,275 a M4,750		3,000 a 4,100	84 a 85
	Lámpara MasterColor PAR 38 CDMi	25	10,500	Inicial 1,220 Mantenido 850		3,000 a 9,000	87
	Lámpara MasterColor Mini CDM	20	9,000	Inicial 1625 Mantenido 1,050			83
	Lámpara MasterColor CDM-R III	35 a 70	6,000 a 7,500	Inicial 1,870 Mantenido 1,170 a Inicial 2,850 Mantenido 1,850		2,900 a 3,000	81 a 84
	LEDs	1.5 a 12	25,000 a 50,000	10 a 120		3,150 a 6,700	

Tabla 2,7.2. Iluminantes Phillips. Catalogo 2006-2007. [88]

Tradicionalmente, la iluminación halógena es la fuente de luz por excelencia para acentuar y destacar productos o mercancía funcional para áreas de tarea y aplicaciones de fuentes incandescentes en general, que requieren una luz más blanca y brillante, alta eficiencia, iluminación constante y máximo control del haz de luz.

Las tendencias de iluminación del consumidor actual están incrementando las aplicaciones de luz halógena trayéndola a la casa, ya que nos ofrece mayores alternativas que la luz tradicional, como son mayor brillantez y mayor duración.

La luz halógena es más blanca, con una temperatura de color de cerca de 3000°K, larga vida, y como todas las lámparas incandescentes, un IRC de 100 para un óptimo rendimiento de color, haciéndola excelente para acentuar y destacar objetos, iluminar cualquier área de trabajo, así como para todo tipo de decoración residencial y comercial.

Además ahorra el 30% en el pago de electricidad en comparación con las lámparas incandescentes convencionales.



(a)



(b)

Figura 2.7.47. La iluminación juega un papel importante en la promoción del producto, y es ésta, un factor importante en el fracaso o el éxito de la venta. Es usada desde el comercio más modesto, hasta el más sofisticado centro comercial. (a) Venta de pollos rostizados en el restaurante Rex del centro Histórico de la Ciudad de México. (b) Fachada del centro comercial Antara Polanco, en México D. F. (Imágenes de archivo personal e internet, 2008)

2.8 Fuentes iluminantes en ambientes laborales.

Dos términos que si bien son conocidos por algunos, pueden resultar una novedad para otros. Ellos son *cesía* y *semiótica*. (José Luis Caivano. Ponencia en ArgenColor 1996).

Cesía es el nombre adoptado para designar el aspecto de la visión relacionado con la percepción de las diferentes formas de distribución de la luz en el espacio, lo que Richard Hunter (1975) denominara «atributos geométricos de la apariencia». La luz interactúa con los materiales, pudiendo ser absorbida, reflejada o transmitida por ellos en distintas proporciones. A su vez, la reflexión y transmisión de la luz puede darse en forma regular o difusa. Estos son hechos físicos. El sistema visual humano percibe eso decodificándolo e interpretándolo como signos visuales que le informan sobre ciertas cualidades de los objetos que lo rodean: nivel de claridad u oscuridad, grado de opacidad, brillo, transparencia, entre otros. *Son justamente este tipo de perceptos visuales los que se engloban bajo el nombre genérico de cesía.* [21]

La *semiótica* se ocupa del estudio de la *semiosis*, es decir, los procesos de significación. Hablamos de semiosis toda vez que estamos frente a situaciones donde se produce una transmisión o intercambio de información, una reacción física o un efecto de sentido dados a través de signos que sirven como agente entre un objeto y un sujeto, sirviendo para ese sujeto como representación del objeto.

La semiótica visual se ocupa del estudio de aquellos procesos donde intervienen signos que operan en el canal de la visión. Las cesías son, entonces, un tipo especial de signos, distintos del color, la textura visual, la forma o cualquier otra cualidad de los objetos aprehensible por medio de la visión.



Figura 2.8.1. Despacho del Arquitecto Abraham Zabludovsky. (Adaptado de: Abraham Zabludovsky Arquitecto. Noreiega editores, 1995). [118]

Podemos diferenciar dos aspectos en la cesía. Por un lado tenemos un fenómeno físico y por otro lado tenemos un fenómeno perceptual, ambos aspectos por separado, el físico y el perceptual, la conexión entre el aspecto físico y el perceptual podríamos ubicarla dentro del estudio de la biosemiosis, es decir cómo un ser vivo se sirve de un dispositivo biológico particular, como es el sistema de visión, para interpretar ciertos hechos físicos del mundo, obteniendo información útil para la supervivencia o el desenvolvimiento en el medio ambiente. [18]

La cesía y el color constituyen las categorías primarias para la percepción visual, ya que son las que producen algún tipo de contraste que hace posible la diferenciación de áreas en el campo visual, el primer estadio para el reconocimiento de los objetos.



(a)



(b)

Figura 2.8.2. La iluminación natural sigue siendo un factor ergonómico en el ámbito laboral. (a) Trabajo artesanal de hilados y tejidos, (b) Ámbito laboral ejecutiva en una empresa trasnacional. (Adaptado de: Osram. Catalogo General. 2005-2006). [82]

Tradicionalmente, las investigaciones sobre la luz y el color se han basado en tres campos: 1) la óptica, en cuanto al estudio de los procesos físicos de la luz y el color, 2) la fisiología y la neurofisiología, en cuanto al estudio de los mecanismos de la visión, y 3) la psicofísica y la psicología, en cuanto al estudio de las representaciones sensoriales y perceptuales de los fenómenos de luz y color. [22]

Además de esas disciplinas, la *semiótica* puede proveer otro enfoque, distinto, novedoso, enriquecedor, al considerar a los objetos bajo estudio como signos mediante los cuales se puede representar para alguien algún aspecto del mundo.

La cesía sirve como parámetro para evaluar la calidad de ciertos materiales. El papel para impresión, por ejemplo, no solo se juzga por la blancura, también es importante la opacidad y el grado de brillo o satín. La diferencia perceptual entre el papel ilustración y el papel obra radica fundamentalmente en el satinado del

primero, que es más apreciado en la impresión de libros y revistas, aunque un exceso de brillo deja de resultar apropiado porque dificulta la lectura y produce cansancio visual.

La cesía cumple un papel importantísimo en la visión en general y en la percepción del espacio en particular. Como ejemplo de lo primero podemos mencionar que en camuflaje militar se emplean pinturas de acabado mate para evitar reflejos que hagan visible el objeto que se quiere ocultar, y esto es tanto o más importante que usar un color que se mimetice con el medio.

Con respecto a la arquitectura, es interesante notar cómo distintas cesías de los materiales que delimitan los espacios pueden hacer que se alteren sus características a través de la modificación en la percepción visual de los límites físicos, haciendo que varíe la sensación de privacidad, protección, confort, rechazo, etc. Producida por un ámbito.

La sensación de privacidad, por ejemplo, puede modelarse moviendo la apariencia de los límites físicos a lo largo de la escala transparente-traslúcido, sin por ello perder iluminación natural



Figura 2.8.3. En este sector de la Maison du verre de Pierre Chareau predomina el uso de vidrio translúcido, que permite una excelente iluminación natural sin afectar la sensación de privacidad. (Adaptado de: José Luis Caivano. *Semiótica y Cesía: Significados de la distribución espacial de la luz. Tercer Congreso Argentino del Color. 1997*). [25]

Para ver los colores se requiere luz, y ésta debe provenir de alguna fuente luminosa. El Sol, el fuego, las velas, y más recientemente las diversas lámparas eléctricas nos proporcionan la energía radiante necesaria para poder percibir nuestro alrededor.

Así, la fuente luminosa es uno de los ingredientes indispensables en la experiencia cromática y dependiendo del tipo de lámpara que se utilice será el color que se aprecia en las cosas.

Hasta mediados del siglo XIX la humanidad se había iluminado en la oscuridad con el fuego ya sea en antorchas, en lámparas de aceites o de pabilos de hilo en cera (velas).

Y no fue sino hasta principios del siglo XIX, que se fueron experimentando con artefactos que emitían luz utilizando electricidad. El ejemplo más popular en el desarrollo de fuentes luminosas eléctricas es el del equipo de colaboradores de Edison para lograr la lámpara incandescente o foco.

Ya en el siglo XX, con la electricidad posicionada plenamente en la vida de la mayoría de la población, se inventaron otras lámparas: las fluorescentes, las de Neón, las de halógenos, entre otras. Cada una de estas lámparas emplea una cierta mezcla de gases, los cuales hacen que la luz emitida sea también diferente, debido a su composición espectral (mezcla de colores). Es por eso que algunas se ven más azulosas y otras más amarillentas.

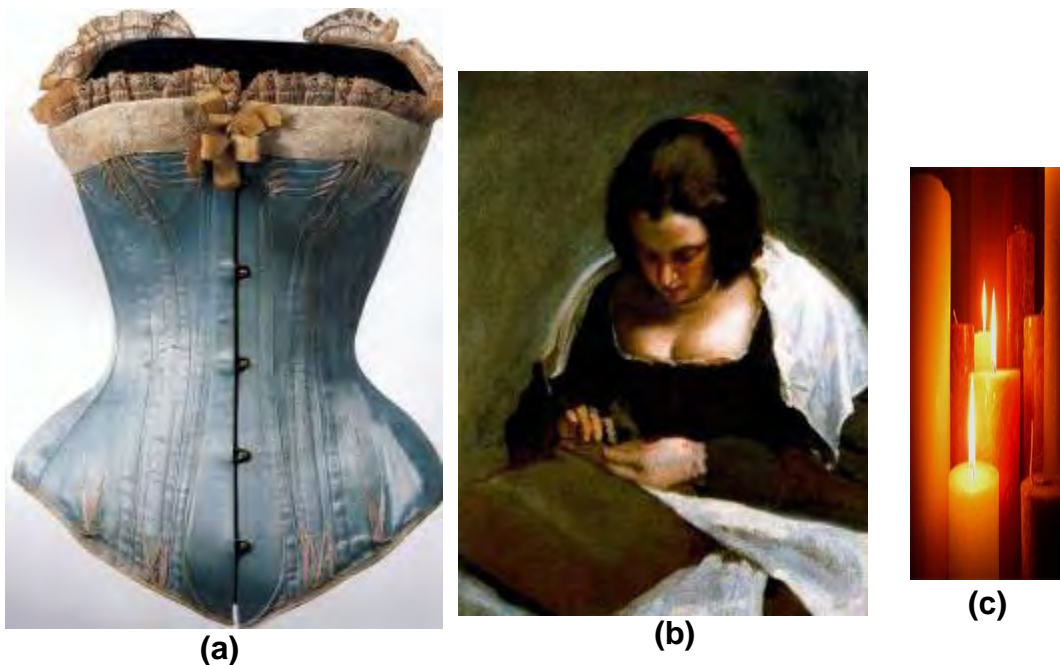


Figura 2.8.5. Hasta mediados del siglo XIX la humanidad se había iluminado con pabilos de hilo en cera (velas). (a) A lo largo de todo el siglo XVIII, la silueta de la mujer fue moldeada por las prendas de ropa interior, como el corsé. En la época rococó el corsé ya no comprimía todo el torso, sino que más bien hacía subir el pecho. (b) Costurera siglo XIX, (c) Pabilos de cera. (*Adaptado de Moda. La colección del Instituto de la Indumentaria de Kioto, Japon. Taschen, 2002*). [47]

2.8.1. El rendimiento visual de un trabajador.

Es evidente que un buen nivel de rendimiento visual mejorará siempre el rendimiento de la tarea y del proceso productivo. Son varios los factores que pueden influir en el rendimiento visual: la capacidad visual del individuo, la visibilidad de la tarea y los factores psicosociológicos, como la motivación, la inteligencia, el estrés, entre otros.

Una tarea visual que fuerza al sistema visual a funcionar a los límites de su capacidad puede causar estrés general, fatiga ocular y disminución del rendimiento, con lo que se aumenta la probabilidad de cometer errores o accidentes de trabajo.

Por tanto, las tareas visuales deben ser ajustadas a niveles supra-umbrales de visión (CIE 145:2002; North, R.V., 1996). Desde el punto de vista de la ergonomía visual, hay que tomar en cuenta: el estado de visión del trabajador y la visibilidad de la tarea. Se debe acondicionar el lugar de trabajo a un nivel confortable de visión normal. [105]



Figura 2.8.6. Condiciones de iluminación en un centro de trabajo del siglo XVI. La iluminación es natural, varía en el transcurso del día de 860 a 1260 lux. (Adaptado de Internet: *Hilanderas*, autor desconocido, siglo XVII).

Para ver es imprescindible que haya luz en el entorno. Cuando se realiza una tarea visual, el sistema visual humano trabaja para informar de si se ve algo o no, qué es lo que se ve (qué forma y color tiene), y si se distingue respecto a otros objetos percibidos en la escena.



Figura 2.8.7. Una adecuada iluminación ayuda a obtener un mejor desempeño en la zona de trabajo. Esto es, a través de una mejor visibilidad y un mejor confort visual. (a) Costurera del siglo XVIII. (b) Vestido azul a la inglesa, hacia 1785, de fabricación francesa. (Adaptado de: *Moda. Colección del Instituto de la Indumentaria de Kioto Japón. Taschen. Pag. 114*). [47]

Dejando al margen los aspectos climáticos de acondicionamiento de trabajo, como la temperatura y la humedad. Cada actividad profesional requiere de un nivel y tipo de color de iluminación, para ejecutar la tarea a un nivel productivamente confortable. Un diseño de iluminación mejora la sensación psicológica de confort en el entorno y optimiza las capacidades de discriminación de colores.

Los ingenieros de iluminación y color denominan apariencia cálida, neutra o fría de la iluminación. El parámetro numérico que sirve para cuantificarlo se denomina temperatura de color y resume la percepción cromática aislada de la iluminación.

Un valor de temperatura de color comprendido entre 4500 y 5500 °K, se percibe como neutro: la iluminación ni parece amarillenta ni azulada. En cambio, un valor de temperatura de color inferior a 4500 K, y progresivamente más bajo, sirve para indicar que la iluminación tiende a ser más amarillenta y rojiza, lo cual genera, indirectamente, una sensación psicológica de calidez, de aumento (no real) de la temperatura ambiental.

Un valor de temperatura de color superior a 5500 K, y progresivamente más alto, indica que la iluminación tiende a ser más azulada, con lo que la sensación psicológica ambiental es de enfriamiento, o de reducción (no real) de la temperatura ambiental.



(a)



(b)

Figura 2.8.8. Las naves industriales y almacenes se enfrentan a desafíos cada vez más complejos: Trabajadores con mayor edad, problemas con la salud y seguridad de los trabajadores, mayor demanda de energía y más leyes acerca del cuidado ambiental. La iluminación juega un importante papel para poder responder a la demanda creciente en productividad, control de costos y responsabilidad ambiental de las industrias. (Adaptado de: (a) Imagen de autor desconocido, bajada de Internet, fábrica de hilos finales siglo XIX. (b) Imagen de: Moda. Colección del Instituto de la Indumentaria de Kioto Japón. Taschen. Trajes de baño Pag. 319). [47]

Dependiendo de la tarea y de la función visual básica implicada, es común asociar el rendimiento visual con dos variables básicas: velocidad de ejecución y exactitud, es decir, cuenta favorablemente en el rendimiento visual, que la tarea se realice sin errores y en el menor tiempo posible.

El británico Weston, en 1945, creó una experiencia básica que ha servido para diseñar experimentos de rendimiento visual según el tipo de tarea y, en particular, sus resultados se han usado para delimitar los niveles de iluminación recomendados en función de la exigencia.

La Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, expedida por la Secretaria del Trabajo y Previsión Social, tiene como objetivo: “Establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades”.



Figura 2.8.9. (a) Gildo Zegna, consejero delegado de Ermenegildo Zegna. (Imagen de Alberto Di Lollì). (b) Trabajadora de la industria del vestido. (Imagen de maquiladoras, autor desconocido, 2008)

Son obligaciones del patrón entre otras:

- Informar a todos los trabajadores por escrito, sobre los riesgos que puede provocar el deslumbramiento o un deficiente nivel de iluminación.
- Elaborar el programa de mantenimiento de las luminarias, incluyendo los sistemas de iluminación de emergencia.

Son obligaciones de los trabajadores entre otras:

- Informar al patrón de las condiciones no seguras, derivadas de la iluminación en su área de trabajo.
- Utilizar los sistemas de iluminación, de acuerdo a las instrucciones del patrón.

- Colaborar en las evaluaciones y observar las medidas de control.

2.8.2. Niveles de iluminación.

Los niveles mínimos de iluminación que deben presentarse en el plano de trabajo para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la tabla 2.8.1.

Tabla 2.8.1. Niveles Mínimos de iluminación. NOM-025-STPS-1999.

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (lux)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas Generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y maquina.	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensambles de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de procesos de gran exactitud	2000

2.8.3. Acondicionamiento visual del puesto de trabajo.

Cuando se realiza una tarea visual, el sistema visual humano trabaja para informar de si se ve algo o no, qué es lo que se ve (qué forma y color tiene, etcétera), y si se distingue respecto a otros objetos percibidos en la escena.

Dejando al margen los aspectos climáticos de acondicionamiento de trabajo, como la temperatura, la humedad, entre otros, el principal factor ambiental que condiciona intrínsecamente el acto de la visión es la presencia de luz en el entorno o la escena.



Figura 2.8.10. (a) Trabajadoras maquiladoras de los años 50'S. (b) Vestido de noche diseño de Robert Piguet, Paris, 1950. Fabricado en gasa de seda azul con estampados de lazos y topos; escote tipo halter; se lleva sobre una falda de faya de seda y enagua de gasa. (Adaptado de: (a) de internet autor desconocido. (b) Imagen de: Moda. Colección del Instituto de la Indumentaria de Kioto Japón. Taschen. Pag.538). [47]

Para ver es imprescindible que haya luz en el entorno. Ahora bien, no vale cualquier nivel de iluminación ni cualquier tipo de color de la iluminación para ejecutar confortablemente, o a un nivel productivamente alto, cualquier tipo de tarea.

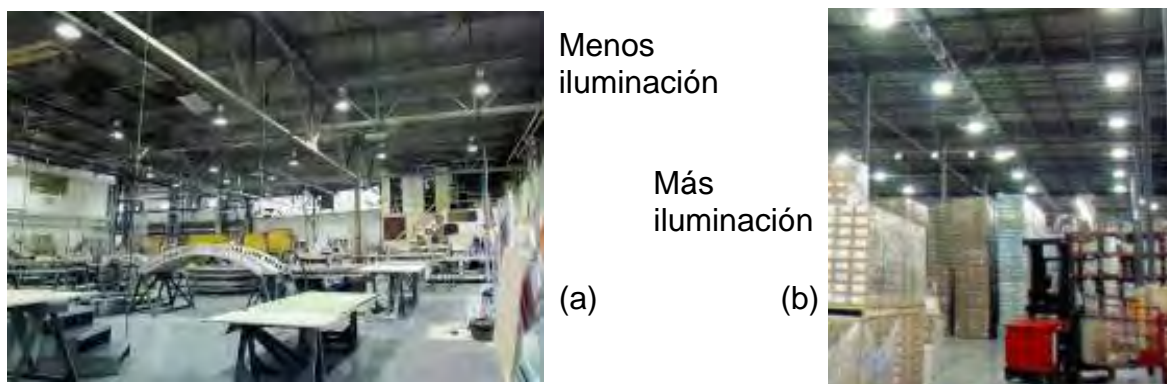


Figura 2.8.11. (a) Iluminación en una nave industrial, Menos iluminación pero más enfocada a la tarea. (b) Iluminación en una bodega, se requiere más iluminación para el reconocimiento y discriminación de detalles cromáticos. (Adaptado de: Philips Lighting. Catálogo de Especificaciones 2006-2007. Página 31). [88]

El objetivo principal de un diseño de iluminación, ya sea de interiores o exteriores, es proporcionar el nivel adecuado para ejecutar segura y confortablemente una tarea, en el caso de que no sea posible usar directamente la luz solar.

Pero este nivel también está condicionado por otros factores de la tarea, tamaño, distancia, contraste, color, movimiento, etcétera, a su vez, están íntimamente relacionados con las habilidades visuales. En determinadas actividades profesionales

Un sistema de iluminación adecuado también tiene impacto en aspectos ambientales y sociales. El uso de tecnologías de larga durabilidad y bajo contenido de mercurio contribuyen al cuidado del medio ambiente.

En la Tabla 2.8.1., se recomienda un tipo de apariencia cromática para la iluminación, que puede tener dos efectos beneficiosos: mejora de la sensación psicológica de confort en el entorno y optimización de las capacidades de discriminación de colores.

Tabla 2.8.2. Rendimiento de color de las lámparas, según entornos de trabajo. (Adaptada de: *ERGONOMÍA* N° 30. Septiembre de 2006. Página 38)

Grupo	Rendimiento del Color IRC o R_a	Apariencia de color	Uso preferible	Uso aceptable
1 ^a	[90,100]	Cálida Neutra Fría	Igualaciones de color, Exploraciones clínicas, galerías de arte	
1B	[80,90]	Cálida neutra Neutra fría		Deportes
2	[60,80]	Cálida Neutra Fría	Trabajo industrial	Oficinas, escuelas
3	[40,60]		Industrias que manejan objetos grandes	Trabajo Industrial
4	[20,40]		Vigilancia nocturna	Pasillos metro

Es lo que los ingenieros de iluminación y color denominan apariencia cálida, neutra o fría de la iluminación. El parámetro numérico que sirve para cuantificarlo se denomina temperatura de color y resume la percepción cromática aislada de la iluminación.

Así, un valor de temperatura de color comprendido entre 4500 y 5500°K, se percibe como neutro: la iluminación ni parece amarillenta ni azulada. En cambio, un valor de temperatura de color inferior a 4500°K, y progresivamente más bajo, sirve para indicar que la iluminación tiende a ser más amarillenta y rojiza, lo cual genera, indirectamente, una sensación psicológica de calidez, de aumento (no real) de la temperatura ambiental.

Un valor de temperatura de color superior a 5500°K, y progresivamente más alto, indica que la iluminación tiende a ser más azulada, con lo que la sensación psicológica ambiental es de enfriamiento, o de reducción, no real, de la temperatura ambiental.

La luz diurna pasa por varias fases de temperatura de color o apariencia cromática, pero en general se considera que es de apariencia fría, sobre 6500°K, aunque el nivel de iluminación sea muy alto, por ejemplo, 5000 lux sobre el asfalto en un día soleado de verano.

En consecuencia, cuando es necesario utilizar grandes capacidades visuales para diferenciar pequeños matices de color, por ejemplo en las industrias de coloración, textil, impresión, plásticos, pinturas, se usa siempre una iluminación artificial que sea buena simuladora de la luz diurna media. [105]

En otras actividades, cuando no es necesario alumbrar simulando la luz solar, se pueden utilizar otras lámparas para generar entornos psicológicamente cálidos. Todos estos aspectos de la iluminación y el color son de gran importancia, por ejemplo, para arquitectos y decoradores.

Existe, como ya mencionamos, el parámetro de calidad colorimétrica para las lámparas, denominado rendimiento en color IRC, para algunos autores y R_a (CIE 13.3:1995; Boyce, P. R, 2003), para otro, sirve para denotar el grado de eficiencia en la simulación del nivel óptimo de apariencia de los colores en la escena iluminada.

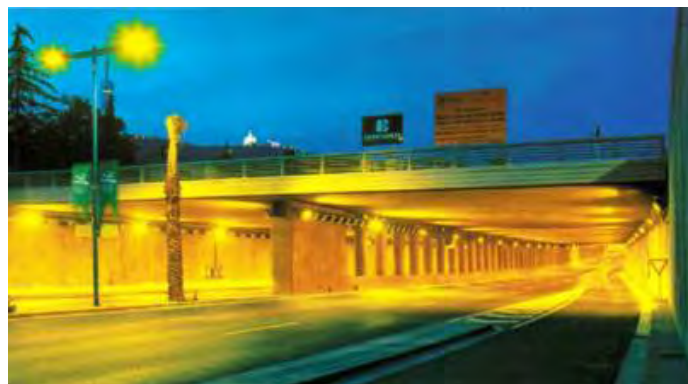


Figura 2.8.12. El código ANSI, fue desarrollado por la American National Standard Institute. Es un código que describe el tipo, características eléctricas de la lámpara y el balastro, así como los requerimientos de la luminaria. (Adaptado de OSRAM, Catálogo General 2005-2006. Página 5.15). [82]

En una escala cualitativa de 0 a 100, el valor máximo identificaría a la lámpara que consigue las mejores condiciones cromáticas para la percepción de los colores respecto a un iluminante de referencia. Este parámetro se usa para distinguir niveles de calidad cromática entre las lámparas del mercado, lo que a su vez se tiene en cuenta para el diseño luminoso de ambientes de trabajo, Tabla 2.8.1.

Para alumbrar las calles, por ejemplo, se colocan habitualmente farolas que generan una iluminación anaranjada, que no es práctica para percibir de forma natural los colores. El valor de rendimiento de color de las farolas convencionales no supera, generalmente, el valor 60, o sea que nunca alcanzan el nivel de calidad 2 de la tabla 2.8.1.

Estas lámparas ahorran consumo eléctrico, los ayuntamientos priorizan la reducción de costes en detrimento de una percepción más natural de los colores de calles y edificios.

En la mayoría de las situaciones, esto quizás no influya en el rendimiento visual de los viandantes, pero sí que podría influir negativamente en el de los trabajadores nocturnos, policías, servicios de limpieza, vigilantes de seguridad.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es el nivel absoluto de iluminación de la escena, en combinación con la apariencia cromática de la fuente de luz. Está bien establecido, a partir del estudio inicial de Kruithof (1941), que los seres humanos pueden considerar como psicológicamente agradables entornos iluminados con lámparas cálidas y frías, pero que la elección de la cromaticidad de la lámpara debe coordinarse con un rango óptimo de nivel de iluminación.

Así, el rango recomendado de nivel de iluminación para las farolas de 2000°K aproximadamente, no debe sobrepasar los 25 lx, ya que si se supera ese nivel de iluminación la sensación de calidez pasaría de ser confortable a *calurosa* o incómoda.



Figura 2.8.13. El rango confortable de nivel de iluminación debe ser superior a 500 lx, con un rango óptimo entre 1000 y 2000 lx. (*Imágenes de archivo personal, 2008*)

En las actividades profesionales que sea necesario una buena discriminación o igualación de colores, Tabla 2.81., es recomendable una apariencia fría de la luz y, si puede ser, buena simuladora de la luz diurna de unos 6500 °K.

Si el nivel de iluminación fuera muy bajo para esta apariencia fría de la iluminación, la sensación psicológica de frío se agudizaría y dejaría de ser percibida como confortable. Por eso, para sentirse cómodo en un ambiente luminoso frío es necesario aumentar el nivel de iluminación. Pero, en contraste, no es adecuado elevarlo excesivamente en ambientes luminosos cálidos.

Al igual que se usan los términos *cálido* y *frío* para la apariencia psicológica y cromática de la iluminación, se pueden extender para denominar el color de objetos, ya sean opacos, translúcidos o transparentes. Así, las relaciones internas de asociación de colores, técnicamente denominadas armonía de colores, son utilizadas en arquitectura, diseño o decoración, para crear combinaciones de colores visualmente confortables y nada estridentes, o que puedan generar reacciones psicológicas adversas, o *alterar negativamente el comportamiento de una persona*.

Aunque, por antonomasia, los colores rojos, amarillos y sus combinaciones se consideran cálidos, bien combinados pueden generar sensaciones positivas, y mal combinados pueden provocar efectos psicológicos negativos. Lo mismo ocurre con los tradicionales colores fríos: verde, azul y sus combinaciones. [18]

2.8.4. Factores de visibilidad.

Las tareas básicas del sistema visual como generador de información para interpretar el mundo son la detección, el reconocimiento y la discriminación. Las tareas se deben ajustar, desde un punto de vista visual, a niveles supraumbrales, para que puedan ejecutarse de forma confortable y evitar así fatiga visual, estrés, mayor probabilidad de errores/accidentes, disminución del rendimiento general.



Figura 2.8.14. El ejemplo más típico es el de la presbicia, o vista cansada, que suele aparecer a los 40 años en las personas que nunca habían llevado gafas y que a partir de esa edad deben renovar periódicamente sus gafas de lectura, y a veces de visualización de pantallas. (Imagen de la Revista Laboratorio y Análisis, Enero de 2008. Página 27).

Eso implica conocer cuáles son los límites de la visión humana en detección, reconocimiento y discriminación. Determinadas actividades profesionales tienen exigencias visuales de detección, reconocimiento y discriminación, diferentes, con lo que un buen ergonomista visual debe ser capaz de analizar bien la tarea y los requerimientos visuales mínimos necesarios para realizarla de forma segura y cómoda. [25]

Estos límites de la visión dependen también de la edad, ya que suelen ser cualitativamente peores con el aumento de los años. Nunca debe descuidarse en los sistemas de vigilancia de la salud visual de los trabajadores, sobre todo cuando ocupan el mismo puesto y realizan actividades similares durante varios años, incluso décadas.

Lo mismo ocurre con la agudeza visual o capacidad para reconocer objetos pequeños a diferentes distancias, puesto que disminuye lenta pero progresivamente a partir de los 20 años.

En cambio, en la percepción del color no se produce una disminución significativa de las capacidades de discriminación de colores con la edad, ni tan siquiera en las personas daltónicas, excepto aquéllas afectadas por una deficiencia cromática adquirida.

Conviene, según las capacidades visuales generales, detección, reconocimiento y discriminación, identificar qué factores externos o ambientales facilitan la ejecución de la tarea, independientemente de la edad del trabajador y de su estado de visión (CIE 95:1992; CIE 145:2002).

Además de la iluminación, son importantes la distancia, el tamaño del objeto, el contraste, luminotécnico y de color del objeto respecto el fondo de la escena, el color, el tiempo disponible para ver y realizar la tarea, el movimiento del objeto y las condiciones atmosféricas, por ejemplo al conducir un coche, una gran tormenta dificulta la visibilidad de la vía.



Figura 2.8.15. La presencia de un nivel alto de iluminación ambiental en una presentación digital en una reunión de trabajo, disminuye en gran medida, el contraste de la escena en la pantalla, lo cual resta gran visibilidad, a pesar de haber fijado un tamaño grande de letra. (Imagen de archivo personal, 2008)

Estos factores condicionan el nivel de visibilidad (V) de la tarea. En consecuencia, si la visibilidad aumenta, partiendo de un valor mínimo de 1, más confortablemente se realizará visualmente la tarea.

Desafortunadamente, no existe una fórmula empírica o ecuación general que relacione simultáneamente todos estos parámetros de visibilidad. Por tanto, es costumbre en ergonomía de la visión analizar la visibilidad de una tarea dejando una variable libre y fijando el resto, para ver si va a influir bastante o no.

Al visualizar el menú de la pantalla de un teléfono móvil a plena luz del día: hay que situarse en un lugar sombreado o colocar una sombra artificial para ver confortablemente la pantalla, a pesar de que tendrá un buen diseño de colores contrastables, un tamaño suficiente de tipografías. [18]

Tabla 2.8.3 Ejemplos de actividades e interiores adecuados para cada iluminación. (Adaptada de: *ERGONOMÍA Nº 30. Septiembre de 2006. Página 41*)

Iluminación (lx)	Características de la actividad/interior	Actividades/interiores representativos
50	Interiores visitados raramente, tareas limitadas al movimiento y a la visión casual sin percepción de detalles.	Túneles de cables, almacenamiento interno, depósitos y andenes.
100	Tarea anterior con percepción limitada de detalles.	Corredores, vestuarios y depósitos de mercancías.
150	Interiores visitados ocasionalmente, tareas con percepción de detalles o que implican cierto riesgo.	Compartimentos de carga, depósitos médicos, salas de conmutación.
200	Interiores continuamente ocupados, tareas sin percepción de detalles.	Monitorización de procesos automáticos, fundición de hormigón, salas de turbinas.
300	Interiores continuamente ocupados, tareas moderadamente fáciles.	Bibliotecas, gimnasios, salas de conferencias, aulas, salas de lectura, empaquetado de mercancías.
500	Tareas de dificultad moderada, con percepción del color.	Oficinas generales, montaje de motores, pintura y pulverización.
750	Tareas difíciles, buena percepción del color.	Oficinas de dibujo, cerámica de decoración, inspección de carne.
1000	Tareas difíciles, percepción precisa del color.	Montaje de componentes electrónicos, salas de calibración y de instrumental, retoques de pintura.
1500	Tareas extremadamente difíciles. Las ayudas visuales pueden ser una ventaja.	Inspección de reproducción gráfica, sastrería, grabación con cuña fija.
2000	Tareas excepcionalmente difíciles. Las ayudas visuales serán una ventaja.	Montaje de mecanismos minúsculos e inspección de tejido terminado.

Por lo tanto, si la visibilidad V aumenta, crece el confort visual, es decir, el rendimiento visual R (*visual performance* VP, en inglés) asociado a la tarea. Aunque depende de la tarea y de la función visual básica implicada, es habitual asociar el rendimiento visual con dos variables básicas: velocidad de ejecución y exactitud, es decir, cuenta favorablemente en el rendimiento visual que la tarea se realice sin errores y en el menor tiempo posible.

Los factores de visibilidad, tamaño, distancia, contraste e iluminación, entre otros, afectan el rendimiento visual. El británico Weston, en 1945, creó una experiencia básica que ha servido para diseñar experimentos de rendimiento visual según el tipo de tarea y, en particular, sus resultados se han usado para delimitar los niveles de iluminación recomendados en función de la exigencia visual de la tarea. [72]

La conclusión general del experimento clásico de Weston (North, R. V., 1996; Lillo, J., 2000; Boyce, P. R., 2003) es que es más efectivo para el rendimiento visual R que aumenten los tamaños de los objetos y su contraste (luminotécnico o de color), en vez de incrementar solamente la iluminación.

Las actividades laborales deben ejecutarse confortablemente a nivel visual y eso implica una coordinación entre la capacidad visual del individuo, que disminuye con la edad, y los factores de visibilidad, iluminación, color, contraste, tamaño y distancia de la tarea. Los ergonomistas establecen los criterios adecuados de vigilancia de la salud de los trabajadores y de selección de personal, según estos principios:

- ☯ El mismo rendimiento visual, no puede exigírsele a un trabajador de 50 años que a uno de 30, en la ejecución de la misma tarea, aunque el trabajador más veterano solventa parcialmente su desventaja de edad con mayor experiencia y/o destreza.
- ☯ Los requerimientos visuales mínimos para acceder a una profesión, como una prueba más de la selección de personal, debe elaborarse cuidadosamente. Se debe tomar en cuenta los factores de visibilidad que están implicados realmente en las tareas de la profesión, y las exigencias visuales mínimas en concordancia con el rango de edades posibles para este puesto de trabajo.
- ☯ Cuando existan diferentes tareas visuales asociadas al puesto profesional, cada una de ellas debe analizarse ergonómicamente por separado y establecer, si fuera necesario, estándares visuales laborales diferentes.

Estos principios comprenden un estándar visual laboral de la profesión con el siguiente condicionante de exclusión: una redistribución de la plantilla, es necesaria, si un candidato o trabajador no alcanza uno de los estándares visuales

laborales, según establezca el protocolo de vigilancia de la salud, cuando no supere la prueba general. [84]

Es competencia del empresario, y así está regulado oficialmente, que debe realizar los cambios oportunos para adecuar el entorno de trabajo a los niveles visuales confortables, así como vigilar por la salud visual de sus empleados.

Si el rendimiento visual de sus trabajadores no es óptimo, el rendimiento general del proceso productivo se verá afectado negativamente, con lo cual los beneficios para la empresa serían menores.

2.8.5. Efectos psicológicos de la iluminación y el color.

Está demostrado que el color provoca reacciones psíquicas y emocionales (CIE 139:2001; CIE 158:2004), por lo que la decoración del entorno es importante. Es interesante estudiar esos efectos en función de las diferentes categorías de colores.

Existen colores básicos: azul, rojo, verde, púrpura, amarillo, naranja y colores acromáticos: blanco, grises y negro. Según se combinen los colores del entorno se consiguen efectos diferentes. Para estudiar la armonía de dichas combinaciones, conviene ordenar los colores en una rueda de colores.



Figura 2.8.16. Rueda de colores para localizar los colores adyacentes, complementarios y opuestos. Los colores adyacentes son vecinos, uno al lado de otro. (Adaptado de Konica. Com.). [65]

Estos efectos, cuando se diseña el interior de cualquier espacio, deben de tomarse en cuenta. El objetivo es emular los colores de la naturaleza, lo que resulta familiar e identificable: colores tierra para el suelo, colores de follaje para las paredes y colores de la atmósfera para los techos.

Los colores complementarios están separados por otro color (tono). Los colores opuestos están uno enfrente del otro. En la tabla 2.8.4, se listan cuatro

categorías básicas de colores, indicando algunos de los efectos que producen en las personas.

Tabla 2.8.4. Efecto de algunos colores en la percepción humana. (Adaptada de: ERGONOMÍA Nº 30. Septiembre de 2006. Página 41)

Categorías	Colores	Efectos
Fríos	Azul, turquesa, violeta	Relajantes, lejanos
Cálidos	Amarillo, naranja, rojo	Dinámicos, excitantes, cercanos
Neutros	Blanco, gris, negro, marrón, plata	Adecuados para fondos
Marginales	Verde, magenta	Inducción y asimilación*

*Inducción: el color test se debía hacia el fondo. Asimilación: el color test se desvía hacia el tono adyacente del fondo.

La regla básica es que los colores más claros se distribuyan por encima del observador y que los más oscuros lo hagan por debajo. Además, otra pauta es que los colores chillones son más atrevidos, para seguidores de la moda, los colores grisáceos o pasteles son para los más reservados y los colores intensos y claros son más adecuados para los niños.

Las cualidades de los colores se resumen en la tabla 2.8.5. La ergonomía en la decoración del espacio juega un papel muy importante, ya que la forma en que se utilice el color en las paredes, el techo y el suelo puede alterar dramáticamente la apariencia de las proporciones del entorno, así como su efecto sobre las personas.

Es posible modificar el largo, ancho y alto de una habitación con el simple uso del color. Los colores fríos tienden a alejar, *empujan hacia atrás* las paredes y hacen sentir más espacioso un ambiente.

Los colores luminosos también logran este efecto. Por el contrario, las paredes pintadas con colores cálidos u oscuros parecen estar más cerca. Las grandes habitaciones con cielos rasos muy altos pueden resultar poco confortables, por eso si se pintan las paredes y el cielo raso con colores cálidos *tranquilos*, se logrará un ambiente más acogedor.

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) ha publicado algunos informes sobre los efectos de la iluminación que llega al ojo en la psicología y el comportamiento humano (CIE 158:2004).

Los puntos principales son los siguientes:

- *Ritmos circadianos de comportamiento*: la distribución de diferentes temperaturas a lo largo del día influye en el ritmo de funcionamiento del organismo, que es menor por la mañana temprano y con picos en la tarde. El estado de humor también se ve afectado por este ritmo, el ímpetu tiende a declinar conforme pasa el día mientras que el cansancio o la tristeza aumentan.

Tabla 2.8.5. Cualidades positivas y negativas de algunos colores básicos. *Adaptada de: ERGONOMÍA N° 30. Septiembre de 2006. Página 43).*

Colores	Cualidades positivas	Cualidades negativas
Blanco	Nieve, pureza, inocencia, paz, claridad, limpieza.	Frío, clínico, vulnerabilidad, palidez mortal, rendición, esterilidad.
Negro	Noche, carbón, potencia, estabilidad, formalidad, solidez	Miedo, vacío, muerte, secreto, anonimato, maldad.
Gris	Inteligencia, madurez, riqueza, dignidad, dedicación, moderación.	Confusión, decaimiento, concreto, sombra, depresión, aburrimiento.
Rojo	Victoria, pasión, amor, intensidad, energía, sexualidad.	Sangre, guerra, fuego, peligro, cólera, satánico.
Amarillo	Sol, verano, serenidad, oro, trigo, innovación.	Cobardía, traición, celos, envidia, riesgo, enfermedad, locura.
Verde	Vegetación, naturaleza, primavera, fertilidad, esperanza, seguridad.	Decaimiento, inexperiencia, envidia, codicia, fuga, mala suerte.
Azul	Cielo, mar, espiritualidad, estabilidad, paz, unidad.	Frio, depresión, melancolía, obscenidad, misterio, conservación.

- *Efectos de la exposición a la luz según el momento del día*: el reloj biológico es sensible sólo a puntos específicos en el ciclo diario.
- *Al despertar*, la activación física y mental responde a la estimulación externa y la exposición a una iluminación brillante por la noche también tiene efectos fisiológicos y de comportamiento. Todo esto se debe a que cuanto mayor es la iluminación más aumenta el nivel de actividad.
- *Ritmo de funcionamiento*. Algunas teorías indican que cada comportamiento lleva asociada una función de actividad con forma de U invertida, de manera que para una situación particular hay un pico de actividad. Además, si cuanto mayor es la iluminación, aumenta el nivel de acción, también mejora el funcionamiento. Pero influyen otros aspectos como el tipo o la duración de la tarea a realizar y los resultados son

difíciles de predecir. Las personas se adaptan a nuevos niveles de iluminación y pueden funcionar bien en un amplio rango de condiciones.

- *Humor y confort.* Los individuos pasan más del 50 por ciento de las 24 horas del día bajo niveles medios de iluminación (0.1- 100 lx) y un 4 por ciento bajo niveles altos (más de 1000 lx). Algunos estudios indican que las personas muestran mejor humor si la iluminación es de 2000 lx que si es de 300 lx, que en los meses de verano mejora la vitalidad y el humor, y que también aumentan al participar en actividades deportivas bajo luz brillante.
- *Efectos de la exposición a la luz por la noche:* niveles altos de iluminación en sesiones de trabajo nocturnas mejoran el funcionamiento, pero no hay estudios que relacionen tareas y niveles de iluminación específicos. En cuanto al estado de humor, la luz brillante no parece tener el mismo efecto que durante el día.
- *Efectos en los cambios de fases circadianas:* El *Jet lag* resulta de un transporte rápido a través de varias zonas horarias. Mientras se reajusta el reloj biológico a la nueva zona geofísica, muchas personas padecen insomnio, desórdenes gastro-intestinales, irritabilidad, depresión y confusión. Dependiendo de la dirección (este-oeste) del viaje y del número de zonas horarias atravesadas, el organismo puede necesitar entre 3 y 12 días para reajustarse.
- *Algunos estudios demuestran* que la adecuada exposición a luz brillante puede prevenir o disminuir estos efectos al ajustar el ritmo circadiano a la nueva zona horaria. Este ajuste debe ser en el sentido de avanzarlo (vuelo en dirección este) mediante exposiciones luminosas durante la mañana, o de retrasarlo (caso contrario) mediante exposiciones al final de la tarde.
- *Trabajos por turnos:* situaciones en que se cambian radicalmente las horas de sueño y de trabajo. Al igual que en el caso anterior, la exposición adecuada a una iluminación brillante junto a la evitación también adecuada de luz puede minimizar los síntomas. [70]

Otro informe de la C. I. E. (C. I. E. 139:2001) se centra en los efectos de la luz natural y la artificial en variaciones estacionales y diurnas en las personas. Los efectos estudiados comprenden las variaciones fisiológicas y psicológicas entre el día y la noche, durante el ciclo menstrual y a lo largo de las diferentes estaciones del año.

Los temas estudiados son: ritmos biológicos, desfase de horario, variaciones estacionales de las hormonas, síndrome de depresión estacional, terapia luminosa, otros tipos de variaciones estacionales, síndrome premenstrual, entorno sin luz natural, características de la iluminación, diferencias entre individuos y grupos.



Figura 2.8.17. Los efectos de la luz en las obras pictóricas, causan una sensación de realismo. (*La bajada de la cruz*, fresco en la Iglesia de Gualupita, Estado de México. Archivo personal. 2007)

2.8.6. Efectos terapéuticos del color.

Dada la influencia de la luz en el comportamiento, cabe pensar que dicha influencia puede ser aprovechada desde el punto de vista terapéutico, con el fin de evitar o paliar en lo posible algunos síntomas. [80][57][11][96]

- Ψ *Desórdenes de humor estacionales.* Depresiones estacionales (primavera y otoño) que llevan asociado un descenso de la energía física, menor actividad del sistema inmunológico, necesidad de sueño, aumento del apetito etcétera. En las latitudes más al norte es mayor el grado de incidencia. El 65 por ciento de los pacientes tratados con terapia de luz han vuelto a valores normales, utilizando exposiciones de 10000 lx durante 30-45 minutos a primeras horas de la mañana. La luz blanca y la de espectro ancho verde producen efectos similares y mejores que otras cromaticidades, al menos en este tipo de desórdenes.
- Ψ *Otros desórdenes como los alimenticios y menstruales.* Existen otros casos que no están tan bien estudiados como el anterior, pero aquellos síntomas similares a las depresiones estacionales son tratados de la misma forma.
- Ψ *Desórdenes del sueño.* Retrasos en el ciclo de sueño pueden ser tratados con exposiciones a luz brillante por la mañana. Los adelantos del ciclo son más raros, pero pueden tratarse con exposiciones por la

noche. El insomnio suele aumentar con la edad y casi siempre corresponde a un adelanto del ciclo de sueño, que puede tratarse como se ha comentado anteriormente.

- Ψ *Ritmos circadianos.* Influyen en muchos sistemas, como la función gastrointestinal o el sistema inmunológico. La combinación de los efectos de la luz y el estado de la persona puede influenciar el efecto de tratamientos y medicación. Es lo que se conoce como *chronoterapia* o *chronofarmacología*. Por ejemplo, se han utilizado exposiciones durante la noche para el cáncer o durante el día para la hipertensión. Pocos estudios documentan estos efectos, pero es un campo en avance.
- Ψ *Desórdenes neurológicos, como el Alzheimer.* Los pacientes con desórdenes neurológicos presentan también alteraciones de sus ritmos circadianos debido a que permanecen durante poco tiempo expuestos a iluminaciones brillantes. Un tratamiento adecuado aumentando la iluminación durante las horas del día puede producir mejoras en sus síntomas. En los últimos años se han desarrollado algunas técnicas, como la *Fototerapia*, que estudia las propiedades terapéuticas de los fotones y su aplicación en beneficio de la salud humana. Aunque se pueden encontrar resultados favorables para algunas sintomatologías, su escaso rigor científico hace dudar de sus aplicaciones y resultados.

La apariencia se suele aludir en un sentido amplio, a una serie de aspectos visuales en los que se incluye el color, la textura, el brillo, la translucencia, la transparencia e incluso, a veces, la forma y tamaño de los objetos (Hunter 1975: v; Green-Armytage 1989: 1).

En este contexto se suele definir al color como el aspecto de la apariencia que resulta de las diferencias en la *distribución espectral* de la luz, aquello a que nos referimos cuando decimos que algo es rojo, verde, azul, amarillo, blanco, negro o de cualquier otro tono intermedio. [25]

Existe todo un campo que se refiere a aquellas condiciones que producen diferencias en la *distribución espacial* de la luz y que hacen que veamos algo como transparente, traslúcido, especular, brillante y mate.

Para estas últimas sensaciones visuales no existe aún un término genérico que tenga aceptación general. Hunter (1975: 4) se refiere a estos aspectos como atributos geométricos de la apariencia, incluyendo también la textura bajo este rótulo; Green-Armytage (1989: 1) los diferencia de la textura y los denomina cualidad de las superficies; Jannello acuñó el término *cesía* (Jannello 1984: 1; Caivano 1991: 259), el cual también excluye la textura y parece apropiado para nombrar a un objeto de estudio que es independiente del color no obstante estar estrechamente relacionado con el mismo.

Así, el término *cesía* se utiliza aquí para las sensaciones visuales que dependen de la distribución espacial de la luz, de la misma manera que el término

color se utiliza para las sensaciones visuales que dependen de la distribución espectral de la luz.

Es posible construir un atlas de cesías que sirva para la comparación visual de cualquier muestra de material. Quizás la mayor dificultad reside en el hecho de que se necesitan diferentes geometrías de observación para la evaluación visual de las distintas muestras. Asimismo podrían establecerse estándares de medición de los estímulos de las cesías.

Cualquier color puede ser llevado a las sensaciones primarias de cesía, es decir a los extremos de transparencia, translucencia, reflexión especular, reflexión difusa y absorción, pasando por todos los grados intermedios. Incluso las sensaciones primarias, a excepción de la absorción, como el negro, pueden tener selectividad espectral; podemos tener una transparencia coloreada, una translucencia coloreada, una reflexión especular coloreada y, por supuesto, una reflexión difusa coloreada (como en cualquier color mate).

Las diferentes cesías en que puede aparecer un color pueden ser explicadas adecuadamente en términos de la teoría tricromática refiriendo las variables o dimensiones de cesía a cada una de las componentes primarias, azul, verde y roja. [22]



Figura 2.8.18. La apariencia derivada de la utilización de materiales translucidos y opacos, como es el caso de los vitrales en algunas iglesias, conforman un espacio que estimula los sentidos para llegar a estados alternativos de conciencia. (*Iglesia de Gualupita, Estado de México. Imágenes de archivo personal. 2007*)

Así, por ejemplo, todos los colores del atlas Munsell, versión mate, incluyendo la escala de grises, tienen lugar en la línea del sólido de cesías que va del mate al absorbente (o en líneas equivalentes, si asignamos un sólido de cesías

para cada tinte y saturación diferentes), variando la posición de cada color sólo en función de su claridad.

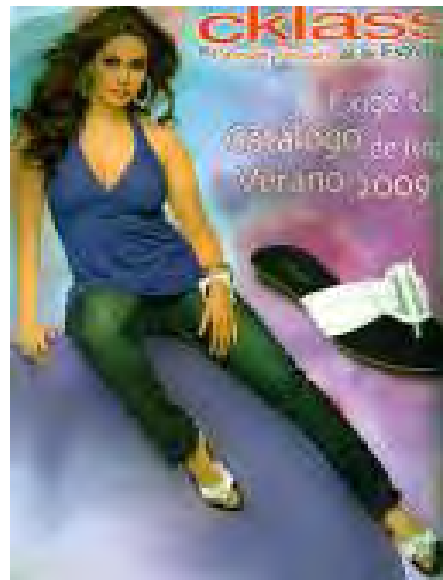
A partir de esto, y usando la técnica de la mezcla óptica con discos giratorios, es posible igualar cualquier sensación de cesía que se presente asociada con cualquier color.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.8.19. De la moda celestial a la moda terrenal, dos mil años de evolución. (Imágenes archivo personal y del Instituto de la Indumentaria de Kioto, Japón. 2002). [47]



Hombres Necios que acusáis a la mujer en vano...
Sor Juana Inés de la Cruz

CAPITULO 3: Desarrollo Experimental.

3.1 Planteamiento experimental.

El diseño experimental consiste en realizar tres pruebas para evaluar la capacidad visual de un sujeto que está involucrado laboralmente en la toma de decisiones de la discriminación de color, las pruebas son las siguientes:

1. *Agudeza visual cercana.*
2. *Pruebas de discriminación de color con cartillas de Ishihara.*
3. *Pruebas de discriminación del color utilizando el método de Farnsworth-Munsell 100 Hue Test.*

La prueba de *agudeza visual cercana*, utilizando la cartilla de Jaeger, nos indicará si el sujeto participante, tiene una deficiencia visual como miopía o presbicia entre otras, que contribuyan como factor a los resultados de las pruebas subsecuentes de discriminación del color.

La *prueba de Ishihara*, es una prueba preliminar para detectar anomalías en la discriminación del color.

La *prueba de discriminación del color utilizando el método de Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)*, nos permitirá conocer el grado de habilidad que el sujeto tiene para la discriminación del color.

Las pruebas de agudeza visual y de Ishihara, se realizan con luz natural de día, la prueba de Hue Test, se realiza con tres iluminantes diferentes, luz natural de día, iluminante D65 e iluminante tipo A (de filamento). Esto con la finalidad de establecer un umbral de percepción entre iluminantes, este análisis es de forma cualitativa.

La prueba de *Hue Test*, se diseñó para realizar un análisis estadístico utilizando el modelo matemático 2^k , donde se buscará la relación que involucre la razón de Weber, involucrando *el hue, croma y la luminancia*, la prueba que utilizaremos para el análisis estadístico es la que se realice con luz natural de día.

