

CAPÍTULO 5

Test de visión de los colores.

II. 5. 1 Introducción.

La realización de un test para garantizar la correcta percepción de los colores queda completamente justificada si tenemos en cuenta que el experimento propuesto se basa en la comparación sucesiva de imágenes en color.

Existen numerosos tests para medir la correcta visión de los colores, pero se eligió el test de Ishihara [5], en una de sus variantes como se explicará posteriormente.

Primero vamos a realizar una breve descripción de las distintas partes del ojo y luego comentaremos las deficiencias más importantes que pueden presentarse en la percepción del color, y que afectan a la correcta realización del test posterior. Una vez realizada esta introducción teórica, pasaremos a explicar en detalle el test de Ishihara y para concluir mostraremos el criterio de evaluación junto con los resultados obtenidos.

II. 5. 2 El ojo.

El ojo es el órgano fundamental que nos permite observar lo que está a nuestro alrededor. Se compone de un sistema sensible a los cambios de luz, capaz de transformar éstos en impulsos eléctricos.

El ojo está formado por numerosas partes como podemos observar en la Figura 9.

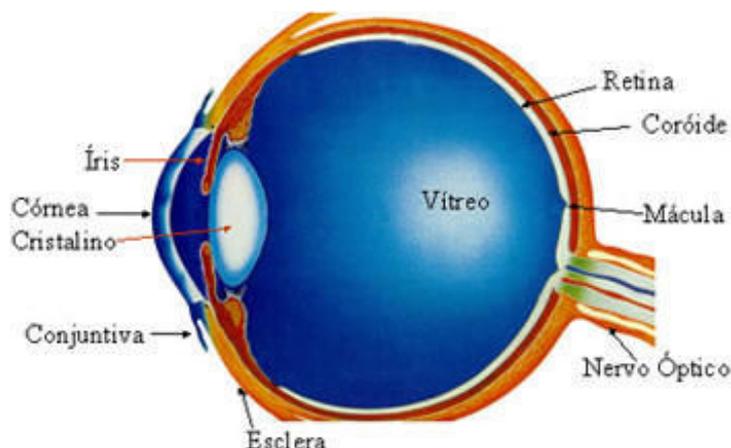


Figura 9. Partes del ojo humano.

A continuación citaremos las partes más relevantes e indicaremos su función principal:

- **Córnea.** Posee propiedades ópticas de refracción significativas, puesto que se encarga de aproximadamente 2/3 de la capacidad de enfoque del ojo. También tiene una función importante como sistema protector ya que al encontrarse delante del iris y del cristalino les proporciona protección a ambos.
- **Cristalino.** Es una lente, y como tal, su función principal es la de enfocar los rayos luminosos para que formen una imagen perfecta en la retina. Está sostenido por un ligamento que es el encargado de realizar dicho enfoque.
- **Iris.** Es una membrana coloreada que separa las partes anterior y posterior del ojo. Su función principal es la de contraer o dilatar la pupila, para así controlar la cantidad de luz que llega a la retina.
- **Pupila.** Es la parte central del iris. Se trata de una abertura dilatada y contráctil de color negro con la función de regular la iluminación que le llega a la retina.
- **Retina.** Es la capa más interna de las tres capas del globo ocular y es el tejido fotorreceptor. Está formada por 10 capas y contiene numerosos tipos de células encargadas de la recepción de los distintos aspectos de la visión.

II. 5. 3 Deficiencias de percepción cromática.

Las deficiencias de visión cromática, hacen referencia a un número de problemas que surgen a la hora de identificar algunos colores. La visión de color anormal puede consistir en una dificultad leve para distinguir entre diversos tonos de un mismo color o en la imposibilidad de ver un color determinado, incluso, en el caso más extremo, en la imposibilidad de percibir cualquier estímulo de color.

Esta enfermedad se conoce vulgarmente como daltonismo, en honor al famoso químico inglés, John Dalton (1766-1844), quien fue la primera persona que lo estudió, ya que él mismo lo padecía.