Para observar el cambio de color, al estar expuestos tres diferentes textiles de colores, rojo, verde y azul, cuando son expuestos a iluminantes D65, A, en una cabina de iluminación, se calculará el valor del color digitalmente, en el sistema de color CIE $L^*a^*b^*$, utilizando el programa Adobe Photoshop versión 7.0. Este resultado es de forma cualitativa se compararan las coordenadas y se mostrará como los textiles cambian su color al ser expuestos a diferentes iluminantes.

Se tomaron fotografías de frente y de perfil, de los sujetos participantes, para realizar un análisis antropofísico, y establecer la relación del campo visual

con los resultados de las pruebas, se les solicitó su autorización para ser publicadas, en este trabajo, las fotografías, aceptando.

3.2 La población de estudio.

La población de estudio está integrada por sujetos, seleccionados al azar, de dos empresas integrantes de la Cámara Nacional de la Industria del Vestido, la cual proporcionó el apoyo y los contactos.

Comercializadora Arush, S. A. de C. V.

Av. Gustavo Baz No. 58, Bodega 3.

Colonia San Pedro Barrientos.

Tlanepantla de Baz, Estado de México.

Teléfono 5321 3870 extensión 2014.

Contacto Ing. Michael Cano.

Esta empresa contribuye con 12 sujetos, que laboran en distintas áreas, como, diseño, adquisiciones, control de calidad, corte y patronistas. La empresa se dedica a la confección, maquila y distribución de prendas de vestir. Entre sus clientes se cuentan las tiendas departamentales Liverpool y Suburbia, entre otras.

Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V.

Av. División del Norte No. 3442 tercer piso.

Colonia Xotepingo.

Delegación Coyoacán. México D. F.

Teléfono 5336 5178.

Contactos. Ing. María del Rocío Arroyo Rivera e Ing. Francisco Velázquez.

Esta empresa contribuye con 6 sujetos, que laboran realizando pruebas de laboratorio, a los textiles y prendas de vestir. Cuenta con una amplia cartera de clientes que solicitan sus servicios profesionales.

A la muestra seleccionada se le realizó un cuestionario con su filiación más importante. Nombre, edad, enfermedades preexistentes, ocupación, entre otros. Estos datos serán analizados con un método estadístico descriptivo.

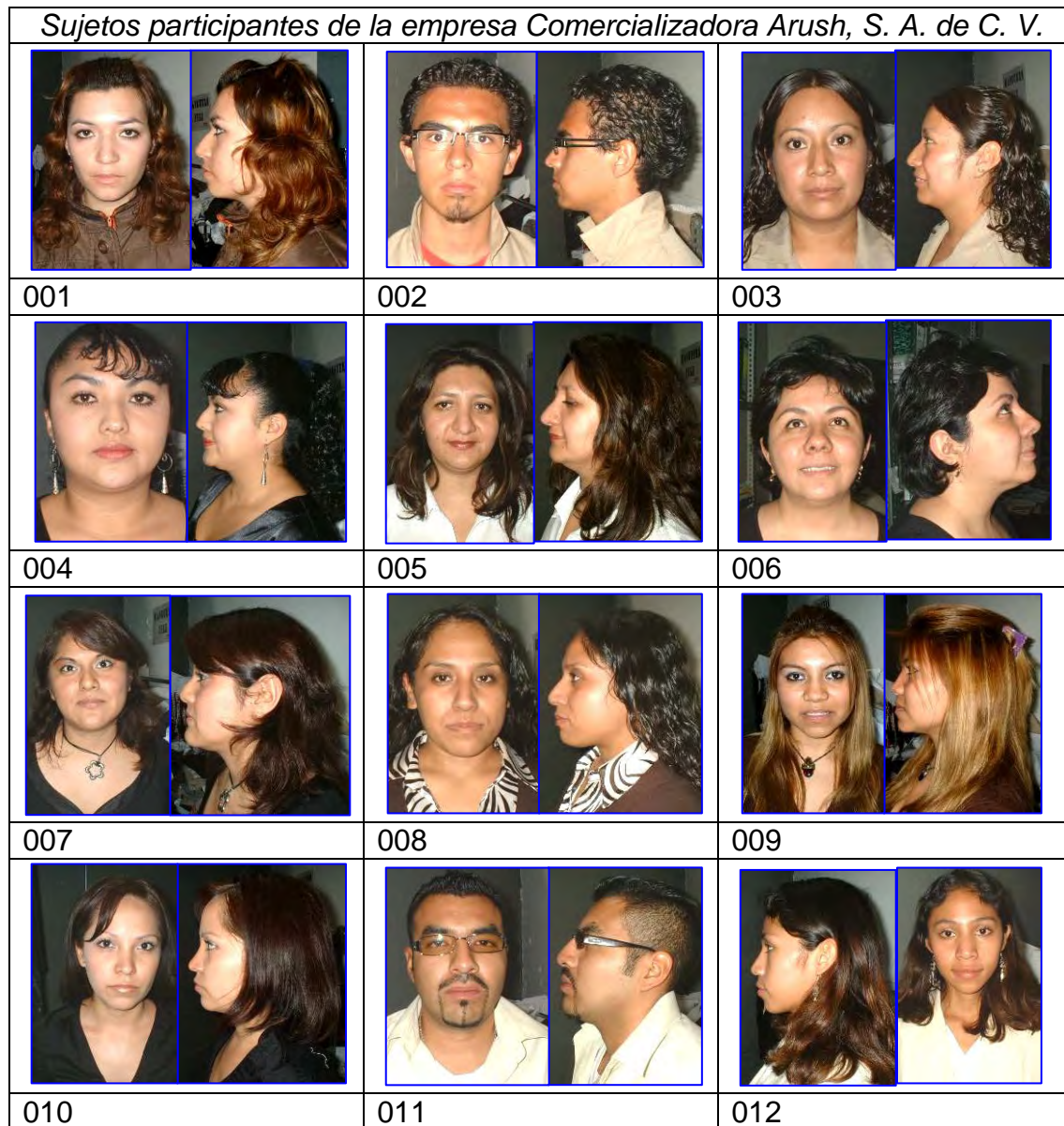


Figura 3.2.1. Sujetos participantes de la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V.

Los sujetos 010 y 011 sólo realizaron la primera evaluación y se tomaron en cuenta para el análisis estadístico

En la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V., participaron seis sujetos. A tres de ellos se le realizaron las pruebas en el mismo día con una diferencia de aproximadamente cuatro horas.



Figura 3.2.2. Sujetos participantes de la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V.

A los sujetos 016, 017 y 018, se le realizaron las dos evaluaciones el mismo día, con una diferencia de cuatros horas.

3.3 Prueba de agudeza Visual.

La prueba de agudeza visual cercana se realizó con la cartilla de Jaeger. La prueba de agudeza visual cercana es una prueba que se utiliza para determinar las letras más pequeñas que una persona puede leer en una tabla o tarjeta estandarizada sostenida a una distancia de 30 a 45 cm.

No se necesita preparación especial para este examen. Esta prueba no ocasiona ningún tipo de molestia. Los resultados anormales pueden indicar que el paciente necesita lentes correctivos para poder lograr una visión normal o pueden indicar una condición ocular que requiera una evaluación adicional.

Se deben retirar los anteojos o los lentes de contacto, pero en este caso se realizaron con los anteojos. Ambos ojos deben permanecer abiertos y uno de ellos cubierto con la palma de la mano, con un vaso de papel o con un trozo de papel mientras se lee en voz alta la línea más pequeña de las letras que la persona pueda leer en la cartilla de Jaeger.

Prueba de Agudeza Visual (AV). Visión cercana (Jaeger).

- (J14, 20) La AV de una persona está determinada por la densidad de conos estimulados, por la calidad de los medios refringentes del ojo, por la cantidad de luz que llega a la retina de acuerdo al diámetro pupilar y por el contraste (diferencia de intensidad) de los objetos observados.
- (J12, 18) A la persona se le puede pedir que lea letras o números de una tarjeta sostenida a 14 pulgadas (35 cm) de la cara, con el fin de evaluar la visión cercana.**
- (J11, 16) Se ha mencionado que la AV “normal” (20/20 ó 6/6) es la capacidad de resolver un patrón espacial separado por un ángulo visual de 1 minuto de arco (60 minutos de arco es igual a 1 grado).**
- (J10, 14) La agudeza visual se expresa como una fracción. El número superior se refiere a la distancia entre el paciente y la tabla, la cual es generalmente de 20 pies (6 m). El número inferior indica la distancia a la que una persona con vista normal podría leer la misma línea que la persona leyó correctamente. Por ejemplo, 20/20 se considera normal; 20/40 indica que la línea que el paciente leyó correctamente a los 20 pies (6 m) pudo ser leída por una persona con visión normal a los 40 pies (12 m).
- (J9, 12) La hipermetropía es el resultado de la imagen visual enfocada detrás de la retina y no directamente sobre ella y puede ser causada por el hecho de que el globo ocular es demasiado pequeño o el poder de enfoque es demasiado débil. La hipermetropía a menudo está presente desde el nacimiento, pero los niños con frecuencia pueden tolerar cantidades moderadas sin dificultad y la mayoría superan el problema con el tiempo. Una persona con hipermetropía ve claramente los objetos lejanos, mientras que los objetos cercanos los ve borrosos.
- (J8, 10) La hipermetropía se puede corregir fácilmente con el uso de gafas o de lentes de contacto y existen técnicas quirúrgicas para corregirla en aquellas personas que no deseen usar estos elementos.
- (J6, 8) Prueba de agudeza visual tanto a distancia (Snellen) como cercana (Jaeger)

(J5, 6) La hipermetropía puede ser un factor de riesgo para el desarrollo de glaucoma y ambliopía.

(J2, 4) Los fotorreceptores se localizan en la capa más externa de la retina y son los encargados de convertir la energía luminosa en eléctrica. Se calcula que hay en la retina unos 100 millones de fotorreceptores, de los cuales unos 7 millones son conos. El proceso de fototransducción es posible gracias a la sensibilidad de los fotopigmentos de la luz.

Figura 3.3.1. Cartilla de Jaeger, para la prueba de agudeza visual cercana. (Tomada de José R. T., (1988). *Visión Subnormal*. Madrid: ONCE)

Si el sujeto no está seguro de la letra, puede adivinar. Se repite el procedimiento con el otro ojo. Si es necesario, la prueba se repite luego usando los anteojos o los lentes de contacto.

En la figura 3.3.1., se muestra la cartilla, en tamaño original, que se imprimió en una impresora EPSON Estilus C42, de inyección de tintas, de 1200x600 pixeles; en blanco y negro, en papel opalina mate. Se midió la temperatura (°C), la humedad (%), la iluminación en lux, y la hora de la prueba.



Figura 3.3.2 Higroómetro, reloj y termómetro, marca IT-202. Medidor de ambiente marca Lutron modelo LM-8000, 4 en 1 Aneómetro, higroómetro, medidor de luz y termómetro.

Para medir la iluminación se utilizó un luxómetro marca *Lutron modelo LM-8000*. Con un rango de sensibilidad de 0 a 20,000 lux $\pm 5\%$. Tiene un diodo sensor de luz y corrector de color calibrado bajo los parámetros de la C.I.E. para un espectro de visión fotópica. El equipo es de uso comercial, por lo que las mediciones son de forma cualitativa para indicar valores aproximados.

Las pruebas de agudeza visual cercana se realizaron de forma individual. A cada sujeto se le solicitó se cubriera con una mano, primero el ojo izquierdo y leyera la cartilla, posteriormente se le solicitó que realizara el mismo procedimiento para el ojo derecho. El sujeto leía los párrafos con las letras más grandes ((J14,20) hasta donde dejara de distinguir las letras más pequeñas (J2,4).

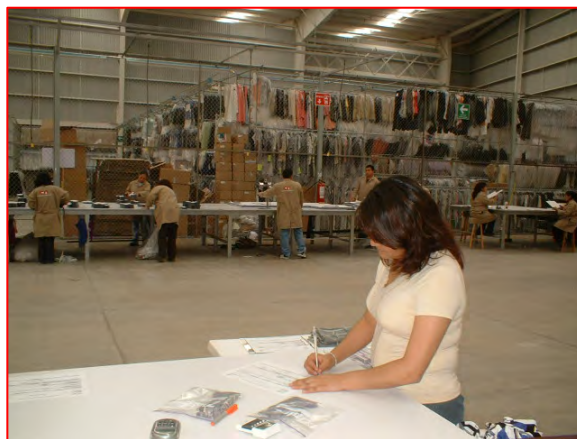


Figura 3.3.3. Ambientación en la Fábrica de ropa Comercializadora Arush, S. A., previo a la prueba de agudeza visual.

La prueba se realizó en dos ocasiones, en días diferentes. Sólo a tres sujetos se le realizaron las pruebas el mismo día pero con 4 horas de diferencia.



(a)

(b)

Figura 3.3.4. La prueba se realizó con iluminación de luz natural. (a) La iluminación natural en Comercializadora Arush, S. A. de C. V. fue a través de tragaluces. (b) En los Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V, la iluminación fue a través de ventanas.

El personal del INAOE, que aplicó las pruebas portaba una bata gris oscura, se le solicitó a los sujetos experimentales, llevaran ropa blanca, negra o gris.



Figura 3.1.3. Llenado del cuestionario, los participantes llevan batas blancas, el aplicador de la prueba, Ing. Jorge Antonio Veliz Suárez del INAOE, bata gris Oxford.

3.4 Prueba de Ishihara.

La prueba de Ishihara, permite detectar deficiencias rojo verde (protán y deután) mediante el método de confusión. Está constituido por 24 láminas coloreadas, divididas en dos grupos: 16 con números y 8 formadas por trazos sinuosos que han de seguirse.



Figura 3.4.1. Se le solicitó al sujeto se tapara un ojo con una de sus manos y procediera a identificar los números o siguiera los caminos puestos en las cartas de Ishihara. Esto se realizó para cada uno de los ojos. Prueba realizada en la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V.

La prueba se realizó con luz natural a una distancia de observación de 75 cm. El sujeto identificó en un tiempo de 2 a 3 segundos, el número o la trayectoria. Dependiendo de las respuestas se determina si existe alguna anomalía y el tipo.

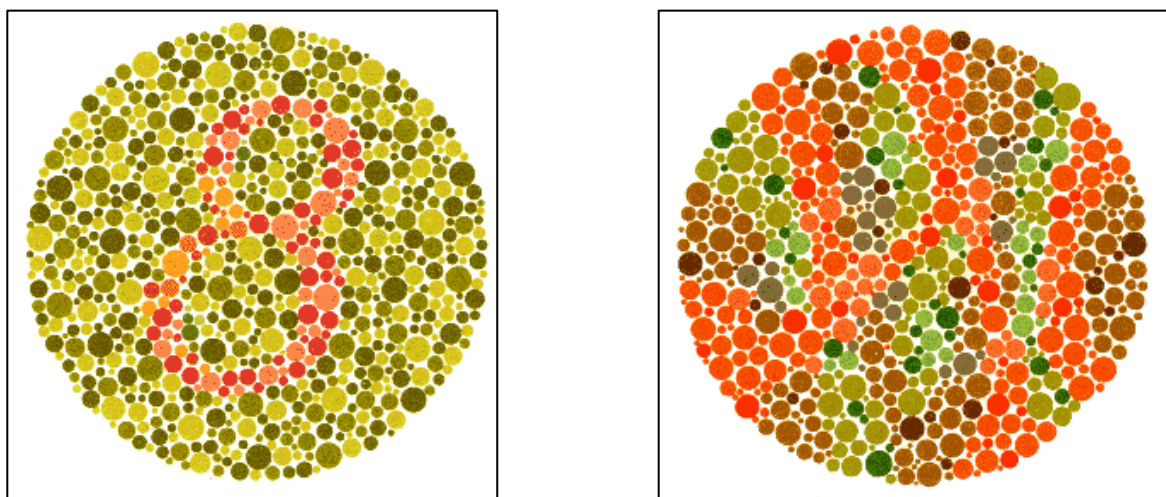


Figura 3.4.2. Las Cartillas de Ishihara son 24, y se encuentran todas en el anexo D. (a) Cartilla con un número. (b) Cartilla en la cual hay que seguir un camino.

La prueba de discriminación de color con cartillas de Ishihara, se realizó en dos ocasiones, en días distintos, sólo tres sujetos la realizaron el mismo día con 4 horas de diferencia. Se registró la temperatura ambiente, la humedad, la iluminación y la hora de la prueba.



Figura 3.4.3 Se le solicitó al sujeto marcara en la hoja de registro, el camino adecuado. Prueba realizada en la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V. (a) Cartillas de Ishihara. (b) Hoja de resultados.

Las láminas fueron impresas con el atributo de color automático, bajadas directamente de Internet, en una impresora Epson Estilus C42, de 1200x600 pixeles, en papel opalina mate y se encuadernaron.

3.5 Prueba *Farnsworth-Munsell 100 Hue Test*.

La prueba de discriminación al atributo de hue (*Farnsworth-Munsell 100*), examina la capacidad de la discriminación en este atributo del color, es de uso frecuente en usos vocacionales y de diagnóstico. Está diseñada para determinar anomalías de la visión de color y la discriminación de color detallada. La prueba ha demostrado proporcionar resultados confiables de la evaluación de la visión de color, la cual se puede aplicar a muchas situaciones ocupacionales y psicológicas.

El *Farnsworth-Munsell 100*, permite detectar todo tipo de anomalías en la percepción del color (incluidas las de tipo tritán), mediante un método de ordenación. Consta de 85 fichas, numeradas por detrás, con diferente hue pero igual luminancia y saturación.

Las fichas están divididas en 4 grupos. Hay que utilizarlo sobre fondo acromático mate, o en una cabina de iluminación, evitando deslumbramientos. El sujeto ha de ordenar las fichas de cada estuche en 2 minutos. En cada estuche se tienen dos fichas de referencia fijas, la inicial y la final, según los números de las

fichas se realizan los cálculos para dibujar la gráfica correspondiente en una hoja de control. Comparando la gráfica obtenida con las gráficas patrón se determina si existe alguna anomalía y el tipo.



Figura 3.5.1. Grupos de fichas colocadas ordenadamente de forma cromática en las dos bandejas inferiores. Los extremos de cada bandeja son fijos. Los estuches 1, 2 y 3, contienen 23 fichas, el estuche 4, 24 fichas. En los estuches superiores se invirtió el orden para destacar la orientación de las fichas.

El equipo incluye:

- Cuatro estuches de 20 " x 1.75 " x 1.25 " .
- Contiene un total de 85 fichas numeradas con *hue* graduales.
- El tamaño de la referencia del color es 7/16 " diámetro.
- Cada ficha se numera en la parte posterior para permitir el registro de su colocación por parte del sujeto evaluado.
- Esta prueba incluye el programa que grafica la cuenta de la totalidad de errores o permutaciones introducidas durante el acomodo de las fichas correspondientes a cada estuche.

3.5.1. Farnsworth Munsell 100 en coordenadas polares.

Una persona normal sólo colocará de forma errónea una o dos fichas y la hoja de puntuación aparecerá como una protuberancia. Sin embargo, en las diferentes anomalías de color, el esquema se deforma a lo largo de un eje específico.

El eje de deformación es típico para una deficiencia de color determinada, la protanomalia, la deuteranomalia o la tritanomalia. Los sujetos con deficiencias de color adquiridos inespecíficos suelen cometer errores en todas las zonas del círculo cromático.

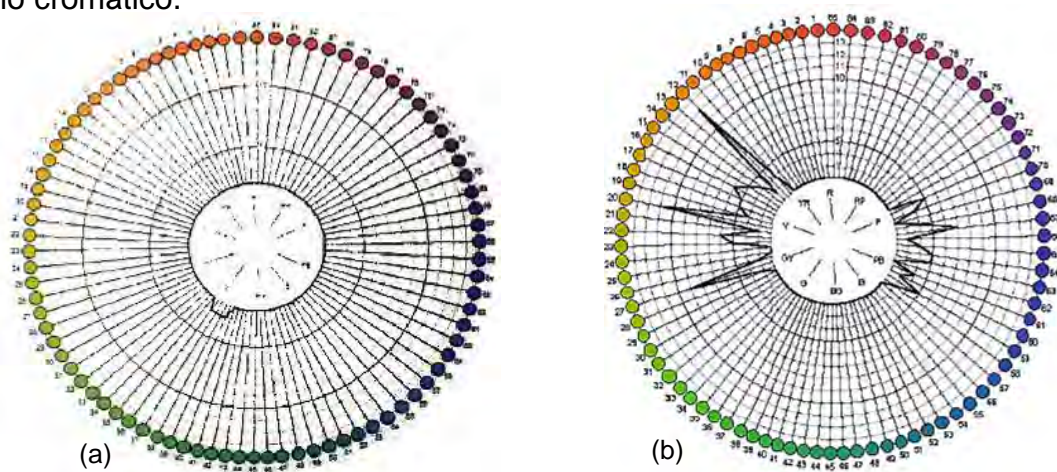


Figura 3.5.2. (a) Gráfica polar para un sujeto normal con una o dos permutaciones. (b) Gráfica esperada para una persona con alguna anomalía en la visión del color. Los números alrededor de la secuencia cromática son los números de la ficha.

Se realizaron pruebas con luz natural y con iluminantes D65 y C, utilizando en estos casos una caja de luces.

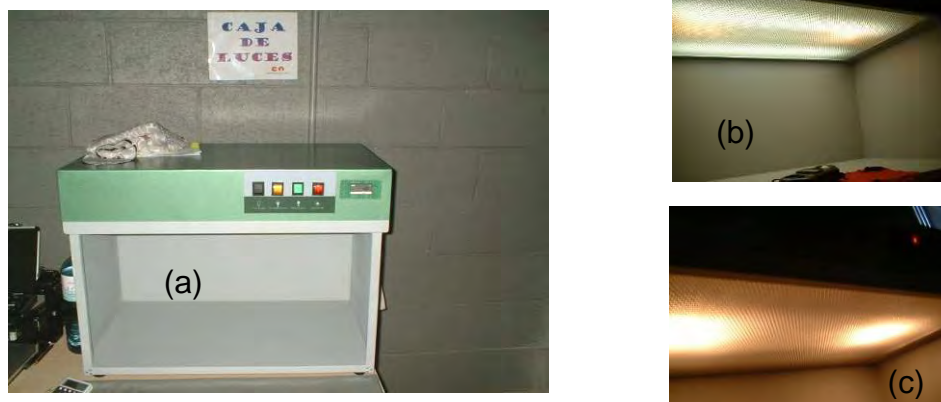


Figura 3.5.3. (a) Cabina de iluminación de la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V., carece de manual y de bitácora. (b) Iluminante D65. (c) Iluminante tipo A (filamento). En cada prueba se midió la iluminación, temperatura, humedad y la hora.

La cabina de iluminación de la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V., carece de manual para determinar las especificaciones, sólo mencionaron que es hechiza, ya que carece de marca. No contaban con bitácora de uso para conocer el tiempo de uso de las fuentes de la cabina.



Figura 3.5.4. Aplicación de la prueba *Farnsworth-Munsell 100*, con luz natural en la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V., el aplicador de la prueba da las instrucciones para su realización.

La caja de luces de la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V., tiene las siguientes especificaciones:

Interruptor	Funciones
O/I	Interruptor de encendido/apagado. Debe de estar en apagado cuando no se use la caja de luces.
D65	La luz de día artificial de lámpara fluorescente, con las especificaciones estándares internacionales, con tolerancia descrita en la norma B. S.959 parte 1:1967.
D652	Es un nivel adicional para la luz de día artificial. Sirve para tener una mejor reflectancia del color. (nota del fabricante)
F	Luz de filamento tipo A, requerido para la norma B: S. 950 para prueba de meterismo y apariencia bajo luz doméstica.
TL84 o TL83	Son usadas en la mayor parte de tiendas punto de venta.
UVB	Luz ultravioleta para detectar la presencia de partículas fluorescentes y defectos.
HM (contador de horas de uso)	Contador de horas de uso de la caja de luces. Este indica cuando deben ser remplazadas las lámparas. Para la D65 y la tipo TL se recomienda cada 2000 horas, de acuerdo a la norma B. S. 9550.

Tabla 3.5.1. Especificaciones de la cabina de iluminación de la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A, de C. V.

La prueba se puede aplicar a cuatro personas simultáneamente, ya que no importa el orden de los estuches para los resultados finales. Una persona puede estar ordenando el estuche 1, otra el 2, y así sucesivamente, al terminar cada sujeto su estuche, éste pasa a la siguiente persona, hasta que cada una realice los cuatro.

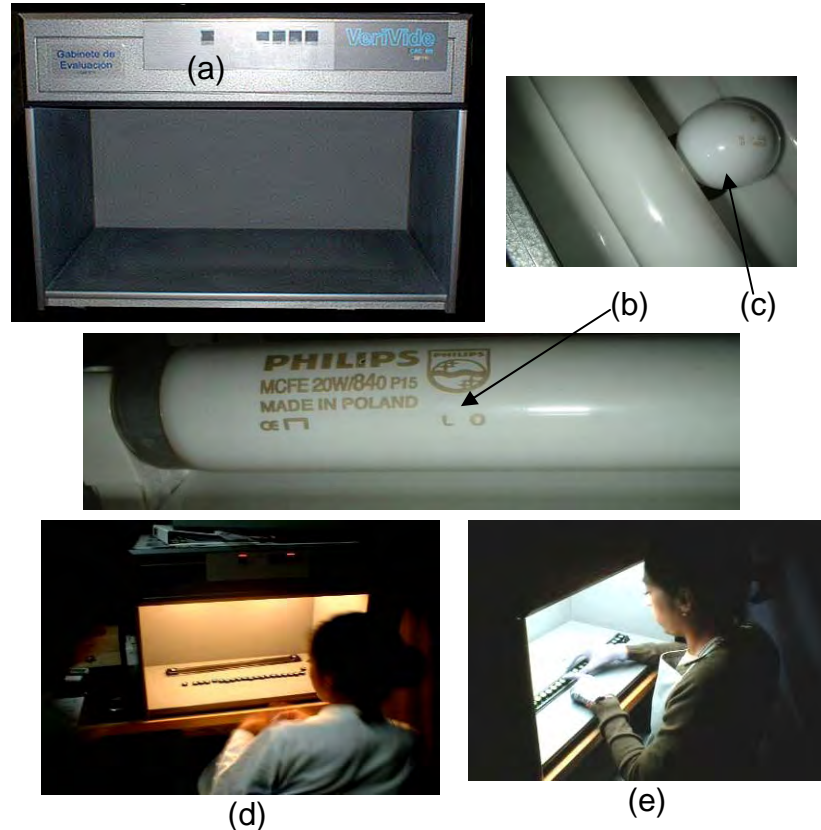


Figura 3.5.5. (a) Cabina de iluminación marca VeriVide modelo G210, perteneciente a la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V. (b) Iluminantes D65. (c) Iluminante tipo A, filamento. (d) Cabina con iluminante C. (e) Cabina con iluminante D65.



Figura 3.5.6. Explicación por parte del aplicador de la prueba, a los sujetos participantes, como se acomodan las fichas del *Farnsworth 100 hue test*. (a) Explicación de la prueba por parte del aplicador en la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V. (b) Equipo y estuche *Farnsworth 100 hue test*.

El mantenimiento periódico de las cabinas de iluminación es recomendado para tener una mejor eficiencia en su funcionamiento. El fabricante recomienda cambiar todas las lámparas a las 2000 horas de uso. La cabina puede ser repintada con la pintura 5574 de acuerdo a la norma B. S. 950.

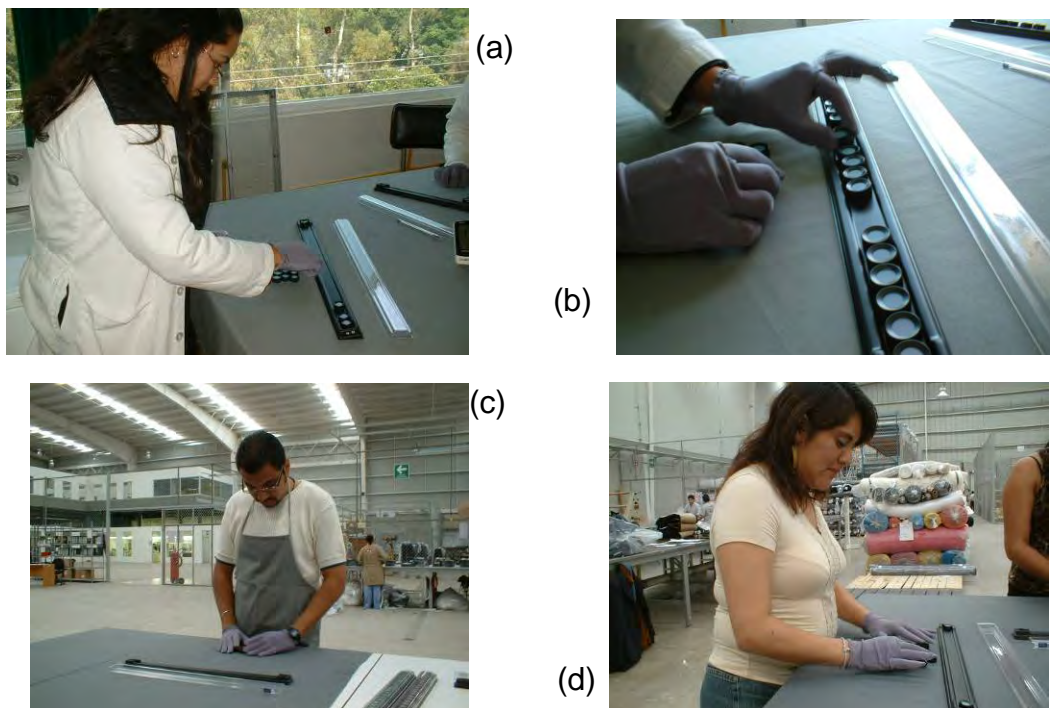


Figura 3.5.7. (a) Prueba de *Farnsworth 100 hue test*, con luz natural. (b) A cada uno de los participantes se les proporcionó un juego de guantes, para mantener libre de grasa y otras impurezas que pudieran contaminar las fichas y alteraran su apariencia. (a) y (b) Imágenes de la prueba en la empresa Laboratorio Textiles especializado, S. A. de C. V. (c) y (d) Imágenes de la prueba en la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V.

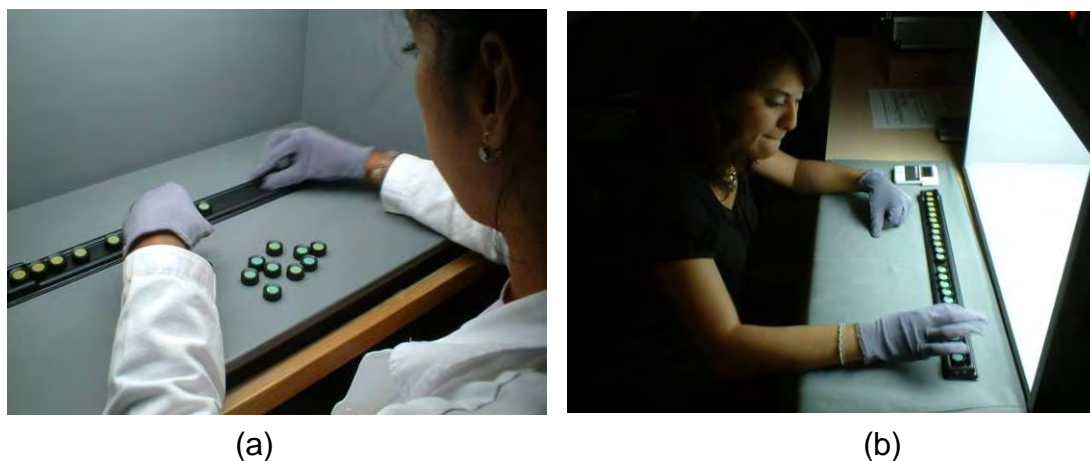


Figura 3.5.8. Pruebas con iluminante D65. (a) Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V. (b) Comercializadora Arush. S. A. de C. V.

En la figura 3.5.8., observamos que la vestimenta de los sujetos experimentales es neutra, en (a) es blanca y en (b) es negra.

Cabe mencionar que las pruebas de luz de día se realizaban alrededor del medio día, fueron en el mes de julio, en algunos momentos la iluminación cambiaba durante las pruebas, debido a las nubes que tapaban el sol.

La prueba con iluminante tipo A, filamento, se realizó en cada una de las empresas dos veces, en días diferentes. Sólo a tres sujetos se le realizó el mismo día con cuatro horas de diferencia.

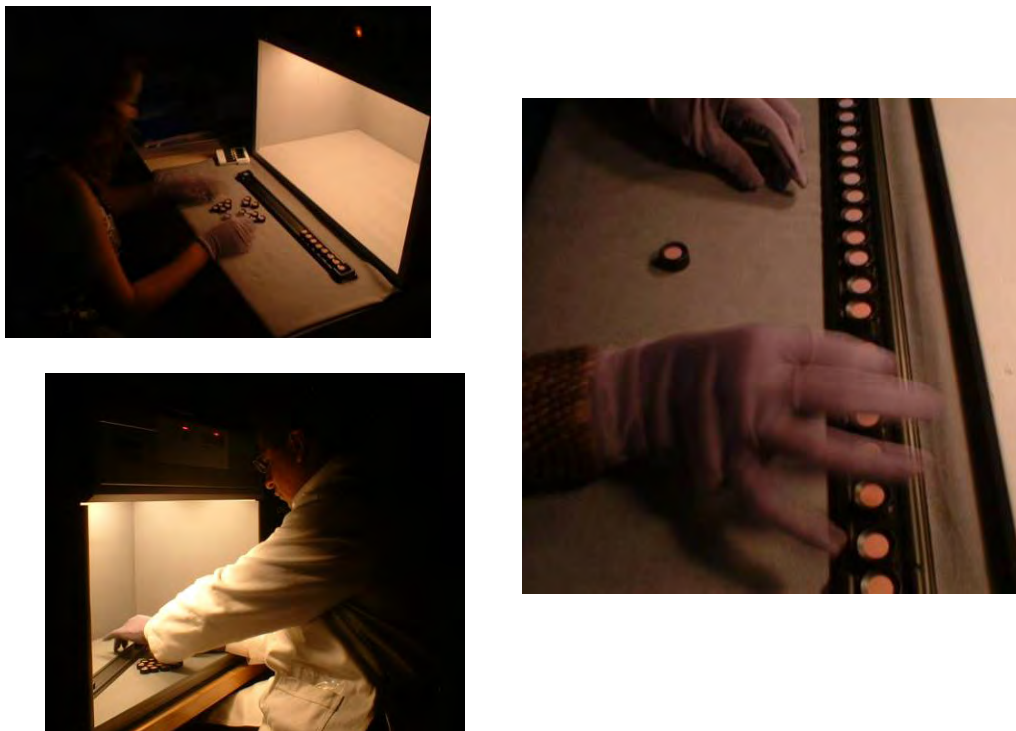


Figura 3.5.9. Prueba *Farnsworth 100 hue test*, con iluminante tipo A, filamento, en ambas empresas.

La escala para el discriminador superior es de 0 a 20 puntos, para el discriminador promedio de 21 a 40 puntos penalizados, y para el bajo o deficiente cuando se tienen más de 40 puntos penalizados.

Rango de puntos ⁽¹⁾	Nivel de discriminación de color
0 a 20	Superior
21 a 40	Promedio
41 a 85	Deficiente

Tabla 5.3.2. Notación (1). Una permutación simple de una ficha equivale a 4 puntos. Una permutación doble equivale a 8 puntos.

3.5.2 Formato de registro de los datos demográficos y resultados de las pruebas.

El formato de registro de los datos demográficos de la población muestra y de los resultados de las pruebas es el siguiente, estos se localizan en el anexo B, foliados del 1 al 18, y consta cada uno de cuatro páginas.

Fecha:		Evaluación 1	01-07-08	Evaluación 2	29-07-08	Folio:	001	
<p align="center">Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Tesis Psicofísica del Color. Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen. <i>Tutora: Dra. Jazmín Carranza Gallardo.</i> <i>Investigación de campo.</i> Ficha técnica de sujeto de examinación. Pruebas de: agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y Farnsworth 100 Hue Test.</p>								
Lugar de examinación:		Comercializadora Arush, S. A de C. V. Av. Dr. Gustavo Baz No. 58, Col Barrientos, Tlanepantla de Baz Edo. de Mex.						
Nombre:		Elsi Yoalti Gutiérrez Cházaro						
Lugar y fecha de nacimiento:		México D. F.		18-07-1986				
Sexo:	Femenino	Profesión:			Auditor de Calidad		Tiempo de ejercita:	5 meses
Tipo de luminaria en oficina: fluorescente, amarilla, otro:		Tragaluz		En casa: Amarilla				
Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuáles?:		No						
Donde compra su ropa: Tienda departamental, tienda de marca o tianguis:		Departamental y marca						
Color preferido:		Negro		Antecedentes patológicos visuales: miopía, hipermetropía, otro: Astigmatismo				
Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro:		No						
Toma algún medicamento:		Si para la gastritis			Estado civil:			Soltera
Horas frente a la TV / PC:		2 / 2		Fuma: Si, 1 cada 15 días		Toma café: Si, 2 veces a la semana		

Tabla 001

Prueba	Agudeza Visual (1) Jaeger	Agudeza Visual (2) Jaeger	Ishihara (1)	Ishihara (2)	Farnsworth 100 Hue (1). Luz natural.	Farnsworth 100 Hue (2). Luz natural.	Farnsworth 100 Hue (1) D85	Farnsworth 100 Hue (2) D85	Farnsworth 100 Hue (1) A	Farnsworth 100 Hue (2) A
Fecha de aplicación	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08
Hora	15:45	13:25	15:50	13:25	14:17	11:36	11:22	11:20	15:00	12:49
Aplicador	PCP	PCP	PCP	PCP	PCP	JAVS	IPM	IPM	IPM	IPM
Iluminancia (Lux).	468	1968	468	1968	468	2014	1476	1476	275	275
Temperatura °C	24	27	23	27	24	25	22	23	24	23
Humedad relativa %	53	41	53	41	49	42	50	43	47	43
Resultado	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	0 / 0 errores	12 errores	2 errores	4 errores	10 errores	39 errores	33 errores

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento.

Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J-/J- se refiere ojo izquierdo / ojo derecho; el mismo criterio para la prueba de Ishihara.

Aplicadores: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen; JAVS Jorge Antonio Veliz Suárez
IPM Israel Pérez Medina.

Las celdas con una línea diagonal implica que no hay datos, porque la prueba no se realizó.

Resultados en coordenadas polares. INAOE

Nombre: Elsi Yoalti Gutiérrez Chazaro Folio: 0 0 1

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural.



Fecha: 01-07-08 Hora: 15:50 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen
 Iluminancia (lux): 468 Temperatura °C: 24 Humedad %: 49

¿Qué número pude ver en las siguientes TARJETAS?

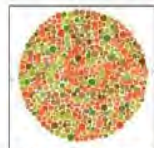
TARJETA 1	TARJETA 2	TARJETA 3	TARJETA 4	TARJETA 5	TARJETA 6	TARJETA 7	TARJETA 8	TARJETA 9	TARJETA 10	TARJETA 11
Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.
12 12	8 8	29 29	5 5	3 3	15 15	74 74	6 6	45 45	5 5	7 7

TARJETA 12	TARJETA 13	TARJETA 14	TARJETA 15	TARJETA 16	TARJETA 17
Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.
16 16	73 73	N N	N N	26 26	42 42

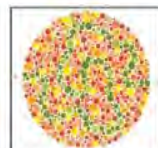


TARJETA 18
Izq. ▾

x - sigue la trayectoria - x



TARJETA 19
Der. ▾



TARJETA 20
Izq. ▾



TARJETA 21
Der. ▾



TARJETA 22
Izq. ▾



TARJETA 23
Der. ▾



TARJETA 24
Izq. ▾

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: 01-07-08 Hora: Nat. 14:17 D65 11:22 A 15:00 Aplicador: IPM Israel Pérez Medina
 Iluminancia (lux): Nat. 468 D65 1476 A 275 Temperatura °C Nat. 24 D65 22 A 24 Humedad % 49 50 47

85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Fuente	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	7	9	6	8	✓	✓	13	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	11	10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
✓	✓	4	2	3	✓	✓	✓	9	8	✓	✓	13	12	15	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	Fuente		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
23	22	✓	✓	✓	✓	30	28	31	29	✓	34	36	37	33	40	35	✓	42	38	41	Fuente		
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	Fuente		
✓	✓	✓	47	46	49	48	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.
✓	✓	✓	47	46	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
44	45	43	46	✓	49	48	✓	✓	✓	✓	✓	57	55	56	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	Fuente		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	71	70	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	79	78	✓	82	81	84	83	Fuente		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación.
 El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta. La celda con línea diagonal significa que no se realizó la prueba.

Nombre: Elsi Yoalti Gutiérrez Cházaro Folio: 0 0 1

Prueba No. 2 de Ishihara. Luz Natural.



Fecha: 29-07-08 Hora: 13:25 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen
 Iluminancia (lux): 1968 Temperatura °C: 27 Humedad %: 41

¿Qué número pude ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1	TARJETA 2	TARJETA 3	TARJETA 4	TARJETA 5	TARJETA 6	TARJETA 7	TARJETA 8	TARJETA 9	TARJETA 10	TARJETA 11
Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.
12 12	8 8	29 29	5 5	3 3	15 15	74 74	6 6	45 45	5 5	7 7

TARJETA 12	TARJETA 13	TARJETA 14	TARJETA 15	TARJETA 16	TARJETA 17
Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.	Izq. Der.
16 16	73 73	N N	N N	26 26	42 42



TARJETA 18
Izq. Der.

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19
Der.

TARJETA 20
Izq.

TARJETA 21
Der.

TARJETA 22
Izq.

TARJETA 23
Der.

TARJETA 24
Izq.

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: 29-07-08 Hora: Nat. 11:36 D65 11:20 A 12:49 Aplicador: Nat.: JAVS Jorge Antonio Veliz Suárez; D65 y A: IPM Israel Pérez Medina
 Iluminancia (lux): Nat. 2014 D65 1476 A 275 Temperatura °C Nat. 25 D65 23 A 23 Humedad % 42 43 43

85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Fuente	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.
✓	✓	✓	✓	6	5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	13	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65	
✓	✓	4	2	3	✓	7	6	✓	✓	11	10	13	12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A	
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	Fuente		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	38	37	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.	
✓	✓	✓	✓	28	27	29	✓	✓	✓	✓	✓	35	34	✓	38	37	✓	✓	✓	✓	✓	D65	
✓	24	23	✓	✓	✓	29	28	✓	✓	✓	✓	34	33	✓	39	37	40	38	✓	✓	✓	A	
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	Fuente		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.	
✓	✓	✓	47	46	49	48	✓	✓	✓	✓	54	53	✓	57	56	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65	
44	49	47	✓	45	43	50	51	53	48	52	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A	
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	Fuente		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65	
✓	✓	✓	✓	✓	70	69	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	84	✓	82	✓	A	

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación.
 El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta.

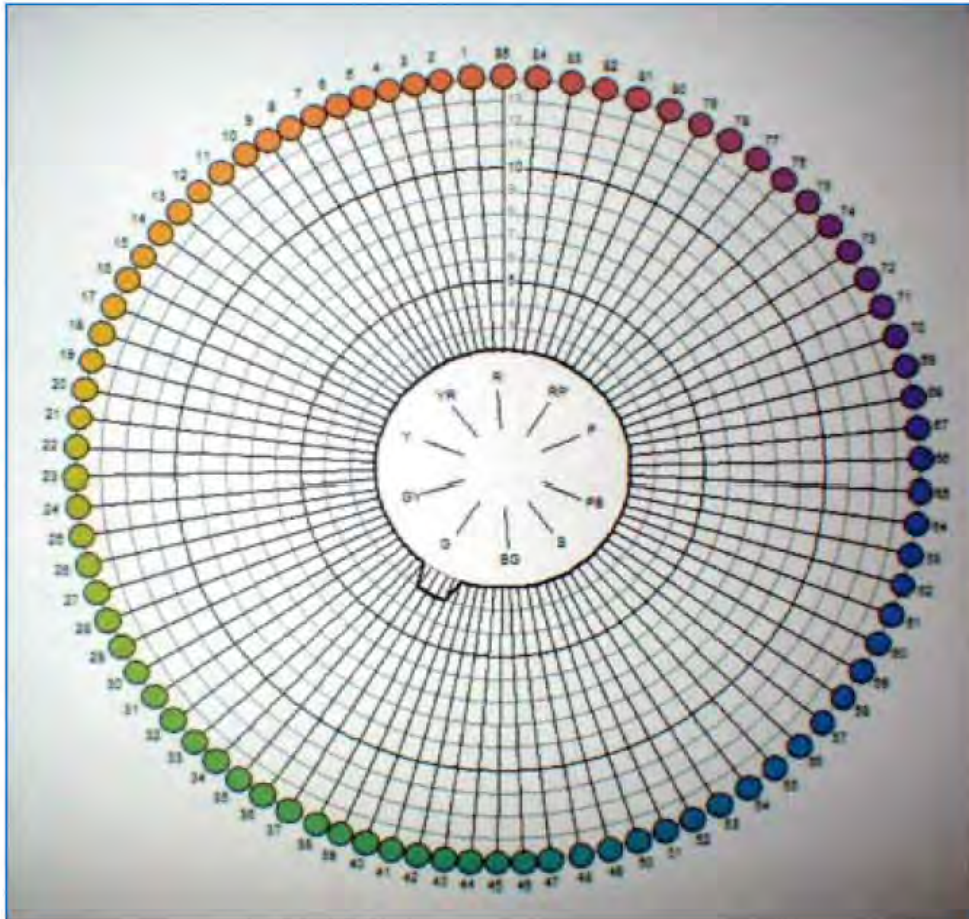
Resultados en coordenadas polares. INAOE

Reporte de evaluación de Elsie Yoalti Gutiérrez Cházaro.

Discriminador Superior.

Evaluado con el Farnsworth-Munsell 100-Hue Test en condiciones de iluminación de luz de día natural.

Puntuación 1ª evaluación 4 2ª evaluación 4



Evaluador: Ing. Israel Pérez Medina.

Responsable: Dra. Jazmín Carranza Gallardo.

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.

Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría.

Luis Enrique Erro No. 1 Tonantzintla, Puebla, México. CP. 72840

Estos registros de los sujetos participantes, se encuentran en el Anexo A.

A los sujetos 010 y 011, no se les entregó certificación como discriminador, debido a que el 010 sólo realizó una evaluación y en el 011 se encontró una disparidad entre los resultados de la primera evaluación y la segunda. Se tomaron en cuenta para la estadística descriptiva. Los resultados se vaciaron a una tabla que se localiza en el anexo B.

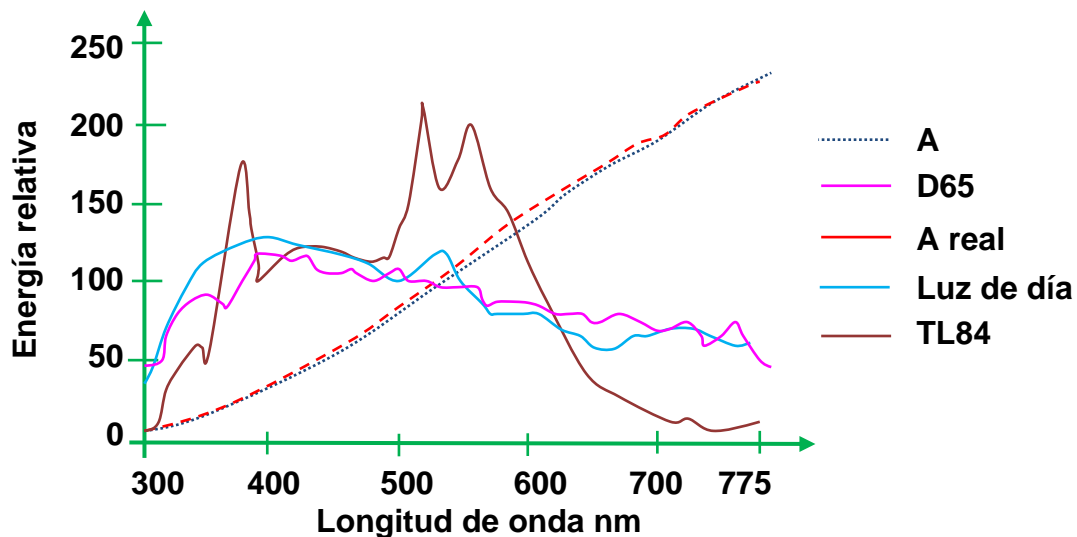
A continuación presentamos una muestra de algunas columnas de la tabla general, dividida en 16 páginas.

Sujeto No.	Perfil del sujeto participante						
	Nombre	Edad (años)	Lugar de Nacimiento	Sexo	Estado civil	Antecedentes patológicos visuales	Antecedentes no patológicos visuales
1	Elsi Yoalti Gutiérrez Cházaro	22	D. F.	Femenino	Soltera	Astigmatismo	No
2	Miguel Ángel de la Cruz Tapia	19	D. F.	Masculino	Soltero	Miopía	No
3	Elvia Nava Garduño	29	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No
4	Sandra Ramírez Guzmán	29	D. F.	Femenino	Soltera	No	No
5	Nuria Flores Cruz	36	D. F.	Femenino	Soltera	No	No
6	Georgina García Cremayer	40	D. F.	Femenino	Casada	Astigmatismo	No
7	Mónica Guzmán Ramírez	27	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía y Astigmatismo	No
8	Silvia Espinosa González	28	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No
9	Brenda Carbajal Santillán	24	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía	Hipertiroidismo
10	Berenice Banda Mendoza	25	D. F.	Femenino	Soltera	Astigmatismo	No
11	José Jerónimo Ruiz Martínez	28	D. F.	Masculino	Soltero	Astigmatismo	No
12	Michael Esmeralda Cano Rubiños	22	D. F.	Femenino	Casada	Miopía	No
13	María de los Ángeles Gutiérrez Alva	26	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No
14	Araceli Valverde Espinosa	35	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía	Operación Láser
15	María del Rocío Arroyo Rivera	43	D. F.	Femenino	Casada	No	No
16	Jaime Hernández Onofre	43	D. F.	Masculino	Soltero	Miopía y Astigmatismo	No
17	Gloria Itzel Castillo Trejo	22	D. F.	Femenino	Soltera	No	No
18	Claudia Alejandra Flores del Ángel López	30	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía	No

Tabla 3.5.2. Muestra de algunas columnas del vaciado de los resultados en la tabla general.

3.6 Coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ en un sistema digital.

En esta parte del experimento se tomaron fotografías desde un mismo ángulo a tres diferentes textiles, que a la luz de día natural se ven: uno de color rojo, otro de color verde, y uno de color azul, exponiéndolas a iluminantes TL84, D65, filamento y ultravioleta.



Gráfica 3.6.1. Espectro de las fuentes de iluminación de la cabina de iluminación. En este caso sólo usaremos para la comparación digital de los iluminantes D65 y de filamento tipo A.

El procedimiento fue el siguiente: se seleccionaron tres telas sin estampado y del mismo material, licra de poliéster satinado, tejido de punto plano, no térmica y con tendencias a producir estática. A cada una se le sometió a los cuatro iluminantes, TL84, D65, Filamento y UV. En cada iluminante se midió la iluminación y se tomó una fotografía digital, con una cámara marca Fuji modelo A200 de 2.7 megapíxeles.

Existieron diferencias significativas entre las dos cabinas de iluminación, tanto en diseño como en operación. Las diferencias se acentúan en los niveles de iluminación del iluminante de filamento tipo A. Se observa, figuras 3.6.1. y 3.6.2., que en la cabina hechiza (1), el nivel de iluminación es, en promedio de 275 lux, mientras que en la cabina VenMide (2), el nivel de iluminación es de 1651 lux.

Las cabinas carecen de mantenimiento y no se habita llevar bitácora de uso, por lo que suponemos que el foco de filamento tipo A de la cabina hechiza (1), está en los límites de su vida útil.

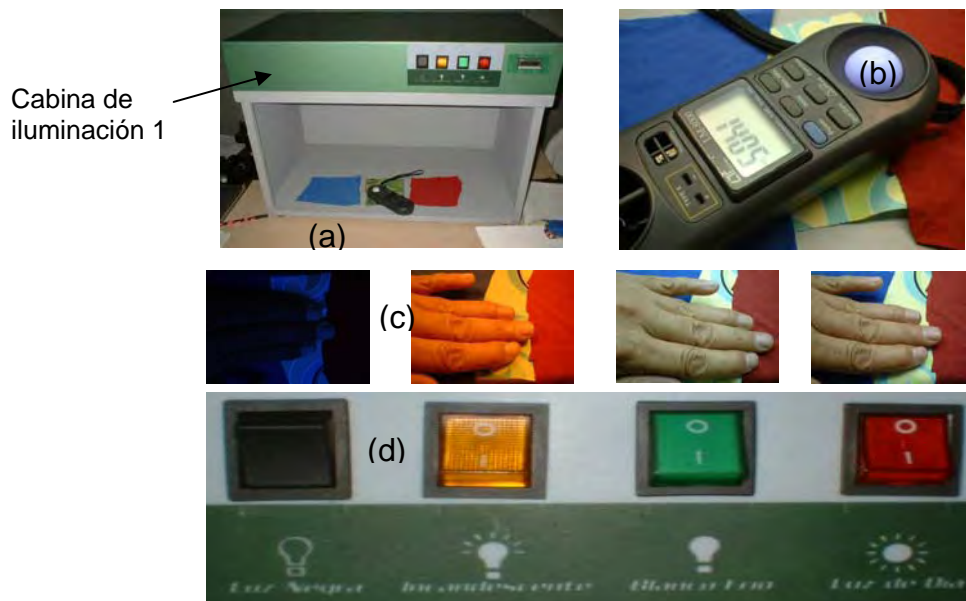


Figura 3.6.1. Secuencia fotográfica que muestra el equipo y las diferentes *hue* que se obtienen con los diferentes iluminantes. Esta cabina de iluminación pertenece a la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V. (a) Cabina de iluminación (1). (b) A cada iluminante se le midió la luminancia. (c) Secuencia de imágenes que muestran los cambios de tonalidad en las telas y en la piel humana. (d) Interruptores para seleccionar el iluminante, en este equipo se podía seleccionar un solo iluminante, también fué posible seleccionar, combinando dos, tres o los cuatro iluminantes de forma simultánea. La prueba se realizó de forma individual.

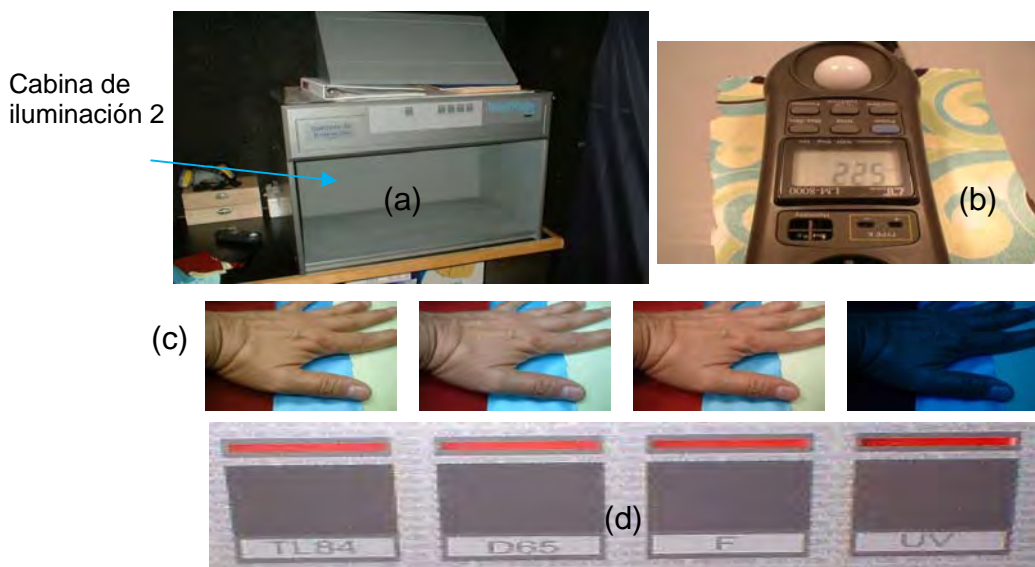


Figura 3.6.2. Secuencia de imágenes que muestran el procedimiento para la obtención de las coordenadas $CIE L^*a^*b^*$, de los tres diferentes textiles. (a) Cabina de iluminación (2), de la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V. (b) Medición de la iluminancia con un luxómetro de cada uno de los iluminantes. (c) Secuencia de imágenes que muestran el cambio de *hue* de los textiles y la piel humana, expuestos a los diferentes iluminantes. (d) Interruptores para seleccionar los diferentes iluminantes. En este equipo solo puede seleccionarse un iluminante a la vez.

Para homologar las denominaciones de los iluminantes en las dos cajas de luces, realizamos la siguiente convención.

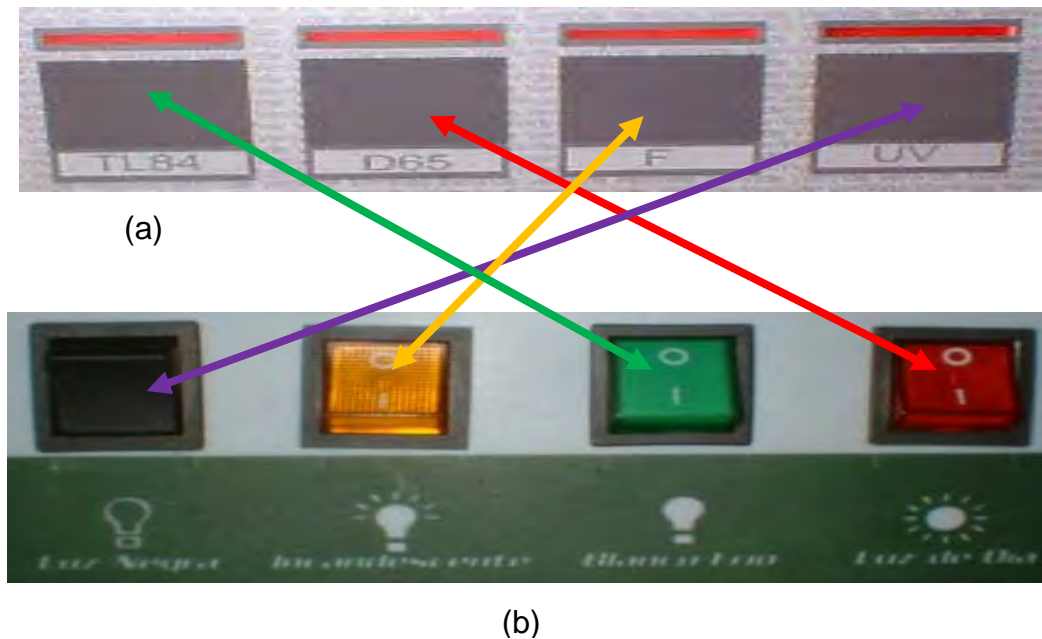
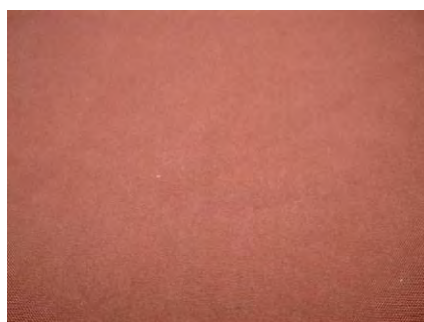
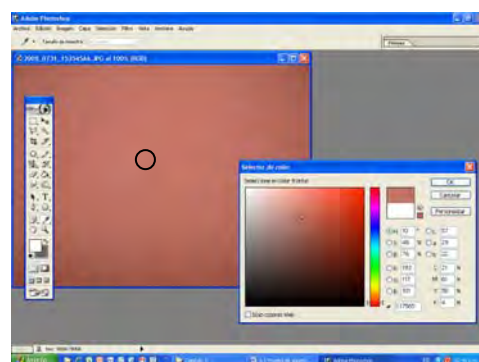


Figura 3.6.3. Para homologar los términos con que se denominan a los iluminantes en las cajas de luces de las dos empresas, realizamos esta convención. (a) Interruptores de la caja de luces de la empresa Laboratorio Textil Especializado, S. A. de C. V. (b) Interruptores de la caja de luces de la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V.

Para conocer las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$, utilizamos el programa Adobe Photoshop versión 7.0. Considero que las posibles aberraciones producidas por la cámara. Con respecto al angulo de la toma de la fotografía, no reperesentan una gran influencia en las mediciones, ya que las comparaciones se realizan de manera cualitativa, y el programa digital con que son analizadas absorbe estas aberraciones, dando por resultado una comparación homogénea.



(a)



(b)

Figura 3.6.4 La imagen digital de la tela roja, expuesta al iluminante D65, en la cabina de iluminación (2), de la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V., seleccionamos el color en la parte central de la tela para obtener las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$. (a) Imagen digital de la tela. (b) Analizada con el programa Adobe Photoshop versión 7.0.

Con este programa podemos obtener equivalencias con los sistemas de color RGB, CMYK y HSB

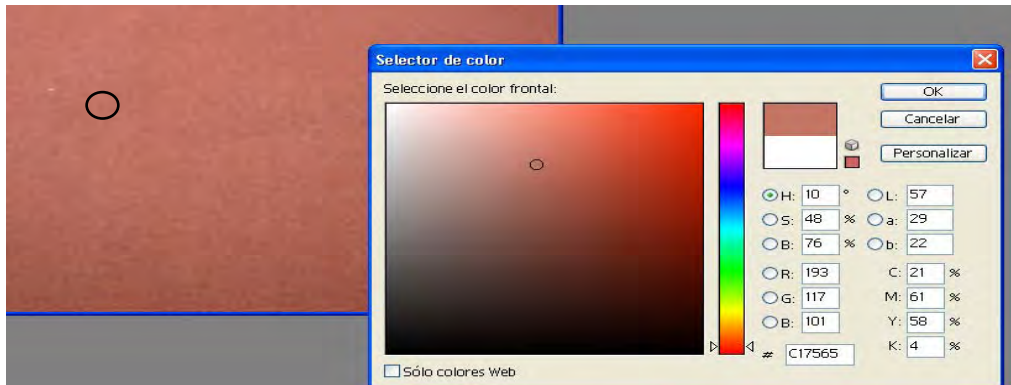


Figura 3.6.5 Detalle de las coordenadas $CIE L^*a^*b^*$, del textil rojo, y sus equivalentes con otros sistemas de color.

Este procedimiento se realiza para los tres textiles, el de color rojo, verde y azul, expuestos a los diferentes iluminantes de las dos cajas de luces.

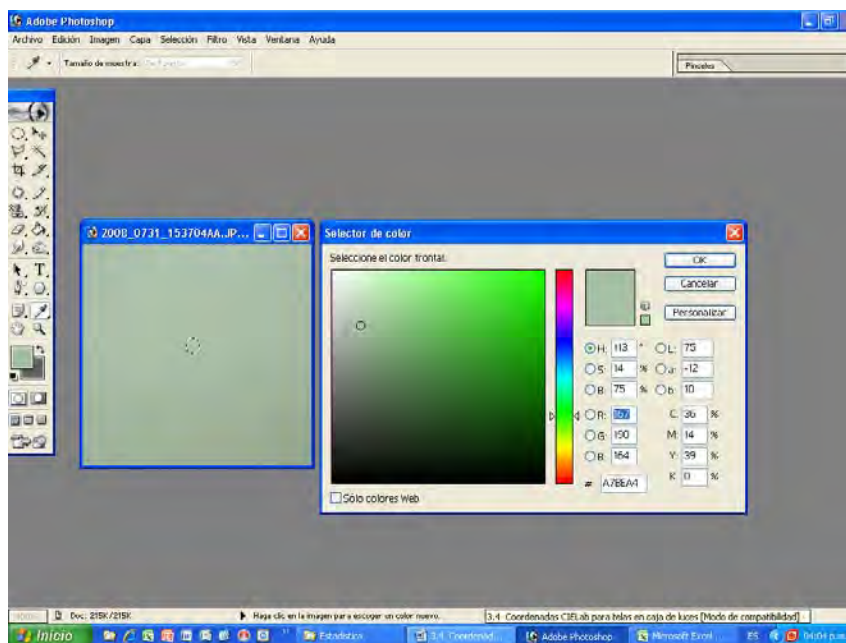


Figura 3.4.6 Detalle de las coordenadas $CIE L^*a^*b^*$, del textil verde, se muestra la pantalla completa del programa.

Las siguientes tablas muestran las coordenadas $CIE L^*a^*b^*$, de los textiles expuestos a los diferentes iluminantes. La cabina de iluminación (1) pertenece a la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V., y la cabina de iluminación (2) a la empresa Laboratorios Textiles Especializados, S. A. de C. V.

Iluminante	Textil	Iluminación (lux)		Archivo digital		Coordenadas CIE L*a*b*	
		Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2
TL84	Rojo	2510	1316			L= 53 a= 35 b= 39	L= 61 a= 30 b= 24
	Verde	2510	1316			L= 80 a= -13 b= 21	L= 76 a= -6 b= 31
	Azul	2510	1316			L= 86 a= -11 b= -1	L= 77 a= -10 b= 1

Tabla 3.6.1. Resultados de la medición para el iluminante TL84.


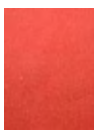




Iluminante	Textil	Iluminación (lux)		Archivo digital		Coordenadas CIE L*a*b*	
		Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2
D65	Rojo	1304	1289			L= 52 a= 43 b= 33	L= 57 a= 58 b= 41
	Verde	1304	1289			L= 76 a= -7 b= 38	L= 75 a= -12 b= 10
	Azul	1304	1289			L= 80 a= -21 b= -19	L= 69 a= -25 b= -25

Tabla 3.6.2. Resultados de la medición para el iluminante D65.







Iluminante	Textil	Iluminación (lux)		Archivo digital		Coordenadas CIE L*a*b*	
		Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2
Filamento	Rojo	275	1659			L= 53 a= 61 b= 52	L= 58 a= 72 b= 71
	Verde	275	1659			L= 70 a= 11 b= 30	L= 65 a= 16 b= 61
	Azul	275	1659			L= 70 a= -8 b= 3	L= 83 a= 2 b= 19

Tabla 3.6.3. Resultados de la medición con el iluminante tipo A, filamento.

En el siguiente capítulo analizaremos que sucede con estos cambios en el color digital obtenido.



“Tomad, Señor, y recibid toda mi libertad, mi memoria, mi entendimiento y toda mi voluntad, todo mi haber y mi poseer; Vos me lo diste, a Vos Señor, lo torno; todo es vuestro; disponed de todo a vuestra voluntad. Dadme vuestro amor y gracia, que esto me basta”

San Ignacio de Loyola.

CAPITULO 4: Análisis de resultados.



4.1 Metodología usada para el tratamiento de los resultados.

En este capítulo analizamos la información recabada y la relacionaremos con el problema a resolver que es la validación de la Psicofísica del Color con pruebas de discriminación. Nos apoyaremos para el cálculo de algunas funciones estadísticas con el programa Excel de Microsoft Office versión 2007.

Se hace uso de dos métodos para el análisis estadístico. Con estadística descriptiva, definiremos las características demográficas de la muestra, se analizarán de manera cualitativa los resultados de las pruebas de agudeza visual cercana y discriminación de color con láminas de Ishihara. Para las pruebas *Hue Test*, se realizará mediante un programa (software), que viene incluido en el equipo *Hue Test*, para determinar el nivel de discriminación de los sujetos participantes, este puede ser superior, promedio y normal.

El segundo método consiste en calcular la tabla ANVA (análisis de variancias) para las pruebas de discriminación de color realizadas con el sistema *Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)*. Esta técnica mediante la cual la variación total presente en un conjunto de datos se distribuye en varias componentes. Con cada una de estas componentes está asociada una fuente específica de variación, de modo que en el análisis es posible averiguar la magnitud de las contribuciones de cada una de las fuentes a la variación total. [36]

Con el uso del modelo estadístico para el diseño experimental factorial, denominado 2^k , se determinará el efecto que tiene la variable *hue (h)*, a partir de la interacción con otras dos variables, *luminancia (L*)*, y *chrominancia (C*)*, y que están relacionadas en los resultados de la discriminación de color de los sujetos.

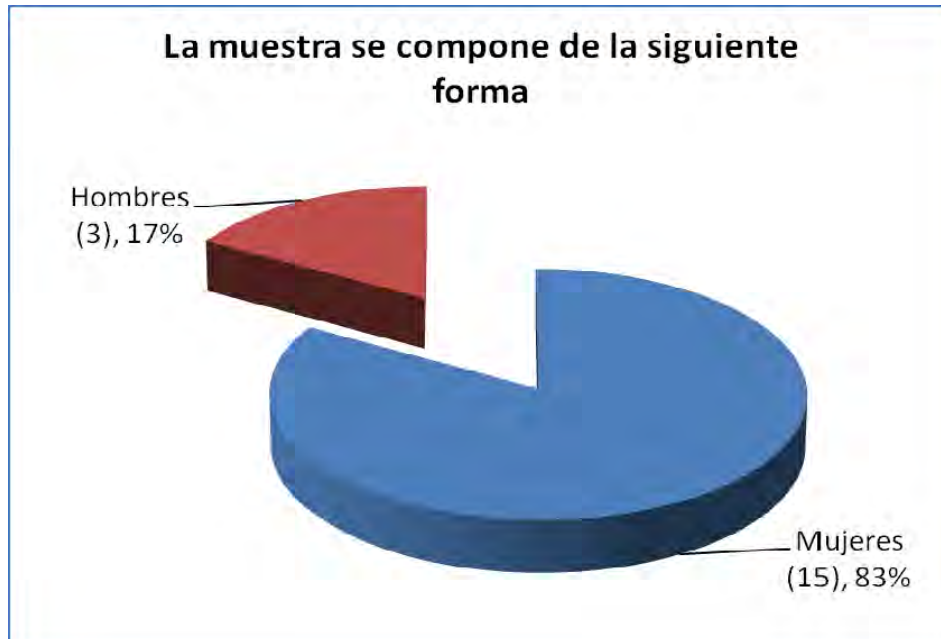
De forma cualitativa estableceremos un umbral de percepción del color, al relacionar las tres diferentes fuentes iluminantes, luz natural de día, D65 y de filamento tipo A, con los resultados de las pruebas *Farnsworth-Munsell 100 Hue Test*, de discriminación de color.

Con los resultados obtenidos de las mediciones en coordenadas *CIE L*a*b** y *CIE L*C*h*, de las fichas del equipo *Hue Test*, se analizará gráficamente, con el programa Excel 2003, el comportamiento de los valores de las coordenadas de forma independiente y de forma factorial, estableciendo criterios matemáticos, a través de una razón entre dos variables, que permitan determinar una constante que involucre a estas coordenadas, es decir una relación lineal entre ellas.

4.2 Características demográficas de la muestra.

Perfil del sujeto participante.									Exposición a la radiación no ionizante.			
Sujeto No.	Edad (años)	Lugar de Nacimiento	Sexo	Estado civil	Antecedentes patológicos visuales	Toma algún medicamento	Profesión	Tiempo de ejercerla (años)	Horas frente a la TV	Horas frente a la PC	Iluminación en oficina	Iluminación en casa
1	22	D. F.	Femenino	Soltera	Astigmatismo	Gastritis	Auditor de calidad	0.75	2	2	Tragaluz	Foco de Filamento
2	19	D. F.	Masculino	Soltero	Miopia	No	Revisor	0.56	1	1	Fluorescente	Foco de Filamento
3	29	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No	Supervisora de foleos (tonos)	5	1	1	Fluorescente	Foco de Filamento
4	29	D. F.	Femenino	Soltera	No	No	Técnico Industrial del Vestido	12	1	9	Fluorescente	Foco de Filamento
5	36	D. F.	Femenino	Soltera	No	No	Diseñadora de Modas	8	0	14	Fluorescente	Foco de Filamento
6	40	D. F.	Femenino	Casada	Astigmatismo	No	Diseñadora Gráfica	15	2	3	Fluorescente	Foco de Filamento
7	27	D. F.	Femenino	Soltera	Miopia y Astigmatismo	No	Ingeniera Textil	5	2	9	Foco de Filamento	Foco de Filamento
8	28	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No	Patronista	8	2	9	Tragaluz	Foco de Filamento
9	24	D. F.	Femenino	Soltera	Miopia	Levotroxina 100	Asistente de diseño y patronista	3	0	12	Tragaluz	Foco de Filamento
10	25	D. F.	Femenino	Soltera	Astigmatismo	No	Ingeniera Textil	3			Foco de Filamento	Foco de Filamento
11	28	D. F.	Masculino	Soltero	Astigmatismo	No	Ingeniero Textil	1	2	1	Foco de Filamento	Foco de Filamento
12	22	D. F.	Femenino	Casada	Miopia	No	Ingeniera Textil	2	2	5	Fluorescente	Foco de Filamento
13	26	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No	Ingeniera Textil	2	3	2	Fluorescente	Foco de Filamento
14	35	D. F.	Femenino	Soltera	Miopia	Gotas para los ojos post operatorias	Auxiliar de Laboratorio	3	2	1	Fluorescente	Foco de Filamento
15	43	D. F.	Femenino	Casada	No	No	Ingeniera Textil	22	1	8	Fluorescente	Fluorescente
16	43	D. F.	Masculino	Soltero	Miopia y Astigmatismo	No	Ingeniero Textil	20	1	1	Fluorescente	Foco de Filamento
17	22	D. F.	Femenino	Soltera	No	No	Lic. En Informática	7	1	7	Fluorescente	Fluorescente
18	30	D. F.	Femenino	Soltera	Miopia	No	Confeccionista Industrial	2	1	0	Fluorescente	Foco de Filamento

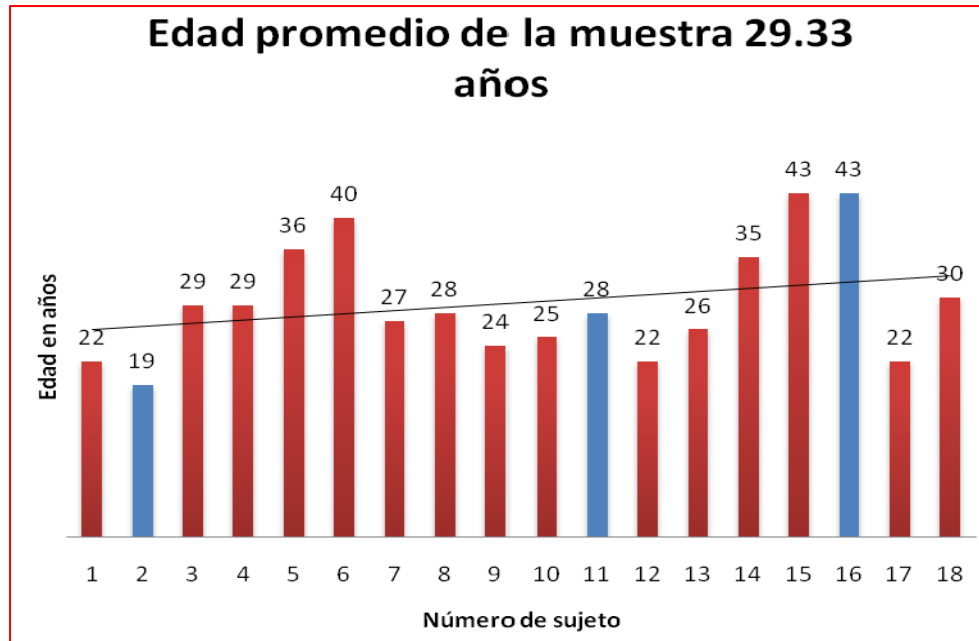
Tabla 4.2.1. Características demográficas de la muestra. A ninguno de los sujetos participante se les había realizado anteriormente esta prueba. Al sujeto N° 14, recientemente le realizaron una operación láser. En los espacios en blanco el sujeto no proporcionó información.



Grafica 4.2.1. Características demográficas por sexo, el número entre paréntesis indica de cuantos sujetos estuvo compuesta la muestra.



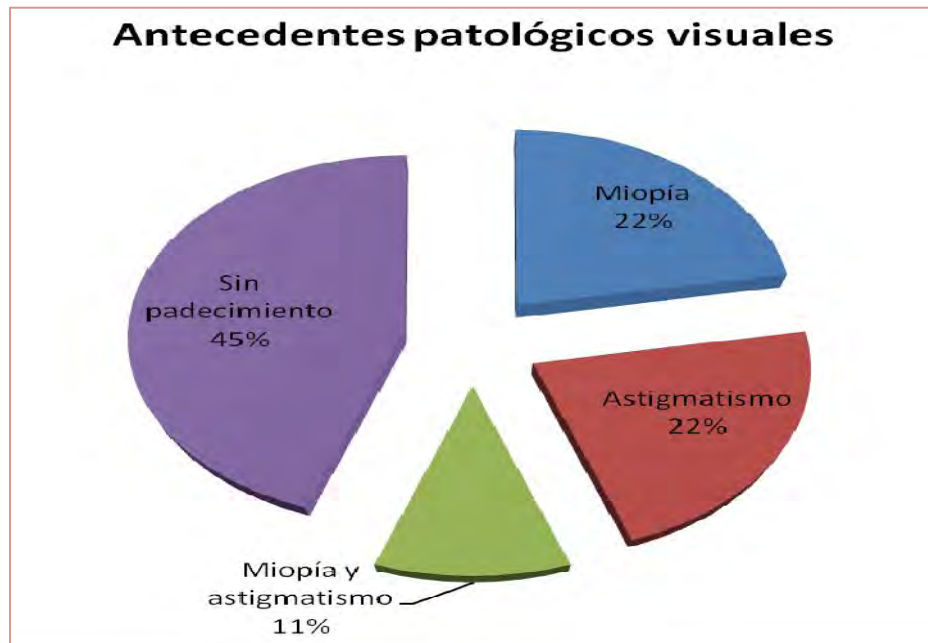
Gráfica 4.2.2. Lugar de nacimiento de los sujetos biológicos de experimentación.



Gráfica 4.2.3. La edad promedio de la muestra está en un intervalo entre 19 a 43 años.



Gráfica 4.2.4. Los sujetos casados son tres, solteros quince.



Gráfica 4.2.5. Las enfermedades visuales preexistentes con más frecuencia son la miopía y el astigmatismo.



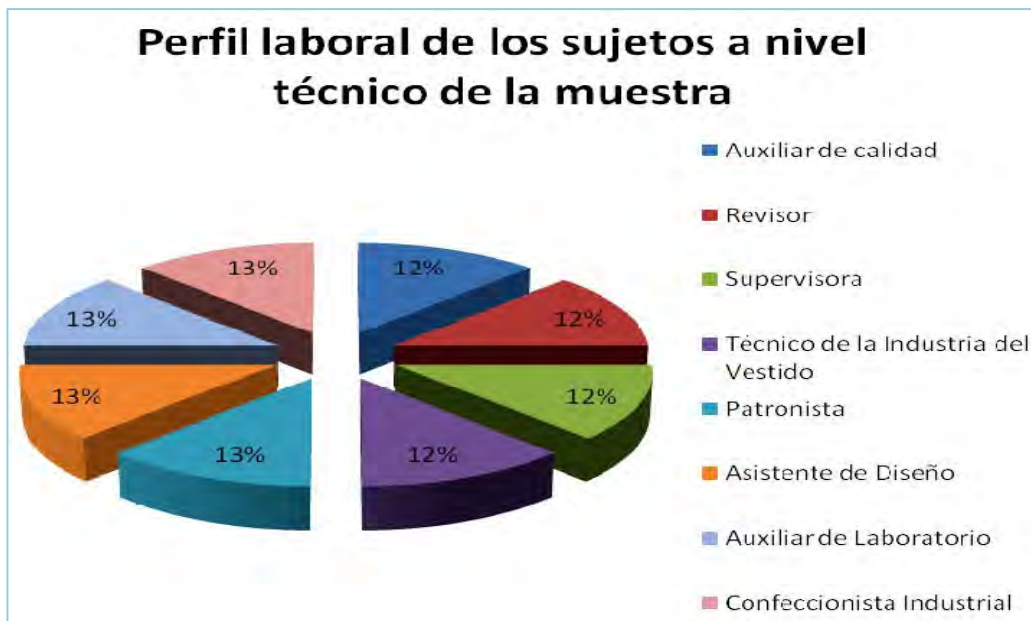
Gráfica 4.2.6. Tres sujetos de la muestra que equivalen al 16,7 %, tomaron su medicamento habitual de tratamiento, el otro 83,3 %, 15 sujetos, no toman ningún medicamento.



Gráfica 4.2.7. El 56% de la muestra tiene estudios profesionales. Es decir de 15 a 18 años de estudios. El 44% tiene un nivel técnico o bachillerato que equivale a 10 o 12 años de estudios.



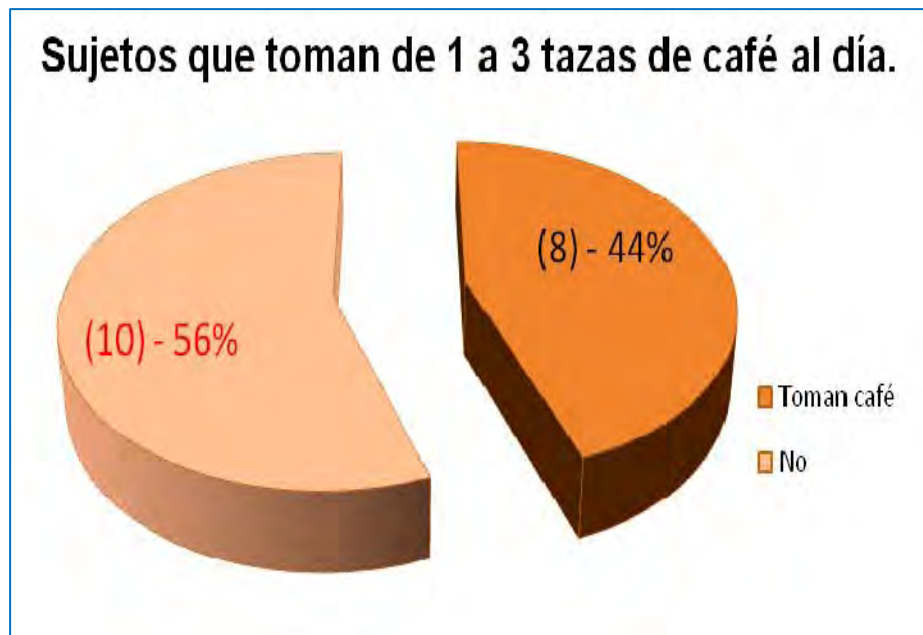
Gráfica 4.2.8. De los diez profesionistas, nueve tienen que ver en la toma de decisiones en la discriminación del color, ya sea en la planta de producción, diseño, análisis de calidad o compras de material para la producción, la restante es administrativa y no tiene que ver con la discriminación del color.



Gráfica 4.2.9. Distribución porcentual del nivel técnico, la mayor parte de estos sujetos trabajan en la planta de producción y en labores de apoyo en el laboratorio textil. No toman decisiones en la discriminación del color, sólo reportan al jefe inmediato las apreciaciones detectadas en el control de calidad. Son sujetos entrenados para detectar anomalías en la tonalidad o detalles.



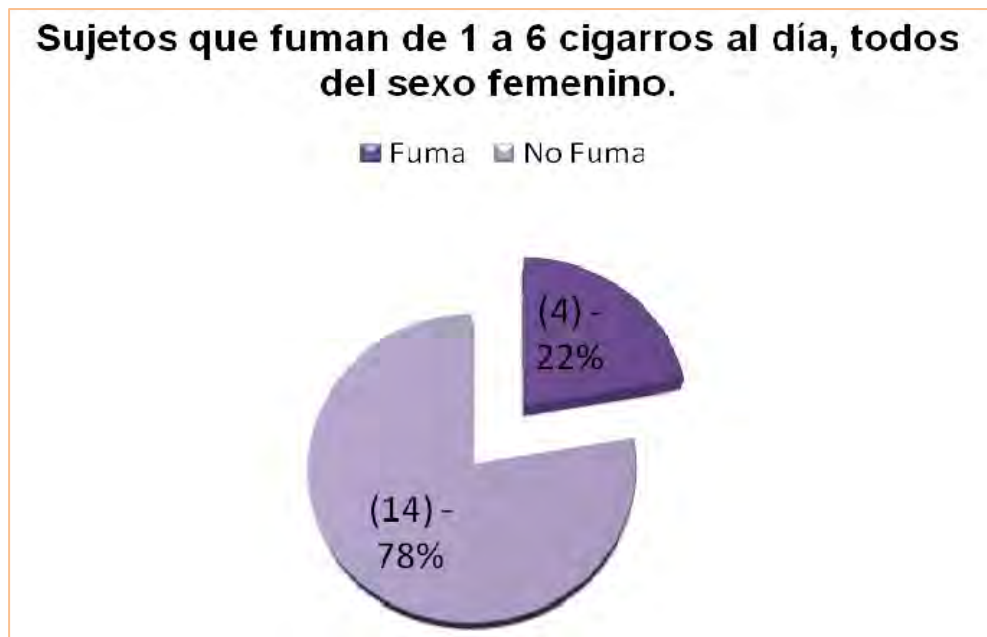
Gráfica 4.2.10. Un factor que puede determinar la existencia de síntomas de Presbicia o Astenopía, es el tiempo de laborar en este tipo de actividades. Es lo que se conoce como las enfermedades profesionales derivadas de la actividad laboral.



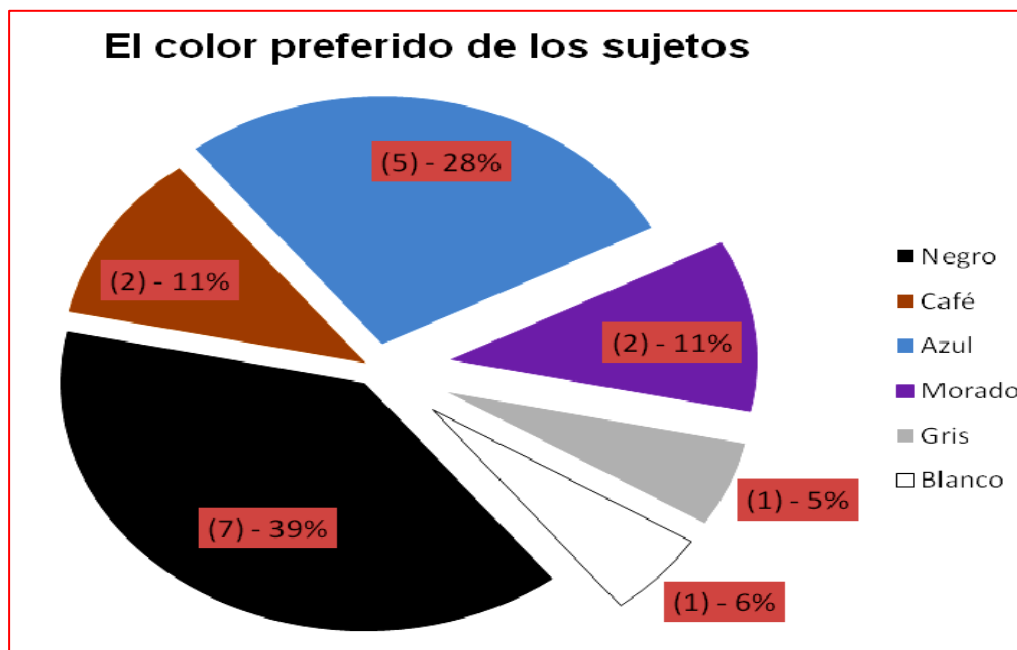
Gráfica 4.2.11. El abuso de la cafeína y el azúcar, puede desarrollar enfermedades de la mácula en el ojo. Esto puede ser un indicador en las pruebas de agudeza visual e Ishihara.



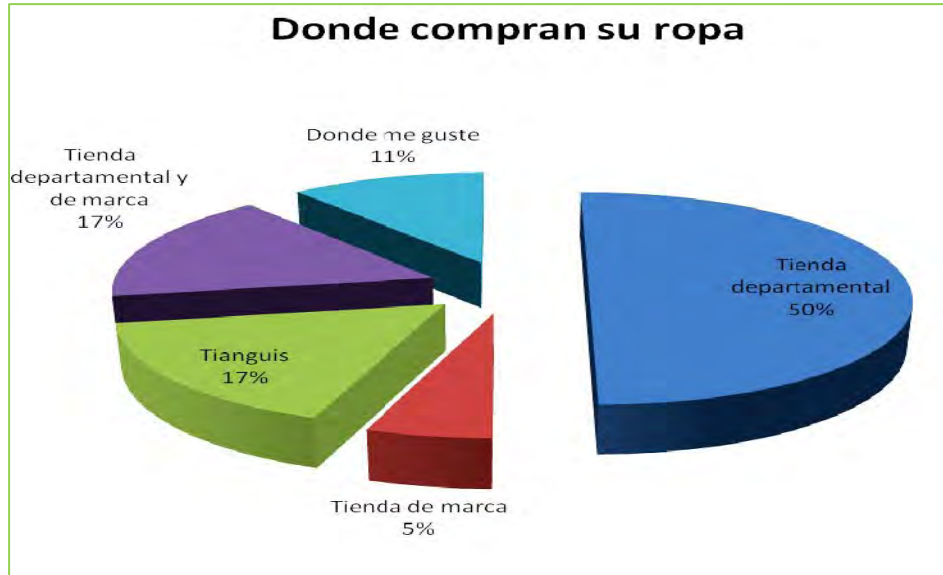
Gráfica 4.2.12. Las mujeres tienden a consumir más cafeína, según la muestra, de los tres hombres 1 toma café, que equivale al 33%, de las 15 mujeres casi el 50% toman café., "para mantenerse despiertas".



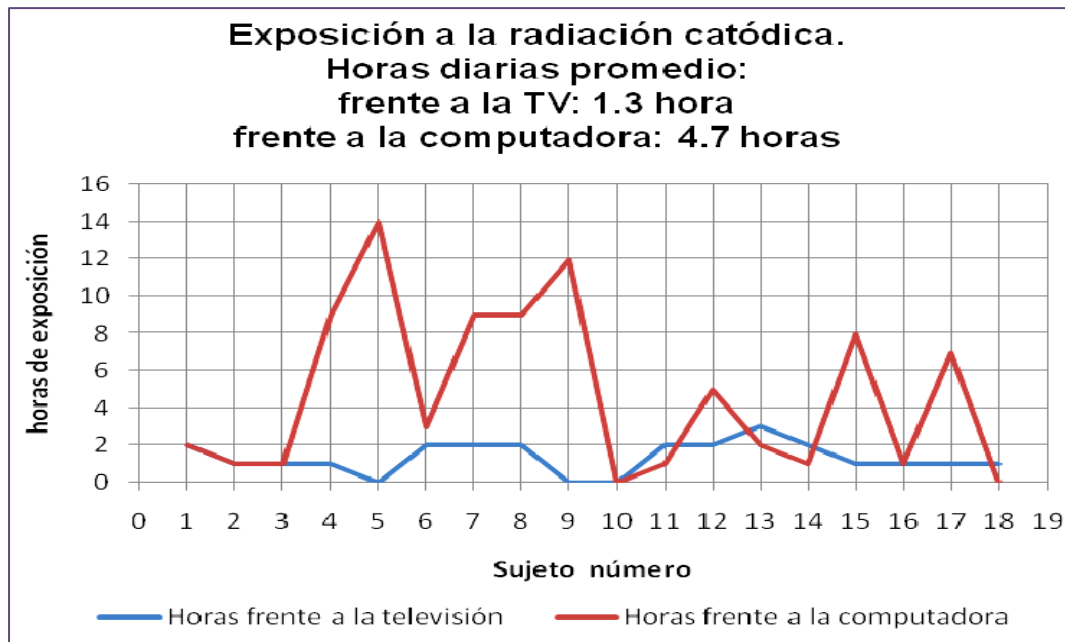
Gráfica 4.2.13. El tabaco es otro factor para el avance de enfermedades no patológicas.



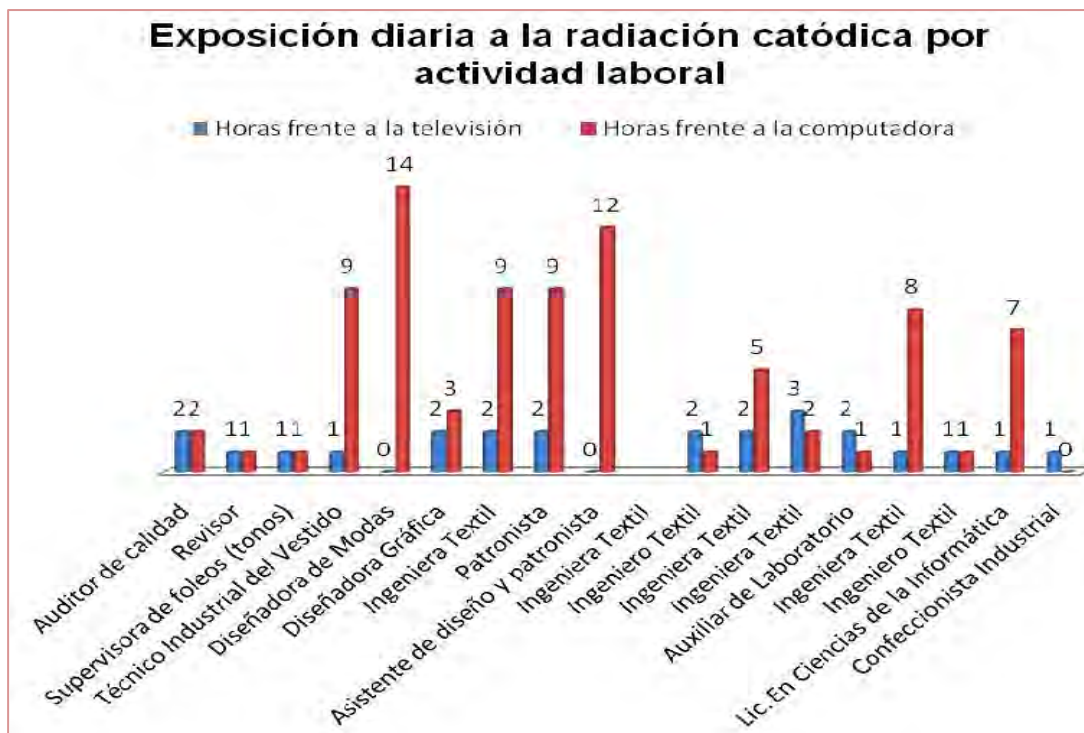
Gráfica 4.2.14. Como mencionamos en capítulos anteriores la preferencia por el color tiene una carga cultural muy grande. Aunque el negro no es un color propiamente dicho, ya que es la ausencia de color, culturalmente lo tomamos como un color. De los tres hombres que componen la muestra dos escogieron el color negro.



Gráfica 4.2.15. La moda es un factor sociocultural, la preferencia en los expendios de las prendas de vestir depende mucho de la publicidad y el sentido de pertenencia al nivel socioeconómico al que se pertenece. La gráfica muestra una tendencia a la compra en centros comerciales donde los niveles de iluminación están diseñados para que el consumidor tenga una mayor preferencia sobre los productos.



Gráfica 4.2.16. La exposición a la radiación catódica o a las diferentes radiaciones no ionizantes, como las fuentes luminosas artificiales en mal estado, provocan presbicia a corto plazo. Este es otro factor que puede incidir en el nivel de discriminación del color [109].



Gráfica 4.2.17. Indicios de presbicia por la exposición catódica, es el estar aumentado el brillo al monitor.



Gráfica 4.2.18. Las fuentes iluminantes en los centros de trabajo, predominan la fluorescente y la natural. No se observaron manchas en la piel, sobre todo en antebrazos, producidas por lámparas fluorescentes de mala calidad, que dejan escapar la radiación ultravioleta.



Grafica 4.2.19. El contraste con los centros de trabajo, la mayoría de los sujetos utiliza lámparas incandescentes en sus casas. No estando en el programa de ahorro de energía.

4.3 Análisis de resultados de la prueba de Agudeza Visual cercana.

El promedio de iluminancia en la primera evaluación, con luz natural de día, es de 784.4 lux, para la segunda evaluación el promedio es de 1724.12 lux. La Norma Oficial Mexicana 025-STPS-1999, establece para actividades que requieren distinción fina de detalles una iluminación de 750 a 1000 lux.

Para una alta exactitud en la distinción de detalles como ensambles, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabados con pulido fino, entre otras actividades laborales, se requiere una iluminación de 1000 a 2000 lux. Más de 2000 lux, se utilizó para un alto grado de distinción en la definición de detalles.

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad durante las evaluaciones fueron las siguientes: temperatura ambiente durante la primera evaluación fue de 22.9 °C, para la evaluación 2 el promedio de la temperatura ambiente fue de 25.4 °C.

La humedad relativa promedio durante la primera evaluación fue de 54%, durante la segunda evaluación fue de 44%. La Norma oficial Mexicana NOM-005-STPS-2001, especifica condiciones ambientales adecuadas, para actividades laborales, una temperatura entre 20 a 25 °C, y una humedad relativa entre 45 y

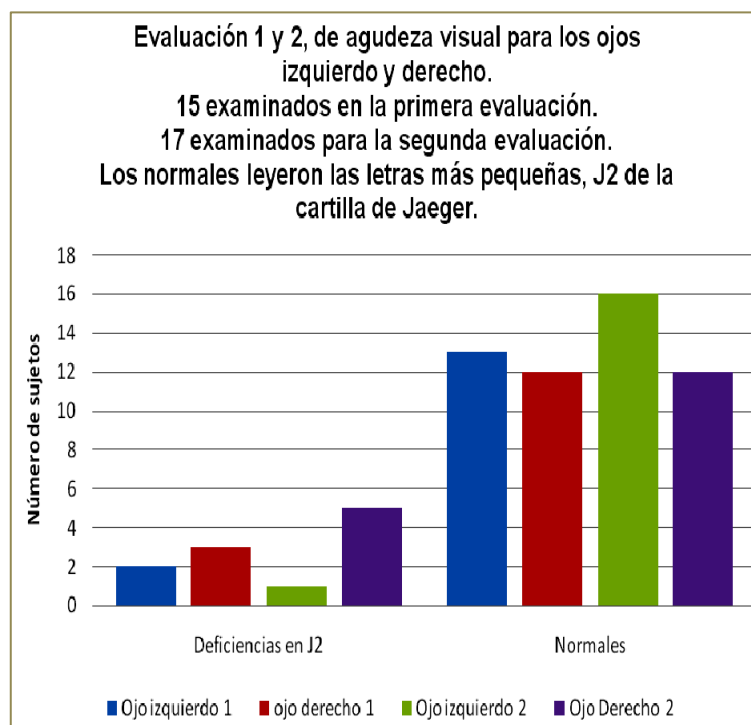
55%. Cabe mencionar que la época en que se realizaron las pruebas fué en verano donde se presentaban nublados y lluvias.

De los quince examinados en la primera evaluación, trece leyeron las letras más pequeñas de la cartilla de Jaeger (J2), dos no lo hicieron, realizando la lectura con el ojo izquierdo. El ojo derecho reporta más deficiencias para la lectura ya que reporta 3 sujetos que no leyeron las letras más pequeñas.

En la segunda evaluación el ojo derecho resultó con el mayor número de errores, gráfica 4.3.1., de los 17 sujetos evaluados 5 presentaron deficiencia para la lectura de las letras más pequeñas.

Tabla 4.3.1 Resultados de la prueba de agudeza visual.

Sujeto No.	Agudeza Visual (1) Jaeger.	Agudeza Visual (2) Jaeger.
1	J2 / J2	J2 / J2
2	J2 / J2	J2 / J2
3	J2 / J2	J2 / J5
4	J2 / J2	J2 / J2
5	J2 / J2	J2 / J2
6		J2 / J5
7		J2 / J2
8		J2 / J2
9	J2 / J2	J2 / J2
10	J2 / J2	
11	J2 / J2	J2 / J2
12	J2 / J2	J2 / J2
13	J5 / J5	J2 / J5
14	J5 / J5	J2 / J5
15	J2 / J2	J2 / J5
16	J2 / J2	J2 / J2
17	J2 / J6	J5 / J10
18	J2 / J2	J2 / J2



Gráfica 4.3.1. Prueba de agudeza visual.

El ojo derecho, en la muestra, fue en el que más deficiencias se detectaron para leer las letras más pequeñas de la cartilla de Jaeger, en las dos evaluaciones, para los sujetos 13, 14 y 17, de la tabla 4.3.1, fue sistemático su error en el ojo derecho.

El sujeto 13 padece de miopía y se le realizó una operación laser; los sujetos 14 y 17 no reportaron antecedentes patológicos visuales, estos mismos sujetos están frente a la computadora 5 y 7 horas diarias respectivamente, sin tomar en cuenta las horas que pasan frente a la televisión que es en promedio 1 hora diaria, por lo que estos resultados pueden ser síntomas de una astenopía o una presbicia.

4.4 Resultados de la Prueba de Ishihara.

El promedio de la iluminación en la prueba de Ishihara, para las dos evaluaciones es de 1280.09 lux, estando dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

La temperatura promedio durante la prueba fue de 24.2 °C, la humedad relativa promedio fue de 49.9%, índices dentro de los parámetros que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1999, Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo.

En la evaluación 1 de la prueba de Ishihara, se registraron 4 sujetos de 11, que presentaron de 1 a 2 errores, en alguna de las 24 cartillas que se le presentaron, ya sea con el ojo izquierdo o derecho, o con ambos.

En la evaluación 2 aumentó la proporción de sujetos que se equivocaron en la discriminación de color con las láminas de Ishihara. De 17 sujetos examinados 9 no presentaron ningún error, en ninguno de los dos ojos, los 8 restantes tuvieron de 1 a 3 errores con uno de los ojos o en ambos.



Gráfica 4.4.1. El resultado final de las prueba de Ishihara, acumula los resultados de los dos ojos en las dos evaluaciones, 10 sujetos de 10 no se equivocaron ninguna vez en la prueba de discriminación de color.

En la evaluación 2 de la prueba de Ishihara, las condiciones de iluminación mejoraron, esto fue un factor determinante ya que 8 de los 18 sujetos experimentales, no presentaron ningún error en ambas evaluaciones.

Resultados de la prueba de Ishihara ojo izquierdo/ojo derecho		
Sujeto No.	Evaluación (1)	Evaluación (2)
1	0 / 0 errores	0 / 0 errores
2	0 / 0 errores	0 / 0 errores
3	0 / 0 errores	2 / 2 errores
4	0 / 0 errores	2 / 2 errores
5	1 / 1 errores	2 / 2 errores
6		0 / 1 errores
7		1 / 1 errores
8		3 / 2 errores
9	0 / 0 errores	0 / 0 errores
10	1 / 1 errores	
11	0 / 1 errores	0 / 0 errores
12	0 / 0 errores	0 / 0 errores
13	0 / 0 errores	0 / 0 errores
14	0 / 0 errores	0 / 0 errores
15	0 / 0 errores	0 / 0 errores
16	0 / 0 errores	0 / 0 errores
17	1 / 1 errores	2 / 1 errores
18	1 / 2 errores	2 / 2 errores

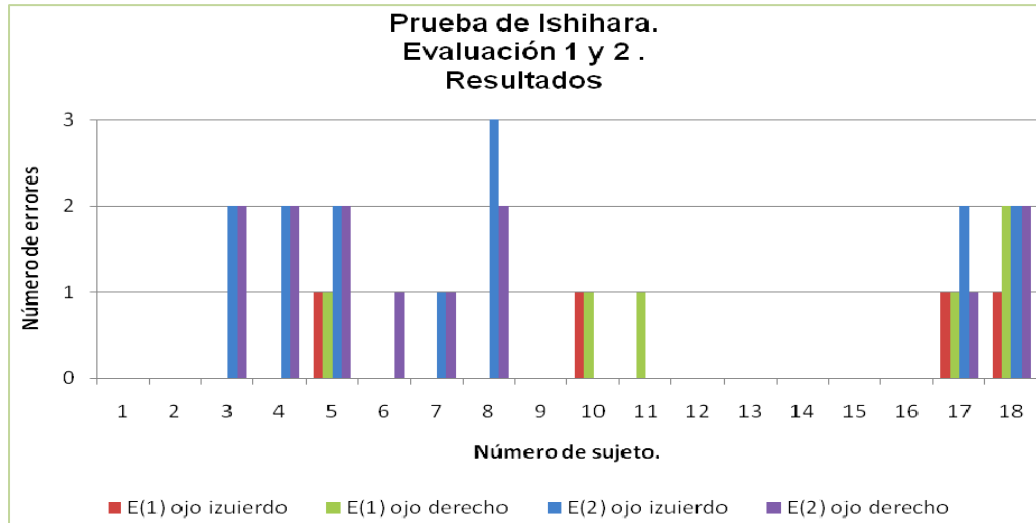
Tabla 4.4.1. Los resultados para los errores de los ojos 0/0, en las evaluaciones corresponden a la notación: **ojo izquierdo / ojo derecho**.