II. 5. 3. 1 Causas de la deficiencia de percepción.

La deficiencia de visión cromática es una alteración celular que impide percibir los colores adecuadamente. Dicha alteración se produce en la retina, que como vimos anteriormente, es la parte más interna del ojo, y es, en último término, donde van a parar los impulsos lumínicos antes de ser enviados al cerebro. Una foto de la retina se puede ver en la figura 10.



Figura 10. Detalle de la retina.

En dicha membrana existen dos tipos de células fotorreceptoras principales que hacen posible la visión, pues reciben los estímulos de luz y los transmiten al cerebro. Estos fotorreceptores son:

- Bastones: procesan la información en escala de grises, por tanto no son sensibles al color. Son los encargados de la visión nocturna. Existen unos 120 millones de bastones en cada ojo.
- Conos: encargados de la recepción cromática. Necesitan más luz para funcionar bien, de ahí la dificultad de percibir colores en la oscuridad. Existen tres tipos de conos, cada uno de ellos recibe la luz correspondiente a una determinada longitud de onda. Unos perciben las longitudes de onda "largas" (**L**ong wavelengths), que corresponden al color rojo, otros perciben las longitudes de onda "medias" (**M**édium wavelengths), que corresponden al color verde y por último los que perciben las longitudes de onda "cortas" (**S**hort wavelengths), que corresponden al color azul.

Los conos, al ser estimulados, emiten señales por separado que van al cerebro, allí estas señales se integran de forma que podamos percibir la información de color a la que estamos acostumbrados. En cada ojo hay unos tres millones de conos.

Pues bien, el defecto de visión cromática radica en estos últimos, los conos, principalmente por una alteración genética que impide percibir los colores de manera convencional, por tanto, la primera causa que produce esta alteración es la herencia.

Además, dicho trastorno tiene una estrecha relación con el género, puesto que se hereda como un rasgo recesivo ligado al cromosoma "X". Esto explicaría la diferencia estadística entre el número de hombres y mujeres que presentan dicho trastorno.

Los hombres sólo tienen un cromosoma "X", mientras que las mujeres tienen dos. Si una mujer recibe un cromosoma "X" con el rasgo de daltonismo, será portadora de la enfermedad, pero no la desarrollará porque su otro cromosoma compensa el defecto, puesto que es un rasgo recesivo. Por el contrario un hombre que porte dicho rasgo siempre presentará la enfermedad, puesto que su cromosoma "X" defectuoso no puede compensarse.

Para que una mujer tenga daltonismo, sus dos cromosomas X deben estar afectados y, para eso, necesita que su padre sea daltónico y su madre sea portadora o bien daltónica.

Estadísticamente, el 8% de los hombres son daltónicos, frente a menos del 1% de las mujeres. Dentro de ese 8%, el 2% presentan trastornos para el color rojo, mientras que el 6% lo presentan para el verde. Muy raramente se carece del gen azul, por lo que esta deficiencia no es muy común.

Además de la herencia, la "ceguera a los colores", puede ser adquirida por otras causas, bien sea por enfermedad o algún accidente y no siempre el ojo es el órgano afectado. En otras ocasiones puede ser adquirida por daños en el cerebro.

Es curioso reseñar que una gran mayoría de las personas con deficiencias de visión de los colores poseen el iris claro.

II. 5. 3. 2 Tipos de deficiencias.

Las personas con visión del color normal requieren de tres colores primarios para percibir correctamente el color. A dicha persona se le denomina "tricrómata normal", lo que significa que los tres tipos de conos (L, M y S) y pigmentos están presentes.

Se conocen los siguientes tipos de anomalías en la visión de los colores:

- Tricromatismo anómalo o visión tricromática anormal.
- Dicromatismo.
- Monocromatismo o visión monocromática.