Si se fallan en más de 5 láminas en las primeras 13, es muy probable que se padezca un defecto congénito. Pero menos de 5 fallos suelen ser no predictivos. Esto significa que como cualquier prueba de *pantalla* tiene falsos positivos y, por tanto, se tiene que reevaluar a la persona con otras pruebas, como la de Hue test.

De los 10 sujetos que presentan errores, en al menos una de las dos evaluaciones, 9 son del sexo femenino, tienen una edad promedio de 29.4 años, 5 presentan antecedentes patológicos visuales, tienen un promedio de 5.9 horas frente a un monitor de computadora y 6.6 años en promedio de ejercer su profesión.

Como observamos en la grafica 4.4.2., el ojo derecho es el que presenta con más frecuencia fallas en la discriminación de las figuras en las láminas de Ishihara. El ojo izquierdo fue el primero en evaluarse, por lo que descartamos la

posibilidad de un mayor factor de falla al ser el primer ojo evaluado. Puede suponerse que el primer ojo evaluado tenga mayor probabilidad de fallo en la discriminación del color, que el segundo, el segundo ojo evaluado tiene la ventaja de conocer la figura expuesta. En algunos sujetos como el No. 5, 17 y 18 fueron sistemáticos los errores para ambos ojos.



Gráfica 4.4.2. Errores por ojo en cada uno de los sujetos. El ojo izquierdo del sujeto 8 fue el que más errores tuvo. Por género, el femenino, muestra mayor frecuencia en los errores. Sujetos masculinos 2, 11 y 16.

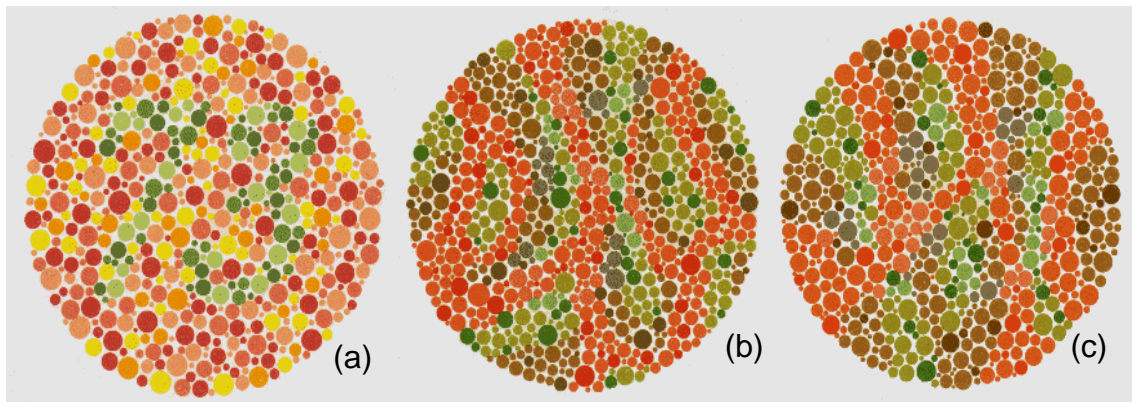


Figura 4.2.1 (a) Lámina 13. Quienes tienen visión normal de los colores deben leer el número 73. Quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente. (b) Lámina 14 y (c) Lámina 15. Aquellos con visión normal a los colores y quienes tienen ceguera total a los colores no son capaces de leer ningún número. La mayoría de quienes padecen deficiencias para el rojo-verde creen ver un número.

Cabe mencionar que en la segunda evaluación los sujetos de la empresa Comercializadora Arush, S. A. de C. V, se encontraban presionados por las cargas de trabajo que dejaban pendientes en el proceso de producción de la planta, para poder realizar las pruebas, por lo que se les pidió que se tranquilizaran.

De la tabla 4.2.2. Observamos que cuatro de los seis sujetos no presenta antecedentes patológicos visuales, no existiendo ninguna correlación con los errores. Existe una mayor correlación con las horas frente a la computadora (PC).

Sujeto No.	Edad (años)	Sexo	Antecedentes patológicos visuales	Profesión o puesto en el trabajo	Tiempo de ejercerla (años)	Horas frente a la PC	Evaluación (1)	Lámina No.	Evaluación (2)	Lámina No.
3	29	F	No	Supervisora de foleos (tonos)	5	1	0 / 0 errores		2 / 2 errores	14,15/14,15
4	29	F	No	Técnico Industrial del Vestido	12	9	0 / 0 errores		2 / 2 errores	14,15/14,15
5	36	F	No	Diseñadora de Modas	8	14	1 / 1 errores	15/15	2 / 2 errores	14,15/14,15
11	28	M	Astigmatismo	Ingeniero Textil	1	1	0 / 1 errores	N/15	0 / 0 errores	
17	22	F	No	Lic. En Informática	7	7	1 / 1 errores	15/15	2 / 1 errores	14,15/15
18	30	F	Miopía	Confeccionista Industrial	2	0	1 / 2 errores	13/13,15	2 / 2 errores	14,15/14,15

Tabla 4.2.2. Sujetos que presentan anomalías en la discriminación del color para la prueba de Ishihara.

Las láminas que acumularon el mayor número de fallos fueron las N° 14 y 15, figura 4.2.1., que son láminas que no contienen ningún número y los sujetos que fallaron en estas láminas creyeron ver un número, que no existe.

Los sujetos N° 3 y N° 17, presentan anomalías tanto en la prueba de agudeza visual cercana y en la prueba de Ishihara. Las dos mencionan no tener antecedentes patológicos visuales. Donde son más sistemáticos los errores son el sujeto N° 17, que por las características de su profesión y el número de horas frente a la computadora (PC), posiblemente esté en proceso de una enfermedad oftalmológica, por lo que puede presentar síntomas de astenopia producida por la cercanía al monitor de la computadora. Esto confirma el uso de estas pruebas para la realización de estudios clínicos que detectan anomalías visuales.

En cuanto a los rasgos antropomórficos tres sujetos muestran una cara ovalada, 3, 11 y 18. Tres sujetos tienen la cara redonda 4, 5, 17. Lo común en los seis son pómulos y nariz prominente. Lo que se estableció en la teoría del capítulo dos, donde se menciona la posible reducción del campo visual debido al tamaño de los pómulos y la nariz.

De los resultados de las pruebas, se consideran a los sujetos participantes como personas normales, ya que no tienen dificultad para realizar discriminación de colores, ninguno de ellos llegó a 5 errores en ninguna de las dos evaluaciones, que es lo que se considera como normal. [116]



Figura 4.4.2. Secuencia de imágenes de los sujetos biológicos de experimentación que presentaron al menos un error en alguno de los dos ojos. Comparación antropomórfica.

4.5 Resultados Hue Test.

4.5.1 Resultados de la medición de las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ y CIE L^*C^*h , de las fichas del equipo Hue Test.

A continuación se muestran los resultados de las mediciones realizadas a las fichas, en las coordenadas de los espacios de color CIE $L^*a^*b^*$ y CIE L^*C^*h , obtenidas en el laboratorio de óptica con un espectrofotómetro, del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (NAOE).

Como se expuso en la teoría se esperaba que la *luminancia* L^* y la *chrominancia* C^* , se mantuvieran constantes, pero no fue así. Las gráficas 4.5.1 y 4.5.2, muestran esta inconsistencia en los valores. La línea recta de la gráfica 4.5.3, que corresponde al *hue* con respecto a la distribución de grados en el círculo cromático de las fichas, aquí se muestran en forma de protuberancia las fichas permutadas en su valor de *hue*.



CIE	85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
L*	50.1	50.7	50.2	49.9	49.2	48.1	48.8	47.5	48.1	48.1	48.7	48.6	49.5	48.5	49.7	50.0	50.6	51.3	81.0	53.2	53.2	52.2
a*	20.8	17.8	19.8	19.5	19.8	19.5	18.3	17.4	16.8	15.9	14.5	14.5	12.6	11.9	10.7	9.31	7.7	5.0	3.7	1.3	-0.03	-1.3
b*	9.8	11.0	12.9	14.3	16.2	18.1	18.7	20.1	21.9	22.9	24.2	26.5	26.7	29.4	31.1	32.2	33.3	32.7	33.2	33.2	32.8	32.0
C*	23.0	22.7	23.7	24.2	25.6	26.6	26.2	26.6	27.6	27.9	28.2	30.2	29.5	31.7	32.9	34.6	34.2	33.1	33.3	33.3	32.8	32.0
h	25.3	29.1	33.1	36.3	39.2	42.9	45.6	49.2	52.5	55.2	59.2	61.4	64.7	67.9	70.9	73.5	77.1	81.4	84.6	87.9	90.1	92.3

Tabla 4.5.1. Valores CIE L*a*b* y CIE L*C*h para cada una de las fichas del estuche N°1.



CIE	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
L*	52.4	52.9	52.3	52.8	53.2	53.2	53.4	54.3	53.2	53.6	53.6	53.4	54.0	54.2	52.9	52.1	53.2	52.8	53.0	52.83	52.76
a*	-4.1	-5.5	-7.5	-8.8	-10.3	-11.8	-13.1	-13.0	-15.4	-16.1	-18.0	-20.0	-20.4	-21.7	-22.1	-21.1	-22.1	-21.6	-21.1	-21.6	-23.1
b*	30.8	28.9	28.1	25.2	23.9	22.1	20.7	21.1	18.6	17.6	18.2	15.7	14.2	12.7	11.3	7.5	7.7	5.0	3.8	2.6	2.89
C*	31.1	29.4	29.0	26.7	26.0	25.0	24.5	24.8	24.1	23.9	28.6	25.4	24.9	25.6	24.8	22.4	23.4	22.1	21.5	21.8	23.3
h	97.5	100.8	104.9	109.3	113.4	118.1	122.3	121.7	129.6	132.4	134.8	141.9	145.3	149.7	152.9	160.5	160.7	166.1	169.8	173.2	172.9

Tabla 4.5.2. Valores CIE L*a*b* y CIE L*C*h para cada una de las fichas del estuche N°2.



CIE	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
L*	52.4	52.9	53.0	52.8	52.8	53.11	53.5	53.0	53.6	53.2	53.2	53.8	52.2	53.5	52.1	53.3	51.9	51.7	51.5	52.3	
a*	-22.3	-22.3	-21.5	-22.3	-23.2	-21.3	-20.9	-19.6	-17.6	-17.1	-15.7	-14.2	-12.0	-10.3	-8.0	-6.7	-5.3	-3.9	-2.4	-0.8	1.0
b*	0.98	0.48	-2.1	-3.4	-4.0	-4.8	-6.1	-7.9	-9.4	-10.9	-11.6	-12.1	-10.6	-12.7	-13.7	-14.7	-15.0	15.8	-15.9	-16.0	-14.9
C*	22.8	22.3	21.6	22.6	23.4	21.8	21.7	21.1	19.9	20.3	19.5	18.6	16.0	16.3	15.8	16.2	15.9	16.2	16.0	16.0	14.9
h	177.5	178.8	185.7	188.7	187.5	192.7	196.2	201.9	208.3	212.6	216.3	220.4	221.4	230.8	239.7	245.7	250.5	256.2	261.5	267.1	273.8

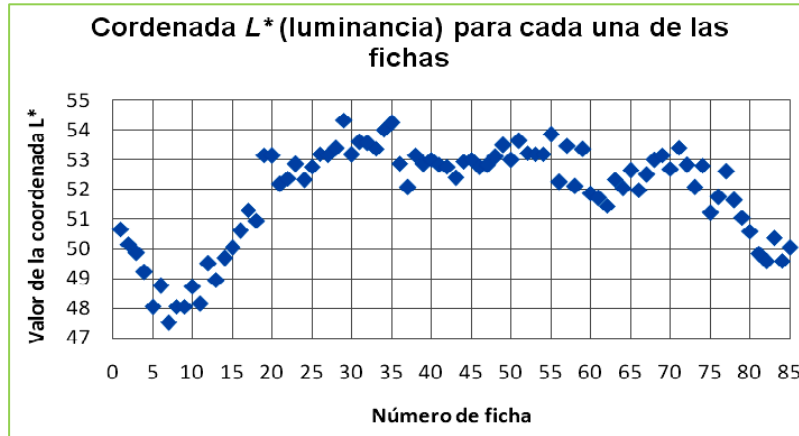
Tabla 4.5.3. Valores CIE L*a*b* y CIE L*C*h para cada una de las fichas del estuche N°3.



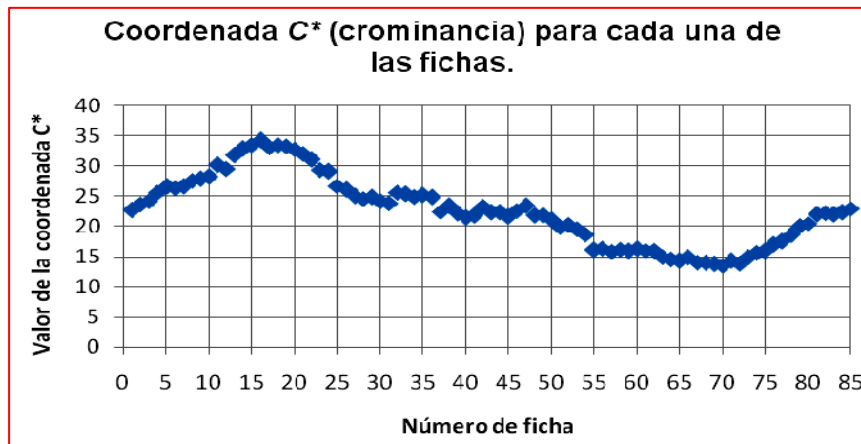
CIE	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
L*	52.0	52.6	52.0	52.5	53.0	53.2	52.7	53.4	52.8	52.1	52.8	51.2	51.8	52.6	51.6	51.1	50.6	49.8	49.6	50.4	49.6
a*	2.1	3.1	4.7	5.4	6.6	8.0	8.8	10.6	11.1	13.0	14.3	15.1	16.5	17.3	18.5	20.1	20.4	21.7	21.7	21.0	20.8
b*	-14.4	14.0	-14.0	-13.0	-12.3	11.2	-10.2	-9.5	-8.2	-7.3	-6.3	-4.9	3.9	-2.4	-1.3	0.2	1.7	3.3	5.0	6.3	8.1
C*	14.6	14.3	14.8	14.0	13.9	13.8	13.5	14.3	13.8	14.9	15.6	15.9	16.9	17.5	18.6	20.1	20.5	21.9	22.2	21.9	22.4
h	278.2	282.5	288.6	292.6	298.0	305.6	310.9	318.1	323.5	330.6	336.2	341.9	346.6	352.1	356.1	0.7	4.8	8.6	12.9	16.8	21.3

Tabla 4.5.4. Valores CIE L*a*b* y CIE L*C*h para cada una de las fichas del estuche N°4.

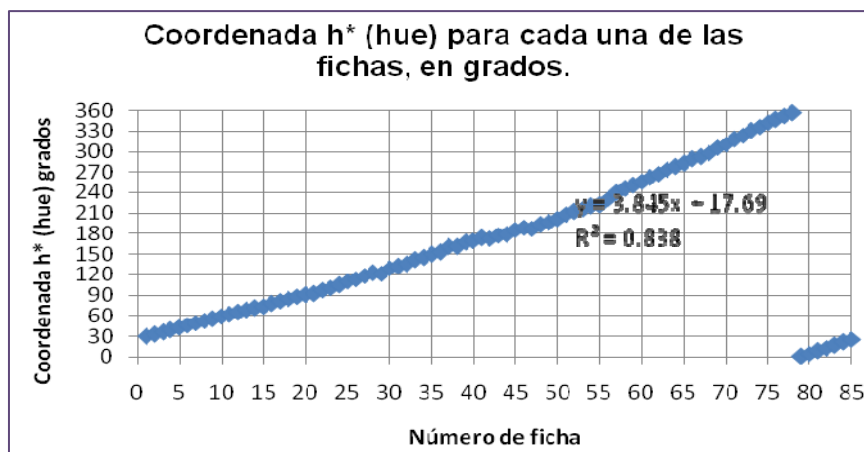
Existe una permutación en el valor del *hue*, en las fichas N° 28 y 29, N° 41 y 42, en las N° 46 y 47.



Gráfica 4.5.1. Se muestra la variación de la coordenada L* (luminancia) para cada una de las fichas. El valor de la luminancia es de 0 a 100 unidades.

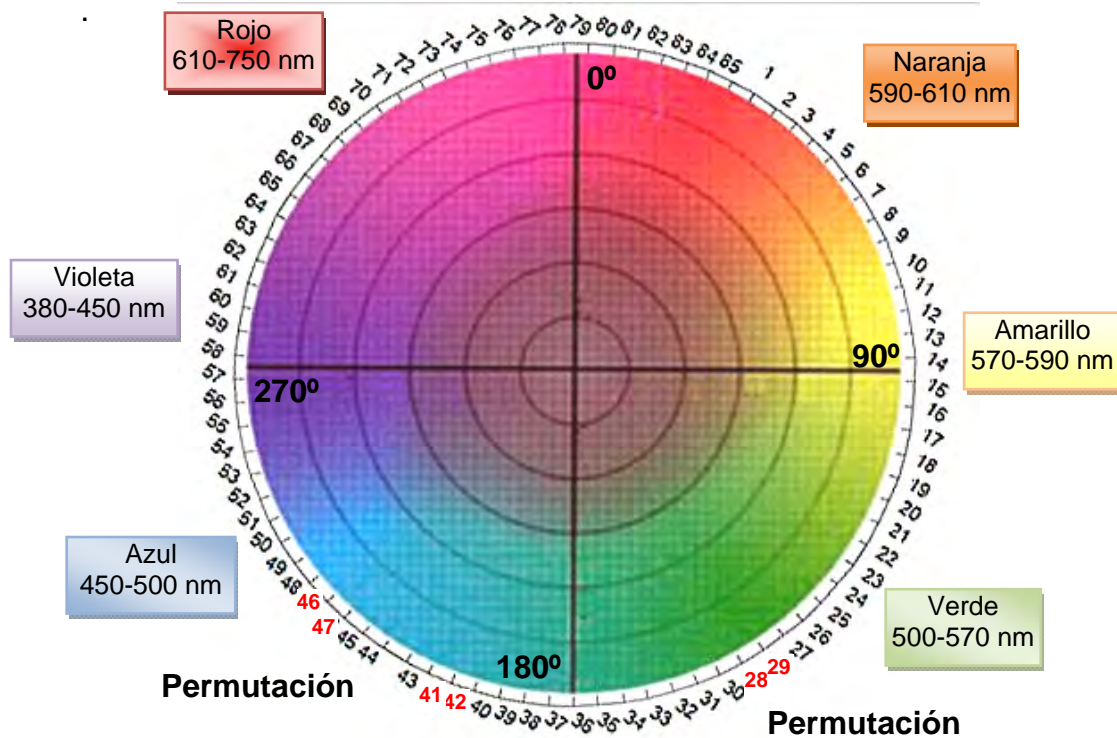


Gráfica 4.5.2. La coordenada C* (crominancia), tiene valores de 0 a 100 unidades.



Gráfica 4.5.3. Se observa en la gráfica casi una línea recta, pero las variaciones entre un hue y su subsecuente no son constantes, estos varían desde menos de un grado a seis grados entre hue y hue.

Colocamos en el círculo cromático la distribución de las fichas, conforme a los grados de los *hue*, comenzando con la ficha número 79 que inicia con 0.7 grados y finalizando con la ficha número 78 con 356.8 grados, datos obtenidos de las tablas 4.5.1 a la 4.5.4.



.Gráfica 4.5.4. Número de fichas, tonos y su distribución aproximada en el círculo cromático. Existe una permutación en el orden, según los valores obtenidos en el laboratorio, en las fichas 28 y 29, y 46 y 47. La relación con las longitudes de onda de los *hue* es aproximada.

Definiremos *error* cuando una de las fichas no se colocó de forma correcta en los estuches, de acuerdo al número de ficha. Para el cálculo estadístico no tomaremos en cuenta las permutaciones en los valores del *hue* de las fichas pares N° 28 y 29, 41 y 42, y el par 46 y 47, que están invertidos.

En la tabla 4.5.5., se expone un ejemplo del conteo de errores por estuche. En el estuche N° 1 que tiene como fichas fijas la N° 85 en el inicio y la ficha N° 21 al final este sujeto participante no tuvo errores en la prueba Hue Test con el iluminante D65.

En el estuche N° 2, que tiene como fichas fijas al inicio la N° 22 y al final la N° 42, tuvo 6 errores para el mismo iluminante D65. En el estuche N° 3, con las fichas fijas la N° 43 al inicio y la final la N° 63, tuvo 8 errores. Finalmente en el estuche N° 4, con ficha fija inicial la N° 64 y la N° 84 como final, tuvo 2 errores. El total de errores para esta prueba, con el iluminante D65, fueron 16 errores.

Como podemos observar en la tabla 4.5.5., el sujeto colocó correctamente las fichas 28 y 29, conforme a su valor de *hue* medido en el laboratorio, sin embargo para efectos de certificación como discriminador de color esto se considera un error, y así lo tomamos para el análisis estadístico. De las dos evaluaciones *Hue Test*, realizadas a cada sujeto participante, se utilizó, para el análisis estadístico, la que tuvo menos errores.

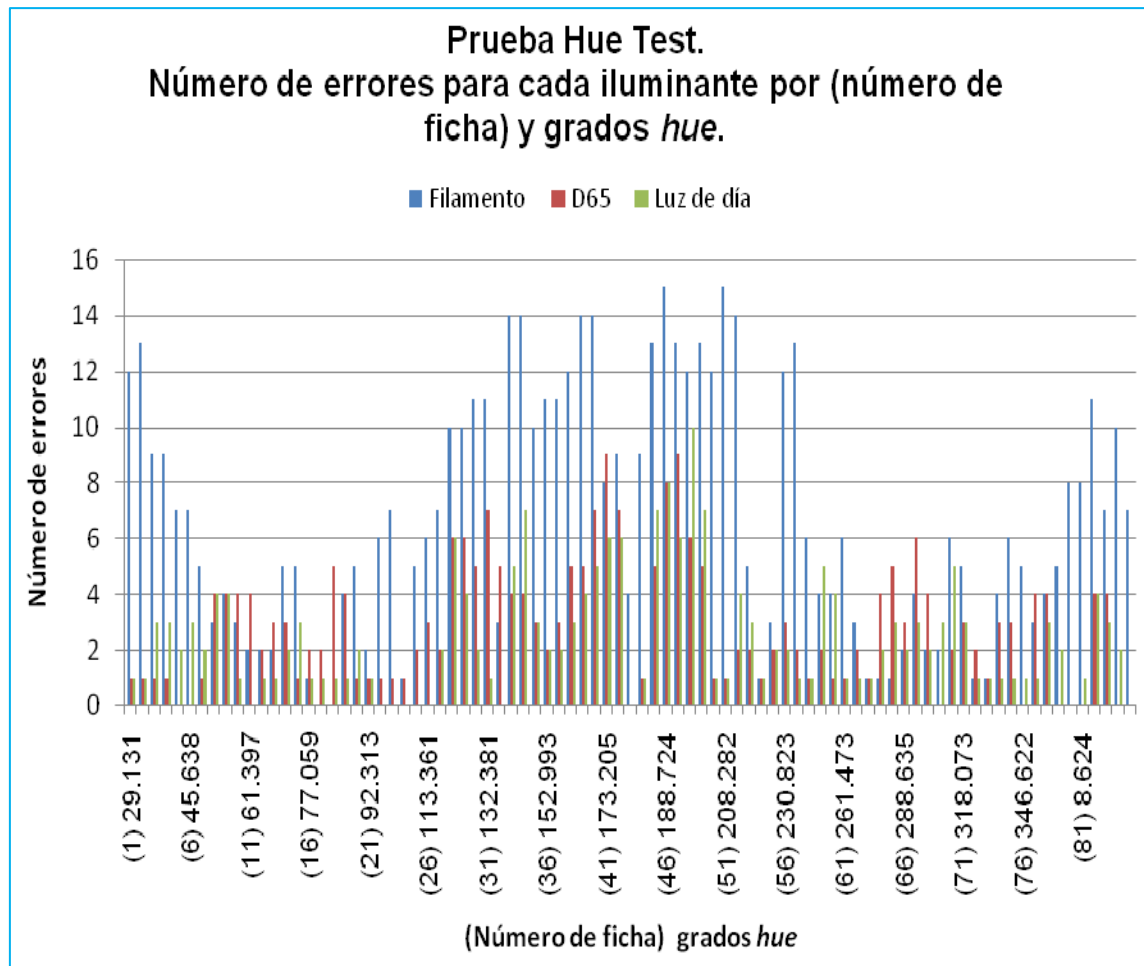
Es el mismo caso para las fichas No. 48 y N° 49, que sus valores de *hue* están invertidos, pero el sujeto los colocó correctamente de acuerdo al valor obtenido del *hue* en laboratorio.

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test.																						
Fecha:	29-07-08	Hora:	Nat. 12:12	D65 15:12	A 15:37	Aplicador:	Nat : JAVS Jorge Antonio Veliz Suárez; D65 y A: IPM Israel Pérez Medina															
Iluminancia (lux):	Nat. 1896	D65 1476	A 275	Temperatura °C	Nat. 24	D65 24	A 24	Humedad %	46	36	36											
85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Fuente
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	16	15	✓	✓	✓	✓	Nat.
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
✓	2	4	1	3	✓	✓	8	9	7	✓	✓	✓	✓	✓	16	✓	14	✓	19	18	✓	A
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	Fuente	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	31	30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	42	41	Nat.	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	29	28	✓	32	31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	40	39	✓	✓	D65	
23	22	✓	✓	✓	29	27	31	28	30	✓	✓	✓	✓	39	36	✓	40	41	42	37	A	
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	Fuente	
✓	✓	46	47	45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.	
✓	✓	46	45	✓	49	48	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	57	56	✓	60	59	✓	✓	D65	
✓	46	44	47	49	45	51	✓	48	✓	✓	✓	✓	✓	57	56	✓	✓	✓	✓	63	62	A
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	Fuente	
✓	✓	67	66	70	68	69	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat.	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	71	70	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65	
✓	✓	✓	✓	✓	70	69	✓	✓	✓	✓	✓	77	76	✓	✓	81	80	83	82	✓	A	

Tabla 4.5.5. Resultados de la evaluación N° 2 de la prueba Hue Test, del sujeto participante No. 6. La “paloma” en las casillas significa que colocó correctamente las fichas. Los números en las casillas es la ficha que colocó de forma errónea, es decir fuera de su lugar.

Seguidamente expondremos gráficamente algunas características de los resultados *Hue test*. En la gráfica 2.5.5., observamos la frecuencia de errores acumulados de la muestra para cada una de las fichas, para cada iluminante.

En el eje x, está el número de ficha junto al valor de *hue*, obtenido en laboratorio y en el eje y, los errores acumulados. El valor del error acumulado es la suma de los errores de cada participante, por prueba *Hue Test*.



Gráfica 4.5.5. Errores totales por ficha, en grados *hue*, en la prueba *Hue Test* con tres iluminantes diferentes.

La ficha que mayor errores tuvo en las tres pruebas fue la N° 46, con un valor *hue* de 188.7, y la que menos la N° 24, con un valor *hue* de 104.9. Cabe mencionar que en la ficha N° 46 existe una permutación en el orden.

Como se observa en la gráfica 4.5.5., el total de los errores se concentran de la ficha número 28 a la 58. En el círculo cromático de la gráfica 4.5.4., en la región verde-azul. Posiblemente esto se deba a que las distancias entre *hue* es

más corta que en las otras regiones, dificultando la discriminación del color por parte del sujeto. Esto lo observamos en las tablas siguientes:

Intervalo de N° de Fichas	Promedio Δh
De la 85 a la 21	3.281
De la 22 a la 42	3.809
De la 43 a la 63	4.794
De la 36 a la 84	5.044

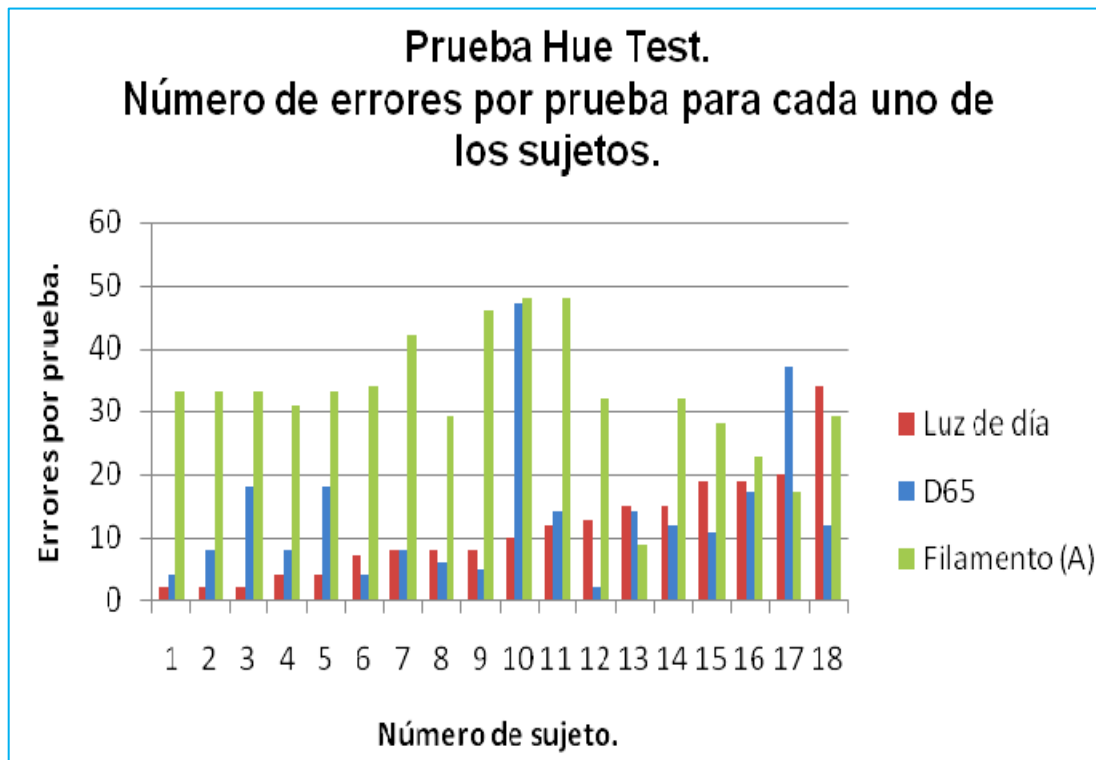
(a)

Pares de N° de Fichas	Δh
28 y 29	0.535
41 y 42	0.331
47 y 46	1.270

(b)

Tabla 4.5.6. (a) El valor Δh es la diferencia entre dos *hue* consecutivos, los intervalos de N° de fichas, están divididos por estuches con sus respectivas fichas y promedios de Δh . (b) Las fichas que tienen una permutación en el orden dentro de los estuches, tienen un Δh mucho menor al promedio.

El patrón de distribución de las frecuencias en la gráfica 4.5.6., es muy similar para los iluminantes de luz natural de día y D65, sólo aumenta significativamente, el número de errores, en el iluminante de filamento.



Gráfica 4.5.6. Distribución de frecuencia de errores por sujeto para cada iluminante.

Tabla 4.5.7. Total de errores de cada sujeto en las pruebas *Hue Test* para cada iluminante.

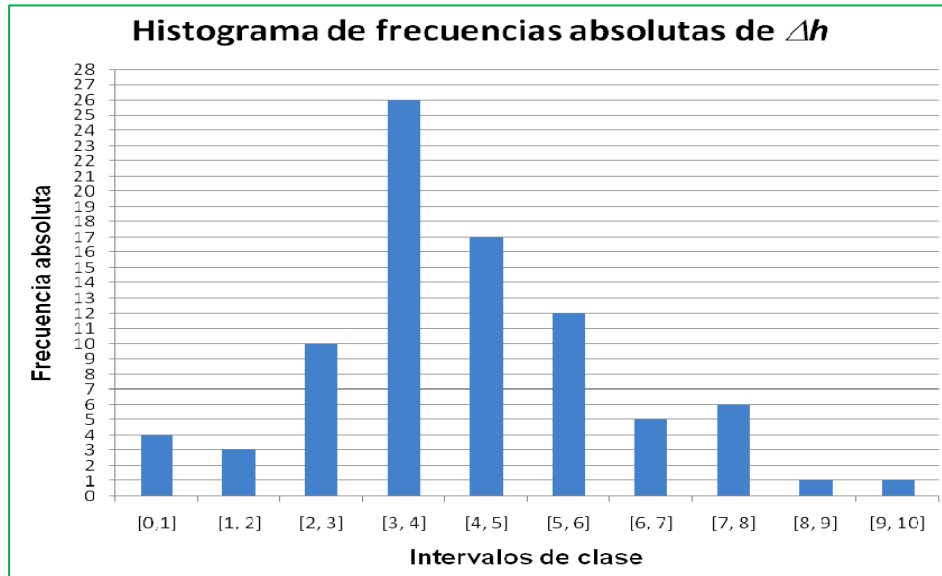
Sujeto No.	Errores por iluminante		
	Natural/día	D65	Filamento/A
1	2	4	33
2	13	2	33
3	8	8	33
4	20	37	31
5	2	8	33
6	19	11	34
7	15	14	42
8	4	8	29
9	12	14	46
10	10	47	48
11	4	18	48
12	2	18	32
13	7	4	9
14	34	12	32
15	8	6	28
16	8	5	23
17	15	12	17
18	19	17	29
Promedio	11.22	13.61	32.22

La tabla 4.5.7, muestra los resultados de las tres pruebas Hue Test, con diferentes iluminantes, con el iluminante de luz natural de día, los sujetos incurrieron en menos fallas al colocar las fichas, en los estuches. En el iluminante de filamento tipo A, los sujetos participantes tuvieron un mayor número de errores, casi el 200 % más de fallas que con el iluminante natural de luz de día.

Tabla 4.5.8. Intervalos de valor Δh que integran las diferentes fichas.

Clase	Intervalo en valor Δh	Número de fichas en el intervalo	Frecuencia absoluta (f_a)
1	[0,1]	37, 42, 29, 54	4
2	[1, 2]	47, 43, 45	3
3	[2, 3]	19, 10, 20, 31, 8, 5, 30, 39, 14, 3	10
4	[3, 4]	13, 40, 17, 12, 15, 2, 18, 11, 22, 7, 33, 35, 6, 48, 27, 4, 52, 80, 85, 46, 82, 66, 77, 1, 9, 84	26
5	[4, 5]	25, 53, 23, 79, 81, 41, 51, 16, 63, 64, 34, 24, 83, 78, 26, 75, 58	17
6	[5, 6]	21, 69, 60, 71, 67, 76, 73, 59, 49, 61, 74, 57	12
7	[6, 7]	65, 38, 50, 62, 44	5
8	[7, 8]	72, 32, 70, 28, 36, 68	6
9	[8, 9]	56	1
10	[9, 10]	55	1
			Total 85

Podemos observar, en la tabla 4.5.8, dentro de los intervalos [0,1] y [1,2], es donde sistemáticamente los participantes se equivocaban al ordenar las fichas, y que incluyen las fichas cuyo valor *hue* se encuentra permutado en el orden.



Gráfica 4.5.7. Histograma de las frecuencias absolutas de la tabla 4.5.8.

Realizamos un análisis de factores, considerando las siguientes relaciones $\Delta h/C^*$ y $\Delta h/L^*$, en el anexo B, se reporta la tabla y los cálculos para este análisis.

Para ambos casos se ordenaron los datos de acuerdo al valor de *hue* (*h*) de menor a mayor, cambiando el orden de las fichas. Para el cálculo de Δh se tomaron pares consecutivos de valores de *hue* y se sacó su diferencia. Para la ficha número 78 consideré como su consecutivo la ficha número 79, ya que el círculo cromático se termina en la ficha número 78.

1.- El cálculo del factor $\Delta h/C^*$ para todos los pares consecutivos de las fichas de Hue Test.

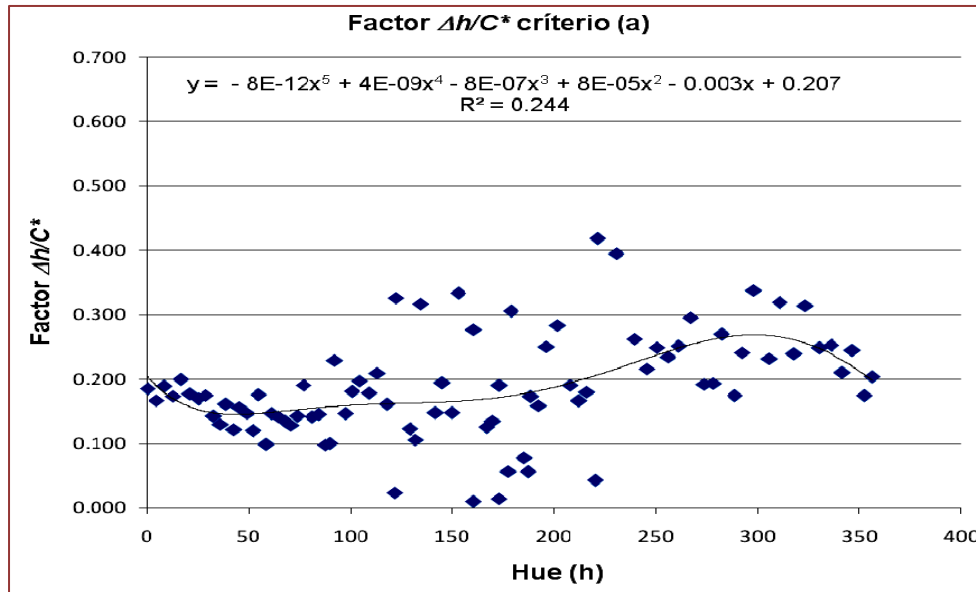
Se aplicaron tres criterios para observar diferencias:

- a) La coordenada C^* promedio del Kit.
- b) El promedio de pares consecutivos de C^* .
- c) De un par consecutivo de la coordenada C^* , se tomó la de mayor valor, entre las dos fichas consecutivas.

2. Para calcular el factor $\Delta h/L^*$ para todos los pares consecutivos de las fichas de Hue Test.

Se calculó en base a los siguientes tres criterios para observar diferencias.

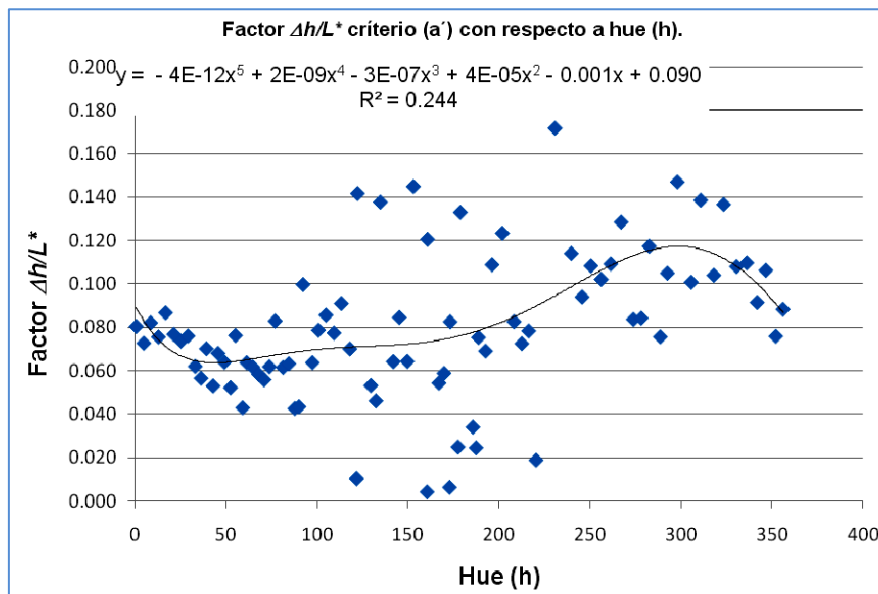
- a) La L^* promedio del Kit,
- b) L^* promedio de las dos fichas consecutivas,
- c) La L^* más grande entre las dos fichas consecutivas.



Gráfica 4.5.8. Distribución del factor $\Delta h/C^*$, utilizando el criterio (a), donde la coordenada C^* , es constante, debido a que es el promedio de todos los valores medidos de cada una de las fichas. Los otros criterios se eliminaron debido a que existía una mayor dispersión de los datos.

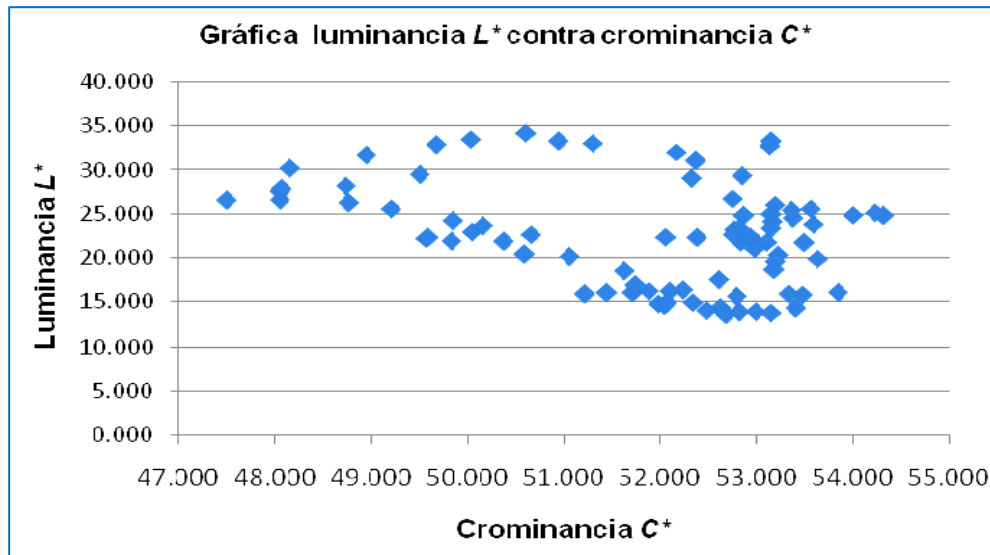
La gráfica 4.5.8., muestra una dispersión en los valores centrales del *hue* (*h*), donde existen el mayor número de errores en la prueba de discriminación. Al graficar los otros dos criterios (b) y (c), se observan mucho más dispersos los datos. La ecuación no es lineal.

El resultado del factor $\Delta h/L^*$, es una gráfica similar a la 4.5.9. La dispersión de los valores se acentúa también en los *hue* centrales.

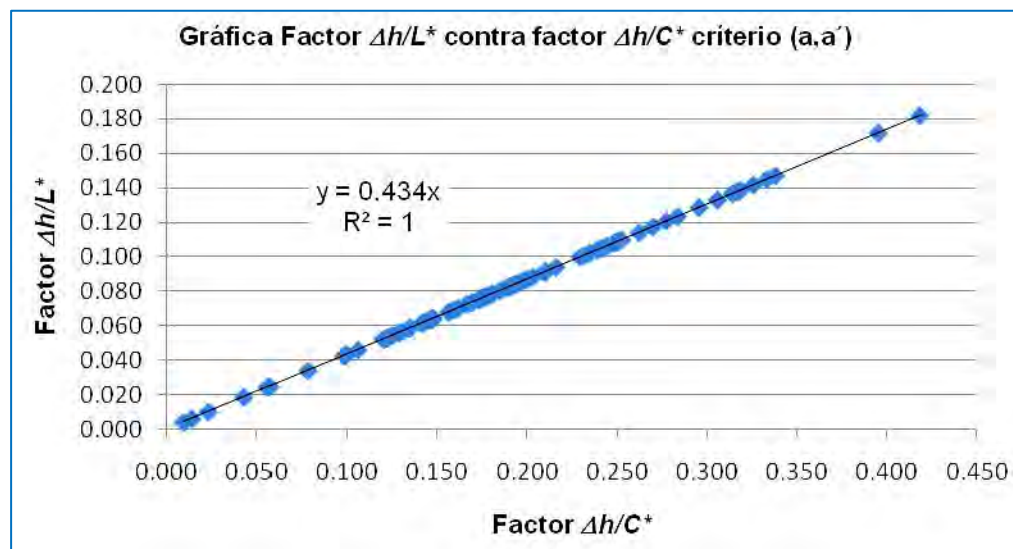


Gráfica 4.5.9. Distribución del factor $\Delta h/L^*$, utilizando el criterio (a).

Realizamos varias pruebas para encontrar alguna relación lineal, que nos pudiera dar una constante. Al graficar la crominancia C^* contra la luminancia L^* , encontramos el siguiente resultado.



Finalmente encontramos una relación que es lineal y está relacionada con las coordenadas C^* , L^* y Δh . Esta relación es lo que más se aproxima a una constante Psicofísica, en la que se involucra a las tres variables sobre un contínuo de datos.



4.5.2 Analisis de Varianza de las coordenadas CIE L*C*h.

El análisis de varianza (ANVA), se refiere a una técnica mediante la cual la varianza total presente en un conjunto de datos se distribuye en varias componentes. Con cada una de estas componentes está asociada una fuente específica de variación, de modo que en el análisis es posible averiguar la magnitud de las contribuciones de cada una de estas fuentes a la variación total. El desarrollo de esta materia se debe principalmente al trabajo de R. A. Fisher. El análisis de variancia tiene su aplicación en el análisis de los datos obtenidos a partir de experimentos. [74]

Para el análisis de variancia (ANVA) de las coordenadas CIE L*C*h, nos basamos en el modelo matemático 2^k , en este caso las fuentes de variación son las coordenadas CIE L*C*h, de las fichas del equipo *Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)*, donde los valores de *hue* (h), *luminancia* (L*) y *chrominancia* (C*), fueron obtenidos mediante la medición directa, con un espectrofotómetro. En una cabina de iluminación se midió de forma individual a cada una de las fichas, a 10° de observación, bajo condiciones controladas de iluminación, con un iluminante D65.

El modelo matemático del diseño experimental factorial 2^3 , estudia simultáneamente los efectos de tres variables, llamadas factores. Este modelo nos permite estudiar los efectos de los factores individuales y su interacción entre ellos.

Modelo Matemático del diseño 2^3

$$\text{Modelo: } Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} \\ + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

En donde:

Y_{ijkl} = Observación "ele" de la celda correspondiente al nivel i del factor A, nivel j del factor B y nivel k del factor C

$$i = 1,2 \quad j = 1,2 \quad k = 1,2 \quad l = 1,2,\dots,n$$

μ = Media Común

$\tau_i, \beta_j, \gamma_k$ = Efecto del i-ésimo nivel del factor A, j-ésimo nivel del factor B y k-ésimo nivel del factor C, respectivamente.

$(\tau\beta)_{ij}, (\tau\gamma)_{ik}, (\beta\gamma)_{jk}, (\tau\beta\gamma)_{ijk}$ = Efectos de interacción

ε_{ijkl} = Error o componente aleatoria

Tomado del curso del Dr. Luis Antonio Pérez González [36]

Cuadro 4.5.1. Modelo Matemático del diseño de experimentos 2^3 .

No exponemos en este trabajo el desarrollo matemático del modelo, utilizaremos el programa desarrollado por el Dr. Luis Antonio Pérez González [86], y sólo ingresaremos los datos a los formatos, utilizando el programa *Excel* para aplicaciones estadísticas.

Se dice que existe interacción cuando la combinación de algún nivel de uno de los factores con algún nivel de otro factor produce un efecto diferente al efecto de alguna otra combinación de niveles de los dos factores. En este caso las variables *hue* (h), números de *errores* (E) cometidos por el sujeto en la prueba *Hue Test*, y la *crominancia* (C^*), en un primer análisis, son los factores. Los errores (E), se cuentan en dos regiones del espectro el verde y el amarillo, que corresponden a los niveles de un grupo. Existe interacción entre los factores cuando cuando las calificaciones son superiores a las combinaciones de los demás grupos.

En el párrafo anterior expusimos para el caso del factor de la *crominancia* (C^*), de forma análoga se realizó para el factor de la *luminancia* (L^*), creando de forma independiente cada análisis, y posteriormente comparando los resultados, obtenidos en una tabla de *análisis de varianzas* conocida como *tabla ANVA*.

El término variación usado en este contexto se refiere a *la suma del cuadrado de las desviaciones de las observaciones respecto de su media*, o bien, por brevedad *la suma de cuadrados* (SC_{total}). Dentro de cada grupo la varianza es pequeña comparada con la varianza entre las medias. Esta suma total de cuadrados se define como:

$$SC_{\text{total}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

Donde

x_{ij} = la i -ésima observación que recibe el j -ésimo tratamiento, $i=1,2,\dots,n_j$, $j=1,2,\dots,k$.

Cuando el número de observaciones es el mismo en cada grupo, puede reescribirse la suma de cuadrados totales como

$$SC_{\text{total}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 + n \sum_{j=1}^k (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$$

el valor de los grados de libertad es igual a

$$\sum_{j=1}^k (n_j - 1) = \sum_{j=1}^k n_j - k = N - k$$

Cuando las hipótesis nulas son ciertas tienen lugar las relaciones:

$$\frac{CM_B}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)} \quad \frac{CM_A}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)} \quad \frac{CM_{AB}}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)} \quad \frac{CM_C}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)}$$

$$\frac{CM_{AC}}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)} \quad \frac{CM_{BC}}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)} \quad \frac{CM_{ABC}}{CM_E} \cong F_{(g_1, g_2)}$$

Donde CM es el cuadrado medio, que es una relación entre la suma de cuadrados SC , entre los grados de libertad (g.l.), en otras palabras

$$CM = \frac{SC}{k-1}$$

donde $k-1$ son los grados de libertad

F es la razón de variancias, que cuando se aproxima al valor de uno, tiende a apoyar la hipótesis. Cuando F es mayor que uno entonces se rechaza la hipótesis.

La suma de cuadrados estará definida por la siguiente expresión general basada en el modelo matemático del diseño 2^3 [86].

Descomposición de la suma de cuadrados

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^n \left(Y_{ijkl} - \bar{Y} \dots \right)^2$$

$$= SC_A + SC_B + SC_C + SC_{AB} + SC_{AC} + SC_{BC} + SC_{ABC} + SC_E$$

Los grados de libertad correspondientes a las sumas de cuadrados son:

SC	gl	SC	gl	SC	gl
SC_A	1	SC_{AB}	1	SC_{ABC}	1
SC_B	1	SC_{AC}	1	SC_E	$8(n-1)$
SC_C	1	SC_{BC}	1	SC_T	$8n-1$

Tomado del curso del Dr. Luis Antonio Pérez González [86]

Cuadro 4.5.2. Suma de cuadrados para el diseño de experimentos 2^3 , y los grados de libertad que le corresponden a cada suma de cuadrados.

Para calcular las sumas de cuadrados de los factores, podemos utilizar la relación:

$$SC = n \sum_{i=1}^{k-1} ef^2$$

Donde SC es la suma de cuadrados de cualquier factor, n es el número de observaciones, k es el número de factores y ef es el valor del efecto en esa interacción.

La cual es válida para la SC de cualquier factor y para todo $k > 1$.

De la misma forma calculamos la suma de cuadrados para el error.

$$SC_E = SC_T - SC_A - \dots - SC_{ABC}$$

Para la formulación de las hipótesis, sospechamos que los factores $\Delta h/L^*$, $\Delta h/C^*$ y Δh , influyen en la discriminación del color de los sujetos evaluados en dos regiones del círculo cromático, el amarillo y el verde, que se denominan *yellow* y *green*, respectivamente.

Realizaremos un análisis independiente para cada uno de los factores $\Delta h/L^*$ y $\Delta h/C^*$, comparando posteriormente cuál de ellos influye más en los resultados de las evaluaciones de las pruebas *Hue Test*.

Para verificar la hipótesis y construir intervalos de confianza asumimos normalidad, varianza constante e independencia de los errores.

Hipótesis. Es de nuestro interés verificar las siguientes hipótesis sobre los efectos y construir una tabla ANVA.

Hipotesis nula H_0	Hipotesis alternativa H_1
H_{0A} : Efecto de A = 0	H_{1A} : Efecto de A $\neq 0$
H_{0B} : Efecto de B = 0	H_{1B} : Efecto de B $\neq 0$
H_{0AB} : Efecto de AB = 0	H_{1AB} : Efecto de AB $\neq 0$
H_{0c} : Efecto de C = 0	H_{1c} : Efecto de C $\neq 0$
H_{0AC} : Efecto de AC = 0	H_{1AC} : Efecto de AC $\neq 0$
H_{0BC} : Efecto de BC = 0	H_{1BC} : Efecto de BC $\neq 0$
H_{0ABC} : Efecto de ABC = 0	H_{1ABC} : Efecto de ABC $\neq 0$

Tabla 4.5.9. Hipótesis a verificar.

Donde A es el factor *Green* o *Yellow*, B el factor $\Delta h/C^*$ o el factor $\Delta h/L^*$, y C el factor Δh . AB, AC, BC, y ABC, son las interacciones entre factores.

Seleccionamos los datos de la tabla general ubicada en el anexo C, las dos regiones que involucran el mayor número de errores de los participantes y la llamamos la región *Yellow* y la región *Green*.

Región espectral	Número de ficha	L*	a*	b*	C*	Hue (h)	Δh	Factor $\Delta h/C^*$ criterio (a)	Factor $\Delta h/L^*$ criterio (a')	Errores en la discriminación con iluminante natural.
Yellow	14	49.674	10.733	31.074	32.876	70.945	2.902	0.093	0.056	2
	15	50.034	9.312	32.149	33.471	73.847	3.212	0.103	0.062	3
	16	50.605	7.661	33.342	34.211	77.059	4.306	0.137	0.083	1
	17	51.305	4.967	32.708	33.083	81.365	3.195	0.102	0.062	1
	18	50.947	3.158	33.158	33.308	84.560	3.285	0.105	0.063	1
	19	53.158	1.251	33.242	33.266	87.845	2.213	0.071	0.043	1
	20	53.147	-0.033	32.762	32.763	90.058	2.255	0.072	0.043	2
	21	52.172	-1.292	31.983	32.009	92.313	5.181	0.165	0.100	1
	22	52.373	-4.053	30.811	31.077	97.494	3.312	0.106	0.064	0
	23	52.854	-5.507	28.851	29.371	100.806	4.086	0.130	0.079	0
	24	52.323	-7.464	28.069	29.044	104.892	4.449	0.142	0.086	0
	25	52.760	-8.831	25.159	26.664	109.341	4.020	0.128	0.077	0
	26	53.191	-10.317	23.887	26.020	113.361	4.727	0.210	0.091	0

Tabla 4.5.10.

51.888		31.320	4	0.106	0.064
Promedio		Promedio	Promedio al entero más próximo	Mediana	Mediana

Región espectral	Número de ficha	L*	a*	b*	C*	Hue (h)	Δh	Factor $\Delta h/C^*$ criterio (a)	Factor $\Delta h/L^*$ criterio (a')	Errores en la discriminación con iluminante natural.
Green (G)	37	52.062	-21.104	7.467	22.386	160.516	0.220	0.007	0.004	2
	38	53.150	-22.068	7.713	23.377	160.736	6.260	0.200	0.118	3
	39	52.854	-21.578	4.983	22.146	166.996	2.823	0.090	0.053	4
	40	53.006	-21.118	3.793	21.456	169.819	3.055	0.098	0.058	5
	42	52.765	-23.116	2.890	23.296	172.874	0.331	0.011	0.006	6
	41	52.836	-21.640	2.578	21.793	173.205	4.287	0.137	0.081	6
	43	52.387	-22.310	0.977	22.331	177.492	1.288	0.041	0.024	0
	44	52.942	-22.282	0.475	22.287	178.780	6.905	0.220	0.130	1
	45	53.014	-21.458	-2.136	21.564	185.685	1.769	0.056	0.033	7
	47	52.824	-23.227	-3.039	23.425	187.454	1.270	0.041	0.024	6
	46	52.750	-22.329	-3.426	22.591	188.724	3.913	0.125	0.074	8
	48	53.112	-21.296	-4.775	21.825	192.637	3.587	0.115	0.068	10
	49	53.500	-20.883	-6.076	21.749	196.224	5.653	0.180	0.107	7
	50	52.985	-19.577	-7.861	21.097	201.877	6.405	0.205	0.121	1
51	53.643	-17.555	-9.446	19.935	208.282	4.289	0.190	0.083	1	

Tabla 4.5.11

52.922
Promedio

22.084
Promedio

4
Promedio
al entero
más
próximo

0.115
Mediana
0.068
Mediana

Las tablas 4.5.10 y 4.5.11., corresponden a los datos seleccionados para realizar el análisis de varianza de las coordenadas $CIE L^*C^*h$. Los datos sombreados corresponden a los datos que se utilizarán en este análisis y se colocaron en las tablas 4.5.11 y 4.5.12, con su respectivo color.

La siguiente tabla 4.5.12., corresponde a la matriz de diseño y cálculo para el experimento factorial 2^3 para el caso del factor incremento de *hue* entre la *crominancia* ($\Delta h/C^*$).

	Factor A= G ó Y (Green ó Yellow)	Factor B$2=\Delta h/C^*$	Factor C=Δh	Interacción AB	Interacción AC	Interacción BC	Interacción ABC	Errores en la discriminación
(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	5
b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0
ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1	8
c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	no existe
ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1	no existe
bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0
abc	1	1	1	1	1	1	1	6
suma	18	8	-8	10	-6	4	2	
(ef) Efecto promedio	4.5	2	-2	2.5	-1.5	1	0.5	

Tabla 4.5.12. Tabla de valores para el caso de la *crominancia* ($\Delta h/C^*$)

La siguiente tabla 4.5.13., corresponde a la matriz de diseño y cálculo para el experimento factorial 2^3 para el caso del factor incremento de *hue* entre la *luminancia* ($\Delta h/L^*$).

	Factor A= G ó Y (Green ó Yellow)	Factor B$2=\Delta h/L^*$	Factor C=Δh	Interacción AB	Interacción AC	Interacción BC	Interacción ABC	Errores en la discriminación
(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1	2
a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	5
b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0
ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1	8
c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	no existe
ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1	no existe
bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0
abc	1	1	1	1	1	1	1	6
suma	17	7	-9	11	-5	5	1	
Efecto promedio	4.25	1.75	-2.25	2.75	-1.25	1.25	0.25	

Tabla 4.5.13. Tabla de valores para el caso de la *luminancia* ($\Delta h/L^*$).

La siguiente tabla 4.5.14, muestra la convención de los signos para cada factor A , B , B_2 y C , sus interacciones.

<i>Factor</i>	<i>Convención</i>	<i>Signo</i>
A=G ó Y	Green	+
	Yellow	-
B=$\Delta h/L^*$	B>mediana	+
	B<mediana	-
C=Δh	C>mediana	+
	C<mediana	-
B2=$\Delta h/C^*$	B2>mediana	+
	B2<mediana	-

Tabla 4.5.14. Tabla de convención de valores del signo para los análisis de varianza.

Las celdas sombreadas de diferentes colores en la tabla 4.5.11, corresponden a las fichas que sí cumplen con las reglas establecidas en la tabla de convención 4.5.14. Las marcadas inexistentes en las tabla 4.5.12., y 4.5.13, es porque ninguna de las fichas cumple con las reglas establecidas en la tabla de convención 4.5.14.

Sustituyendo los valores experimentales en la tabla ANVA para la relación $\Delta h/C^*$ y $\Delta h/L^*$ obtenemos lo siguiente:

Fuente	EFECTO	SC	GL	CM	F	P
A	4.50	40.50	1	40.50	5.73	0.252
B₁	2.00	8.00	1	8.00	1.13	0.480
C	-2.00	8.00	1	8.00	1.13	0.480
AB	2.50	12.50	1	12.50	1.77	0.410
AC	-1.50	4.50	1	4.50	0.64	0.571
BC	1.00	2.00	1	2.00	0.28	0.689
ABC	0.50	0.50	1	0.50	0.07	0.834
ERROR		7.07	1	7.07		
TOTAL		83.07	7			

Tabla 4.5.15. Tabla ANVA para el caso de la crominancia $\Delta h/C^*$. Donde A es el factor Yellow o Green, B_1 el factor $\Delta h/L^*$, C es Δh .

Fuente	EFEECTO	SC	GL	CM	F	P
A	4.25	36.13	1	36.13	9.44	0.200
B₂	1.75	6.13	1	6.13	1.60	0.426
C	-2.25	10.13	1	10.13	2.65	0.351
AB₂	2.75	15.13	1	15.13	3.95	0.297
AC	-1.25	3.13	1	3.13	0.82	0.532
B₂C	1.25	3.13	1	3.13	0.82	0.532
AB₂C	0.25	0.13	1	0.13	0.03	0.886
ERROR		3.825	1	3.83		
TOTAL		77.7	7			

Tabla 4.5.16. Tabla ANVA para el caso de la luminancia $\Delta h/L^*$. Donde A es el factor Yellow o Green, B₂ el factor $\Delta h/C^*$; C es Δh .

Podemos afirmar que los resultados obtenidos en las tablas 4.5.15 y 4.5.16, arrojan evidencia estadística, a un nivel de significancia del 5 %, para afirmar la presencia de efectos en el factor A, que corresponde a la región espectral de las fichas, pero no existe un efecto entre la interacción de los tres factores. Se observa también que para la *luminancia* (L^*), que involucra el factor $\Delta h/L^*$ (B₂) y el factor Yellow o Green (A) de la región del espectro de las fichas, existe la presencia de efecto.

El factor de la luminancia $\Delta h/L^*$, tiene un mayor efecto que el de la crominancia $\Delta h/C^*$, en los resultados. Posiblemente la crominancia que involucra directamente a los conos, estos se adapten más rápidamente a la discriminación del color, que la luminancia que involucra a los bastones, y estos requieran un mayor tiempo de adaptación en la prueba de discriminación de color Hue Test.

Los datos arrojados son de forma cualitativa, no representan una estadística formal que pueda predecir el comportamiento de otras muestras, ya que la muestra estudiada tiene muy pocos elementos.

Un ejemplo de lectura de la columna P en las tablas 4.5.15 y 4.5.16, es: “La estimación de la probabilidad de equivocarnos afirmando que la interacción entre los tres factores (A, B y C), es importante, es 0.834”.

La siguiente tabla 4.5.17., muestra las fichas involucradas en el factor A.

Número de ficha	Factor		Región espectral
	$\Delta h/C^*$	$\Delta h/L^*$	
14	18	Amarillo	
23	23		
25	25		
40	40	Verde	
41	41		
46	46		

Tabla 4.5.17. Fichas involucradas en el análisis estadístico.

Tanto en el factor $\Delta h/C^*$ y el factor $\Delta h/L^*$, sólo difieren en la primera ficha, las fichas N° 41 y 46, están permutadas en el orden, según sus valores obtenidos en la medición en coordenadas $CIE L^*a^*b^*$ y $CIE L^*C^*h$, esto puede ser un factor de confusión que influye en la discriminación del color de los sujetos, en la prueba Hue Test.

4.5.3. Análisis de correlación.

El análisis de correlación se refiere a la medición de la intensidad de la relación entre las variables. Cuando se calculan medidas de correlación a partir de un conjunto de datos, el interés se centra en el grado de correlación entre las variables. El origen de los conceptos y la terminología del análisis de correlación se deben a Galton y Pearson. [74][86]

Bajo el *modelo de correlación*, se supone que X y Y varían juntas en lo que se conoce como distribución conjunta. Si la forma de esta distribución es normal, es una distribución normal en dos variables. Pueden hacerse inferencias referentes a esta población con base en los resultados de las muestras extraídas apropiadamente de ellas.

Deben cumplirse las siguientes suposiciones para que sean válidas las inferencias acerca de la población, cuando se muestrea a partir de una distribución de dos variables.

1. Para cada valor X , existe una subpoblación de valores Y normalmente distribuidos.
2. Para cada valor de Y , existe una subpoblación de valores X normalmente distribuidos.
3. La distribución conjunta X y Y es una distribución normal llamada *distribución normal de dos variables*.

El coeficiente de correlación lineal poblacional (ρ), mide la intensidad lineal entre X y Y , es el que calculamos en la tabla 4.5.2.1, con la función Pearson del programa Excel 2007.

	Edad (años)	Sexo	Anteced. patológicos visuales:	Profesión	Tiempo de ejercerla (años)	Hrs. en la PC	Luz de día (lux)	Errores luz de día.	D65. (lux).	Errores D65.	Filamento A (lux).	Errores A
Edad (años)	1.000	0.042	0.116	-0.359	0.818	0.059	-0.152	0.177	-0.274	-0.170	0.382	-0.136
Sexo F=1, M=2	0.042	1.000	-0.338	0.135	0.039	-0.382	-0.273	-0.161	-0.170	-0.210	0.001	0.113
Antecedentes patológicos visuales: No=3, Miop=1, Ast.=2	0.116	-0.338	1.000	0.171	0.281	0.304	0.013	-0.306	-0.020	0.006	0.001	-0.371
Profesión o puesto en el trabajo Diseñador=1, Ing=2, otro=3	-0.359	0.135	0.171	1.000	-0.201	-0.302	-0.294	0.015	-0.249	-0.210	0.057	-0.229
Tiempo de ejercerla (años)	0.818	0.039	0.281	-0.201	1.000	0.250	-0.124	0.029	-0.257	-0.110	0.300	-0.259
Horas frente a la PC	0.059	-0.382	0.304	-0.302	0.250	1.000	0.586	-0.175	0.359	-0.034	-0.255	0.067
Illuminante natural (lux)	-0.152	-0.273	0.013	-0.294	-0.124	0.586	1.000	-0.173	0.510	0.041	-0.499	0.301
Errores Luz natural.	0.177	-0.161	-0.306	0.015	0.029	-0.175	-0.173	1.000	-0.333	0.203	0.346	-0.014
Illuminante D65. (lux).	-0.274	-0.170	-0.020	-0.249	-0.257	0.359	0.510	-0.333	1.000	0.114	-0.897	0.542
Errores D65.	-0.170	-0.210	0.006	-0.210	-0.110	-0.034	0.041	0.203	0.114	1.000	-0.273	0.467
Illuminante A (filamento)(lux).	0.382	0.001	0.001	0.057	0.300	-0.255	-0.499	0.346	-0.897	-0.273	1.000	-0.675
Errores iluminante A	-0.136	0.113	-0.371	-0.229	-0.259	0.067	0.301	-0.014	0.542	0.467	-0.675	1.000

Tabla 4.5.3.1. Correlación entre las características de la muestra, en la prueba Farnsworth Hue Test, con tres iluminantes diferentes.

La interpretación del coeficiente de correlación lineal o coeficiente correlacional producto momento de Pearson, es una medida numérica de la relación mutua entre las variables X y Y , en una muestra obtenida de forma aleatoria (o escogida al azar), de un cierta población de estudio.

El coeficiente de correlación poblacional, ρ se define de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

donde $Cov(X, Y)$ es la covariancia entre X y Y . Constituye una medida numérica de la variación simultánea de las dos variables X y Y ; en otras palabras, es el valor esperado del producto $(x - \mu_X)(x - \mu_Y)$.

Las cantidades μ_X, μ_Y , son las medias aritméticas de la población en estudio, y σ_X, σ_Y , son las desviaciones estándar poblacionales.

Considerando lo anterior, el valor estadístico r (coeficiente de correlación lineal) es el correspondiente muestra de ϱ ; se remplazan así los parámetros poblacionales por sus correspondientes muestras.

Esto da lo covariancia entre X y Y ; las desviaciones estándar poblacionales quedaran representadas por sus análogas muestras en la siguiente forma:

$$\begin{aligned} Cov(X, Y) &= \sum \frac{(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{n-1}; & S_{XY} &= \sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) \\ S_{XX} &= \sum (X - \bar{X})^2; & S_{YY} &= \sum (Y - \bar{Y})^2 \\ \sigma_X^2 &= \frac{(X - \bar{X})^2}{n-1}; & \sigma_Y^2 &= \frac{(Y - \bar{Y})^2}{n-1} \end{aligned}$$

Bajo ciertas condiciones y mediante un desarrollo algebraico, se puede demostrar que $S_{XX} = S_X^2$ y $S_{YY} = S_Y^2$, por lo que la fórmula de r , queda en la siguiente forma:

$$r_{XY} = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_X^2 S_Y^2}}$$

Por consiguiente, el coeficiente de correlación lineal muestral r puede ser considerado como un estimador del coeficiente de correlación lineal poblacional ϱ . Existen las siguientes propiedades:

- El valor numérico de ϱ se encuentra en el intervalo $(-1, +1)$, es decir, $-1 \leq \varrho \leq +1$, donde los valores extremos -1 y $+1$, significan una correlación perfecta cuya línea de regresión tiene pendiente negativa o positiva, respectivamente.
- El valor numérico de ϱ mide la fuerza de la relación de las dos variables, y se indica con el signo $(-)$ o $(+)$, la dirección o sentido de dicha relación.

- c) El coeficiente ρ permanece invariable, no cambia de valor, aun si las variables X y Y son multiplicadas o divididas por una misma constante, o bien, sumadas a una misma constante, con la condición de que sean del mismo signo algebraico.
- d) El valor ρ^2 , representa la proporción de la variación (error) en Y que puede ser atribuida a su relación lineal con X .

La tabla 4.5.3.2., muestra una clasificación de correlación lineal poblacional.

de	a	Correlación
± 0.96	± 1.00	Perfecta
± 0.85	± 0.95	fuerte
± 0.70	± 0.84	significativa
± 0.50	± 0.69	moderada
± 0.20	± 0.49	débil
± 0.09	± 0.19	muy débil
± 0.11	± 0.00	nula o inexistente

Tabla 4.5.3.2. Tabla de clasificación de la correlación lineal poblacional. [36]

Como observamos en la tabla 4.5.3.1, existe una correlación fuerte negativa entre el iluminante D65 y el iluminante A de filamento, con respecto a la intensidad luminosa. Existe una correlación positiva débil entre los errores del iluminante D65 y el iluminante A de filamento, en comparación con la correlación nula de los errores del iluminante de luz de día natural con respecto a los errores del iluminante A de filamento.).

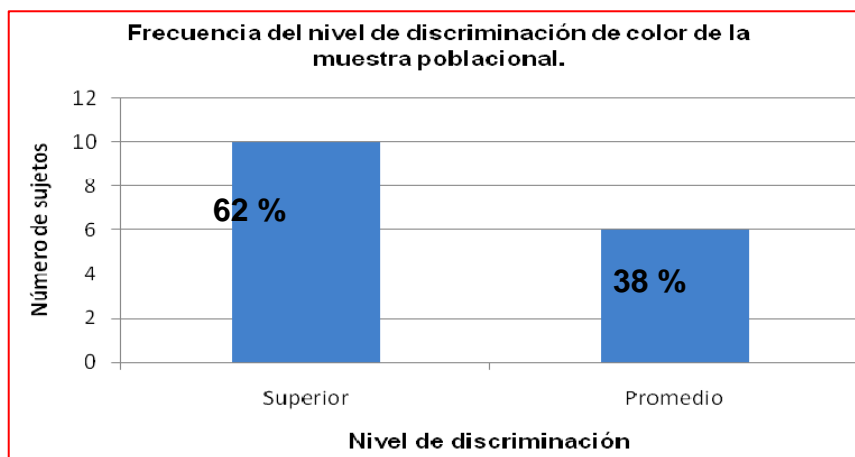
Otra correlación fuerte es entre la edad y el tiempo de ejercer la profesión, que nos remonta a los resultados de la clasificación del nivel de discriminación de los sujetos participantes, donde la edad no es un factor para la clasificación y si el tiempo de ejercer la profesión. El resto de las correlaciones están entre nulas y débiles.

4.6 Calificación como discriminador de color de los sujetos participantes.

La siguiente tabla muestra el nivel de calificación como discriminador del color, obtenido por los sujetos. La gráfica 4.6.1, muestra la frecuencia de esta calificación.

Sujeto No.	Nivel de Discriminador de color
1	Superior
2	Promedio
3	Superior
4	Promedio
5	Superior
6	Promedio
7	Promedio
8	Superior
9	Promedio
10	
11	
12	Superior
13	Superior
14	Promedio
15	Superior
16	Superior
17	Superior
18	Superior

Tabla 4.6.1. Resultados de la calificación como discriminador de color, de los sujetos participantes.



Gráfica 4.6.1. Frecuencia de los niveles de discriminación de color, de los sujetos participantes.

		
Sujeto N° 1. Superior.	Sujeto N° 2. Promedio.	Sujeto N° 3. Superior
		
Sujeto N° 4. Promedio.	Sujeto N° 5. Superior.	Sujeto N° 6. Promedio.
		
Sujeto N° 7. Promedio.	Sujeto N° 8. Superior.	Sujeto N° 9. Promedio.
		
Sujeto N° 10. No realizó la prueba	Sujeto N° 11. No realizó la prueba	Sujeto N° 12. Superior.
		
Sujeto N° 13. Superior.	Sujeto N° 14. Promedio	Sujeto N° 15. Superior
		
Sujeto N° 16. Superior.	Sujeto N° 17. Superior	Sujeto N° 18. Superior.

Tabla 4.6.2. Clasificación del nivel de discriminador de color, de los sujetos participantes.

Los sujetos participantes tienen un nivel de discriminador de color, de acuerdo a su actividad laboral, por lo que no se reportan sujetos con un nivel bajo. Las siguientes dos tablas, muestran el fenotipo de los sujetos participantes que tuvieron más errores y los que menos, en las tres pruebas de discriminación de color *Hue Test*.

Tabla 4.6.3. Sujetos participantes calificados con un nivel superior de discriminación de color.


		
20 errores totales	36 errores totales	39 errores totales
22 años	43 años	26 años
Ingeniera Textil	Ingeniero Textil	Auditor de Calidad.
Sin enfermedad visual	Miopía y astigmatismo	Astigmatismo

Tabla 4.6.4. Sujetos participantes calificados con un nivel promedio de discriminación de color.

		
108 errores	88 errores	78 errores
25 años	29 años	35 años
Ingeniera Textil	T. Industrial del Vestido	Auxiliar de laboratorio
Astigmatismo	Sin enfermedad visual	Cirugía laser

Para los sujetos participantes de la tabla 4.6.3, calificados con un nivel superior de discriminación de color, muestran característica antropofísicas comunes como la barbilla afilada. Dos de ellos tienen antecedentes patológicos visuales, la profesión y el puesto indican un alto grado de entrenamiento visual en la discriminación de color, lo que les facilita las pruebas.

Los sujetos de la tabla 4.6.4., calificados con un nivel promedio de discriminación de color, tienen como característica antropofísica común, la cara redonda. Dos de ellos tienen antecedentes patológicos visuales. Por las características profesionales tienen poca injerencia en la toma de decisiones con respecto a la selección de color.

Como podemos observar en las dos tablas anteriores, y como lo realizamos en el análisis estadístico de correlación, la edad, la profesión y los antecedentes patológicos visuales, tienen poca correlación en los resultados globales. Por lo que las pruebas psicofísicas son completamente subjetivas e individuales.

4.7 Diferencia cromática digital de textiles expuestos a los iluminantes D65 y filamento tipo A, en una cabina de iluminación.

Con los valores $CIE L^*a^*b^*$ y $CIE L^*C^*h$, obtenidos en el análisis digital de los textiles expuestos a los iluminantes D65 y filamento tipo A, en las cabinas de iluminación, calcularemos la diferencia cromática o también llamada diferencia en sensación entre dos estímulos ΔE , que es la distancia euclidiana existente entre dos puntos del espacio tridimensional $CIE L^*a^*b^*$.

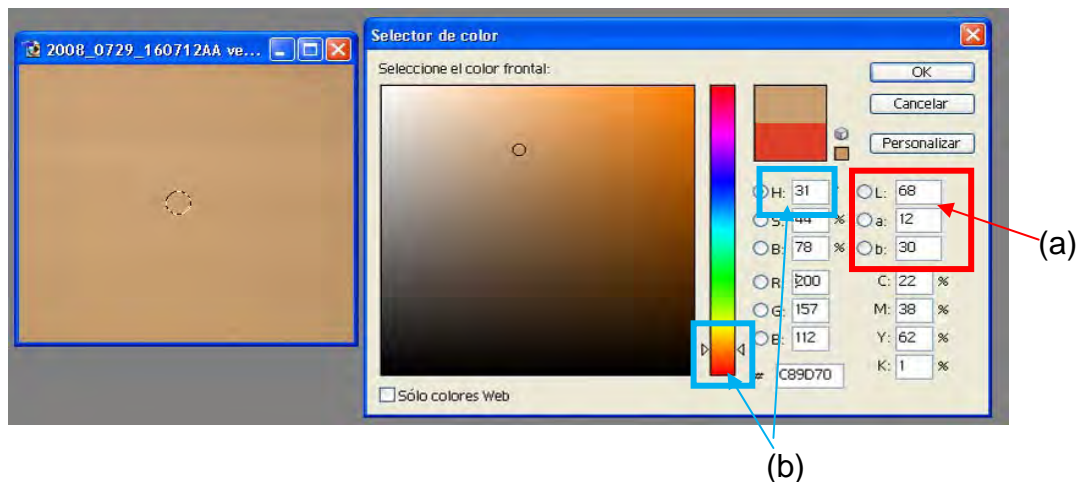


Figura 4.7.1. (a) Coordenadas CIE Lab obtenidas con el programa Adobe Photoshop versión 7.0. (b) Calcularemos también el cambio de *hue* que experimenta el textil al exponerlo a los diferentes iluminantes.

Esta distancia se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Donde $\Delta L = L_2 - L_1$, Δa y Δb , se definen similarmente. [65]

Primero compararemos las diferencias cromáticas entre iluminantes para un mismo textil en diferentes cabinas de iluminación, posteriormente calcularemos la diferencia para un mismo textil expuesto a los iluminantes D65 y A.

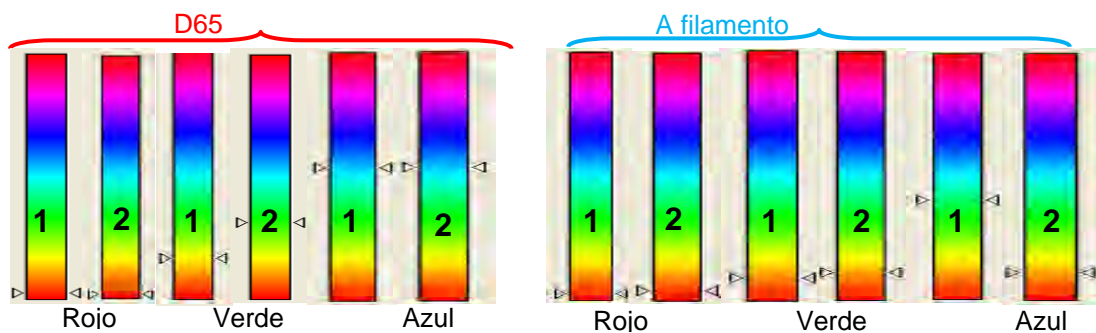


Figura 4.7.2. Variación cromática entre las cabinas de iluminación 1 y 2, utilizadas durante las pruebas *Hue Test*. Un mismo textil se expuso a los iluminantes D65 y tipo A de filamento, en las dos cabinas, y observamos una diferencia en la calibración.

Tabla 4.7.1. Diferencias cromáticas entre textiles con el iluminante D65


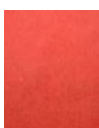


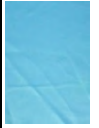







Textil	Iluminación (lux)		Diferencia de color		Coordenadas CIE Lab		Diferencia de coordenadas cromáticas.	Diferencia hue
	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	ΔE	Δh
Rojo	1304	1289			L= 52 a= 43 b= 33 h= 09	L= 57 a= 58 b= 41 h= 05	17.72	-4
Verde	1304	1289			L= 76 a= -7 b= 38 h= 58	L= 75 a= -12 b= 10 h= 113	33.85	-55
Azul	1304	1289			L= 80 a= -21 b= -19 h=193	L= 69 a= -25 b= -25 h=193	13.15	0

Tabla 4.7.2. Diferencias cromáticas entre textiles con el iluminante A de filamento.

Textil	Iluminación (lux)		Diferencia de color		Coordenadas CIE Lab		Diferencia de coordenadas cromáticas.	Diferencia hue
	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 1	Cabina 2	ΔE	Δh
Rojo	275	1659			L= 53 a= 61 b= 52 h= 09	L= 58 a= 72 b= 71 h=14	22.52	-5
Verde	275	1659			L= 70 a= 11 b= 30 h=32	L= 65 a= 16 b= 61 h=39	31.80	-7
Azul	275	1659			L= 70 a= -8 b= 3 h=145	L= 83 a= 02 b= 19 h= 40	22.91	105

Las tablas 4.7.1 y 4.7.2, muestran las diferencias cromáticas que existen entre las cabinas de iluminación para cada uno de los textiles, expuestos al mismo iluminante. Esto muestra que las cabinas de iluminación no están calibradas, y posiblemente el iluminante A de filamento, de la cabina de iluminación 1, su tiempo de vida había caducado.

A continuación realizamos la comparación entre iluminantes para un mismo textil.

Tabla 4.7.3 Comparación entre iluminantes para la cabina de iluminación 1.


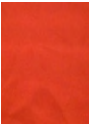

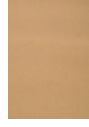


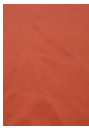
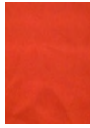

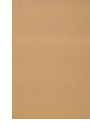

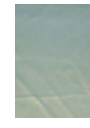
Textil	Iluminación (lux)		Diferencia de color		Coordenadas CIE Lab		Diferencia de coordenadas cromáticas.	Diferencia hue
	D65	A filamento	D65	A filamento	D65	A filamento	ΔE	Δh
Rojo	1304	275			L= 52 a= 43 b= 33 h= 09	L= 53 a= 61 b= 52 h= 09	26.19	0
Verde	1304	275			L= 76 a= -7 b= 38 h= 58	L= 70 a= 11 b= 30 h= 32	20.59	26
Azul	1304	275			L= 80 a= -21 b= -19 h= 170	L= 70 a= -8 b= 3 h= 145	36.07	25

Tabla 4.7.4 Comparación entre iluminantes para la cabina de iluminación 2.

Textil	Iluminación (lux)		Diferencia de color		Coordenadas CIE Lab		Diferencia de coordenadas cromáticas.	Diferencia hue
	D65	A filamento	D65	A filamento	D65	A filamento	ΔE	Δh
Rojo	1289	1659			L= 57 a= 58 b= 41 h= 05	L= 58 a= 72 b= 71 h= 14	33.12	9
Verde	1289	1659			L= 75 a= -12 b= 10 h= 113	L= 65 a= 16 b= 61 h= 39	59.03	74
Azul	1289	1659			L= 69 a= -25 b= -25 h= 193	L= 83 a= 02 b= 19 h= 40	53.49	153

Existen diferencias significativas entre las cabinas de iluminación, es necesario llevar una bitácora de uso y calibrarlas.

4.8 Discusión.

El color tiene uno de los principales papeles en la comedia y el drama de nuestra vida; los seres humanos viven, trabajan, aman, sueñan en color y son afectados por éste en cualquier edad o situación.

Los colores no son, como muchos suponen, unos simples elementos de animación ni tampoco unos atributos de la belleza que actúan solamente para recreo de los ojos; en ellos se contienen múltiples significados y sensaciones, y como escribió Goethe *“originan estados específicos en el órgano viviente y también en el alma”*.

El color es emoción, lenguaje, símbolo, expresión, atmosfera, temperatura, acción, reposo, excitación y puede ser agradable, inquietante, atractivo, repulsivo, alegre, triste o tenebroso, entre otros atributos.

Los colores, al margen de sus cualidades y de las que prestan a la estética, sirven para mejorar y transformar las condiciones de luz y ambiente, en la generación de ilusiones de tamaño, peso y espacio y como factores de extraordinaria importancia en la vida.

Los hábitos de consumo de prendas de vestir, la mayor parte de la muestra prefiere los lugares con una iluminación artificial. El color favorito de cada sujeto tiene una carga cultural, no se encontró una correlación entre el grado de discriminación y la preferencia en el color. Como ya mencionamos la concentración de errores en la prueba *Hue Test*, está ubicada en la región del espectro, verde y amarillo, que es explotada por el camuflaje de los uniformes militares entre otras cosas.

Las diferentes fuentes iluminantes causan sensaciones de agrado o repudio por la prenda de vestir, según nuestras preferencias cromáticas. Nuestros colores preferidos se basan en asociaciones muy dispersas y difusas, así por ejemplo el rojo que se asocia al fuego y a la sangre se considera generalmente excitante; el verde conlleva a pensar en la tranquilidad de la naturaleza y el azul en lo refrescante del agua.

No obstante la carencia de estudios, se han aceptado algunos significados, sobre todo aquellos que se otorgan a los colores cuando éstos se asocian de manera directa con objetos o fenómenos naturales, lo cual permite una primera línea de análisis.

Existe una inferencia entre la temperatura de color del iluminante y el nivel de discriminación de color global del sujeto experimental, mostrándose en el fenómeno de metarismo, para el iluminante de filamento tipo A. En esta prueba *Hue Test*, el nivel de discriminación de color del sujeto disminuye casi un 300% de

eficiencia. Suponemos que es debido a la baja intensidad de iluminación y el cambio en la temperatura de color del iluminante.

Esto se pudo constatar en dos de las pruebas, cuando se uso el iluminante D65 y el iluminante A de filamento, en el primero los errores se centran en las regiones del espectro verde y amarillo, mientras que en el iluminante A de filamento, los errores son en todo el espectro, cabe mencionar que el iluminante A de filamento, tenía menor iluminación.

Las pruebas *Hue Test* validada el cambio de sensibilidad de los conos y bastones cuando los umbrales de sensibilidad a la intensidad de iluminación cambian, de una sensibilidad fotópica a una escotópica.

En los centros de trabajo se observó, que en las diferentes áreas laborales se cumplen con los requerimientos básicos de iluminación establecidos en la norma oficial mexicana. El uso de tragaluces en época de lluvias disminuye notablemente la calidad de la iluminación bajando su intensidad y dificultando los procesos finos de discriminación de color, que requieren una iluminación constante en intensidad. Estas deficiencias, con el tiempo, desarrollan enfermedades oftalmológicas como la presbicia y la astenopía, manifestándose en los individuos a edades tempranas. [33]

Con respecto a los sujetos que obtuvieron una calificación promedio y baja, en la prueba *Hue Test*, nos hace suponer un proceso evolutivo más lento en los conos, ya que como se menciona en el capítulo 2, los conos azules son más evolucionados que los conos verdes, por lo que los resultados globales de errores, de la prueba *Hue Test*, se concentran en los espectros verde y amarillo. La mayoría de los participantes no tuvo errores en la región del espectro azul.

Estos sujetos trabajan en promedio de 7 a 8 horas diarias frente a un monitor de una computadora. No existe una cultura de prevención de enfermedades oftalmológicas, las personas sólo asisten al médico cuando tienen una dolencia y no de forma rutinaria. La Norma Oficial Mexicana de la Secretaría del Trabajo y Prevención Social, establece el examen médico rutinario, por lo menos una vez al año.

Los sujetos que se equivocaron en las pruebas de las láminas de Ishihara, también reportaron un nivel de discriminación de color bajo, esto implica que las pruebas preliminares con las láminas de Ishihara, en la discriminación de color, funcionaron como indicador para las pruebas *Hue Test*.

Ciertas normativas asociadas a determinadas profesiones regulan la obligatoriedad de efectuar controles de visión del color para sus pruebas de selección de personal. El uso de las pruebas Psicofísicas de color, siguen siendo de utilidad hoy en día, diversos parámetros obtenidos estadísticamente, proporcionan indicadores de niveles de adiestramiento o adecuación para ciertos perfiles laborales.

En el análisis digital del *hue* de los textiles, con el programa Adobe Photoshop, fue para mostrar de manera cualitativa, como cambia el *hue* en las prendas de vestir cuando son exhibidas en los aparadores con diferentes iluminantes. De la pregunta inicial que nos hicimos para realizar esta investigación, cuando observamos a los compradores de ropa en una tienda del Centro Histórico de la Ciudad de México, que se arrepentían de comprar la prenda, ya que no se veía igual que en el aparador.

Detectamos que existen diferencias en la calibración de las cabinas de iluminación, sobre todo en lo que se refiere al iluminante de filamento tipo A. Los usuarios no llevan bitácora de horas de uso ni de mantenimiento. Esto se manifiesta en los resultados, de la prueba *Hue Test* con iluminante tipo A de filamento, donde se observó el mayor número de errores, sobre todo en la cabina de iluminación 1. Se les sugirió a los encargados de estos equipos llevaran una bitácora, ya que con ello tendrían mejores resultados en sus pruebas, obteniendo un mejor control de calidad.

Estos resultados validan la subjetividad de la prueba *Hue Test*, ya que en el modelo matemático estadístico, escogido para encontrar una relación que describiera la interacción entre el *hue* (h), la *luminancia* (L^*) y la *chrominancia* (C^*), y los resultados de discriminación de color de los sujetos participantes, mostraron que la *luminancia* (L^*), es factor determinante para las pruebas *Hue Test*.

Esto se muestra en la correlación entre los tres sujetos que obtuvieron la calificación más alta en la prueba *Hue Test*, que prefieren comprar su ropa en tiendas departamentales, donde el tipo de iluminación es tipo D65, con niveles de iluminación por encima de los 2000 lux. La preferencia a un tipo de color por parte de los participantes, nos hace suponer la existencia de una forma de fototactismo, es decir una atracción a un tipo de iluminación específica, esto lo basamos en los tipos de iluminantes usados en las diferentes tiendas de marca, donde el manejo del claro oscuro, tipo pintura de Rembrandt, realizados con iluminantes tipo A de filamento y tipo D65, dan una ambientación un tanto oscura o siniestra, como las tiendas Scappino, tienda de ropa para caballeros, que son de muy baja intensidad lumínica y con base en iluminantes tipo A de filamento, en contraste con Ferroni, tienda de ropa para bebés, que es muy intensa la iluminación, con iluminantes D65.

Las pruebas digitales realizadas a los textiles, también tenía la finalidad de buscar una forma práctica para que los usuarios de las cabinas de iluminación pudieran calibrar sus equipos. No es una forma adecuada ya que debería usarse un espectrofotómetro, al igual que en el análisis de los textiles, pero considero que si se establecen ciertas técnicas para disminuir los factores de error, que pueden derivarse al momento de tomar las fotografías y realizarles el análisis digital con el programa Adobe Photoshop, esta metodología podría dar diagnósticos preventivos de eficiencia de estas cabinas de iluminación, en este caso de las lámparas y así tener un mejor control de ellas.

En los perfiles del puesto también se establece un examen físico que determine las habilidades del sujeto para un puesto específico. Es el caso de los dos centros de trabajo donde se obtuvieron las muestras, varios de estos sujetos tenían que ver con la toma de decisiones con respecto algún atributo del color, estos sujetos nunca se les había realizado una prueba de discriminación del color, por lo que no se había detectado sus deficiencias. Antes de realizarles las pruebas existía un clima laboral tenso entre los departamentos de compras y producción; producción no estaba de acuerdo con los tonos escogidos por compras, esto generaba discusiones y retrasos en la cadena productiva. Cuando se les proporcionó los resultados de las pruebas *Hue Test*, a los supervisores de las empresas participantes, observó que el encargado de compras era un discriminador promedio y el de producción un superior, lo que acentuaba esta diferencia era que en producción trabajaban con luz mixta, con iluminantes de luz natural de día y D65, y compras con iluminantes D65 y tipo A de filamento. Esto ocasionaba un clima laboral tenso. El conflicto se resuelve cuando la gerencia ve los resultados y reestructura el procedimiento de adquisiciones, haciendo que los sujetos que obtuvieron una calificación superior en las pruebas *Hue Test*, se involucren en la toma de decisiones en la selección de los colores de los diferentes artículos.

Deberían de implementarse más severamente los exámenes de aptitud para el desarrollo del puesto. En la mayoría de las empresas los sujetos que toman decisiones con respecto a los atributos del color, tiene una deficiencia física que impide una adecuada selección del color, por lo que se crean reprocesos que aumentan los costos de producción. Otro caso es cuando no se utiliza una iluminación adecuada que acentúan estas deficiencias físicas. Hoy en día existen diferentes instrumentos que pueden evaluar las condiciones físicas del sujeto y del ámbito laboral, la prueba *Hue Test* debería ser utilizada más consistentemente en las empresas que tienen que ver con la discriminación del color.

Estas deficiencias físicas para la discriminación de los atributos del color, no sólo pueden afectar los procesos de producción de las empresas sino también la obra intelectual o artística, deformándola de su aspecto original, causando que el mensaje original del autor se vea afectado. Es el caso de los diseñadores de modas, ellos realizan un diseño con ciertos atributos de color que dan forma y estética al producto, que viene a ser distorsionado en el proceso de producción. En la museografía si no se tiene una iluminación adecuada la obra original puede ser trasformada dramáticamente.

Existe una controversia entre el uso de analizadores del color, como el espectrofotómetro o el colorímetro, o un sujeto discriminador de atributos del color certificado. Algunos fabricantes utilizan los equipos, estos les dan certeza en la información, pero tienen que ser calibrados continuamente y esto es costoso; otras empresas utilizan a los discriminadores, ya que finalmente el que detectará el atributo del color será un ojo humano en el producto final que hay que comercializar. Estas personas pueden ser adiestradas de forma profesional, encontrando diferencias significativas que un ojo humano normal no detectaría.

El realizar un Capítulo 2 tan extenso en este estudio, fué para mostrar qué tan complejo es el sistema visual en el ser humano. Al mencionar los dos billones de interconexiones que tiene nuestro cerebro y mostrar en la figura 2.3.18., un modelo que ilustre las neuro conexiones del sistema visual, son los primeros intentos de resolver este paradigma. Actualmente el procesador de información más complejo que conocemos en la actualidad, no tiene más de tres millones de interconexiones, que comparadas con los dos billones de nuestro cerebro estamos aún muy lejos de equiparlo.

En este estudio, al plasmar los modelos de la molécula de la Rodopsina (figura 2.2.13), los canales iónicos (figura 2.3.3), y el mecanismo de la foto conversión (figura 2.2.12), nos hacen pensar en las Bellas Artes. Nuestra formación científica, mediante nuestros procesos cognitivos, creamos obras de arte en la interpretación de los modelos biofísicos. El uso del color en estos modelos es tan profundo y emotivo como el de los grandes creadores del arte pictórico. Así como Rembrandt, Goya, Picasso o Dalí, plasman su cognición de la realidad en su obra pictórica, manejando la luz y el balance de los colores. De la misma forma tratamos de hacerlo nosotros, los científicos, el biólogo, el físico, tienen la cognición de un modelo de algún fenómeno biofísico, en este caso la molécula de Rodopsina (figura 2.2.13), que aunque no la hemos visto físicamente la llegamos a imaginar conforme a nuestra lógica cognitiva, emanada de nuestra experiencia científica.

Comparar el arte de concebir y plasmar el modelo de una molécula con la obra pictórica de los grandes artistas, y que despierte una emoción, es un logro de la imaginación científica, es la forma estética de interpretar las cosas bellas de la investigación.

Al introducirnos en la investigación nos dimos cuenta que la información sobre el sistema visual humano, estaba muy dispersa. Por un lado los biólogos trabajan sobre la evolución de los sistemas visuales en los seres vivos, dando importancia a la adaptación de los sistemas al medio ambiente. Los físicos experimentando con la interacción de la luz con la materia y su transformación a través del camino óptico, se ligan con los químicos al establecer las cadenas de moléculas llamadas proteínas, enzimas y aminoácidos, que por medio de transductores transforman la energía fotónica en energía química y finalmente en eléctrica, que es la energía que los neurotransmisores utilizan para realizar las miles de interconexiones que se necesitan para analizar el color. Esto es desde el punto de vista fisiológico, pero al introducir la investigación al área de la psicología nos encontramos la parte subjetiva de la cognición del sistema visual.

Los intentos de encontrar una relación universal que involucre las diferentes formas de cognición del color en el ser humano, aún no es posible, desde el modelo matemático de Kantor, que establece un modelo algebraico que involucra campos vectoriales, para los diferentes factores que influyen en la cognición de un sujeto, hasta la sofisticación de los modelos psicofísicos de Weber y Fechner, que establecieron modelos para los umbrales de la percepción, que son muy similares

a los intentos de establecer parámetros cognoscitivos de los arquitectos en la creación de los conceptos como la Cesía que involucra la apariencia, y la Semiótica que es el significado espacial de la luz, donde vimos en que la utilización de diferentes fuentes luminosas nos causan diferentes sensaciones.

Se trato de compilar toda la información que encontramos en la literatura consultada, y en algunos casos de forma textual del autor original, para tener un documento que sirva de guía para futuras investigaciones. La aportación por parte de la medicina con sus estudios neurofisiológicos para encontrar la etiología de algunas enfermedades oftalmológicas profesionales y su cura, aún ésta distante de una solución. Y algunas otras profesiones que también están interesados en el estudio del color, como son los maestros, que investigan sobre el uso del color con fines pedagógicos, o los publicistas y mercado logos, que nos tratan de hacer la vida más placentera.

Los aportes de la neurociencia han permitido determinar con mayor precisión algunos de los procesos que lleva acabo el sistema visual del ojo humano, el uso de marcadores biológicos permiten tener un seguimiento de las redes neuronales con que se lleva a cabo la cognición del color. Con técnicas como la resonancia magnética que permiten diagnosticar enfermedades de forma temprana. Muchas de estas investigaciones son utilizadas por otras áreas de la ciencia para el desarrollo tecnológico.

Los avances en la curación de las enfermedades oftalmológicas ha evolucionado en los últimos tiempos, los procesos quirúrgicos se han visto modificados con tecnologías láser y el uso de nuevos materiales para la sustitución de partes del ojo. Como es el caso de uno de los sujetos experimentales que en la primera prueba *Hue Test*, obtuvo una calificación baja, a este sujeto le realizaron una cirugía láser para disminuir la miopía, en la segunda prueba mejoró notablemente su calificación, ya habían pasado algunos meses después de la cirugía.

La física molecular expuesta en los transductores de señal de la luz visible a la cascada de aminoácidos, proteínas, vitaminas, entre otras sustancias químicas, que comienzan con la rodopsina, nos dio un panorama de cómo las moléculas vibran o rotan para hacer su trasmisión de energía y de esta forma estimular otra molécula. Con estos estudios se desarrollan los fármacos que ayudan a recuperar y mantener en buen estado la visión.

Los sujetos de la muestra, todos son originarios del Valle de México, es decir del Distrito Federal y del área Metropolitana, la mayoría pasa de 8 a 12 horas bajo luz artificial, en ninguno de ellos se observaron manchas en la piel producto de radiación ultravioleta procedente de lámparas fluorescentes de mala calidad o por la falta de exposición a la luz solar. Ninguna de las participantes menciona como antecedentes patológicos las alteraciones en los ciclos menstruales debido a los cambios circadianos. Sería conveniente realizar un estudio de la población mexicana sobre este tema.

El tiempo de exposición a la luz fría, que los sujetos de la muestra son expuestos diariamente, hace suponer que la preferencia a los iluminantes de filamento en sus casas se deba a una necesidad psicológica de proveerse de calor y quitarse la sensación de frío, principalmente en la noche.

La relación más cercana a la Ley de Weber, fue la obtenida en la gráfica 4.5.11, cuya pendiente de la recta obtenida $y = 434x$, con ordenada en el origen cero, es una constante (434), esta expresión involucra a los factores *hue* (h), $\Delta h/C^*$ y $\Delta h/L^*$. Aunque la Ley de Weber establece un umbral de percepción sobre un continuo de experiencias, en este caso el continuo son las 85 fichas de la prueba *Hue Test*, nosotros obtuvimos este umbral de forma cualitativa, en la ficha N° 46, que fue la que acumuló el mayor número de errores. Los histogramas establecen un umbral de percepción en la discriminación del color en las regiones verde y amarillo del espectro.

Aunque el equipo para la prueba *Hue Test*, tiene 3 pares de fichas invertidas en el orden, dados los valores obtenidos del *hue*, con un espectro fotómetro en el laboratorio, no se tomaron en cuenta para el análisis estadístico estos valores, sin embargo, uno de esos pares el (47,46), clasificación obtenida en el laboratorio (46,47) en la clasificación del estuche, la ficha N°46 está involucrada en la acumulación del mayor número de errores. Con estos datos obtenidos en la prueba no podemos determinar si es un factor que influya en los resultados globales, ya que hubo sujetos que acomodaron las fichas conforme al orden del estuche, pasando por alto este defecto de fabricación. El tamaño de la muestra no permite llegar a una conclusión, sería necesario tener una muestra más representativa.

El haber utilizado en forma paralela el desarrollo de las fuentes iluminantes con la evolución del vestido, nos dimos cuenta que cuando se utilizaban fuentes iluminantes como fogatas o velas, los diseños del vestuario eran más complicados en su fabricación, a medida que las fuentes iluminantes avanzaron en su desarrollo tecnológico, el diseño de la ropa fue más sencillo y la confección menos elaborada.

Cuando examiné los diseños de las modas me pregunté ¿cómo estructuraba el cerebro las figuras en los estampados y combinaba los colores? Hoy con la teoría de los fractales podemos observar que la mente tiene un análisis matemático natural, ya que ordenamos los diseños de los estampados de forma tal que nos dan figuras geométricas ordenadas y repetidas que corresponden a funciones fractales.

Es el caso de los indígenas en México que en sus estampados combinan de forma fractal sus diseños y colores, comparándolos con los diseños europeos a través del tiempo, desarrollan una evolución geométrica hasta llegar al caos, es el caso de algunos diseños de los años sesentas, que se observan estampados

aparentemente sin una estructura definida, como los cuadros de Picasso y Dalí en la sicodelia.

Se ha comprobado en este estudio, que las mujeres son mejores discriminadoras del color, es por ello que las empresas prefieren contratar este tipo de personal para desarrollar labores que impliquen la discriminación del color. A lo largo de la evolución del vestido ellas han sido las costureras y los hombres los diseñadores, se dio como algo natural en la clasificación social del trabajo. Pero ¿qué pasa con la habilidad de discriminación del color en la mujer cuando está ovulando, menstruando o en un periodo de lactancia? Pienso que al producir más plaquetas ellas tienden a producir más cromóforos rojos, que disminuyen esta capacidad de discriminación del color, habría que probarlo.

En los últimos años han sido publicados importantes estudios que demuestran la influencia decisiva del color en el rendimiento y para la seguridad del trabajo. El color ayuda a las personas a interpretar el mundo que les rodea, y permite que se desenvuelvan en él de forma cómoda y segura. La ergonomía del color estudia cuáles son sus repercusiones tanto en el rendimiento del trabajador, como en su salud.

De ahí que sea fundamental conocer los factores que influyen en el estado de la visión de una persona, según el ambiente de trabajo, así como las consecuencias de las capacidades visuales del trabajador en el proceso productivo. Como el color forma parte del conjunto de modelos de información visual que utiliza el ser humano para interpretar el mundo que le rodea y para desenvolverse en él de forma segura y cómoda, es indudable que, al igual que la iluminación, influye en el rendimiento y la salud laboral.

Corresponde a ergonomistas, arquitectos, decoradores, psicólogos, médicos, ingenieros industriales, entre otros profesionistas, tomar en cuenta estos aspectos visuales para generar entornos de trabajo agradables y diseñar tareas visualmente confortables, con el fin de aumentar el rendimiento visual del trabajador y, por ende, el rendimiento general del proceso productivo.