Vamos a describir brevemente los distintos casos de deficiencias y a la vez iremos mostrando un ejemplo para observar cómo se ven las cosas desde sus ojos. Para comenzar mostraremos el caso de visión normal con dos fotografías.



Figura 11. Ejemplo de visión normal.

II. 5. 3. 2. 1 Tricromatismo anómalo.

Como su propio nombre indica hace referencia simplemente a una anomalía presente en los conos, puesto que en este caso, los sujetos que la padecen tienen los tres tipos de conos necesarios (L, M y S). El problema radica en que hace falta una proporción de cada tono de color muy diferente a la empleada por un sujeto con visión normal para igualar cualquier tono de color. Hay tres clases de tricromatismo anómalo:

- Deuteranomalía: se caracteriza por la gran cantidad de verde que se necesita mezclar al rojo para lograr un amarillo.
- Protanomalía: se necesita una cantidad muy grande de rojo para que al mezclarlo con verde nos dé amarillo, debido a la reducción en la luminosidad del rojo que caracteriza esta anomalía.
- Tritanomalía: es necesario añadir a un color verde una enorme cantidad azul para igualar la mezcla a un estímulo verde azulado dado.

El 75 % de los defectos de visión de color se corresponde con tricromatas anómalos.

II. 5. 3. 2. 2 Dicromatismo.

Estas personas poseen dos tipos de conos en lugar de tres. El dicromatismo es la visión de color anómala, en la que cualquier color puede igualarse a la mezcla de dos primarios. El espectro se ve como dos colores separados por una cinta acromática (punto neutro). La presentan el 24% de las personas con deficiencias de visión cromática. Hay tres clases de dicromatismo:

- Deuteranopía: dicromatismo con una luminosidad relativa espectral muy parecida a la de la visión normal, pero en la que se confunden el

rojo y el verde. En el espectro el deuteranope sólo se ven dos colores primarios. Las largas longitudes de onda (verde, amarillo, naranja, rojo) las ve amarillas y las cortas longitudes (azul y violeta) las ve azules. Estas tonalidades se van debilitando desde los extremos al centro hasta llegar a un punto neutro (aproximadamente 497 nm.) sin color.



Figura 12. Ejemplo de visión para un deuteranope.

- Protanopía: una clase de dicromatismo en la que los únicos tonos que se distinguen son el azul para todas las radiaciones por debajo de 495 nm. y el amarillento para las radiaciones superiores. El punto neutro está aproximadamente en los 495 nm. La curva de visibilidad decrece considerablemente en el extremo rojo, en el que se es prácticamente ciego. La protanopía sólo la padecen los hombres, las mujeres la transmiten en un porcentaje del 1%.



Figura 13. Ejemplo de visión para un protanope.

- Tritanopía: un tipo raro de dicromatismo en que se confunden el amarillo y el azul. El tritanope sólo ve dos colores, rojo en el lado de las grandes longitudes de onda y verdes o azul verdoso al otro lado de su punto neutro que está situado hacia los 570 nm. La tritanopía frecuentemente es del tipo adquirido, resultado de una enfermedad o desprendimiento de retina, glaucoma, etc., siendo muy rara la tritanopía congénita, estimándose su número de unos cinco hombres y tres mujeres por cada 100.000 habitantes.



Figura 14. Ejemplo de visión para un tritanope.

II.5. 3. 2. 3 Monocromatismo.

El monocromatismo es la ceguera total al color, anomalía en la visión en la que es posible la percepción de luminancia pero no de color. En esta deficiencia, faltan dos receptores de color, que casi siempre son rojo y verde. Es lo que se conoce como acromatopsia. La presentan el 1% de las personas con deficiencias cromáticas de percepción. Hay dos clases de monocrómatas:

- Monocrómatas de conos con una curva de visibilidad fotópica normal, lo mismo para la agudeza visual y la adaptación a la oscuridad. Estas personas ven todo en tonos de grises, pero a pesar de la desventaja de no ver colores tienen la ventaja de apreciar texturas y acabados con mayor finura que una persona normal por lo que son muy cotizados para control de calidad.
- Monocrómatas de bastones o acrómatas con una retina sin conos funcionales, por lo que padecen una visión disminuida (poca agudeza visual) fotofobia y astigmatismo asociado.