Ciertas normativas asociadas a determinadas profesiones regulan la obligatoriedad de efectuar controles de visión del color para sus pruebas de selección de personal. El uso de las pruebas Psicofísicas de color, siguen siendo de utilidad hoy en día, diversos parámetros obtenidos estadísticamente, proporcionan indicadores de niveles de adiestramiento o adecuación para ciertos perfiles laborales.

En las telecomunicaciones cuando se comprimen imágenes y no se degraden la calidad del video, los resultados de pruebas psicofísicas, son usadas para codificar imágenes de televisión, se utiliza el concepto investigado sobre la percepción visual humana que es más sensible a la luminancia que a la crominancia, por consiguiente menos información (datos) del color se transmiten. Esto lo confirmamos en nuestro análisis estadístico.



“La inteligencia mueve a la materia”

Virgilio, *Eneida*, lib, IV, v. 727

CAPITULO 5: Conclusiones.

Conclusiones.

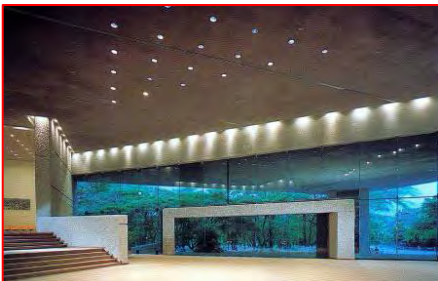
Con el uso de sistemas instrumentales existe una tendencia a desestimar la necesidad de las pruebas de la visión del color. No obstante, el ojo sigue todavía tomando la decisión final sobre el color en la mayoría de las industrias. Con base en el análisis estadístico realizado, no existe una correlación lineal fuerte entre las características de la población y los resultados de las pruebas. El análisis estadístico es cualitativo y sólo describe un comportamiento particular de la muestra experimental, por lo que no puede ser generalizado.

De los resultados del análisis estadístico realizados a los factores $\Delta h/C^*$ y $\Delta h/L^*$, obtuvimos que el factor de *luminancia* L^* , es el que más influye en la discriminación del color. De este resultado de la *luminancia* (L^*), confirmamos que el uso de los diferentes tipos de iluminantes y su intensidad, para las diferentes actividades laborales, expuestas en la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-1999, son ciertas.

Con las pruebas de agudeza visual e Ishihara, se le detectaron a dos sujetos participantes, deficiencias visuales que no habían reportado. Aunque la edad es un factor que disminuye las capacidades visuales no detectamos esto en los sujetos participantes de la muestra, el ojo puede ser entrenado y la experiencia de varios años de ejercer un trabajo que involucra la discriminación del color puede proporcionar este entrenamiento.

Al exponer los textiles a diferentes iluminantes, en la cabina de iluminación, observamos un cambio digital del *hue*, estas diferencias también son analizadas por el ojo humano, aún no sabemos como lo hace, los estudios actuales simulan las redes neuronales posiblemente implicadas en este proceso de discriminación del color. En los aparadores y exhibidores de ropa, la iluminación es variada, se rige generalmente por atributos estéticos, generalmente se usa una iluminación cálida, que estimula las emociones y no resalta las características de fabricación de la prenda, con este tipo de iluminación los sujetos tienden a sufrir de metarismo.

La información del color está aún muy dispersa, existen en México pocos autores que den importancia a este tema. Los resultados obtenidos en este estudio, dejan el campo abierto para otras líneas de investigación, dado el carácter interdisciplinario y multidisciplinario de la Psicofísica.



Los iluminantes hoy en día son parte de la estética que proporcionan una ambientación particular en el diseño arquitectónico. (Adaptado: Abraham Zabudovsky Arquitecto. *Vestíbulo, detalles, Teatro Emilio Rabasa, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 1979*). [118]

BIBLIOGRAFÍA.

- 1 ALBERTS, Bruce, Bray Dennis, Lewis Julian, Raff Martin, Roberts Keith, y Warson James D. *Biología Molecular de la Célula*. Tercera edición. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España, 2002.
- 2 ANDERSON, James A. *Redes Neuronales*. Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V. México, 2007. pp. 279-370.
- 3 ARREORTÚA, Cisneros Yeni y colaboradores. *Evaluación de alteraciones visuales y su relación con el poder de discriminación en la toma de color dental en alumnos de odontología con luz artificial y natural*. Revista ADM Investigación Vol. LXV, No. 2 Marzo-Abril 2008 pp 69-74.
- 4 ASTM, International. *Standard Guide for Designing and Conducting Visual Experiments*. Designation: E 1808-96 (Reapproved 2003).
- 5 ASTM, International. *Standard Guide for Selection, Evaluation, and Training of Observers*. Designation: E 1499-97 (Reapproved 2003).
- 6 BACHELARD, Gastón. *La Formación del Espíritu Científico*. Biblioteca Facultad de Ciencias UNAM.
- 7 BAUMGARDT, Ernest. *Los Mecanismos de la Visión*. Los libros del Mirasol. Argentina, 1962. pp. 15-85
- 8 BEGUNOV, B. N, y Zakaznov N. P. *Teoría de Sistemas Ópticos*. Editorial MIR Moscú. 1976. pp. 15, 26, 41, 264.
- 9 BEISER, Arthur. *Conceptos de Física Moderna*. Libros McGraw-Hill. México. 1978. pp. 44, 48, 60, 245, 319.
- 10 BELTRÁN DÍAZ, de la Vega Francisco. *Cirugía Refractiva*. Hospital "Dr. Luis Sánchez Bulnes" Asociación para Evitar la Ceguera en México. Epidemiología. Número 33. Volumen 19. Semana 33. Del 11 al 17 de agosto del 2002.
- 11 BENITEZ, Laura, y Robles José A. Compiladores. *Percepción: Colores*. Instituto de Investigaciones Filosóficas. UNAM. 1993.
- 12 BIRREN, Faber, ed. 1969. *A Grammar of Color, A Basic Treatise on the Color System of Albert H. Munsell* (Nueva York: Van Nostrand Reinhold).
- 13 BOEREE, C. George. *Teorías de la Personalidad, B. F. Skinner, 1904-1990*. Internet página: Psicología on line>E-books>Teorías de la

Personalidad>B.F.Skinner.

- 14 BOSCAROL, Mauro. *Colorimetría*. Internet.
- 15 BROWN, Frederick C. *Principios de la Medición en Psicología y Educación*. Editorial, El Manual Moderno, S. A. México, 1980. pp. 3-175
- 16 BURCKHALTER, David. *Diversidad de culturas*, CEMEX Textiles Prehispánicos. http://www.arts-history.mx/sitios/index.php?id_sitio=7041&id_seccion=4244.
- 17 CAIVANO José Luis. *Color y Sonido: Correlación Sobre Bases Físicas y Psicofísicas*. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA, y CONICET. ArgenColor 1992. Ediciones INTI. Argentina, 1994.
- 18 CAIVANO José Luis. *Color: Arte, Diseño y Tecnología*. ARGENCOLOR 2000. Actas del quinto congreso Argentino del Color. Editorial La Colmena. Buenos Aires, Argentina. 2002.
- 19 CAIVANO José Luis. *Retórica del negro, blanco y rojo*. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. Revista Urbanismo, 204/05 páginas 22 a 29.
- 20 CAIVANO José Luis. *Sistemas de orden de color*. Serie Difusión 12. Secretaria de Investigaciones en Ciencias y Técnicas. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. 1995.
- 21 CAIVANO, José Luis. "Cesia: A system of visual signs complementing color", *Color Research and Application*. 16 (4), agosto, 258-268. Versión española más reducida, "Cesía: Informe Final de Beca de Investigación, Secretaría de Ciencia y Técnica, UBA, 79-86, manuscrito. 1990. La luz y las categorías visuales en función del diseño, ponencia a las VI Jornadas Argentinas sobre Luminotecnia, Buenos Aires, noviembre. ----. 1991.
- 22 CAIVANO, José Luis. *Apariencia (CESIA): Formación de Escalas a partir de Discos Giratorios 12*. ArgenColor 1992 (Buenos Aires: Grupo Argentino del Color, 1994) 90 Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA, y CONICET.
- 23 CAIVANO, José Luis. *Guía para Realizar, Escribir y Publicar Trabajos de Investigación*. Buenos Aires: Arquim, 1995.
- 24 ARCE, Humberto, González Hortencia, Nuñez Miguel. *Visión y Lentes Delgadas*. Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. 1997.

- 25 CAIVANO, José Luis. *Semiotica y CESIA: Significados de la distribución Espacial de la Luz*. ArgenColor 1996 Tercer Congreso Argentino del Color Publicado por el Grupo Argentino del Color y por el Instituto del Color Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño Universidad Nacional de Córdoba. Buenos Aires, 1998.
- 26 CALDERÓN, Morillón Oscar. *Acerca de Cómo Escribir una Propuesta de Investigación*. FES ACATLAN. UNAM. Septiembre de 2008
- 27 CÁRDENAS, Humberto, Lluís Emilio, Raggi Francisco, Tomás Francisco. *Álgebra Superior*. Editorial Trillas. 2002. pp.97.
- 28 CÁRDENAS, y Cárdenas Juan. *Neurología*. Librería de Medicina. México, 1959. pp109.
- 29 CENAM, Centro Nacional de Metrología. *Patrón Nacional de Colorimetría*. CNM-PNF-13.
- 30 CIE, Commission Internationale de L'Éclairage. *2004 Meeting of Division 6 and the CIE Expert Symposium on Light and Health*. Viena , Austria. www.cie.co.at.
- 31 COHEN, Josef. *Conducta y Condicionamiento Operante*. Editorial Trillas. Temas de Psicología. México, 1982.
- 32 COHEN, Josef. *Sensación y Percepción Visuales*. Editorial Trillas. Temas de Psicología. México, 1982. pp. 8-65
- 33 COOLEY, Denton A. *Las Enfermedades Profesionales y Ambientales*. Enciclopedia de la Salud. UTHEA. Tomo 20. México, 1986. Pp. 1896-1903.
- 34 CORONA, Chavéz Farah Irene, y Martínez Alarcón Jorge Andrés. *Desarrollo de instrumentación y prácticas para los laboratorios de fisiología I, II,III y equipos de diagnóstico y terapia*. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. VOL XXIII. Num. 1. Marzo 2002. pp.39-47.
- 35 CRICK, F. H. C. *Reflexiones en torno al cerebro*. Instituto Salk. La Jolla, California. 1974 El Cerebro. Libros de Investigación y Ciencia. Scientific American. Prensa Científica. España, 1986.
- 36 DANIEL, Wayne W. *Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud*. Editorial Limusa. México. 1980. pp. 193, 243, 455.
- 37 DE LA FUENTE, Ramón. *Nuevos Caminos de la Psiquiatría*. Colección de Psicología, Psiquiatría y Psicoanálisis. Fondo de Cultura Económica.

El Colegio Nacional. México. 1992.

- 38 EISBER, Robert y Resnick Robert. *Física Cuántica*. LIMUSA, Noriega Editores. México, 2006. Pp 17, 45, 79, 483.
- 39 ELECTROENCEFALÓGRAFOS. *Electronica Médica*, Catálogo.2008.
- 41 ELORZA, Haroldo. *Estadística para ciencias del comportamiento*. Harla. México. Pp. 7, 80, 86, 337.
- 42 ENFERMEDADES OFTALMOLOGICAS COMUNES.
www.mic.ki.se/Diseases/c11.html.
- 43 ESTUDIO DEL PACIENTE OFTALMOLÓGICO. Internet PAC Oftalmología Parte B Libro 4.3.htm.
- 44 FELDMAN, Simón. *Discurso como Presidente de la Cámara Nacional de la Industria del Vestido, (CNIV), en el marco de los trabajos de la LXIV asamblea General Ordinaria*.2009.
- 45 FESSENDEN. J. Ralph y Joan S. Fessenden. *Química Orgánica*. Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V. México. 1982. pp. 925-937, 941-949.
- 46 FREUD, Sigmund. *Toten y Tabú*. Libro de bolsillo Alianza Editorial. México, 1986.
- 47 FUKAI, Akiko. *Moda. Una Historia desde el siglo XVIII al siglo XX*. La Colección del Instituto de la Indumentaria de Kioto. Taschen. España, 2006.
- 48 GEGENFURTNE, Karl R., y Share T. Lin Sag. *Color Vision. From Genes to Perception*. Cambride University Press. 1983. pp 30-67.
- 49 GOICOCHEA, Romano Cesáreo. *Diccionario de citas*. Editorial Labor, S. A. 1952.
- 50 GÓMEZ, Torrente Mario. *El lenguaje del color y la objetividad del color*. Instituto de investigaciones Filosóficas, UNAM, México. 2007. Artículo de página de Internet.
- 51 GONZÁLEZ, y González Fernando. *Historia de la Televisión Mexicana 1950-1985*. Agrupación de Iniciadores de la Televisión Mexicana, A. C México. 1989. pp. 51, 84.

- 52 GONZÁLEZ, y González Fernando. *Libro de Oro de la Televisión Mexicana*. Agrupación de Iniciadores de la Televisión Mexicana, A. C. México, 1981. pp. 36-37.
- 53 GREEN, David M, y Swets John A. *Signal Detectiom. Theory and Psychophysics*. John Wiley and Sons, Inc. USA, 1966.
- 54 GREGORY, R. C. *Ojo y Cerebro. Psicología de la Visión*. Ediciones Guadarrama, S. L. Madrid, 1985. pp. 62, 83, 117.
- 55 HARRIS, Paul L. *El Funcionamiento de la Imaginación*. Fondo de Cultura Económica. México, 2000. pp. 21.
- 56 HARVEY, Richard Schiffman. *La percepción Sensorial*. Editorial LIMUSA. México. 1983.pp.19, 181, 236.
- 57 HAYTEN, Peter J. *El Color en la Industria*. L.E. D. A., Ediciones de Arte. Barcelona. 1958. 19-43.
- 58 HECHT, Eugene. *Óptica*. Tercera Edición. Addison Wesley Iberoamericana, S. A. Madrid, 2000. Pp. 37, 86, 151, 250,659.
- 59 HERREMAN, Rogelio. *De los Anteojos a la Cirugía Refractiva*. Fondo de Cultura Económica. México. 1997.
- 60 HUBEL, David H. y Wiesel Torsten N. *Mecanismos Cerebrales de la Visión*. Facultad de Medicina. Universidad de Harvard. 1974. El Cerebro. Libros de Investigación y Ciencia. Scientific American. Prensa Científica. España, 1986.
- 61 JIMENO, Muñoz Laura. *El Recuperador electrónico aumenta la agudeza visual*. DSALUD.COM, 2006
- 62 KANDEL, Eric R, Schwartz James H., Jessell Thomas M. *Principios de Neurociencia*. Cuarta Edición. McGraw-Hill. Interamericana. España, 2000. Pp. 5-19, 317-336, 492-546, 572-589.
- 63 KANDEL, Eric R. *Microsistema de Neuronas*. Facultad de Medicina. Universidad de Columbia. 1974. El Cerebro. Libros de Investigación y Ciencia. Scientific American. Prensa Científica. España, 1986.
- 64 KENTON, Warren. *Astrology, The celestial mirror*. Tames and Hudson. 1989. Láminas 30, 32.
- 65 KONICA MINOLTA SENSING INC. 2007.

- 66 LAGUNA, Mena Berta L. *Evolución de la Función Macular con la Edad*. Universidad Computense de Madrid. Hospital Clínico Universitario San Carlos. Madrid 1990. Página de Internet. Capítulo 2 Visión Cromática.
- 64 LIMÓN, de Brown Emma. *Examen de la vista en línea. Visión de los colores*. Centro estatal de oftalmología. Internet página Dra_Emma Limon de Brown A_C.htm
- 67 LUNA, Arroyo Antonio. *Juan O'Gorman*. Cuadernos populares de Pintura Mexicana. México, 1973.
- 68 LUNA, Guevara Gerardo, Herrera Sánchez David, y Álvarez Rueda Moisés. *Desarrollan en la UNAM programa para el análisis de electroencefalogramas y mapeo cerebral*. Banco de Boletines. Boletín UNAM-DGCS-849. Ciudad Universitaria. Internet 2006.
- 69 MANNING, Sidney A., y Rosenstock Edward H. *Elaboración de Escalas de Actitudes y Psicofísica Clásica*. Editorial Trillas. México, 1971. pp. 9-95
- 70 MARTÍNEZ, Verdú Francisco Miguel, y De Fez Sáiz Dolores. *La Ergonomía del Color: Influencia en el Rendimiento y la Salud del Trabajador*. Gestión Práctica de Riesgos Laborales, N° 30, pág. 34, septiembre 2006.
- 71 McKEACHIE, Dolye. *Psicología*. Fondo Educativo Interamericano, S. A. 1979. Láminas 1-13.
- 72 MONTESINOS, Azorin Rebeca. *Especificaciones Cromáticas de Gama de Colores Usadas en la Industria del Calzado*. Departamento Universitario de Óptica. Grupo Visión y Color. Universidad de Alicante. España, 2003.
- 73 MOOD, Alexander M, y Graybill Franklin A. *Introducción a la Teoría de la Estadística*. Ediciones Aguilar, S. A. Cuarta Edición, Madrid, 1978.
- 74 MORA, Francisco. *Cómo Funciona el Cerebro*. Alianza Editorial. Madrid, 2007. pp. 15-36, 72 -103.
- 75 NETTER, Frank H. *Atlas de Anatomía Humana*. ICON Learnig Systems. Canada, 2001.
- 76 NEURTEK, Instruments. *Sistema Farnsworth de evaluación de percepción del color*. Master Color Control, S. A. de C. V. Internet página: mcolorcontrol.com

- 77 NORMA PARA LA DETECCION TEMPRANA DE LAS ALTERACIONES DE LA AGUDEZA VISUAL. Internet págín: medicos colombianos.com. 2008.
- 78 ORDOÑEZ, Mtanous Yvette y colaboradores. *Efecto de lasik en las aberraciones de alto orden en ablaciones miópicas centrales versus multizonales*. Rev Mex Oftalmol; Enero-Febrero 2006; 80(1):1-3 Enero-Febrero 2006; 80(1) 1. Sección de Trabajos Científicos.
- 79 ORTIZ, Hernández Georgina. *El Significado de los Colores*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Psicología Social. Facultad de Psicología. UNAM. 1984. pp. 175, 247.
- 81 ORTIZ, Isabel. *Atlas Ilustrado de los Minerales*. SUSAETA Ediciones, S. A. España. 2007. Pp 9, 19, 123.
- 82 OSRAM. *Ve tu mundo bajo una nueva luz*. Catálogo General 2005/2006. pp. 2.05, 3.01
- 83 PAPADOPOULOS, Pandelis A. *Test para evaluar la agudeza visual*. Internet página TEST DE Agudeza Visual. Htm.
- 84 PARDO, Fernández Pedro José. *Realización y Validación de un Programa Informático para la Detección de Deficiencias en la Visión de los Colores C. V. D*. Universidad de Extremadura. Facultad de Ciencias. Departamento de Física. Tesis de Licenciatura. Extracto Capítulo 3, Badajoz, 2000.
- 85 PÉREZ, González Luis Antonio. *Estadística para la Investigación Experimental*. Tema preparado para el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica INAOE. Universidad Politécnica del Valle de Toluca. Instituto Para el Aseguramiento de la Calidad. Cholula, Puebla.
- 86 PÉREZ, González Luis Antonio. *Diseño de Experimentos: Introducción al Diseño Experimental*. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. 2009
- 87 PERIODICO, Mural. *Salud en el escolar: Agudeza Visual*. Facultad de Medicina, UNAM. 2008. Internet página. Agudeza Visual\Facultad de Medicina UNAM. htm.
- 88 PHILIPS, Lighting. *Catálogo de especificaciones 2006-2007*. pp.4-14, 17, 63, 71.

- 89 PINEL, John P. J. *Biopsicología*. 4ª Edición. PRENTICE HALL. pp. 184, 507.
- 90 PLATONOV, Konstantin. *Psicología Recreativa*. Editorial Progreso. Moscú, 1975. pp. 196.
- 91 PORTOS, Pérez Irma. *La Industria Textil en México y Brasil*. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, 2008. pp. 15, 195.
- 92 RAINWATER, Clarence. *Luz y Color*. Ediciones Daimon, Manuel Tamayo. Barcelona. 1976. pp 18, 29, 98, 118.
- 93 RESNICK, Robert y Halliday David. *Física, parte I y II*. Compañía editorial Continental, S. A. México, 1986, 2005.
- 94 RIBES, Iñesta Emilio. *Técnicas de modificación de conducta*. Editorial Trillas. México 1977. Pp. 103.
- 95 RICARDO, Dino. La Cromoterapia. Internet página: www.deon.com.ar. 2008
- 96 ROBERTS, Reginald. *Psicología del Color*. Editora y distribuidora Yug, S. A. México, 1993. Pp. 63, 101, 159.
- 97 ROJAS, Pedro. *La Ciudad Universitaria a la época de su construcción*. UNAM, 1979.
- 98 ROUSSEAU, G. S. *The Languages of Psyche*. Mind and Body in Enlightenment Thought. University of California. Berkeley. Los Angeles-Oxford. 1985-1986. Lectures.
- 99 RUÍZ, Moncayo Alberto. *Probabilidad y Estadística, parte 2*. LIMUSA, Noriega Editores. México. 1996. pp. 27-37.
- 100 SAGAN, Carl. *El Cerebro de Broca*. Editorial Grijalbo. México, 1979. pp19-21, 33.
- 101 SALCEDA, Rocío. *Procesamiento de la Información Visual: Trasmisión Central*. Instituto de Fisiología Celular. UNAM. CONACYT 2005.
- 102 SÁNCHEZ, Román Francisco Raúl y colaboradores. *Factores de Riesgo para la Astenopia en Operadores de Terminales de Computo*. Revista Salud Pública de México. Mayo-Junio. Año/Vol. 38. Número 003. Pp. 189-196. Instituto de Salud Pública de México. Cuernavaca, Morelos. México. 1996.
- 103 SANTÉ, Loreto. *Biografía de B. F. Skinner*. <http://www.conducta.org/biografias/bfskinner.htm>.

- 104 SENSACIONES COMEX. Decoración y Arquitectura. N° Octubre-
Noviembre. 204. Páginas 21-26.
- 105 SKINNER. B. F. El *Condicionamiento operante*.
<http://www.monografias.com/trabajos15/condic-skinner//condic-skinner.shtml#CUESTION>.
- 106 SOLANO, Lamphar Héctor Antonio. *Ergoftalmología: Análisis de los Factores que Inciden en la Astenopía de los Trabajadores de Inspección Visual en la Industria Electrónica de Ciudad Juárez*. MsC, PhD Departamento de proyectos de ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ciencia & Trabajo | AÑO 8 | NÚMERO 21 | JULIO / SEPTIEMBRE 2006 | www.cienciaytrabajo.cl | 135/140 135.
- 107 SPRINGER, S. P. y G. Deutsch. *Cerebro Izquierdo, Cerebro Derecho*. Editorial Gedisa. Colección Limites de la Ciencia. pp. 15, 121,153.
- 108 STEEN, R. Grant. *DNA and Destiny. Nature and Nurture in Human Behavior*. Plenum Press. New York and London. 1996.
- 109 STRYER, Lubert. *Bioquímica*. Tercera edición, tomo 2. Editorial Reverté, S. A. España, 1988. pp. 1033-1045
- 110 TAMEZ, Gonzalez Silvia y colaboradores. *Daños Visuales derivados del uso de video-terminal en un diario informativo*. V Congreso Nacional AMET, 2006. Trabajos y Restruccuración: Los retos del nuevo siglo.
- 111 TENA, Rafael. *La religión Mexica, Catálogo de Dioses*. Arqueología Mexicana. Edición Especial. Abril de 2009. Número 30.pp 26-65.
- 112 TEST DE AGUDEZA VISUAL INFANTIL. Internet página:
<http://www.ofthalmología.org.mx/examen.html>.
- 113 TOUSSAINT, Manuel. *Pintura Colonial en México*. Instituto de Investigaciones Estéticas. UNAM. 1982. Lámina 44-45, 111, 275.
- 114 UNIKEL, Santoncini Claudia, Bojorquez Chapela Ietza, Carreño García Silvia, y Caballero Romo Alejandro. *Validación del Eating Disorder Inventory en una muestra de mujeres mexicanas con trastorno de la conducta alimentaria*. Revista de Salud Mental, Vol 29, No. 2, marzo-abril 2006. pp. 44-51
- 115 VALENTIN, Roberto. *Manual de Trasmisión Digital de TV*. Broadcast Engineer`s Handbooks. ABE Elettronica S. p. A.. 1-2004.pp.5.
- 116 VARIOS, Autores. *Historia de la Psicología*. Universidad Gestalt de América.
<http://www.mundogestalt.com>

- 117 VIDAURRI, Luis J, Dr. *Oftalmología y Optometría*. Test Examen de Percepción de los colores- Mapas de Ishihara. Internet, página pruebas de Ishihara\Examen de su vista en línea percepción de los colores-Mapa de Ishihara. Htm. 2008.
- 118 ZABLUDOVSKY, Abraham. *Arquitecto*. Noriega Editores. México. 1995. pp.35, 86, 264.

ANEXOS

Anexo A

Las características de la muestra poblacional, utilizada para la validación de la Psicofísica de Color, están en 18 registros, que contienen los datos generales de los sujetos biológicos de experimentación como, nombre, edad, lugar de nacimiento, profesión, tiempo de ejercerla, condiciones ambientales laborales, temperatura, humedad, iluminación, antecedentes patológicos visuales, entre otros conceptos.

Los resultados de las pruebas consta de dos registros, ya que cada prueba: agudeza visual cercana, prueba de discriminación de color con cartillas de Ishihara, y la prueba de discriminación de matices con el equipo Farnsworth-Munsell 100 Hue Test, se realizaron dos veces.

El último registro es el resultado de la prueba de discriminación de matices en coordenadas polares, con el nivel de discriminación que cada uno de los sujetos alcanzó. Estos resultados se otorgaron a los participantes en un certificado, avalado por el Laboratorio de Óptica del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).

Sólo a dos personas no se les otorgó el certificado por no haber realizado las pruebas completas. Pero fueron tomados en cuenta para el análisis estadístico.

Las pruebas se llevaron a cabo en dos sitios diferentes con condiciones ambientales distintas. Las pruebas realizadas con caja de luces, fue también independiente y de modelos distintos.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias, Tesis Psicológica del Color.
 Alumno: **Pedro Ramón Cervantes Petersen**, Tutora: **Dra. Jazmin Carranza Gallardo**
 Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación.
 Pruebas de: agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Famsworth 100 Hue Test)

Fecha: **01-07-08** Folio: **002**

Lugar de examinación: **Comercializadora Arush, S. A de C. V.**
 Av. Dr. Gustavo Baz No. 58, Col. Barmientos, Tlaxtepan de Baz Edo. de Mex.

Nombre: **Miguel Ángel de la Cruz Tapia**

Lugar y fecha de nacimiento: **Tlaxtepan Edo. de Mex. 21-08-1980**

Sexo: **Masculino** Profesión: **Revisor** Tiempo de ejercicio: **7 meses**

Tipo de luminaria en oficina: **fluorescente, amarilla, otro:** **Fluorescente** En casa: **Amarilla**

Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuáles?: **No**

¿Dónde compró su ropa: **Tienda departamental, tienda de marca o tanguis:** **En donde me guste**

Color preferido: **Negro** Antecedentes patológicos visuales: **miopía, hipermetropía, otro:** **No**

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: **Uso lentes**

Toma algún medicamento: **No** Estado civil: **Soltero**

Horas frente a la TV / PC: **1 / 1** Fuma: **No** Toma café: **2 tazas al día**

Tabla 002

Prueba	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08
Edad	18:46	13:15	19:50	13:15	18:31	13:01	11:40	13:88	15:42	14:15
APACAM	PCP	PCP	PCP	PCP	JAVS	JAVS	IPM	IPM	IPM	IPM
Normalidad (lux)	425	1968	425	1968	425	2014	1478	1478	375	275
Temperatura °C	23	27	23	27	24	37	22	24	24	24
Humedad relativa %	54	41	53	41	47	34	53	39	46	26
Resulados	J2 / J2	J2 / J2	9/5 errores	11/0 errores	13 errores	11 errores	2 errores	24 errores	47 errores	17 errores

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento. Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J-J se refiere a ojo izquierdo / ojo derecho, el mismo criterio para la prueba de Ishihara. Aplicaciones: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen, JAVS Jorge Antonio Veliz Suarez, IPM Israel Pérez Medina. Las celdas con una línea diagonal implica que no hay datos, porque la prueba no se realizó.

Nombre: **Miguel Ángel de la Cruz Tapia** Folio: **0 0 2**

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: **01-07-08** Hora: **13:50** Aplicador: **PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen**

Illuminancia (lux): **425** Temperatura °C: **23** Humedad %: **53**

¿Qué número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1 TARJETA 2 TARJETA 3 TARJETA 4 TARJETA 5 TARJETA 6 TARJETA 7 TARJETA 8 TARJETA 9 TARJETA 10 TARJETA 11

TARJETA 12 TARJETA 13 TARJETA 14 TARJETA 15 TARJETA 16 TARJETA 17 TARJETA 18

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19 TARJETA 20 TARJETA 21 TARJETA 22 TARJETA 23 TARJETA 24

Prueba No. 1 Famsworth 100 Hue Test.

Fecha: **01-07-08** Hora: **13:50** Aplicador: **IPM Israel Pérez Medina**

Prueba	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08
Edad	18:46	13:15	19:50	13:15	18:31	13:01	11:40	13:88	15:42	14:15
APACAM	PCP	PCP	PCP	PCP	JAVS	JAVS	IPM	IPM	IPM	IPM
Normalidad (lux)	425	1968	425	1968	425	2014	1478	1478	375	275
Temperatura °C	23	27	23	27	24	37	22	24	24	24
Humedad relativa %	54	41	53	41	47	34	53	39	46	26
Resulados	J2 / J2	J2 / J2	9/5 errores	11/0 errores	13 errores	11 errores	2 errores	24 errores	47 errores	17 errores

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación. El símbolo * significa que la respuesta fue correcta, 1 a cinco con línea diagonal significa que no se realizó la prueba.

Nombre: **Miguel Ángel de la Cruz Tapia** Folio: **0 0 2**

Prueba No. 2 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: **29-07-08** Hora: **13:15** Aplicador: **PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen**

Illuminancia (lux): **1968** Temperatura °C: **27** Humedad %: **41**

¿Qué número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1 TARJETA 2 TARJETA 3 TARJETA 4 TARJETA 5 TARJETA 6 TARJETA 7 TARJETA 8 TARJETA 9 TARJETA 10 TARJETA 11

TARJETA 12 TARJETA 13 TARJETA 14 TARJETA 15 TARJETA 16 TARJETA 17 TARJETA 18

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19 TARJETA 20 TARJETA 21 TARJETA 22 TARJETA 23 TARJETA 24

Prueba No. 2 Famsworth 100 Hue Test.

Fecha: **29-07-08** Hora: **13:15** Aplicador: **IPM Israel Pérez Medina**

Prueba	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08
Edad	18:46	13:15	19:50	13:15	18:31	13:01	11:40	13:88	15:42	14:15
APACAM	PCP	PCP	PCP	PCP	JAVS	JAVS	IPM	IPM	IPM	IPM
Normalidad (lux)	425	1968	425	1968	425	2014	1478	1478	375	275
Temperatura °C	23	27	23	27	24	37	22	24	24	24
Humedad relativa %	54	41	53	41	47	34	53	39	46	26
Resulados	J2 / J2	J2 / J2	9/5 errores	11/0 errores	13 errores	11 errores	2 errores	24 errores	47 errores	17 errores

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación.

Resultados en coordenadas polares. INAOE

Reporte de evaluación de Miguel (Ángel) de la Cruz Tapia.

Discriminador Promedio.

Evaluated with the Famsworth-Munsell 100-Hue Test in conditions of illumination of light of day natural.

Puntuación 28 28

Evaluated: Ing. Israel Pérez Medina.
 Responsable: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
 Instituto Nacional de Astrofísica y Electrónica.
 Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría.
 Luis Enrique Erra No. 1 Tonantzintla, Puebla, México. CP. 72840

Ficha técnica del Sujeto 2.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias, Tesis Psicofísica del Color

Alumno: **Pedro Ramón Cervantes Petersen**, Tutora: **Dra. Jazmín Carranza Gallardo**,
 Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación.
 Pruebas de agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test)

Fecha: **01-07-08** Folio: **004**

Lugar de examinación: **Comercializadora Anush, S. A de C. V**
 Av. Dr. Gustavo Baz No. 56, Col Barrientos, Tlaxcapilla de Baz Edo. de Mex.

Nombre: **Sandra Ramirez Guzman**

Lugar y fecha de nacimiento: **México D. F. 26.03.1979**

Sexo: **Femenino** Profesión: **Técnico Industrial del Vestido** Tiempo de experiencia: **12 años**

Tipo de luminaria en oficina: **fluorescente, amarilla, otro:** **Fluorescente** **En casa:** **Amarilla**

Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuáles?: **No.**

Donde compra su ropa: **Tienda departamental, tienda de marca o boutiques:** **Tienda departamental**

Color preferido: **Negro** Antecedentes patológicos visuales: **miopía, hipermetropía, otro:** **No**

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: **No**

Toma algún medicamento: **No** Estado civil: **Soltera**

Horas frente a la TV/PC: **1/0** Fuma: **No** Toma café: **Si**

Prueba	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación	Fecha de aplicación
	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08	29-07-08	01-07-08
Linea	15:45	12:35	15:50	12:35	12:12	12:06	11:34	15:53	13:08
Aplicador	PCP	PCP	PCP	PCP	JAYS	IPM	IPM	IPM	IPM
Luminancia (LUX)	425	3110	422	2110	2039	1476	1470	273	275
Temperatura (°C)	23	38	23	26	36	22	24	24	31
Humedad relativa (%)	53	43	53	44	37	34	36	45	36
Resultado	J2/J2	J2/J2	2/2 errores	2/2 errores	18 errores	37 errores	30 errores	30 errores	12 errores

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento. Las pruebas de agudeza visual « Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J-1-J se refiere ojo izquierdo / ojo derecho, al mismo criterio para la prueba de Ishihara. Aplicadores: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen, JAYS Jorge Antonio Veliz Suárez IPM Israel Pérez Medina. Las celdas con una línea diagonal implica que no hay datos, porque la prueba no se realizó.

Nombre: **Sandra Ramirez Guzman** Folio: **0 0 4**

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural

Fecha: **01-07-08** Hora: **15:36** Aplicador: **PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen**

Luminancia (lux): **400** Temperatura °C: **25** Humedad %: **53**

¿Que numero pude ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 15: **15**

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19: **19** TARJETA 20: **20** TARJETA 21: **21** TARJETA 22: **22** TARJETA 23: **23** TARJETA 24: **24**

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: **01-07-08** Hora: **12:00** Aplicador: **IPM Israel Pérez Medina**

1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-100	101-105	106-110	111-115	116-120	121-125	126-130	131-135	136-140	141-145	146-150	151-155	156-160	161-165	166-170	171-175	176-180	181-185	186-190	191-195	196-200	201-205	206-210	211-215	216-220	221-225	226-230	231-235	236-240	241-245	246-250	251-255	256-260	261-265	266-270	271-275	276-280	281-285	286-290	291-295	296-300	301-305	306-310	311-315	316-320	321-325	326-330	331-335	336-340	341-345	346-350	351-355	356-360	361-365	366-370	371-375	376-380	381-385	386-390	391-395	396-400	401-405	406-410	411-415	416-420	421-425	426-430	431-435	436-440	441-445	446-450	451-455	456-460	461-465	466-470	471-475	476-480	481-485	486-490	491-495	496-500	501-505	506-510	511-515	516-520	521-525	526-530	531-535	536-540	541-545	546-550	551-555	556-560	561-565	566-570	571-575	576-580	581-585	586-590	591-595	596-600	601-605	606-610	611-615	616-620	621-625	626-630	631-635	636-640	641-645	646-650	651-655	656-660	661-665	666-670	671-675	676-680	681-685	686-690	691-695	696-700	701-705	706-710	711-715	716-720	721-725	726-730	731-735	736-740	741-745	746-750	751-755	756-760	761-765	766-770	771-775	776-780	781-785	786-790	791-795	796-800	801-805	806-810	811-815	816-820	821-825	826-830	831-835	836-840	841-845	846-850	851-855	856-860	861-865	866-870	871-875	876-880	881-885	886-890	891-895	896-900	901-905	906-910	911-915	916-920	921-925	926-930	931-935	936-940	941-945	946-950	951-955	956-960	961-965	966-970	971-975	976-980	981-985	986-990	991-995	996-1000	1001-1005	1006-1010	1011-1015	1016-1020	1021-1025	1026-1030	1031-1035	1036-1040	1041-1045	1046-1050	1051-1055	1056-1060	1061-1065	1066-1070	1071-1075	1076-1080	1081-1085	1086-1090	1091-1095	1096-1100	1101-1105	1106-1110	1111-1115	1116-1120	1121-1125	1126-1130	1131-1135	1136-1140	1141-1145	1146-1150	1151-1155	1156-1160	1161-1165	1166-1170	1171-1175	1176-1180	1181-1185	1186-1190	1191-1195	1196-1200	1201-1205	1206-1210	1211-1215	1216-1220	1221-1225	1226-1230	1231-1235	1236-1240	1241-1245	1246-1250	1251-1255	1256-1260	1261-1265	1266-1270	1271-1275	1276-1280	1281-1285	1286-1290	1291-1295	1296-1300	1301-1305	1306-1310	1311-1315	1316-1320	1321-1325	1326-1330	1331-1335	1336-1340	1341-1345	1346-1350	1351-1355	1356-1360	1361-1365	1366-1370	1371-1375	1376-1380	1381-1385	1386-1390	1391-1395	1396-1400	1401-1405	1406-1410	1411-1415	1416-1420	1421-1425	1426-1430	1431-1435	1436-1440	1441-1445	1446-1450	1451-1455	1456-1460	1461-1465	1466-1470	1471-1475	1476-1480	1481-1485	1486-1490	1491-1495	1496-1500	1501-1505	1506-1510	1511-1515	1516-1520	1521-1525	1526-1530	1531-1535	1536-1540	1541-1545	1546-1550	1551-1555	1556-1560	1561-1565	1566-1570	1571-1575	1576-1580	1581-1585	1586-1590	1591-1595	1596-1600	1601-1605	1606-1610	1611-1615	1616-1620	1621-1625	1626-1630	1631-1635	1636-1640	1641-1645	1646-1650	1651-1655	1656-1660	1661-1665	1666-1670	1671-1675	1676-1680	1681-1685	1686-1690	1691-1695	1696-1700	1701-1705	1706-1710	1711-1715	1716-1720	1721-1725	1726-1730	1731-1735	1736-1740	1741-1745	1746-1750	1751-1755	1756-1760	1761-1765	1766-1770	1771-1775	1776-1780	1781-1785	1786-1790	1791-1795	1796-1800	1801-1805	1806-1810	1811-1815	1816-1820	1821-1825	1826-1830	1831-1835	1836-1840	1841-1845	1846-1850	1851-1855	1856-1860	1861-1865	1866-1870	1871-1875	1876-1880	1881-1885	1886-1890	1891-1895	1896-1900	1901-1905	1906-1910	1911-1915	1916-1920	1921-1925	1926-1930	1931-1935	1936-1940	1941-1945	1946-1950	1951-1955	1956-1960	1961-1965	1966-1970	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050	2051-2055	2056-2060	2061-2065	2066-2070	2071-2075	2076-2080	2081-2085	2086-2090	2091-2095	2096-2100	2101-2105	2106-2110	2111-2115	2116-2120	2121-2125	2126-2130	2131-2135	2136-2140	2141-2145	2146-2150	2151-2155	2156-2160	2161-2165	2166-2170	2171-2175	2176-2180	2181-2185	2186-2190	2191-2195	2196-2200	2201-2205	2206-2210	2211-2215	2216-2220	2221-2225	2226-2230	2231-2235	2236-2240	2241-2245	2246-2250	2251-2255	2256-2260	2261-2265	2266-2270	2271-2275	2276-2280	2281-2285	2286-2290	2291-2295	2296-2300	2301-2305	2306-2310	2311-2315	2316-2320	2321-2325	2326-2330	2331-2335	2336-2340	2341-2345	2346-2350	2351-2355	2356-2360	2361-2365	2366-2370	2371-2375	2376-2380	2381-2385	2386-2390	2391-2395	2396-2400	2401-2405	2406-2410	2411-2415	2416-2420	2421-2425	2426-2430	2431-2435	2436-2440	2441-2445	2446-2450	2451-2455	2456-2460	2461-2465	2466-2470	2471-2475	2476-2480	2481-2485	2486-2490	2491-2495	2496-2500	2501-2505	2506-2510	2511-2515	2516-2520	2521-2525	2526-2530	2531-2535	2536-2540	2541-2545	2546-2550	2551-2555	2556-2560	2561-2565	2566-2570	2571-2575	2576-2580	2581-2585	2586-2590	2591-2595	2596-2600	2601-2605	2606-2610	2611-2615	2616-2620	2621-2625	2626-2630	2631-2635	2636-2640	2641-2645	2646-2650	2651-2655	2656-2660	2661-2665	2666-2670	2671-2675	2676-2680	2681-2685	2686-2690	2691-2695	2696-2700	2701-2705	2706-2710	2711-2715	2716-2720	2721-2725	2726-2730	2731-2735	2736-2740	2741-2745	2746-2750	2751-2755	2756-2760	2761-2765	2766-2770	2771-2775	2776-2780	2781-2785	2786-2790	2791-2795	2796-2800	2801-2805	2806-2810	2811-2815	2816-2820	2821-2825	2826-2830	2831-2835	2836-2840	2841-2845	2846-2850	2851-2855	2856-2860	2861-2865	2866-2870	2871-2875	2876-2880	2881-2885	2886-2890	2891-2895	2896-2900	2901-2905	2906-2910	2911-2915	2916-2920	2921-2925	2926-2930	2931-2935	2936-2940	2941-2945	2946-2950	2951-2955	2956-2960	2961-2965	2966-2970	2971-2975	2976-2980	2981-2985	2986-2990	2991-2995	2996-3000	3001-3005	3006-3010	3011-3015	3016-3020	3021-3025	3026-3030	3031-3035	3036-3040	3041-3045	3046-3050	3051-3055	3056-3060	3061-3065	3066-3070	3071-3075	3076-3080	3081-3085	3086-3090	3091-3095	3096-3100	3101-3105	3106-3110	3111-3115	3116-3120	3121-3125	3126-3130	3131-3135	3136-3140	3141-3145	3146-3150	3151-3155	3156-3160	3161-3165	3166-3170	3171-3175	3176-3180	3181-3185	3186-3190	3191-3195	3196-3200	3201-3205	3206-3210	3211-3215	3216-3220	3221-3225	3226-3230	3231-3235	3236-3240	3241-3245	3246-3250	3251-3255	3256-3260	3261-3265	3266-3270	3271-3275	3276-3280	3281-3285	3286-3290	3291-3295	3296-3300	3301-3305	3306-3310	3311-3315	3316-3320	3321-3325	3326-3330	3331-3335	3336-3340	3341-3345	3346-3350	3351-3355	3356-3360	3361-3365	3366-3370	3371-3375	3376-3380	3381-3385	3386-3390	3391-3395	3396-3400	3401-3405	3406-3410	3411-3415	3416-3420	3421-3425	3426-3430	3431-3435	3436-3440	3441-3445	3446-3450	3451-3455	3456-3460	3461-3465	3466-3470	3471-3475	3476-3480	3481-3485	3486-3490	3491-3495	3496-3500	3501-3505	3506-3510	3511-3515	3516-3520	3521-3525	3526-3530	3531-3535	3536-3540	3541-3545	3546-3550	3551-3555	3556-3560	3561-3565	3566-3570	3571-3575	3576-3580	3581-3585	3586-3590	3591-3595	3596-3600	3601-3605	3606-3610	3611-3615	3616-3620	3621-3625	3626-3630	3631-3635	3636-3640	3641-3645	3646-3650	3651-3655	3656-3660	3661-3665	3666-3670	3671-3675	3676-3680	3681-3685	3686-3690	3691-3695	3696-3700	3701-3705	3706-3710	3711-3715	3716-3720	3721-3725	3726-3730	3731-3735	3736-3740	3741-3745	3746-3750	3751-3755	3756-3760	3761-3765	3766-3770	3771-3775	3776-3780	3781-3785	3786-3790	3791-3795	3796-3800	3801-3805	3806-3810	3811-3815	3816-3820	3821-3825	3826-3830	3831-3835	3836-3840	3841-3845	3846-3850	3851-3855	3856-3860	3861-3865
-----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias, Tests Psicológicos del Color
Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen. Tutora: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación
Pruebas de agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test)

Fecha: Evaluación 1: 01-07-08 Evaluación 2: 29-07-08 **Folio:** 005

Lugar de examinación: Comercializadora Anush, S. A de C. V
 Av. Dr. Gustavo Baz No. 58, Col Bamentos, Tlaxtepan de Baz Edo. de Mex

Nombre: Nuna Flores Cruz

Lugar y fecha de nacimiento: México D. F. 26-02-1972

Sexo: femenino **Profesión:** Diseñadora de Modas **Tiempo de experiencia:** 8 años

Tipo de luminaria en oficina: fluorescente, amarilla, otro: Fluorescente **En casa:** Amarilla

Se le han realizado estas pruebas antes, ¿cuáles?: No

Donde compra su ropa: Tienda departamental, tienda de marca o tiendas: Tienda departamental o marca

Color preferido: Café **Antecedentes patológicos visuales:** miopia, hipermetropía, otro: No

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: No

Toma algún medicamento: No **Estado civil:** Soltera

Horas frente a la TV / PC: 0 / 14 **Fuma:** No **Toma café:** 1 taza al día

Tabla 005

Prueba	Fecha de aplicación	Iluminancia (lux)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Resultado
Jaeger	01-07-08	1545	22.35	34	J2 / J2
Ishihara	01-07-08	1545	22.35	34	11 / 11
Farnsworth	01-07-08	1545	22.35	34	10 errores

Notación: La fusión A se refiere a una fuente incandescente o de filamento.
 Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J-J se refiere ojo izquierdo / ojo derecho, si mismo criterio para la prueba de Ishihara
 Aplicadores: PCP Pedro Ramon Cervantes Petersen, JAVS Jorge Antonio Veliz Salazar
 IPM Israel Pérez Medina
 Las celdas con una línea diagonal implica que no hay datos, porque la prueba no se realizó

Nombre: Nuna Flores Cruz **Folio:** 0 0 5

Prueba No. 2 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: 29-07-08 **Hora:** 11:30 **Aplicador:** PCP Pedro Ramon Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 1848 **Temperatura (°C):** 24 **Humedad (%):** 40

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 15: 10 16 73 73 40 40 4 4 46 26 26 42 42

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19, 20, 21, 22, 23, 24

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test

Fecha: 29-07-08 **Hora:** 11:30 **Aplicador:** PCP Pedro Ramon Cervantes Petersen

Resultado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
85	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	85	11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	✓
24	✓	22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	✓
47	46	44	43	45	49	50	48	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	✓
65	64	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
67	66	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación.
 El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta.

Nombre: Nuna Flores Cruz **Folio:** 0 0 5

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: 01-07-08 **Hora:** 15:36 **Aplicador:** PCP Pedro Ramon Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 425 **Temperatura (°C):** 23 **Humedad (%):** 55

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 15: 10 16 73 73 N N 4 4 46 26 26 42 42

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19, 20, 21, 22, 23, 24

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test

Fecha: 01-07-08 **Hora:** 15:36 **Aplicador:** IPM Israel Pérez Medina

Resultado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
85	11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	85	11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	✓
24	✓	22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	✓
46	45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
46	40	45	47	48	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	✓
65	64	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
67	66	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación.
 El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta. La celda con línea diagonal significa que no se realizó la prueba

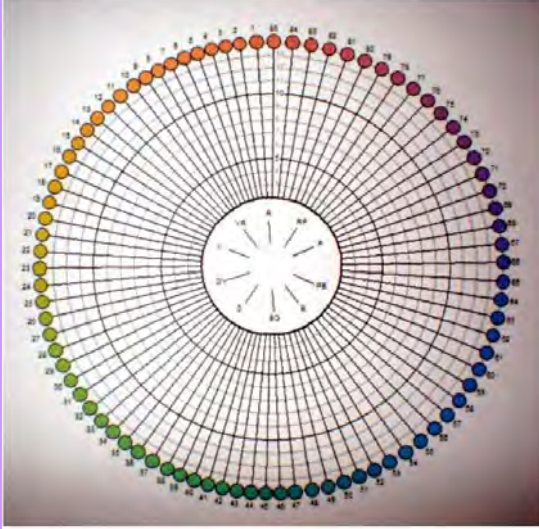
Resultados en coordenadas polares. INAOE

Reporte de evaluación de Nuna Flores Cruz.

Discriminador Superior.

Evaluación con el Farnsworth-Munsell 100 Hue Test en condiciones de iluminación de luz de día natural

Puntuación 1ª evaluación 0 2ª evaluación 4



Evaluador: Ing. Israel Pérez Medina.
Responsable: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
 Instituto Nacional de Astrofísica y Electrónica.
 Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría
 Luis Enrique Erro No. 1 Tonantzintla, Puebla, México. CP. 72840

Ficha técnica del Sujeto 5.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias. Tesis Psicofísica del Color.
Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen. Tutor: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación.
 Pruebas de agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test).

Fecha: Examen 1: 01-07-08 Examen 2: 29-07-08 Folio: 008

Lugar de examinación: Comercializadora Arush, S. A de C. V.
 Av. Dr. Gustavo Baz No. 56, Col Barrantes, Tlanepantla de Baz Edo. de Mex.

Nombre: Silvia Espinosa González

Lugar y fecha de nacimiento: Estado de México 00-09-1990

Sexo: Femenino Profesión: Patronista Tiempo de ejercicio: 8 años

Tipo de luminaria en oficina: fluorescente, amarilla, otro: Natural En casa: Amarillo

Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuales?: No

Dónde compra su ropa: Tienda departamental, tienda de marca o tanguis: En las tres

Color preferido: Morado Antecedentes patológicos visuales: miopía, hipermetropía, otro: Asigmatismo

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: No

Toma algún medicamento: No Estado civil: Soltera

Horas frente a la TV / PC: 2 / 0 Fuma: No Toma café: Una taza al día

Tabla 008

Prueba	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	0016	0017	0018	0019	0020	0021
Fecha de aplicación	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08	01-07-08
Hora	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35	12:35
Aplicador	PCP	PCP	PCP	JAVS	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM	IPM
Humedad (Lux)	2210	2210	2210	2034	1876	1478	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
Temperatura °C	29	36	36	35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Humedad relativa %	42	44	44	47	50	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Resultado	J2 / J2	J2 / J2	J2 / J2	3 errores	4 errores	5 errores	25 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores	47 errores

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento. Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J-J2 se refiere al izquierdo / ojo derecho, al mismo criterio para la prueba de Ishihara. Aplicadores: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen, JAVS Jorge Antonio Vald Sulenz, IPM Israel Pérez Medina. Las celdas con una línea diagonal implica que no hay datos, porque la prueba no se realizó.

Nombre: Silvia Espinosa González Folio: 0 0 8

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural. No se realizó, por deficiencias en la iluminación

Fecha: 01-07-08 Hora: 12:35 Aplicador: IPM Israel Pérez Medina

Illuminancia (lux): 2210 Temperatura °C: 29 Humedad %: 42

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1 TARJETA 2 TARJETA 3 TARJETA 4 TARJETA 5 TARJETA 6 TARJETA 7 TARJETA 8 TARJETA 9 TARJETA 10 TARJETA 11

TARJETA 12 TARJETA 13 TARJETA 14 TARJETA 15 TARJETA 16 TARJETA 17 TARJETA 18

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19 TARJETA 20 TARJETA 21 TARJETA 22 TARJETA 23 TARJETA 24

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test

Fecha: 01-07-08 Hora: 12:35 D65 110 6.9 4.25 Aplicador: IPM Israel Pérez Medina

Humedad (Lux): Nat D65 1478 275 Temperatura °C: Nat D65 29 45 21 Humedad %: 42 47

	85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Result	
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat	
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación. El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta. La celda con línea diagonal significa que no se realizó la prueba.

Nombre: Silvia Espinosa González Folio: 0 0 8

Prueba No. 2 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: 29-07-08 Hora: 12:35 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Illuminancia (lux): 2210 Temperatura °C: 29 Humedad %: 44

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1 TARJETA 2 TARJETA 3 TARJETA 4 TARJETA 5 TARJETA 6 TARJETA 7 TARJETA 8 TARJETA 9 TARJETA 10 TARJETA 11

TARJETA 12 TARJETA 13 TARJETA 14 TARJETA 15 TARJETA 16 TARJETA 17

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 18 TARJETA 19 TARJETA 20 TARJETA 21 TARJETA 22 TARJETA 23

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test

Fecha: 29-07-08 Hora: 12:35 D65 110 6.9 4.25 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Humedad (Lux): Nat D65 1478 275 Temperatura °C: Nat D65 29 45 21 Humedad %: 42 47

	85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Result
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
18	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A
19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nat
20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	D65
21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	A

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación. El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta.

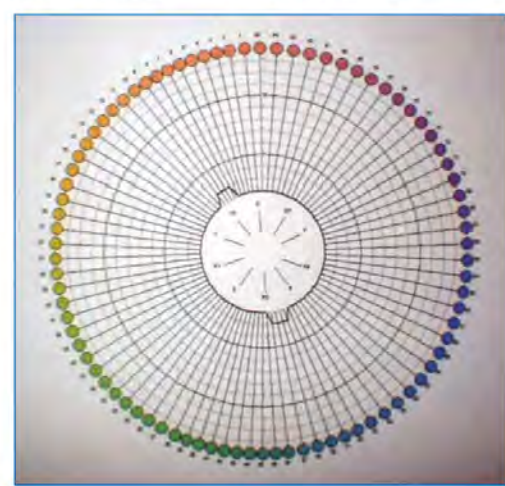
Resultados en coordenadas polares. INAOE

Reporte de evaluación de Silvia Espinosa González.

Discriminador Superior.

Evaluado con el Farnsworth-Munsell 100-Hue Test en condiciones de iluminación de luz de día natural

Puntuación 1ª evaluación 8 2ª evaluación 8



Evaluador: Ing. Israel Pérez Medina.
 Responsable: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
 Instituto Nacional de Astrofísica y Electrónica.
 Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría
 Luis Enrique Erro No. 1 Tonantzintla, Puebla, México. CP. 72840

Ficha técnica del Sujeto 8.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias, Tesis Psicofísica del Color
Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen. Tutora: Dra. Jazmín Carranza Gallardo.
Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación.
 Pruebas de agudeza visual cerceona (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test)

Fecha: Evaluación: 01-07-08 Evaluación 2: no se aplicó Folio: 010

Lugar de examinación: Comercializadora Anush, S. A de C. V.
 Av. Dr. Gustavo Baz No. 58 Col. Barmontes, Tlaxiapalpa de Baz Edo. de Mex.

Nombre: Berenice Banda Méndez

Lugar y fecha de nacimiento: México D. F. 09-03-1983

Sexo: Femenino Profesión: Ingeniero Textil Tiempo de ejercicio: 3 años

Tipo de luminaria en oficina: fluorescente, amarilla, otro: Amalida En casa: Amalida

Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuáles?: No

¿Dónde compra su ropa: Tienda departamental, tienda de marca o tienda: Tienda departamental

Color preferido: Azul Antecedentes patológicos visuales: miopía, hipermetropía, otro: Astigmatismo

Antecedentes no patológicos visuales, accidentes, enfermedad profesional, otro: No

¿Toma algún medicamento: No Estado civil: Soltera

Horas frente a la TV / PC: Fuma: Toma café:

Tabla 010

Prueba	Fecha de aplicación	Horas	Aplicador	Temperatura (°C)	Humedad (relativa %)	Resultado
Ishihara (I)	01-07-08	15:50	PCP	24	53	11 minutos
Ishihara (II)	01-07-08	16:00	IPM	24	53	7 minutos
Farnsworth 100 Hue (I)	01-07-08	13:12	IPM	24	53	41 minutos
Farnsworth 100 Hue (II)	01-07-08	16:12	IPM	24	53	40 minutos

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento.
 Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado de (I) -> en refuerzo ojo izquierdo / ojo derecho, al mismo criterio para la prueba de Ishihara.
 Aplicadores: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen; JAVS Jorge Antonio Vez Suárez; IPM Israel Pérez Medina

Nombre: Berenice Banda Méndez Folio: 010

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: 01-07-08 Hora: 15:50 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen
 Luminancia (lux): 408 Temperatura (°C): 24 Humedad (%): 53

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 2: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 3: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 4: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 5: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 6: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 7: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 8: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 9: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 10: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 11: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 12: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 13: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 14: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 15: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 16: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 17: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 18: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 20: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 21: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 22: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 23: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 24: 12 13 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 8 8 45 45 5 5 7 7 7

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: 01-07-08 Hora: 14:00 Aplicador: IPM Israel Pérez Medina
 Luminancia (lux): 408 Temperatura (°C): 24 Humedad (%): 53

Prueba	Fecha de aplicación	Horas	Aplicador	Temperatura (°C)	Humedad (relativa %)	Resultado
Farnsworth 100 Hue (I)	01-07-08	14:00	IPM	24	53	41 minutos
Farnsworth 100 Hue (II)	01-07-08	16:12	IPM	24	53	40 minutos

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación. El símbolo * significa que la respuesta fue correcta.

Ficha técnica del Sujeto 10. Este participante sólo realizó una evaluación.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias. Tesis Psicológica del Color.
Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen. Tutora: Dra. Jazmín Canzana Gallardo.
Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examenación.
Pruebas de: agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test)

Fecha: **01-07-08** Folio: **011**

Lugar de examenación: **Comercializadora Anush, S. A de C. V. Av. Dr. Gustavo Baz No. 56, Col. Barmientos, Tlanepantla de Baz Edo. de Mex.**

Nombre: **José Jerónimo Ruz Martínez**

Lugar y fecha de nacimiento: **México D. F. 12-11-1980**

Sexo: **Masculino** Profesión: **Ingeniero Textil** Tiempo de elaboración: **1 años**

Tipo de luminaria en oficina: **fluorescente, amarilla, otro: Ambarilla** En casa: **Ambarilla**

Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuáles?: **No**

¿Dónde compra su ropa: **Tienda departamental, tienda de marca o tianguis: Tienda de marca**

Color preferido: **Negro** Antecedentes patológicos visuales: **miopia, hipertrofia, otro: Asigmatismo**

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: **No**

Toma algún medicamento: **No** Estado civil: **Soltero**

Horas frente a la TV / PC: **2 / 1** Fuma: **No** Toma café: **Poco**

Prueba	Fecha de aplicación	Hora	Luminancia (lux)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Resultado
Farnsworth 100 Hue (1)	01-07-08	15:45	498	24	53	J2/J2
Ishihara (1)	01-07-08	15:45	498	24	53	J2/J2
Farnsworth 100 Hue (2)	01-07-08	15:50	498	24	53	20 errores
Ishihara (2)	01-07-08	15:50	498	24	53	20 errores
Farnsworth 100 Hue (3)	01-07-08	16:00	498	24	53	4 errores
Ishihara (3)	01-07-08	16:00	498	24	53	4 errores
Farnsworth 100 Hue (4)	01-07-08	16:12	498	24	53	17 errores
Ishihara (4)	01-07-08	16:12	498	24	53	17 errores
Farnsworth 100 Hue (5)	01-07-08	16:35	498	24	53	36 errores
Ishihara (5)	01-07-08	16:35	498	24	53	36 errores
Farnsworth 100 Hue (6)	01-07-08	16:45	498	24	53	41 errores
Ishihara (6)	01-07-08	16:45	498	24	53	47 errores

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento. Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J/J se refiere a ojo izquierdo / ojo derecho, el mismo criterio para la prueba de Ishihara. Aplicadores: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen, JAVS Jorge Antonio Velaz Suárez, IPM Israel Pérez Medina.

Nombre: **José Jerónimo Ruz Martínez** Folio: **0 1 1**

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: **01-07-08** Hora: **15:50** Aplicador: **PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen**

Luminancia (lux): **498** Temperatura °C: **24** Humedad %: **53**

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1: 12 12 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 2: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 3: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 4: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 5: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 6: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 7: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 8: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 9: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 10: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 11: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 12: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 13: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 14: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 15: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 16: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 17: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 18: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 20: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 21: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 22: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 23: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 24: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: **01-07-08** Hora: **15:50** Aplicador: **IPM Israel Pérez Medina**

Prueba	Fecha de aplicación	Hora	Luminancia (lux)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Resultado
Farnsworth 100 Hue (1)	01-07-08	15:50	498	24	53	J2/J2
Ishihara (1)	01-07-08	15:50	498	24	53	J2/J2
Farnsworth 100 Hue (2)	01-07-08	16:00	498	24	53	20 errores
Ishihara (2)	01-07-08	16:00	498	24	53	20 errores
Farnsworth 100 Hue (3)	01-07-08	16:12	498	24	53	4 errores
Ishihara (3)	01-07-08	16:12	498	24	53	4 errores
Farnsworth 100 Hue (4)	01-07-08	16:35	498	24	53	17 errores
Ishihara (4)	01-07-08	16:35	498	24	53	17 errores
Farnsworth 100 Hue (5)	01-07-08	16:45	498	24	53	36 errores
Ishihara (5)	01-07-08	16:45	498	24	53	36 errores
Farnsworth 100 Hue (6)	01-07-08	16:55	498	24	53	41 errores
Ishihara (6)	01-07-08	16:55	498	24	53	47 errores

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara corresponden a errores de discriminación. El símbolo * significa que la respuesta fue correcta.

Nombre: **José Jerónimo Ruz Martínez** Folio: **0 1 1**

Prueba No. 2 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: **29-07-08** Hora: **12:54** Aplicador: **PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen**

Luminancia (lux): **2039** Temperatura °C: **27** Humedad %: **42**

¿Que número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1: 12 12 8 8 20 20 5 5 3 3 15 15 74 74 6 6 45 45 5 5 7 7 7

TARJETA 2: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 3: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 4: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 5: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 6: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 7: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 8: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 9: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 10: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 11: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 12: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 13: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 14: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 15: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 16: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 17: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 18: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 20: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 21: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 22: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 23: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

TARJETA 24: 16 16 73 73 N N N 26 26 42 42

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: **29-07-08** Hora: **12:54** Aplicador: **JAVS Jorge Antonio Velaz Suárez y IPM Israel Pérez Medina**

Prueba	Fecha de aplicación	Hora	Luminancia (lux)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Resultado
Farnsworth 100 Hue (1)	29-07-08	12:54	2039	27	42	J2/J2
Ishihara (1)	29-07-08	12:54	2039	27	42	J2/J2
Farnsworth 100 Hue (2)	29-07-08	13:05	2039	27	42	20 errores
Ishihara (2)	29-07-08	13:05	2039	27	42	20 errores
Farnsworth 100 Hue (3)	29-07-08	13:15	2039	27	42	4 errores
Ishihara (3)	29-07-08	13:15	2039	27	42	4 errores
Farnsworth 100 Hue (4)	29-07-08	13:25	2039	27	42	17 errores
Ishihara (4)	29-07-08	13:25	2039	27	42	17 errores
Farnsworth 100 Hue (5)	29-07-08	13:35	2039	27	42	36 errores
Ishihara (5)	29-07-08	13:35	2039	27	42	36 errores
Farnsworth 100 Hue (6)	29-07-08	13:45	2039	27	42	41 errores
Ishihara (6)	29-07-08	13:45	2039	27	42	47 errores

Observaciones: Las áreas sombreadas en las tarjetas de Ishihara corresponden a errores de discriminación. El símbolo * significa que la respuesta fue correcta.

Ficha técnica del Sujeto 11. No se otorgó certificado de discriminador, por discrepancia en las pruebas.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias, Tesis Psicofísica del Color.
Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen, Tutora: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación.
 Pruebas de agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y Tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test)

Fecha: 03-07-08 03-07-08 Folio: 013

Lugar de examinación: Laboratorios Textiles especializados, S. A.
 Av. División del Norte No. 3442, Col. Xabasco, Delegación Coyoacán

Nombre: María de los Angeles Gutiérrez Alva

Lugar y fecha de nacimiento: Huixquilucan Edo. de Mex. 16-09-1982

Sexo: Femenino Profesión: Ingeniero Textil Tiempo de ejercita: 2 años.

Tipo de luminaria en oficina: fluorescente, amarilla, otro: Fluorescente En casa: Amarillo

Se le han realizado estas pruebas antes, ¿cuáles?: No

¿Dónde compra su ropa, tienda departamental, tienda de marca o tanguis: Tienda departamental

Color preferido: Gris Antecedentes patológicos visuales: miopía, hipermetropía, otro: No

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: No

Toma algún medicamento: No Estado civil: Soltera

Horas frente a la TV / PC: 3/2 Fuma: No Toma café: No

Tabla 013

Prueba	Fecha de aplicación	Horario	Iluminancia (lx)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Resultado
Ishihara (1)	03-07-08	11:20	1207	22	80	15
Ishihara (2)	03-07-08	11:25	1207	22	80	15
Farnsworth 100 Hue (1)	03-07-08	11:27	1207	22	80	15
Farnsworth 100 Hue (2)	03-07-08	11:37	1207	22	80	15
Farnsworth 100 Hue (3)	03-07-08	12:35	1207	22	80	15
Farnsworth 100 Hue (4)	03-07-08	14:38	1207	22	80	15
Farnsworth 100 Hue (5)	03-07-08	13:21	1207	22	80	15
Farnsworth 100 Hue (6)	03-07-08	13:25	1207	22	80	15

Notación: La fuente A se refiere a una fuente incandescente o de filamento. Las pruebas de agudeza visual e Ishihara se realizaron con luz natural. El resultado J-J se refiere a lo izquierdo / ojo derecho, el mismo criterio para la prueba de Ishihara. Aplicadores: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen, JAVS Jorge Antonio Veliz Suárez, IFM Israel Pérez Medina

Nombre: María de los Angeles Gutiérrez Alva Folio: 0 1 3

Prueba No. 1 de Ishihara, Luz Natural.

Fecha: 03-07-08 Hora: 11:20 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 1207 Temperatura °C: 22 Humedad %: 80

¿Que numero pude ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 2: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 3: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 4: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 5: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 6: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 7: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 8: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 9: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 10: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 11: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 12: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 13: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 14: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 15: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 16: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 17: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 18: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 19: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 20: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 21: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 22: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 23: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 24: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: 03-07-08 Hora: 11:20 Aplicador: JAVS Jorge Antonio Veliz Suárez

Iluminancia (lux): Nat 1207 D65 1207 Temperatura °C: Nat 22 D65 22 Humedad %: 80 80

Resultado: 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Observaciones: Las líneas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación. El símbolo * significa que la respuesta fue correcta.

Nombre: María de los Angeles Gutiérrez Alva Folio: 0 1 3

Prueba No. 2 de Ishihara, Luz Natural.

Fecha: 31-07-08 Hora: 10:50 Aplicador: PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 1250 Temperatura °C: 22 Humedad %: 82

¿Que numero pude ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 2: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 3: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 4: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 5: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 6: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 7: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 8: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 9: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 10: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 11: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 12: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 13: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 14: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 15: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 16: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 17: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 18: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 19: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 20: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 21: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 22: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 23: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

TARJETA 24: 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test.

Fecha: 31-07-08 Hora: 11:00 Aplicador: JAVS Jorge Antonio Veliz Suárez

Iluminancia (lux): Nat 1250 D65 1250 Temperatura °C: Nat 22 D65 22 Humedad %: 82 82

Resultado: 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Observaciones: Las líneas sombreadas en las tarjetas de Ishihara, corresponden a errores de discriminación. El símbolo * significa que la respuesta fue correcta.

Resultados en coordenadas polares, INAOE

Reporte de evaluación de Maja del Rocío Arroyo Rivera

Discriminador Superior.

Evaluado con el Farnsworth-Munsell 100-Hue Test en condiciones de iluminación de luz de día natural

Puntuación: 1ª evaluación: 2ª evaluación:

Evaluador: Ing. Jorge Antonio Veliz Suárez.
 Responsable: Dra. Jazmin Carranza Gallardo.
 Instituto Nacional de Astrofísica y Electrónica
 Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría
 Luis Enrique Ero No. 1 Tonantzintla, Puebla, México. CP. 72844)

Ficha técnica del Sujeto 13.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Ciencias, Tesis Psicológica del Color,
Alumno: Pedro Ramón Cervantes Petersen. Tutora: Dra. Jazmín Carranza Gallardo.
Investigación de campo. Ficha técnica de sujeto de examinación.
Pruebas de agudeza visual cercana (Jaeger), Ishihara y tonalidad (Farnsworth 100 Hue Test)

Fecha: **Folio:**

Lugar de examinación: Laboratorios Textiles especializados, S. A.
 Av. División del Norte No. 3442, Col. Xaboyero, Delegación Coyoacán

Nombre: María del Rocío Arroyo Rivera

Lugar y fecha de nacimiento: México D. F. 23-02-1965

Sexo: Femenino **Profesión:** Ingeniera Textil **Tiempo de operante:** 22 años

Tipo de luminaria en oficina: fluorescente, amarilla, otro: Fluorescente **En casa:** Fluorescente

Se le han realizado estas pruebas antes. ¿cuáles?: No

Dónde compra su ropa: Tienda departamental, tienda de marca o tiendas: Departamental

Color preferido: Blanco **Antecedentes patológicos visuales:** miopía, hipermetropía, otro: Ninguno

Antecedentes no patológicos visuales, accidente, enfermedad profesional, otro: No

Toma algún medicamento: No **Estado civil:** Casada

Horas frente a la TV / PC: I / B. **Fuma:** No **Toma café:** No

Tabla 015

Prueba	Fecha de aplicación	Horario	Aplicador	Iluminancia (lux)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	03-07-08	11:05	PCP	816	22	64
2	03-07-08	11:25	PCP	1207	24	38
3	03-07-08	11:16	PCP	1207	24	38
4	03-07-08	11:30	JAVS	816	22	64
5	03-07-08	11:37	JAVS	1207	24	38
6	03-07-08	13:50	JAVS	1207	24	38
7	03-07-08	13:06	JAVS	1278	25	35
8	03-07-08	14:34	JAVS	1278	25	35
9	03-07-08	12:52	JAVS	1278	25	35
10	03-07-08	12:21	JAVS	1278	25	35

Nombre: María del Rocío Arroyo Rivera **Folio:** 0 1 5

Prueba No. 1 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: 03-07-08 **Hora:** 11:05 **Aplicador:** PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 816 **Temperatura (°C):** 22 **Humedad (%):** 64

¿Qué número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1	TARJETA 2	TARJETA 3	TARJETA 4	TARJETA 5	TARJETA 6	TARJETA 7	TARJETA 8	TARJETA 9	TARJETA 10	TARJETA 11
12 12 8 8 8 29 29 5 5 3 3 3 15 15 74 74 6 6 45 45 5 5 7 7										

TARJETA 15

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19	TARJETA 20	TARJETA 21	TARJETA 22	TARJETA 23	TARJETA 24
Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq

Prueba No. 1 Farnsworth 100 Hue Test

Fecha: 03-07-08 **Hora:** 11:05 **Aplicador:** IPM Israel Pérez Medina

Iluminancia (lux): 816 **Temperatura (°C):** 22 **Humedad (%):** 64

85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Resultados en coordenadas polares. INAOE

Reporte de evaluación de María del Rocío Arroyo Rivera.

Discriminador Superior:

Evaluado con el Farnsworth-Munsell 100-Hue Test en condiciones de iluminación de luz de día natural.

Puntuación 1ª evaluación 2ª evaluación

Observaciones: Las líneas sombreadas en las tarjetas de Ishihara corresponden a errores de discriminación.
 El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta.

Nombre: María del Rocío Arroyo Rivera **Folio:** 0 1 5

Prueba No. 2 de Ishihara. Luz Natural.

Fecha: 31-07-08 **Hora:** 11:30 **Aplicador:** PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 1207 **Temperatura (°C):** 24 **Humedad (%):** 38

¿Qué número puede ver en las siguientes TARJETAS?

TARJETA 1	TARJETA 2	TARJETA 3	TARJETA 4	TARJETA 5	TARJETA 6	TARJETA 7	TARJETA 8	TARJETA 9	TARJETA 10	TARJETA 11
12 12 8 8 8 29 29 5 5 3 3 3 15 15 74 74 6 6 45 45 5 5 7 7										

TARJETA 15

x - sigue la trayectoria - x

TARJETA 19	TARJETA 20	TARJETA 21	TARJETA 22	TARJETA 23	TARJETA 24
Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq

Prueba No. 2 Farnsworth 100 Hue Test

Fecha: 31-07-08 **Hora:** 11:30 **Aplicador:** PCP Pedro Ramón Cervantes Petersen

Iluminancia (lux): 1207 **Temperatura (°C):** 24 **Humedad (%):** 38

85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84		
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Observaciones: Las líneas sombreadas en las tarjetas de Ishihara corresponden a errores de discriminación.
 El símbolo ✓ significa que la respuesta fue correcta.

Evaluador: Ing. Jorge Antonio Veliz Suárez.
Responsable: Dra. Jazmín Carranza Gallardo.
 Instituto Nacional de Astrofísica y Electrónica
 Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría.
 Luis Enrique Firo No. 1 Tonantzintla, Puebla, México, CP. 72840

Ficha técnica del Sujeto 15.

Anexo B

Tabla general de datos demográficos. Concentran las características poblacionales de la muestra, información obtenida de las fichas técnicas de los sujetos participantes referidos en el Anexo A. Se construyeron 16 tablas, con ellas, se realizó el análisis estadístico y las características demográficas de la muestra.

Perfil del sujeto participante.								
Sujeto No.	Nombre	Edad (años)	Lugar de Nacimiento	Sexo	Estado civil	Antecedentes patológicos visuales	Antecedentes no patológicos visuales	Toma algún medicamento
1	Elsi Yoalti Gutiérrez Cházaro	22	D. F.	Femenino	Soltera	Astigmatismo	No	Para la gastritis
2	Miguel Ángel de la Cruz Tapia	19	D. F.	Masculino	Soltero	Miopía	No	No
3	Elvia Nava Garduño	29	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No	No
4	Sandra Ramírez Guzmán	29	D. F.	Femenino	Soltera	No	No	No
5	Nuria Flores Cruz	36	D. F.	Femenino	Soltera	No	No	No
6	Georgina García Cremayer	40	D. F.	Femenino	Casada	Astigmatismo	No	No
7	Mónica Guzmán Ramírez	27	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía y Astigmatismo	No	No
8	Silvia Espinosa González	28	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No	No
9	Brenda Carbajal Santillán	24	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía	Hipertiroidismo	Levotroxina 100
10	Berenice Banda Mendoza	25	D. F.	Femenino	Soltera	Astigmatismo	No	No
11	José Jerónimo Ruiz Martínez	28	D. F.	Masculino	Soltero	Astigmatismo	No	No
12	Michael Esmeralda Cano Rubiños	22	D. F.	Femenino	Casada	Miopía	No	No
13	María de los Ángeles Gutiérrez Alva	26	Edo. de Mex.	Femenino	Soltera	No	No	No
14	Araceli Valverde Espinosa	35	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía	Operación Láser	Gotas para los ojos post operatorias
15	María del Rocío Arroyo Rivera	43	D. F.	Femenino	Casada	No	No	No
16	Jaime Hernández Onofre	43	D. F.	Masculino	Soltero	Miopía y Astigmatismo	No	No
17	Gloria Itzel Castillo Trejo	22	D. F.	Femenino	Soltera	No	No	No
18	Claudia Alejandra Flores del Ángel López	30	D. F.	Femenino	Soltera	Miopía	No	No

Tabla 1. Información demográfica de los sujetos participantes.

Perfil del sujeto participante							
Sujeto No.	Profesión o puesto en el trabajo	Tiempo de ejercerla (años)	Fuma (cigarros al día)	Toma café (tazas al día)	Color preferido	Donde compra su ropa	Le han realizado estas pruebas antes
1	Auditor de calidad	0.75	1	2	Negro	Tienda Departamental y marca	No
2	Revisor	0.56	No	2	Negro	Donde me guste	No
3	Supervisora de foleos (tonos)	5	No	No	Negro	Donde me guste	No
4	Técnico Industrial del Vestido	12	No	2	Negro	Tienda Departamental y marca	No
5	Diseñadora de Modas	8	No	1	Café	Tienda Departamental y marca	No
6	Diseñadora Gráfica	15	6	3	Azul	Tienda Departamental	No
7	Ingeniera Textil	5	No	No	Azul	Tienda Departamental	No
8	Patronista	8	No	1	Morado	Tienda Departamental, marca y tianguis	No
9	Asistente de diseño y patronista	3	1	1	Morado	Tienda Departamental	No
10	Ingeniera Textil	3	No	No	Azul	Tienda Departamental	No
11	Ingeniero Textil	1	No	No	Negro	Tienda de marca	No
12	Ingeniera Textil	2	No	No	Café	Tianguis	No
13	Ingeniera Textil	2	No	No	Gris	Tienda Departamental	No
14	Auxiliar de Laboratorio	3	No	1	Negro	Tianguis	No
15	Ingeniera Textil	22	No	No	Blanco	Tienda Departamental	No
16	Ingeniero Textil	20	No	No	Azul	Tienda Departamental	No
17	Lic. En Ciencias de la Informática	7	3	2	Negro	Tienda Departamental	No
18	Confeccionista Industrial	2	No	No	Azul	Tianguis	No

Tabla 2. Información demográfica de los sujetos participantes.

Exposición a la Radiación				
Sujeto No.	Horas frente a la televisión	Horas frente a la computadora	Tipo de Iluminación en oficina	Tipo de Iluminación en casa
1	2	2	Tragaluz	Foco de filamento
2	1	1	Fluorescente	Foco de filamento
3	1	1	Fluorescente	Foco de filamento
4	1	9	Fluorescente	Foco de filamento
5	0	14	Fluorescente	Foco de filamento
6	2	3	Fluorescente	Foco de filamento
7	2	9	Foco de filamento	Foco de filamento
8	2	9	Tragaluz	Foco de filamento
9	0	12	Tragaluz	Foco de filamento
10			Foco de filamento	Foco de filamento
11	2	1	Foco de filamento	Foco de filamento
12	2	5	Fluorescente	Foco de filamento
13	3	2	Fluorescente	Foco de filamento
14	2	1	Fluorescente	Foco de filamento
15	1	8	Fluorescente	Fluorescente
16	1	1	Fluorescente	Foco de filamento
17	1	7	Fluorescente	Fluorescente
18	1	0	Fluorescente	Foco de filamento

Tabla 3. La exposición a la radiación no ionizante se refiere a las horas diarias que el sujeto participante está expuesto.

Prueba 1 de Agudeza Visual Cercana con Cartilla de Jaeger, con iluminante de Luz Natural de Día.

Sujeto No.	Condiciones Ambientales					Iluminación		Resultados
	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Agudeza Visual Ojo Izq / Ojo Der.
1	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	14:55	24	53	754	4870	J2 / J2
2	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:00	23	54	754	4870	J2 / J2
3	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:03	23	53	768	4870	J2 / J2
4	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:07	23	53	768	4870	J2 / J2
5	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:09	24	53	768	4870	J2 / J2
6								
7								
8								
9	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:12	24	53	758	4870	J2 / J2
10	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:16	24	53	758	4870	J2 / J2
11	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:21	24	53	754	4870	J2 / J2
12	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:25	24	53	754	4870	J2 / J2
13	03/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:20	22	61	816	4870	J5 / J5
14	03/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:00	22	64	816	4870	J5 / J5
15	03/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:05	22	59	816	4870	J2 / J2
16	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	10:30	21	51	924	4870	J2 / J2
17	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	10:54	22	50	737	4870	J2 / J6
18	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:03	22	49	821	4870	J2 / J2

Tabla 4. Las celdas sin datos corresponden a sujetos que no realizaron la prueba. *Jn*, corresponde a la clasificación del tamaño del optotipo, conforme a la clasificación de la Cartilla de Jaeger referida en el Anexo D.

Prueba 2 de Agudeza Visual Cercana con Cartilla de Jaeger, con iluminante de Luz Natural de Día.								
Condiciones Ambientales						Iluminación		Resultados
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Agudeza Visual Ojo Izq / Ojo Der.
1	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:25	27	41	1968	4870	J2 / J2
2	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:15	27	41	1968	4870	J2 / J2
3	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:35	26	43	1780	4870	J2 / J5
4	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:38	26	43	2110	4870	J2 / J2
5	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:42	24	47	1848	4870	J2 / J2
6	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:45	24	47	1848	4870	J2 / J5
7	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:48	27	42	2210	4870	J2 / J2
8	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:52	27	42	2210	4870	J2 / J2
9	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:04	27	42	1946	4870	J2 / J2
10								
11	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:32	27	42	1136	4870	J2 / J2
12	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:56	27	42	2039	4870	J2 / J2
13	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:10	22	52	1250	4870	J2 / J5
14	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:20	24	56	1207	4870	J2 / J5
15	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:25	24	45	1207	4870	J2 / J5
16	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:42	24	45	1250	4870	J2 / J2
17	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	14:00	24	41	1760	4870	J5 / J10
18	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:50	24	41	1573	4870	J2 / J2

Tabla 5. Las celdas sin datos corresponden a sujetos que no realizaron la prueba. *Jn*, corresponde a la clasificación del tamaño del optotipo, conforme a la clasificación de la Cartilla de Jaeger referida en el Anexo D.

Prueba 1 de <i>Ishihara</i> con 24 láminas, con iluminante de Luz Natural de Día.								
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Condiciones Ambientales				Iluminación		Resultados Ojo Izq /Ojo Der
		Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Ishihara (1)
1	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:30	23	53	923	4870	0 / 0 errores
2	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:30	23	53	923	4870	0 / 0 errores
3	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:30	23	53	923	4870	0 / 0 errores
4	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:30	23	53	923	4870	0 / 0 errores
5	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:50	24	53	875	4870	1 / 1 errores
6								
7								
8								
9	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:50	24	53	875	4870	0 / 0 errores
10	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:50	24	53	875	4870	1 / 1 errores
11	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:50	24	53	875	4870	0 / 1 errores
12	01/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	15:50	24	53	875	4870	0 / 0 errores
13	03/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:25	22	60	816	4870	0 / 0 errores
14	03/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:15	22	64	816	4870	0 / 0 errores
15	03/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:10	22	64	816	4870	0 / 0 errores
16	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	10:43	21	51	817	4870	0 / 0 errores
17	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:05	22	50	786	4870	1 / 1 errores
18	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:02	22	49	825	4870	1 / 2 errores

Tabla 6. Las celdas sin datos corresponden a sujetos que no realizaron la prueba. En la columna de los resultados, n/n , se refiere al número de errores por cada ojo. Las láminas de *Ishihara* se encuentran referenciadas en el Anexo E.

Prueba 2 de <i>Ishihara</i> con 24 láminas, con iluminante de Luz Natural de Día.								
Sujeto No.	Condiciones Ambientales					Iluminación		Resultados Ojo Izq /Ojo Der
	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	<i>Ishihara</i> (2)
1	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:25	27	41	1968	4870	0 / 0 errores
2	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:15	27	41	1968	4870	0 / 0 errores
3	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:40	25	44	1780	4870	2 / 2 errores
4	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:35	26	44	2110	4870	2 / 2 errores
5	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:35	26	44	1848	4870	2 / 2 errores
6	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:40	24	46	1865	4870	0 / 1 errores
7	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:35	26	44	2210	4870	1 / 1 errores
8	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:35	26	44	2210	4870	3 / 2 errores
9	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:04	27	42	1946	4870	0 / 0 errores
10								
11	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:32	27	42	1136	4870	0 / 0 errores
12	29/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	12:54	27	42	2039	4870	0 / 0 errores
13	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:37	22	52	1250	4870	0 / 0 errores
14	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:30	24	56	1207	4870	0 / 0 errores
15	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	11:30	24	56	1207	4870	0 / 0 errores
16	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	13:57	24	41	1187	4870	0 / 0 errores
17	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	14:05	25	41	1760	4870	2 / 1 errores
18	31/07/2008	Pedro Cervantes Petersen	14:10	25	41	1593	4870	2 / 2 errores

Tabla 7. Las celdas sin datos corresponden a sujetos que no realizaron la prueba. En la columna de los resultados, n/n , se refiere al número de errores por cada ojo. Las láminas de *Ishihara* se encuentran referenciadas en el Anexo E.

Evaluación Hue Test 1, con iluminante de Luz Natural de Día.								
Condiciones Ambientales						Iluminación		Resultados
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Hue Test (1). Luz natural.
1	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:17	24	49	845	4870	12 errores
2	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:31	24	47	825	4870	13 errores
3	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:17	24	49	845	4870	8 errores
4								
5	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:00	24	46	785	4870	2 errores
6								
7								
8								
9								
10	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:00	24	46	765	4870	7 errores
11	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:00	24	46	765	4870	20 errores
12	01/07/2008	Israel Pérez Medina	14:00	24	46	765	4870	5 errores
13	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:37	22	54	1207	4870	13 errores
14	03/07/2009	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:37	22	54	1207	4870	38 errores
15	03/07/2010	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:37	22	54	1207	4870	8 errores
16	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:26	22	40	816	4870	8 errores
17	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:26	22	40	816	4870	26 errores
18	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:26	22	40	816	4870	21 errores

Tabla 8. Las celdas sin datos corresponden a sujetos que no realizaron la prueba. La definición de error se refiere a que el sujeto no colocó la ficha en el orden determinado por su número.

Evaluación Hue Test 2, con iluminante de Luz Natural de Día.								
Condiciones Ambientales						Iluminación		Resultados
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Hue Test (2). Luz natural.
1	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:30	25	42	2014	4870	2 errores
2	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:01	27	34	2014	4870	14 errores
3	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:12	26	37	2039	4870	10 errores
4	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:24	26	37	2039	4870	30 errores
5	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:40	24	46	1843	4870	2 errores
6	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	11:00	24	46	1895	4870	14 errores
7	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:12	26	37	2039	4870	17 errores
8	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:22	26	37	2068	4870	4 errores
9	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:49	27	35	2175	4870	12 errores
10								
11	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:12	26	37	2039	4870	4 errores
12	29/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:12	26	37	2039	4870	2 errores
13	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:45	24	36	1250	4870	7 errores
14	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:45	24	36	1250	4870	34 errores
15	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:45	24	36	1250	4870	12 errores
16	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	15:25	26	39	1280	4870	6 errores
17	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	15:25	26	39	1280	4870	15 errores
18	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	15:25	26	39	1280	4870	19 errores

Tabla 9. Las celdas sin datos corresponde a sujetos que no realizaron la prueba. La definición de error se refiere a que el sujeto no colocó la ficha en el orden determinado por su número.

Evaluación Hue Test 1, con iluminante D65 en cabina de iluminación.								
Condiciones Ambientales						Iluminación		Resultados
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Hue Test (1) D65.
1	01/07/2008	Israel Pérez Medina	11:22	22	50	1304	6500	4 errores
2	01/07/2008	Israel Pérez Medina	11:40	22	53	1304	6500	2 errores
3	01/07/2008	Israel Pérez Medina	11:55	22	49	1304	6500	10 errores
4	01/07/2008	Israel Pérez Medina	12:06	22	54	1304	6500	37 errores
5	01/07/2008	Israel Pérez Medina	12:15	22	55	1304	6500	30 errores
6	01/07/2008	Israel Pérez Medina	12:25	22	52	1304	6500	16 errores
7	01/07/2008	Israel Pérez Medina	12:46	22	52	1304	6500	29 errores
8	01/07/2008	Israel Pérez Medina	12:55	23	50	1304	6500	4 errores
9	01/07/2008	Israel Pérez Medina	13:04	23	47	1304	6500	21 errores
10	01/07/2008	Israel Pérez Medina	13:12	23	49	1304	6500	41 errores
11	01/07/2008	Israel Pérez Medina	13:22	23	49	1304	6500	17 errores
12	01/07/2008	Israel Pérez Medina	13:31	23	49	1304	6500	29 errores
13	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:35	21	65	1289	6500	4 errores
14	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:38	23	70	1289	6500	38 errores
15	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:05	21	70	1289	6500	14 errores
16	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:00	22	41	1276	6500	5 errores
17	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	15:43	22	46	1276	6500	12 errores
18	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:44	23	49	1276	6500	13 errores

Tabla 10. La definición de error se refiere a que el sujeto no colocó la ficha en el orden determinado por su número.

Evaluación Hue Test 2, con iluminante D65 en cabina de iluminación.								
Condiciones Ambientales						Iluminación		Resultados
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Hue Test (2) D65.
1	29/07/2008	Israel Pérez Medina	11:20	23	43	1323	6500	19 errores
2	29/07/2008	Israel Pérez Medina	13:44	24	36	1323	6500	24 errores
3	29/07/2008	Israel Pérez Medina	11:57	24	36	1323	6500	8 errores
4	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:12	26	37	1323	6500	30 errores
5	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:40	24	36	1323	6500	8 errores
6	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:30	24	36	1323	6500	16 errores
7	29/07/2008	Israel Pérez Medina	15:12	24	36	1323	6500	13 errores
8	29/07/2008	Israel Pérez Medina	13:15	23	50	1323	6500	8 errores
9	29/07/2008	Israel Pérez Medina	13:31	23	48	1323	6500	14 errores
10								
11	29/07/2008	Israel Pérez Medina	14:23	24	36	1323	6500	26 errores
12	29/07/2008	Israel Pérez Medina	14:35	24	34	1323	6500	18 errores
13	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	14:39	25	42	1276	6500	4 errores
14	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	15:06	25	45	1276	6500	12 errores
15	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	14:14	25	45	1276	6500	6 errores
16	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	16:12	26	48	1276	6500	14 errores
17	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	16:38	25	46	1276	6500	15 errores
18	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	17:00	27	65	1276	6500	19 errores

Tabla 11. Las celdas sin datos corresponde a sujetos que no realizaron la prueba. La definición de error se refiere a que el sujeto no colocó la ficha en el orden determinado por su número.

Evaluación Hue Test 1, con iluminante tipo A de filamento en cabina de iluminación.								
Condiciones Ambientales					Iluminación		Resultados	
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Hue Test 1 Filamento
1	01/07/2008	Israel Pérez Medina	15:00	24	47	275	2854	39 errores
2	01/07/2008	Israel Pérez Medina	15:12	24	46	275	2854	47 errores
3	01/07/2008	Israel Pérez Medina	15:25	24	46	275	2854	34 errores
4	01/07/2008	Israel Pérez Medina	15:53	24	45	275	2854	30 errores
5	01/07/2008	Israel Pérez Medina	16:33	22	53	275	2854	33 errores
6	01/07/2008	Israel Pérez Medina	17:00	21	61	275	2854	34 errores
7	01/07/2008	Israel Pérez Medina	16:49	22	54	275	2854	42 errores
8	01/07/2008	Israel Pérez Medina	15:42	24	45	275	2854	29 errores
9	01/07/2008	Israel Pérez Medina	16:01	23	47	275	2854	46 errores
10	01/07/2008	Israel Pérez Medina	16:12	22	54	275	2854	48 errores
11	01/07/2008	Israel Pérez Medina	16:23	22	51	275	2854	48 errores
12	01/07/2008	Israel Pérez Medina	17:00	22	56	275	2854	30 errores
13	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:21	22	58	1659	2854	19 errores
14	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:52	21	58	1659	2854	46 errores
15	03/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:21	22	61	1659	2854	28 errores
16	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:59	23	47	1651	2854	21 errores
17	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	12:24	23	47	1651	2854	17 errores
18	31/07/2008	Jorge Antonio Veliz Suárez	13:17	24	49	1651	2854	29 errores

Tabla 12. La definición de error se refiere a que el sujeto no colocó la ficha en el orden determinado por su número.

Evaluación Hue Test 2, con iluminante tipo A de filamento en cabina de iluminación.								
Condiciones Ambientales						Iluminación		Resultados
Sujeto No.	Fecha (dd/mm/aa)	Aplicador de la prueba	Hora (HH:mm)	Temperatura °C	Humedad %	Iluminancia (LUX)	Temperatura de color de la fuente °K	Hue Test 2 Filamento
1	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:49	23	43	288	2854	33 errores
2	29/07/2008	Israel Pérez Medina	14:15	24	36	288	2854	17 errores
3	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:03	24	36	288	2854	32 errores
4	29/07/2008	Israel Pérez Medina	13:08	24	36	288	2854	52 errores
5	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:29	24	36	288	2854	37 errores
6	29/07/2008	Israel Pérez Medina	12:14	25	42	288	2854	43 errores
7	29/07/2008	Israel Pérez Medina	15:37	24	36	288	2854	44 errores
8	29/07/2008	Israel Pérez Medina	13:00	24	36	288	2854	45 errores
9	29/07/2008	Israel Pérez Medina	13:59	24	50	288	2854	48 errores
10								
11	29/07/2008	Israel Pérez Medina	14:05	27	34	288	2854	47 errores
12	29/07/2008	Israel Pérez Medina	15:24	24	36	288	2854	36 errores
13	31/07/2008	J. Antonio Veliz Suárez	15:56	26	48	1651	2854	9 errores
14	31/07/2008	J. Antonio Veliz Suárez	14:20	25	58	1651	2854	32 errores
15	31/07/2008	J. Antonio Veliz Suárez	12:21	22	61	1651	2854	25 errores
16	31/07/2008	J. Antonio Veliz Suárez	16:45	26	51	1651	2854	25 errores
17	31/07/2008	J. Antonio Veliz Suárez	17:07	24	52	1651	2854	17 errores
18	31/07/2008	J. Antonio Veliz Suárez	16:25	26	40	1651	2854	27 errores

Tabla 13. Las celdas sin datos corresponden a sujetos que no realizaron la prueba. La definición de error se refiere a que el sujeto no colocó la ficha en el orden determinado por su número.

Prueba										
Sujeto No.	Agudeza Visual (1) Jaeger.	Agudeza Visual (2) Jaeger.	Ishihara (1)	Ishihara (2)	Hue Test (1). Luz natural.	Hue Test (2). Luz natural.	Hue Tes (1) D65.	Hue Test (2) D65.	Hue Test (1). A Filamento	Hue Test (2). A Filamento
1	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	0 / 0 errores	12 errores	2 errores	4 errores	19 errores	39 errores	33 errores
2	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	0 / 0 errores	13 errores	14 errores	2 errores	24 errores	47 errores	17 errores
3	J2 / J2	J2 / J5	0 / 0 errores	2 / 2 errores	8 errores	10 errores	10 errores	8 errores	34 errores	32 errores
4	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	2 / 2 errores		30 errores	37 errores	30 errores	30 errores	52 errores
5	J2 / J2	J2 / J2	1 / 1 errores	2 / 2 errores	2 errores	2 errores	30 errores	8 errores	33 errores	37 errores
6		J2 / J5		0 / 1 errores		14 errores	16 errores	16 errores	34 errores	43 errores
7		J2 / J2		1 / 1 errores		17 errores	29 errores	13 errores	42 errores	44 errores
8		J2 / J2		3 / 2 errores		4 errores	4 errores	8 errores	29 errores	45 errores
9	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	0 / 0 errores		12 errores	21 errores	14 errores	46 errores	48 errores
10	J2 / J2		1 / 1 errores		7 errores		41 errores		48 errores	
11	J2 / J2	J2 / J2	0 / 1 errores	0 / 0 errores	20 errores	4 errores	17 errores	26 errores	48 errores	47 errores
12	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	0 / 0 errores	5 errores	2 errores	29 errores	18 errores	30 errores	36 errores
13	J5 / J5	J2 / J5	0 / 0 errores	0 / 0 errores	13 errores	7 errores	4 errores	4 errores	19 errores	9 errores
14	J5 / J5	J2 / J5	0 / 0 errores	0 / 0 errores	38 errores	34 errores	38 errores	12 errores	46 errores	36 errores
15	J2 / J2	J2 / J5	0 / 0 errores	0 / 0 errores	8 errores	12 errores	14 errores	6 errores	28 errores	25 errores
16	J2 / J2	J2 / J2	0 / 0 errores	0 / 0 errores	8 errores	6 errores	5 errores	14 errores	21 errores	25 errores
17	J2 / J6	J5 / J10	1 / 1 errores	2 / 1 errores	26 errores	15 errores	12 errores	15 errores	17 errores	17 errores
18	J2 / J2	J2 / J2	1 / 2 errores	2 / 2 errores	21 errores	19 errores	17 errores	19 errores	29 errores	35 errores

Tabla 14. Tabla general de resultados por prueba. Las celdas en blanco corresponden a los sujetos participantes que no realizaron la prueba.

	Clasificación	Errores por iluminante en Hue Test.		
Sujeto No.	Discriminador de color	Luz Natural de Día	D65	Tipo A Filamento
1	Superior	2	4	33
2	Promedio	13	2	33
3	Superior	8	8	33
4	Promedio	20	37	31
5	Superior	2	8	33
6	Promedio	19	11	34
7	Promedio	15	14	42
8	Superior	4	8	29
9	Promedio	12	14	46
10		10	47	48
11		4	18	48
12	Superior	2	18	32
13	Superior	7	4	9
14	Promedio	34	12	32
15	Superior	8	6	28
16	Superior	8	5	23
17	Superior	15	12	17
18	Superior	19	17	29

Tabla 15. La clasificación del sujeto participante como discriminador de color. Para esta clasificación se tomaron los valores de la evaluación Hue Test, con iluminante de luz natural de día. Los espacios en blanco no alcanzaron la clasificación, porque sólo realizaron una evaluación con iluminante de luz natural de día, en la evaluación Hue Test. Los errores en las diferentes evaluaciones Hue Test, corresponden a la selección del número de errores más bajo que obtuvieron en cada evaluación.





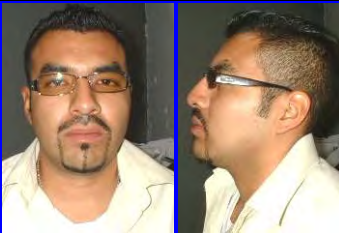


		
Sujeto N° 1. Superior.	Sujeto N° 2. Promedio.	Sujeto N° 3. Superior
		
Sujeto N° 4. Promedio.	Sujeto N° 5. Superior.	Sujeto N° 6. Promedio.
		
Sujeto N° 7. Promedio.	Sujeto N° 8. Superior.	Sujeto N° 9. Promedio.
		
Sujeto N° 10. No realizo la prueba	Sujeto N° 11. No realizo la prueba	Sujeto N° 12. Superior.
		
Sujeto N° 13. Superior.	Sujeto N° 14. Promedio	Sujeto N° 15. Superior
		
Sujeto N° 16. Superior.	Sujeto N° 17. Superior	Sujeto N° 19. Superior.

Tabla 16. Clasificación del nivel de discriminación de los sujetos participantes. Sólo a dos personas no se les otorgó certificado debido a que no presentaron las pruebas completas.

Anexo C

Este anexo contiene los datos que se utilizaron en el análisis de varianza.

Las tablas contienen los resultados de las mediciones realizadas a cada una de las fichas del equipo *Fansworth-Munsell (Hue Test)*, obtenidas en el Laboratorio de óptica del INAOE.

Los criterios para el cálculo de los factores $\Delta h/C^*$ y $\Delta h/L^*$, fueron los siguientes:

Δh , se refiere a la diferencia del *hue*, de dos pares consecutivos de fichas. Para la ficha número 78 considere como su consecutivo la ficha número 79, ya que el círculo cromático *Hue Test* se termina en la ficha número 78.

C^* , es la coordenada de la cromaticidad y L^* , es la coordenada de luminancia.

Para calcular el factor $\Delta h/C^*$, se aplicaron tres criterios:

- a) La coordenada C^* promedio del Kit.
- b) La coordenada C^* promedio (de C^*1 y C^*2) de las dos fichas consecutivas.
- c) Se tomó la coordenada C^* más grande entre las dos fichas consecutivas.

Para calcular el factor $\Delta h/L^*$, se aplicaron tres criterios:

- a) La coordenada L^* promedio del Kit,
- b) La coordenada L^* promedio de las dos fichas consecutivas,
- c) La coordenada L^* más grande entre las dos fichas consecutivas.

Número de ficha	L*	a*	b*	C*	Hue (h)
79	51.056	20.096	0.236	20.098	0.672
80	50.594	20.392	1.730	20.465	4.849
81	49.834	21.668	3.286	21.916	8.624
82	49.570	21.675	4.959	22.235	12.888
83	50.382	20.987	6.341	21.924	16.813
84	49.598	20.835	8.131	22.365	21.318
85	50.047	20.761	9.817	22.965	25.307
1	50.666	19.796	11.032	22.662	29.131
2	50.160	19.819	12.910	23.653	33.081
3	49.852	19.505	14.330	24.203	36.304
4	49.217	19.850	16.213	25.630	39.242
5	48.052	19.458	18.072	26.556	42.885
6	48.768	18.338	18.751	26.228	45.638
7	47.502	17.363	20.094	26.556	49.170
8	48.060	16.776	21.857	27.553	52.492
9	48.071	15.891	22.866	27.846	55.204
10	48.739	14.460	24.224	28.211	59.166
11	48.156	14.457	26.512	30.198	61.397
12	49.507	12.605	26.675	29.504	64.708
13	48.949	11.931	29.403	31.731	67.914
14	49.674	10.733	31.074	32.876	70.945
15	50.034	9.312	32.149	33.471	73.847
16	50.605	7.661	33.342	34.211	77.059
17	51.305	4.967	32.708	33.083	81.365
18	50.947	3.158	33.158	33.308	84.560
19	53.158	1.251	33.242	33.266	87.845
20	53.147	-0.033	32.762	32.763	90.058
21	52.172	-1.292	31.983	32.009	92.313
22	52.373	-4.053	30.811	31.077	97.494
23	52.854	-5.507	28.851	29.371	100.806
24	52.323	-7.464	28.069	29.044	104.892
25	52.760	-8.831	25.159	26.664	109.341
26	53.191	-10.317	23.887	26.020	113.361
27	53.160	-11.780	22.073	25.020	118.088
29	54.329	-13.033	21.082	24.785	121.725
28	53.385	-13.094	20.744	24.531	122.260
30	53.164	-15.369	18.567	24.102	129.616
31	53.601	-16.080	17.621	23.855	132.381
32	53.570	-18.016	18.158	25.579	134.776
33	53.363	-19.989	15.659	25.392	141.926
34	54.006	-20.445	14.177	24.880	145.261
35	54.242	-21.704	12.707	25.150	149.653
36	52.870	-22.107	11.267	24.812	152.993
37	52.062	-21.104	7.467	22.386	160.516
38	53.150	-22.068	7.713	23.377	160.736
39	52.854	-21.578	4.983	22.146	166.996
40	53.006	-21.118	3.793	21.456	169.819
42	52.765	-23.116	2.890	23.296	172.874
41	52.836	-21.640	2.578	21.793	173.205
43	52.387	-22.310	0.977	22.331	177.492
44	52.942	-22.282	0.475	22.287	178.780
45	53.014	-21.458	-2.136	21.564	185.685
47	52.824	-23.227	-3.039	23.425	187.454
46	52.750	-22.329	-3.426	22.591	188.724
48	53.112	-21.296	-4.775	21.825	192.637
49	53.500	-20.883	-6.076	21.749	196.224
50	52.985	-19.577	-7.861	21.097	201.877
51	53.643	-17.555	-9.446	19.935	208.282
52	53.224	-17.089	-10.917	20.278	212.571
53	53.193	-15.738	-11.576	19.537	216.335
54	53.190	-14.193	-12.081	18.639	220.404
55	53.847	-12.039	-10.607	16.045	221.381
56	52.238	-10.318	-12.661	16.333	230.823
57	53.479	-7.971	-13.663	15.818	239.743
58	52.099	-6.660	-14.726	16.162	245.666
59	53.342	-5.304	-15.016	15.925	250.546
60	51.881	-3.879	-15.757	16.228	256.171
61	51.716	-2.377	-15.854	16.031	261.473
62	51.453	-0.798	-16.013	16.033	267.146
63	52.339	0.994	-14.890	14.924	273.820
64	52.040	2.073	-14.447	14.594	278.165
65	52.629	3.105	-13.959	14.300	282.540
66	51.981	4.730	-14.028	14.804	288.635
67	52.489	5.388	-12.968	14.043	292.563
68	53.004	6.551	-12.315	13.949	298.012
69	53.154	8.034	-11.203	13.786	305.644
70	52.689	8.858	-10.234	13.535	310.877
71	53.411	10.625	-9.542	14.281	318.073
72	52.822	11.128	-8.242	13.848	323.473
73	52.068	12.959	-7.312	14.880	330.566
74	52.792	14.287	-6.309	15.618	336.174
75	51.218	15.123	-4.951	15.912	341.872
76	51.750	16.473	-3.918	16.932	346.622
77	52.612	17.341	-2.393	17.505	352.142
78	51.633	18.524	-1.268	18.567	356.086
	51.872			22.559	
	Promedio L*			Promedio C*	

Tabla 1C. Coordenadas CIE L*a*b* y CIE L*C*h, para cada ficha del equipo *Fansworth-Munsell* (*Hue Test*) obtenidas en el Laboratorio de óptica del INAOE.

Número de ficha	Factor $\Delta h/C^*$ criterio (a)	Factor $\Delta h/C^*$ criterio (b)	Factor $\Delta h/C^*$ criterio (c)	Factor $\Delta h/L^*$ criterio (a')	Factor $\Delta h/L^*$ criterio (b')	Factor $\Delta h/L^*$ criterio (c')
79	0.185	0.206	0.204	0.081	0.082	0.082
80	0.167	0.178	0.172	0.073	0.075	0.075
81	0.189	0.193	0.192	0.082	0.086	0.086
82	0.174	0.178	0.177	0.076	0.079	0.078
83	0.200	0.203	0.201	0.087	0.090	0.089
84	0.177	0.176	0.174	0.077	0.080	0.080
85	0.170	0.168	0.167	0.074	0.076	0.075
1	0.175	0.171	0.167	0.076	0.078	0.078
2	0.143	0.135	0.133	0.062	0.064	0.064
3	0.130	0.118	0.115	0.057	0.059	0.059
4	0.161	0.140	0.137	0.070	0.075	0.074
5	0.122	0.104	0.104	0.053	0.057	0.056
6	0.157	0.134	0.133	0.068	0.073	0.072
7	0.147	0.123	0.121	0.064	0.070	0.069
8	0.120	0.098	0.097	0.052	0.056	0.056
9	0.176	0.141	0.140	0.076	0.082	0.081
10	0.099	0.076	0.074	0.043	0.046	0.046
11	0.147	0.111	0.110	0.064	0.068	0.067
12	0.142	0.105	0.101	0.062	0.065	0.065
13	0.134	0.094	0.092	0.058	0.061	0.061
14	0.129	0.087	0.087	0.056	0.058	0.058
15	0.142	0.095	0.094	0.062	0.064	0.063
16	0.191	0.128	0.126	0.083	0.085	0.084
17	0.142	0.096	0.096	0.062	0.062	0.062
18	0.146	0.099	0.099	0.063	0.063	0.062
19	0.098	0.067	0.067	0.043	0.042	0.042
20	0.100	0.070	0.069	0.043	0.043	0.042
21	0.230	0.164	0.162	0.100	0.099	0.099
22	0.147	0.110	0.107	0.064	0.063	0.063
23	0.181	0.140	0.139	0.079	0.078	0.077
24	0.197	0.160	0.153	0.086	0.085	0.084
25	0.178	0.153	0.151	0.077	0.076	0.076
26	0.210	0.185	0.182	0.091	0.089	0.089
27	0.161	0.146	0.145	0.070	0.068	0.067
29	0.024	0.022	0.022	0.010	0.010	0.010
28	0.326	0.303	0.300	0.142	0.138	0.138
30	0.123	0.115	0.115	0.053	0.052	0.052
31	0.106	0.097	0.094	0.046	0.045	0.045
32	0.317	0.281	0.280	0.138	0.134	0.133
33	0.148	0.133	0.131	0.064	0.062	0.062
34	0.195	0.176	0.175	0.085	0.081	0.081
35	0.148	0.134	0.133	0.064	0.062	0.062
36	0.333	0.319	0.303	0.145	0.143	0.142
37	0.010	0.010	0.009	0.004	0.004	0.004
38	0.277	0.275	0.268	0.121	0.118	0.118
39	0.125	0.129	0.127	0.054	0.053	0.053
40	0.135	0.137	0.131	0.059	0.058	0.058
42	0.015	0.015	0.014	0.006	0.006	0.006
41	0.190	0.194	0.192	0.083	0.081	0.081
43	0.057	0.058	0.058	0.025	0.024	0.024
44	0.306	0.315	0.310	0.133	0.130	0.130
45	0.078	0.079	0.076	0.034	0.033	0.033
47	0.056	0.055	0.054	0.024	0.024	0.024
46	0.173	0.176	0.173	0.075	0.074	0.074
48	0.159	0.165	0.164	0.069	0.067	0.067
49	0.251	0.264	0.260	0.109	0.106	0.106
50	0.284	0.312	0.304	0.123	0.120	0.119
51	0.190	0.213	0.212	0.083	0.080	0.080
52	0.167	0.189	0.186	0.073	0.071	0.071
53	0.180	0.213	0.208	0.078	0.076	0.076
54	0.043	0.056	0.052	0.019	0.018	0.018
55	0.419	0.583	0.578	0.182	0.178	0.175
56	0.395	0.555	0.546	0.172	0.169	0.167
57	0.263	0.370	0.366	0.114	0.112	0.111
58	0.216	0.304	0.302	0.094	0.093	0.091
59	0.249	0.350	0.347	0.108	0.107	0.105
60	0.235	0.329	0.327	0.102	0.102	0.102
61	0.251	0.354	0.354	0.109	0.110	0.110
62	0.296	0.431	0.416	0.129	0.129	0.128
63	0.193	0.294	0.291	0.084	0.083	0.083
64	0.194	0.303	0.300	0.084	0.084	0.083
65	0.270	0.419	0.412	0.118	0.117	0.116
66	0.174	0.272	0.265	0.076	0.075	0.075
67	0.242	0.389	0.388	0.105	0.103	0.103
68	0.338	0.550	0.547	0.147	0.144	0.144
69	0.232	0.383	0.380	0.101	0.099	0.098
70	0.319	0.517	0.504	0.139	0.136	0.135
71	0.239	0.384	0.378	0.104	0.102	0.101
72	0.314	0.494	0.477	0.137	0.135	0.134
73	0.249	0.368	0.359	0.108	0.107	0.106
74	0.253	0.361	0.358	0.110	0.110	0.108
75	0.211	0.289	0.281	0.092	0.092	0.092
76	0.245	0.321	0.315	0.106	0.106	0.105
77	0.175	0.219	0.212	0.076	0.076	0.075
78	0.203	0.237	0.228	0.088	0.089	0.089

Tabla 2C. Cálculo de los factores $\Delta h/C^*$ y $\Delta h/L^*$.

Número de ficha	Δh	Promedio de C*1 y C*2	La mayor entre C*1 y C*2	Promedio de L*1 y L*2	La mayor entre L*1 y L*2	Errores Hue Test con iluminante natural.
79	4.177	20.282	20.465	50.825	51.056	2
80	3.775	21.191	21.916	50.214	50.594	0
81	4.264	22.076	22.235	49.702	49.834	1
82	3.925	22.080	22.235	49.976	50.382	4
83	4.505	22.145	22.365	49.990	50.382	3
84	3.989	22.665	22.965	49.823	50.047	2
85	3.824	22.814	22.965	50.357	50.666	0
1	3.950	23.158	23.653	50.413	50.666	1
2	3.223	23.928	24.203	50.006	50.160	1
3	2.938	24.917	25.630	49.535	49.852	3
4	3.643	26.093	26.556	48.635	49.217	3
5	2.753	26.392	26.556	48.410	48.768	2
6	3.532	26.392	26.556	48.135	48.768	3
7	3.322	27.055	27.553	47.781	48.060	2
8	2.712	27.700	27.846	48.066	48.071	4
9	3.962	28.029	28.211	48.405	48.739	4
10	2.231	29.205	30.198	48.448	48.739	1
11	3.311	29.851	30.198	48.832	49.507	0
12	3.206	30.618	31.731	49.228	49.507	1
13	3.031	32.304	32.876	49.312	49.674	1
14	2.902	33.174	33.471	49.854	50.034	2
15	3.212	33.841	34.211	50.320	50.605	3
16	4.306	33.647	34.211	50.955	51.305	1
17	3.195	33.196	33.308	51.126	51.305	1
18	3.285	33.287	33.308	52.053	53.158	1
19	2.213	33.015	33.266	53.153	53.158	1
20	2.255	32.386	32.763	52.660	53.147	2
21	5.181	31.543	32.009	52.273	52.373	1
22	3.312	30.224	31.077	52.614	52.854	0
23	4.086	29.208	29.371	52.589	52.854	0
24	4.449	27.854	29.044	52.542	52.760	0
25	4.020	26.342	26.664	52.976	53.191	0
26	4.727	25.520	26.020	53.176	53.191	0
27	3.637	24.903	25.020	53.745	54.329	2
29	0.535	24.658	24.785	53.857	54.329	4
28	7.356	24.317	24.531	53.275	53.385	6
30	2.765	23.979	24.102	53.383	53.601	2
31	2.395	24.717	25.579	53.586	53.601	1
32	7.150	25.486	25.579	53.467	53.570	0
33	3.335	25.136	25.392	53.685	54.006	5
34	4.392	25.015	25.150	54.124	54.242	7
35	3.340	24.981	25.150	53.556	54.242	3
36	7.523	23.599	24.812	52.466	52.870	2
37	0.220	22.882	23.377	52.606	53.150	2
38	6.260	22.762	23.377	53.002	53.150	3
39	2.823	21.801	22.146	52.930	53.006	4
40	3.055	22.376	23.296	52.886	53.006	5
42	0.331	22.545	23.296	52.801	52.836	6
41	4.287	22.062	22.331	52.612	52.836	6
43	1.288	22.309	22.331	52.665	52.942	0
44	6.905	21.926	22.287	52.978	53.014	1
45	1.769	22.495	23.425	52.919	53.014	7
47	1.270	23.008	23.425	52.787	52.824	6
46	3.913	22.208	22.591	52.931	53.112	8
48	3.587	21.787	21.825	53.306	53.500	10
49	5.653	21.423	21.749	53.243	53.500	7
50	6.405	20.516	21.097	53.314	53.643	1
51	4.289	20.107	20.278	53.434	53.643	1
52	3.764	19.908	20.278	53.209	53.224	4
53	4.069	19.088	19.537	53.192	53.193	3
54	0.977	17.342	18.639	53.519	53.847	1
55	9.442	16.189	16.333	53.043	53.847	2
56	8.920	16.076	16.333	52.859	53.479	2
57	5.923	15.990	16.162	52.789	53.479	1
58	4.880	16.044	16.162	52.721	53.342	1
59	5.625	16.077	16.228	52.612	53.342	5
60	5.302	16.130	16.228	51.799	51.881	4
61	5.673	16.032	16.033	51.585	51.716	1
62	6.674	15.479	16.033	51.896	52.339	1
63	4.345	14.759	14.924	52.190	52.339	1
64	4.375	14.447	14.594	52.335	52.629	2
65	6.095	14.552	14.804	52.305	52.629	3
66	3.928	14.424	14.804	52.235	52.489	2
67	5.449	13.996	14.043	52.747	53.004	3
68	7.632	13.868	13.949	53.079	53.154	2
69	5.233	13.661	13.786	52.922	53.154	3
70	7.196	13.908	14.281	53.050	53.411	5
71	5.400	14.065	14.281	53.117	53.411	3
72	7.093	14.364	14.880	52.445	52.822	1
73	5.608	15.249	15.618	52.430	52.792	1
74	5.698	15.765	15.912	52.005	52.792	1
75	4.750	16.422	16.932	51.484	51.750	1
76	5.520	17.219	17.505	52.181	52.612	1
77	3.944	18.036	18.567	52.123	52.612	1
78	4.586	19.333	20.098	51.345	51.633	3

Tabla 3C. Cálculo de Δh , promedios de C^* y L^* , y total de errores acumulados por los sujetos para cada una de las fichas, en la evaluación *Hue Test* con iluminante de luz natural de día.

Anexo D.

Cartilla de Jaeger para la prueba de Agudeza Visual cercana.

(J14, 20) La AV de una persona está determinada por la densidad de conos estimulados, por la calidad de los medios refringentes del ojo, por la cantidad de luz que llega a la retina de acuerdo al diámetro pupilar y por el contraste (diferencia de intensidad) de los objetos observados.

(J12, 18) A la persona se le puede pedir que lea letras o números de una tarjeta sostenida a 14 pulgadas (35 cm) de la cara, con el fin de evaluar la visión cercana.

(J11, 16) Se ha mencionado que la AV “normal” (20/20 ó 6/6) es la capacidad de resolver un patrón espacial separado por un ángulo visual de 1 minuto de arco (60 minutos de arco es igual a 1 grado).

(J10, 14) La agudeza visual se expresa como una fracción. El número superior se refiere a la distancia entre el paciente y la tabla, la cual es generalmente de 20 pies (6 m). El número inferior indica la distancia a la que una persona con vista normal podría leer la misma línea que la persona leyó correctamente. Por ejemplo, 20/20 se considera normal; 20/40 indica que la línea que el paciente leyó correctamente a los 20 pies (6 m) pudo ser leída por una persona con visión normal a los 40 pies (12 m).

(J9, 12) La hipermetropía es el resultado de la imagen visual enfocada detrás de la retina y no directamente sobre ella y puede ser causada por el hecho de que el globo ocular es demasiado pequeño o el poder de enfoque es demasiado débil. La hipermetropía a menudo está presente desde el nacimiento, pero los niños con frecuencia pueden tolerar cantidades moderadas sin dificultad y la mayoría superan el problema con el tiempo. Una persona con hipermetropía ve claramente los objetos lejanos, mientras que los objetos cercanos los ve borrosos.

(J8, 10) La hipermetropía se puede corregir fácilmente con el uso gafas o de lentes de contacto y existen técnicas quirúrgicas para corregirla en aquellas personas que no deseen usar estos elementos.

(J6, 8) Prueba de agudeza visual tanto a distancia (Snellen) como cercana (Jaeger)

(J5, 6) La hipermetropía puede ser un factor de riesgo para el desarrollo de glaucoma y ambliopía.

(J2, 4) Los fotorreceptores se localizan en la capa más externa de la retina y son los encargados de convertir la energía luminosa en eléctrica. Se calcula que hay en la retina unos 100 millones de fotorreceptores, de los cuales unos 7 millones son conos. El proceso de fototransducción es posible gracias a la sensibilidad de los fopigmentos de la luz.

La clasificación del tamaño del optotipo **Jn**, se refiere al tamaño del texto, por ejemplo para el **J12**, se refiere al tamaño de letra de este texto, **J4**, se refiere al tamaño **4** de la fuente en este programa WORDS, y así con los demás optotipos.

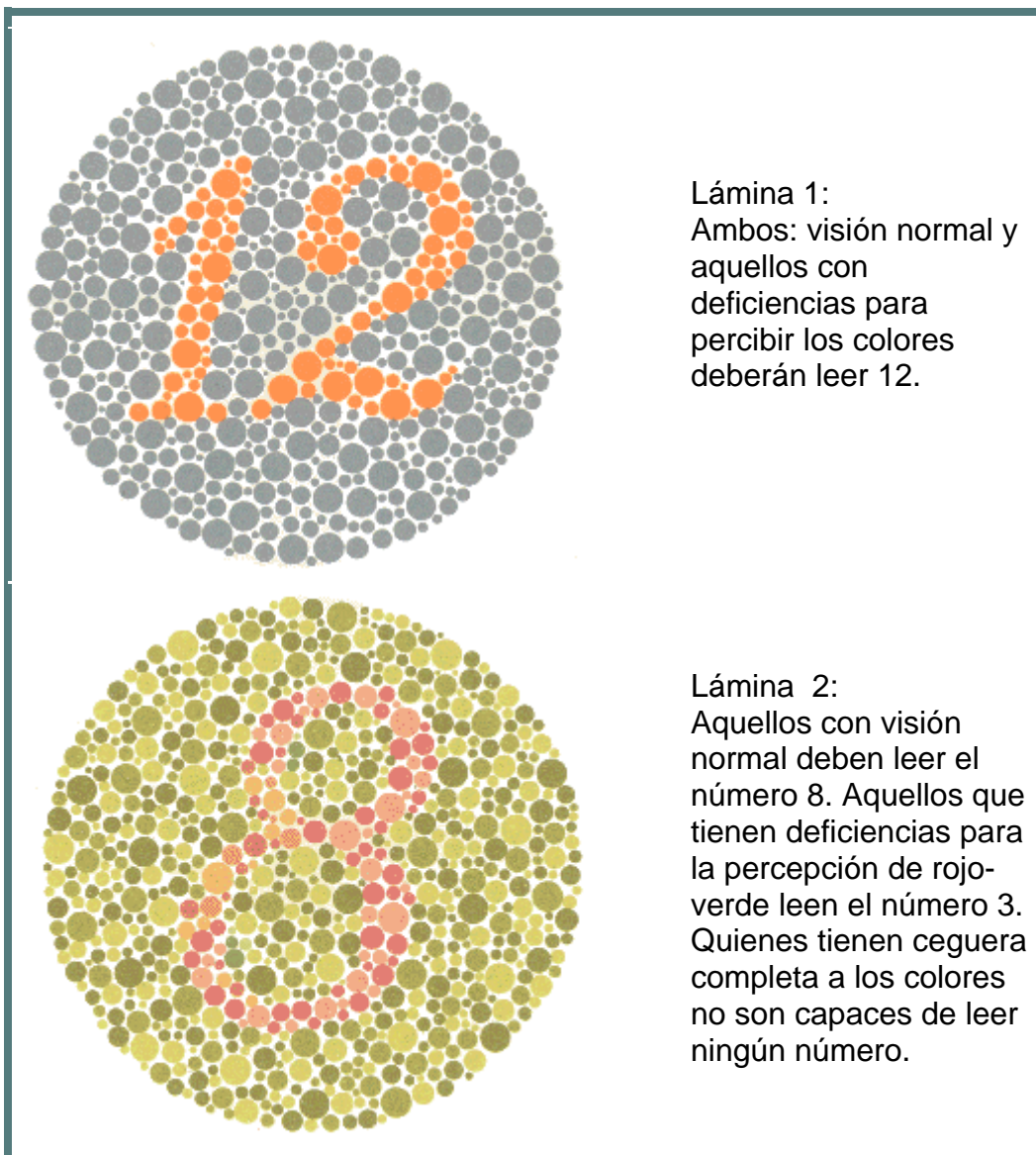
La se realiza primero con un ojo, tapando el otro, en este caso comenzamos a evaluar el ojo izquierdo y posteriormente el derecho, la cartilla se colocó a una distancia entre 30 y 40 cm de distancia de los ojos, el sujeto participante podía alejarla o acercarla de acuerdo a su enfoque.

La prueba se realiza en dos ocasiones, en fechas diferentes, con iluminante de luz natural de día. Una visión normal es para el sujeto que pueda leer el párrafo con el optotipo (**J6,8**).

Anexo E

Un método rápido para determinar la ceguera a los colores son las láminas de prueba de *Ishihara*. Estas láminas o mapas están dispuestas con una confusión de manchas de distintos colores:

Colóquese cerca de 75 cm de de las láminas, de modo que la imagen de la prueba del color que usted está mirando esté en el nivel del ojo. Tápese un ojo, sin oprimirlo y con el otro observe la imagen y describa el número que puede ver. Inicialmente se tapo el ojo izquierdo y se evaluó el derecho, después el izquierdo.



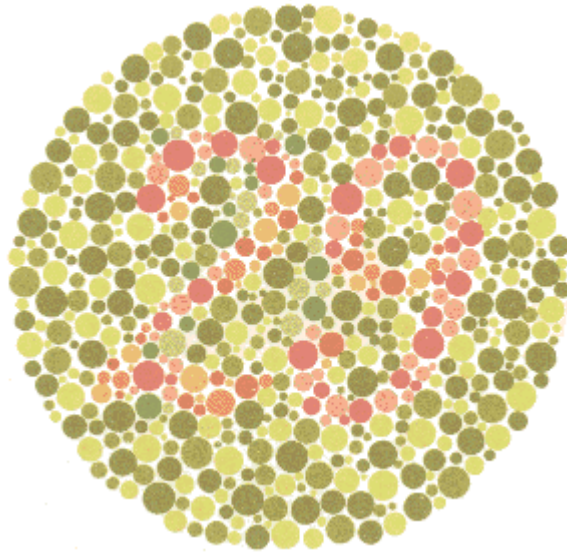


Lámina 3:

Aquellos con visión normal debe leer el número 29. Los que tienen deficiencia al rojo-verde deben leer el número 70. Quienes tienen ceguera total a los colores no son capaces de leer ningún número.

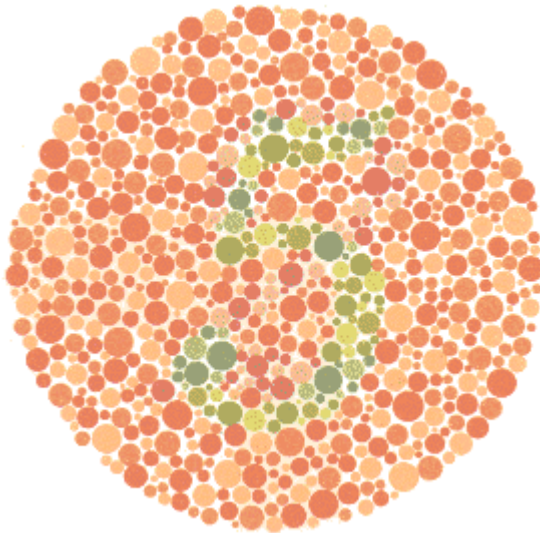


Lámina 4:

Visión normal - deben leer el número 5
Aquellos con deficiencia a la percepción rojo-verde deben leer el número 2.
Quienes padecen ceguera total a los colores no son capaces de leer ningún número.

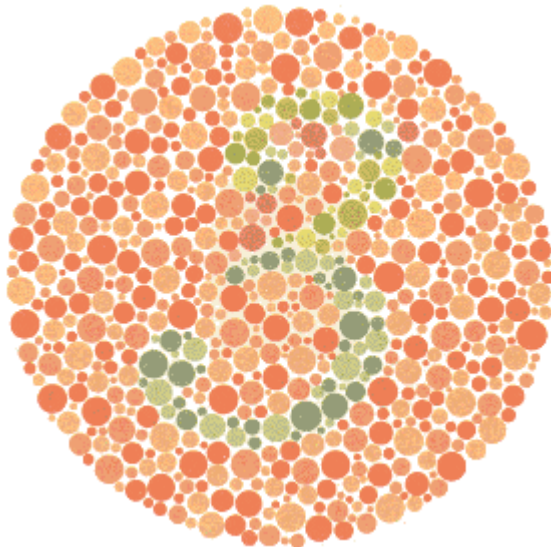


Lámina 5:
Visión normal: deben leer el número 3.
Quienes padecen deficiencias para percibir rojo-verde deben leer el número 5.
Los que presentan ceguera total a los colores no son capaces de leer ningún número.

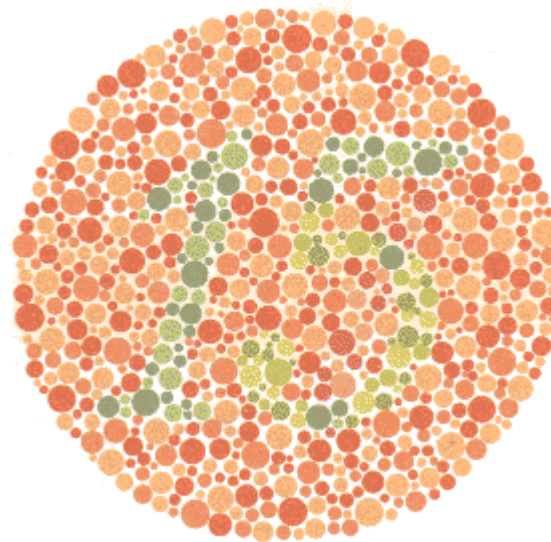


Lámina 6:
Visión normal - deben leer el número 15.
Aquellos con deficiencias para percibir el rojo-verde deben leer el número 17.
Ceguera total a los colores - no son capaces de leer ningún número.

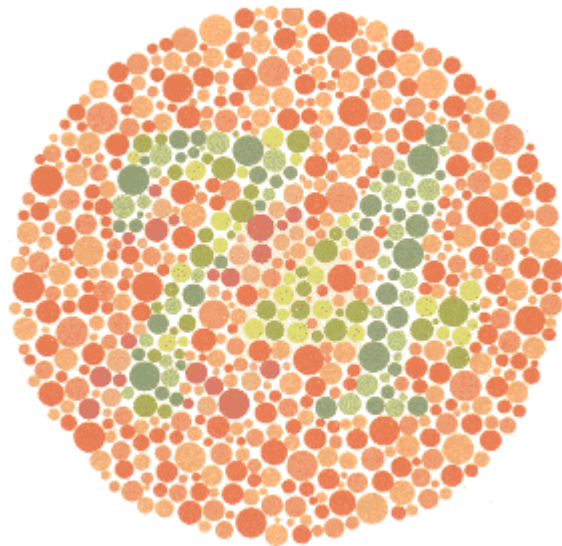


Lámina 7:
Visión normal: deberán leer el número 74.
Aquellos con deficiencias para la percepción rojo-verde deben leer 21.
Ceguera total a los colores: no son capaces de leer ningún número.

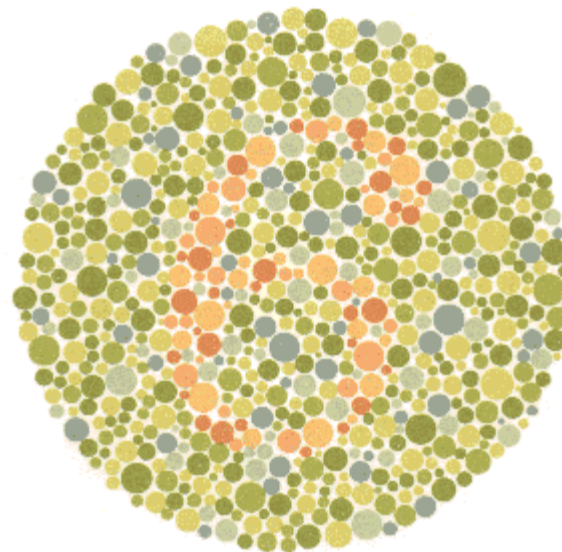


Lámina 8:
Aquellos con visión normal deben leer el número 6.
La mayoría de quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente.

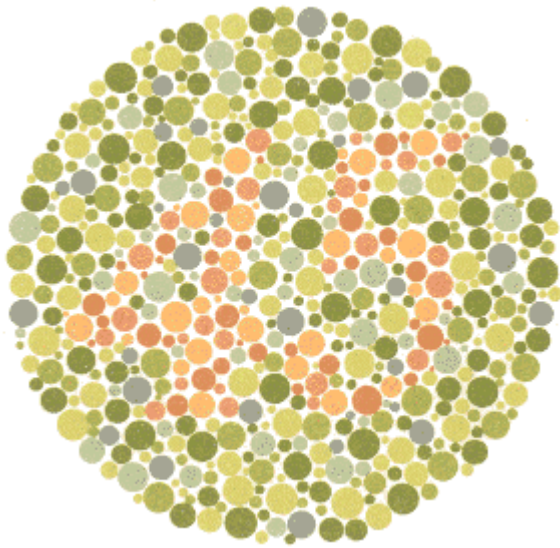


Lámina 9:
Quienes tienen visión normal de los colores deben leer el número 45.
La mayoría de quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente.

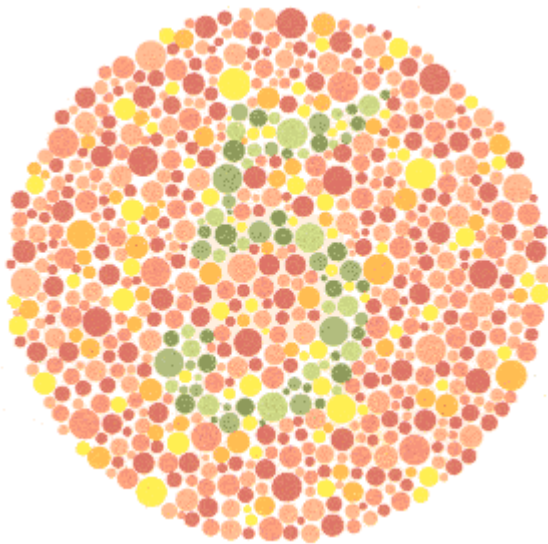


Lámina 10:
Quienes tienen visión normal de los colores deben leer el número 5.
Quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente.

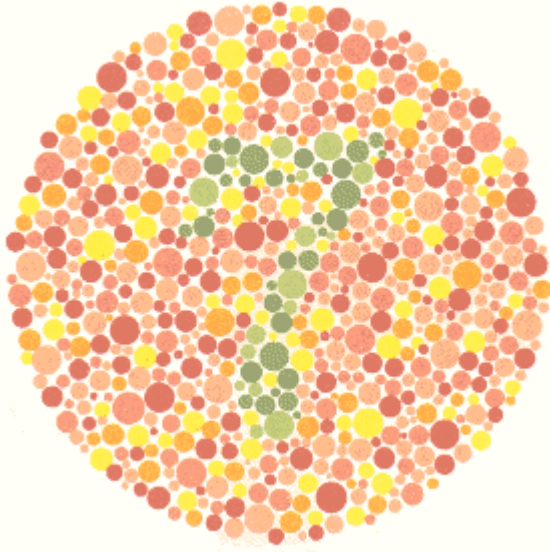


Lámina 11:
Quienes tienen visión normal de los colores deben leer el número 7. Quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente.

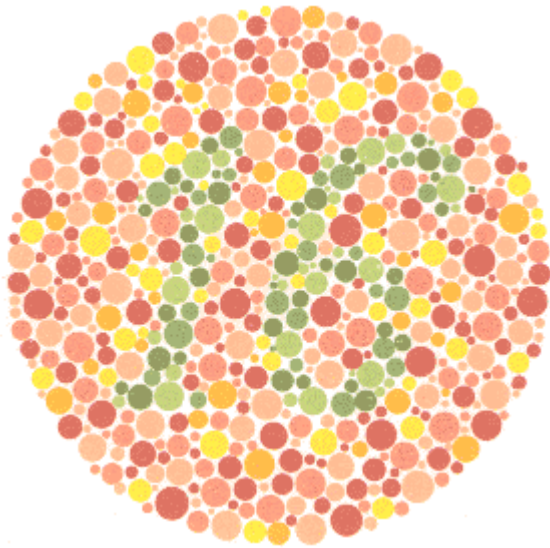


Lámina 12:
Quienes tienen visión normal de los colores deben leer el número 16. Quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente.

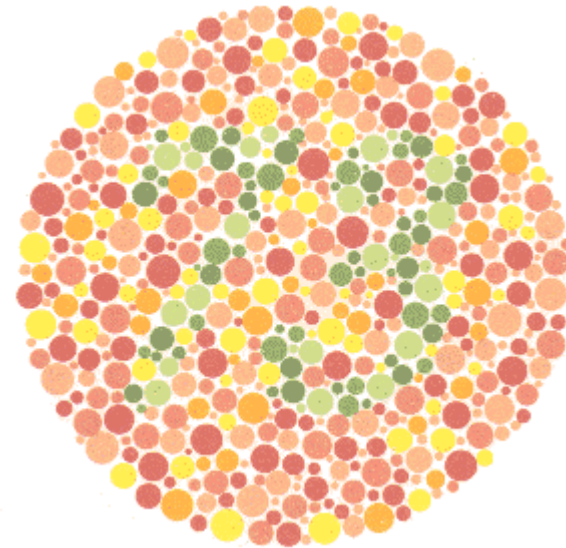


Lámina 13:
Quienes tienen visión normal de los colores, deben leer el número 73. Quienes tienen deficiencias para percibir los colores no pueden leer ningún número o pueden leerlo incorrectamente.

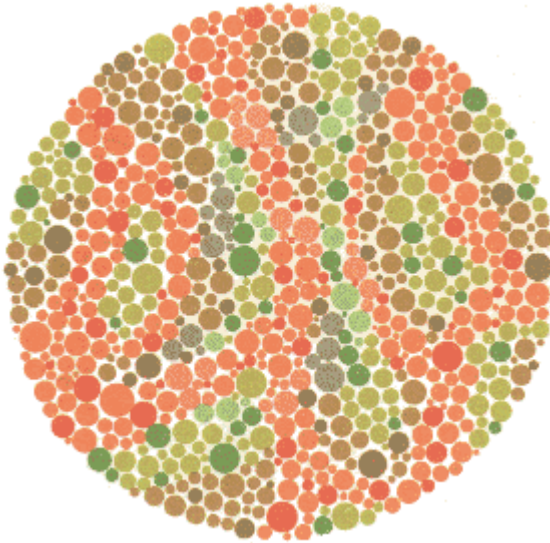


Lámina 14:
Aquello con visión normal a los colores y quienes tienen ceguera total a los colores no son capaces de leer ningún número. La mayoría de quienes padecen deficiencias para el rojo-verde deben leer el número 5.

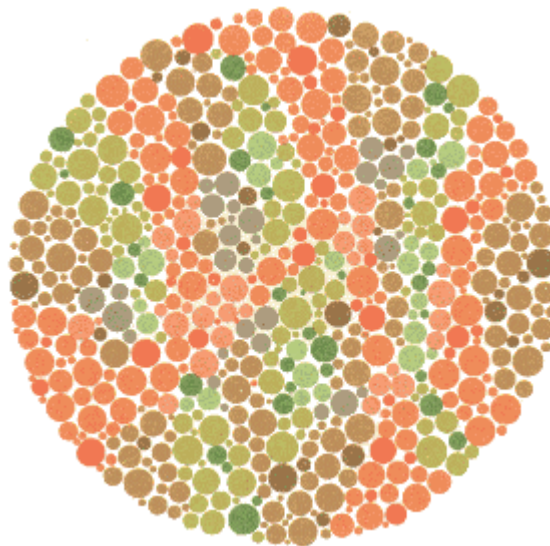


Lámina 15:
Aquello con visión normal a los colores y quienes tienen ceguera total a los colores no son capaces de leer ningún número. La mayoría de quienes padecen deficiencias para el rojo-verde deben leer el número 45.

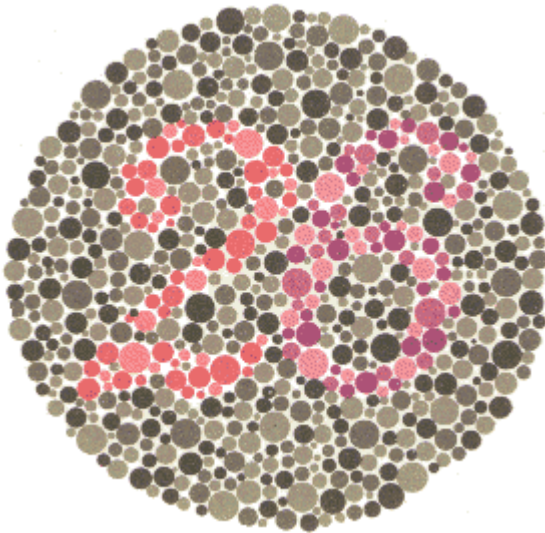


Lámina 16:
Aquellos con visión normal de los colores deben leer el número 26.

En la protanopia y severa protanomalia se puede leer el número 6 y en la protanomalia leve ambos números son leídos pero el número 6 es más claro que el número 2.

En la deuteronomía y severa deuteronomalia solo es leído el número 2 y en la deuteranomalia leve ambos son leídos pero el número 2 es más claro que el número 6.

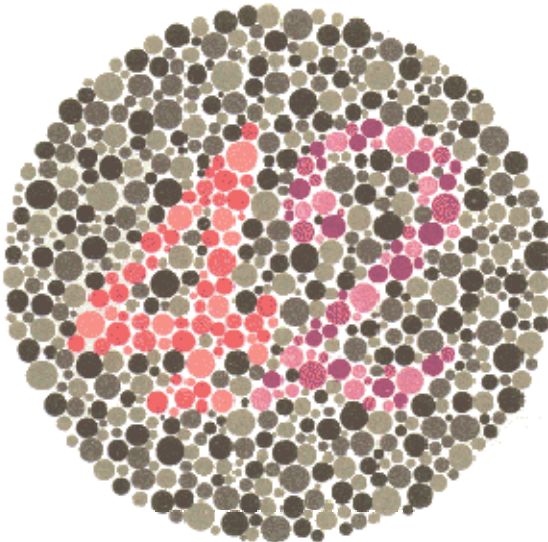


Lámina 17:
Aquellos con visión normal de los colores deben leer el número 42.

En la protanopia y severa protanomalia se puede leer el número 2 y en la protanomalia leve ambos números son leídos pero el número 2 es más claro que el número 4.

En la deuteronomía y severa deuteronomalia solo es leído el número 4 y en la deuteranomalia leve ambos son leídos pero el número 4 es más claro que el número 2.

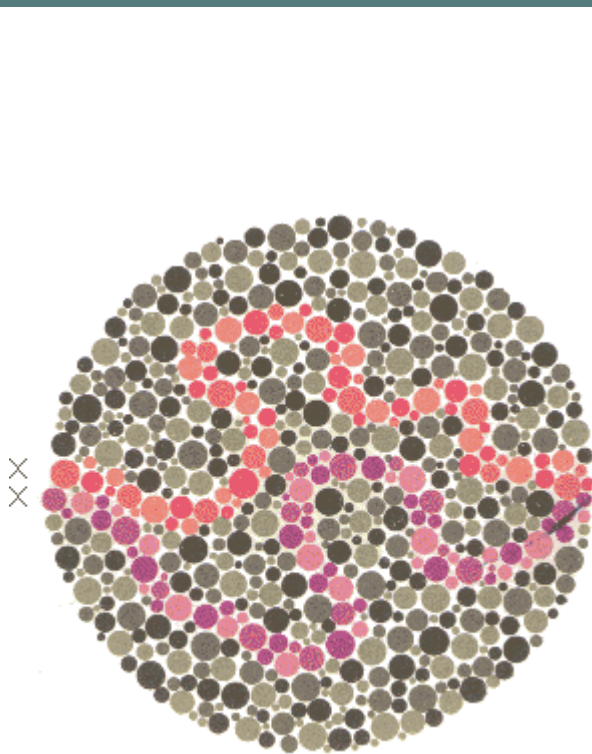


Lámina 18:
 Quienes tienen visión normal deben de ver el trazo continuo de las líneas moradas y rojas entre las dos letras X. En la protanopia y en la protanopia severa solo se percibe el trazo de la línea morada y en la protanopia leve ambas líneas pueden ser percibidas pero la línea morada es más fácil de seguir. En la deuteranopia y en la deuteranomalía severa solo la línea roja es trazada y en la deuteranomalía leve ambas líneas son trazadas pero la línea roja es más fácil de seguir.

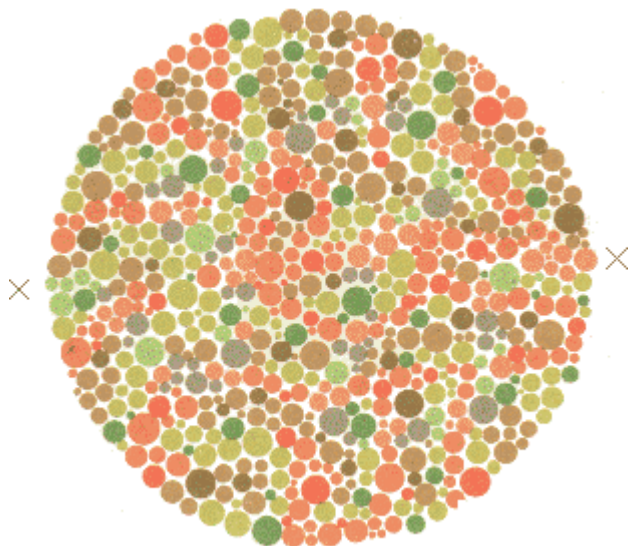
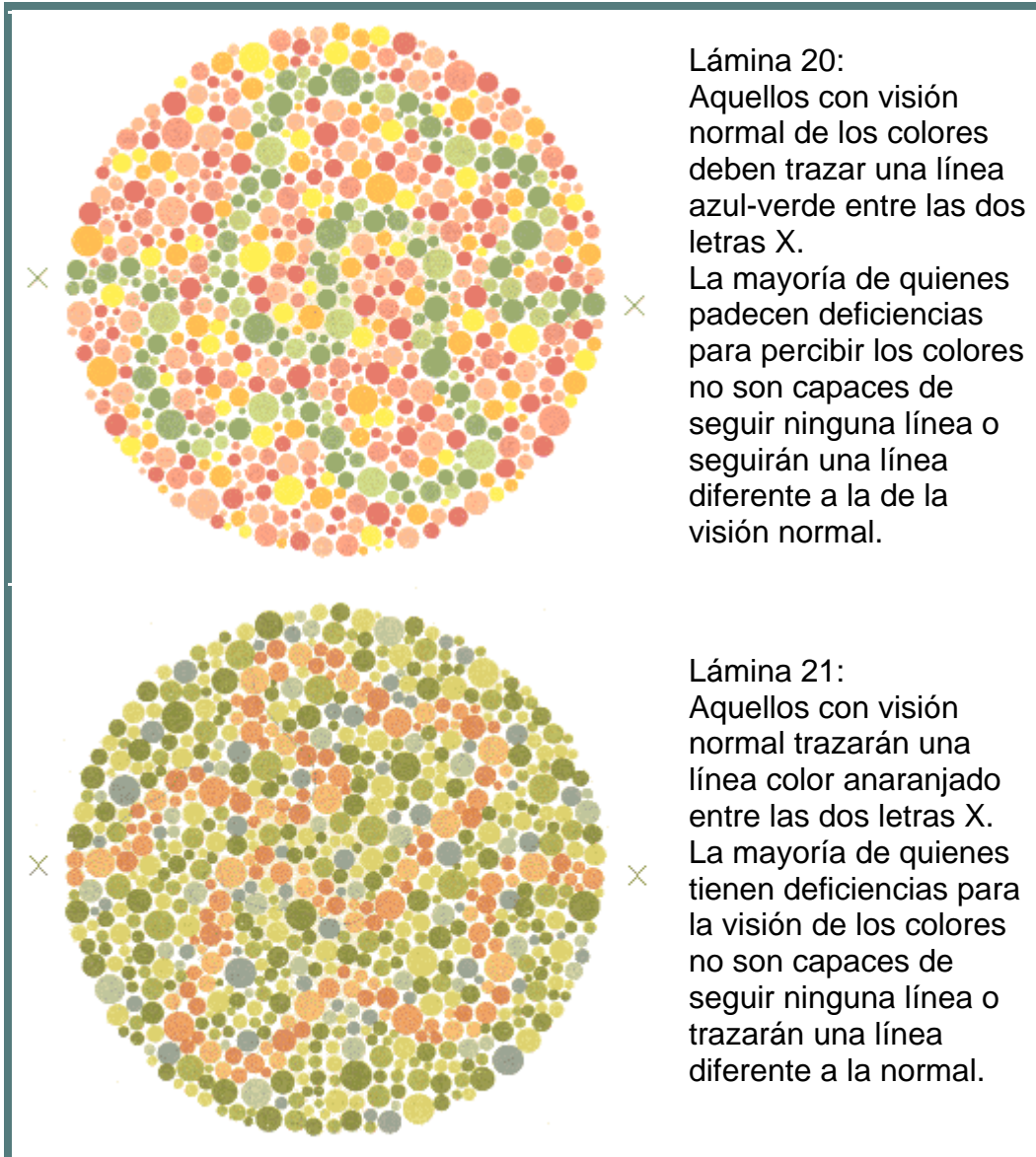
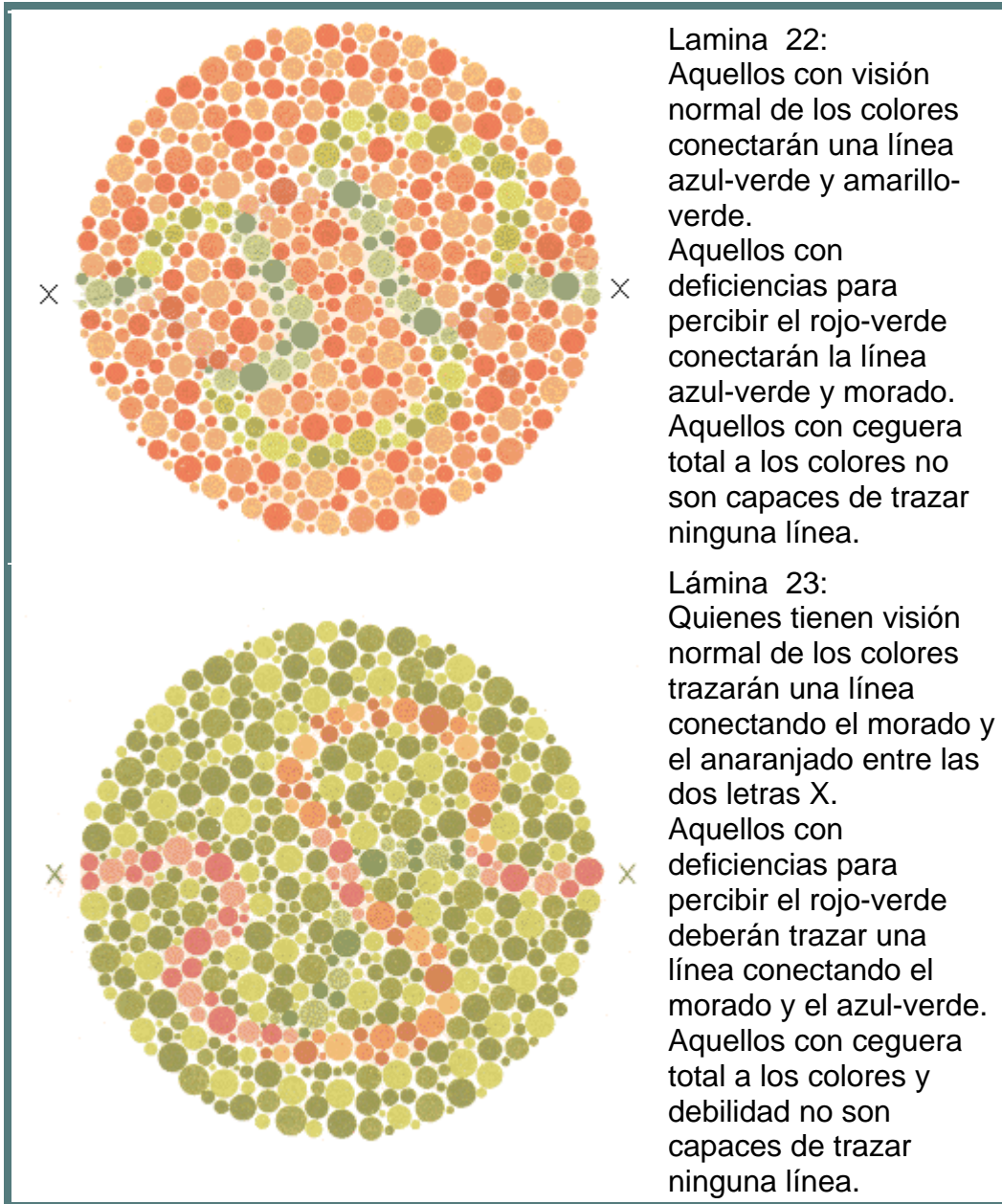


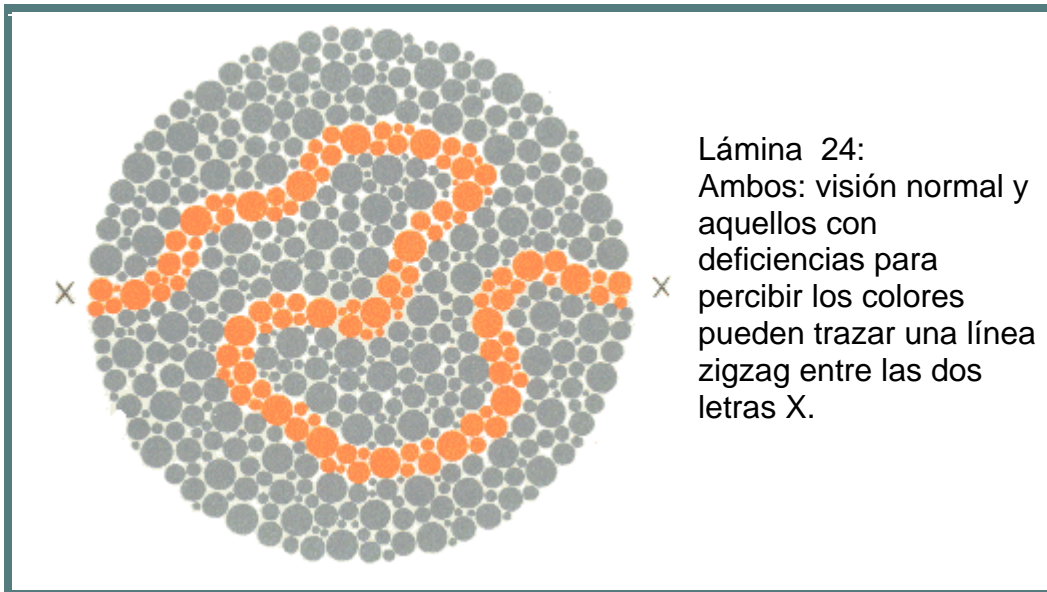
Lámina 19:
 La mayoría de quienes padecen deficiencias para percibir el rojo-verde pueden trazar la línea entre las dos letras X. La mayoría de quienes tienen visión normal y ceguera total a los colores no son capaces de seguir la línea.





Lamina 22:
 Aquellos con visión normal de los colores conectarán una línea azul-verde y amarillo-verde.
 Aquellos con deficiencias para percibir el rojo-verde conectarán la línea azul-verde y morado.
 Aquellos con ceguera total a los colores no son capaces de trazar ninguna línea.

Lámina 23:
 Quienes tienen visión normal de los colores trazarán una línea conectando el morado y el anaranjado entre las dos letras X.
 Aquellos con deficiencias para percibir el rojo-verde deberán trazar una línea conectando el morado y el azul-verde.
 Aquellos con ceguera total a los colores y debilidad no son capaces de trazar ninguna línea.



Imágenes obtenidas de: Pruebas para la acromatopsia por el Dr. Shinobu Ishihara Profesor Emeritus de la Universidad de Tokio. Kanehara Shuppan Co., Ltd Tokio, Kyoto (1962)

Estas láminas fueron impresas en una impresora de tinta *Epson Stylus C42*, con 1200x600 líneas de resolución, en papel opalina mate, se encuadernaron de forma independiente cada lámina, sobre un fondo negro mate.

Anexo F

Farnsworth-Munsell 100 Hue Test, es una de las pruebas más ampliamente usada en las empresas dónde las decisiones de color son cruciales.

A través de los años, el test también se ha usado en aplicaciones clínicas para el estudio de enfermedades oculares y otras condiciones médicas como la diabetes y la enfermedad de Parkinson.

También se ha usado para determinar los efectos de fármacos en la visión de color.

La prueba de *hue* del equipo *Farnsworth Munsell 100* se ha utilizado por más de 50 años como el estándar definitivo para la discriminación de color de prueba su capacidad de discriminar entre las varias cortinas de un color dado.

Equipo *Farnsworth-Munsell 100 (Hue Test)*.



Incluye:

- Cuatro bandejas de: 20 " x 1.75 " x 1.25 " , contenidas en un estuche de 21.5 " x 6.12 " x 2.5 " .
- Tiene un total de 85 fichas con *hue* diversos.
- El tamaño de la referencia del color es 7/16 " de diámetro.
- Cada ficha se numera para facilitar el registro de los resultados.
- Esta prueba incluye el software que anota el hue de Farnsworth Munsell 100, y calcula una cuenta numérica, proporcionando una exhibición gráfica en coordenadas polares de los resultados.

Esta prueba rápida, fácil, y exacta se diseña para determinar anomalías de la visión de color y la discriminación de color detallada.

(Información tomada de INTERNET, con una traducción al español deficiente).