Figura 15. Ejemplo de visión para un monocrómata. Su visión es completamente en tonos grises.

Por último vamos a mostrar gráficamente las estadísticas en relación con las distintas deficiencias.

Deficiencias de percepción cromática (%)		
Clasificación	Hombres	Mujeres
Tricromatismo anómalo	6.3	0.37
Protanomalía (L)	1.3	0.02
Deuteranomalía(M)	5.0	0.35
Tritanomalía(S)	0.0001	0.0001
Dicromatismo	2.4	0.03
Protanopía (L)	1.3	0.02
Deuteranopía (M)	1.2	0.01
Tritanopía (S)	0.001	0.003
Monocromatismo	0.00001	0.00001

Tabla 3. Estadísticas de incidencia de las deficiencias de percepción cromática en la población, separada por sexos.

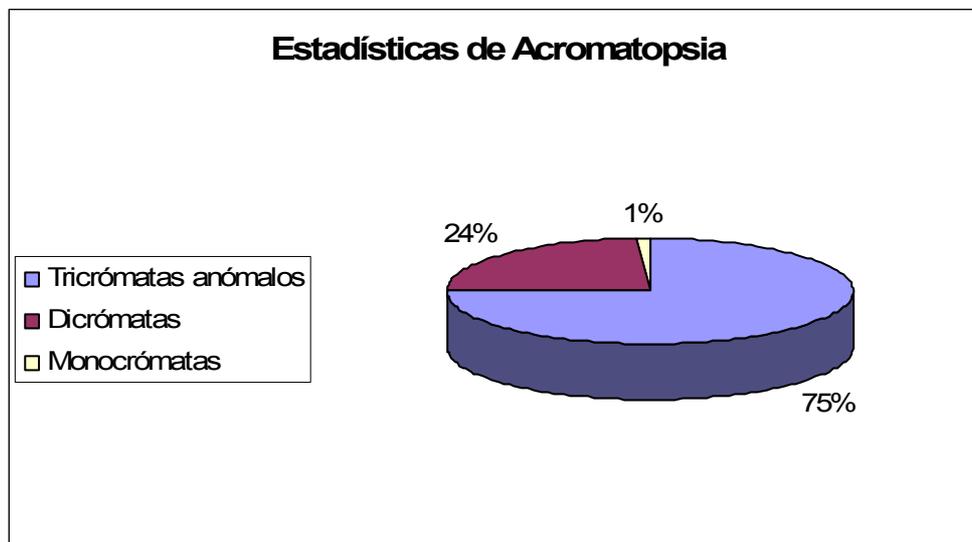


Figura 16. Gráfico estadístico sobre las deficiencias de percepción del color.

II. 5. 4 Test de Ishihara.

Los tests de percepción de los colores son usados para identificar posibles deficiencias adquiridas o hereditarias. Existen varios tests para detectar estas anomalías, como por ejemplo el test de Farnsworth, las cartas pseudocromáticas, el anomaloscopio, etc.

Los métodos más usados en estos tests son:

- Reconocimiento de figuras y símbolos dentro de un patrón de puntos. Este método permite un rápido resultado.

- Ordenación de cápsulas de colores en el orden natural, desde el azul hasta el rojo pasando por diversos tonos intermedios. Esto permite determinar la deficiencia.
- O un juego de colores hecho por instrumentos especiales adaptados para determinar este problema.

Actualmente uno de los tests más usados es el de Ishihara [8]. Existen dos variantes a la hora de realizar el mencionado test, esto depende de si las personas que lo realizan conocen o no los números. Para personas mayores se suele hacer con números incrustados en puntos de colores, mientras que para niños pequeños se sustituyen dichos números por caminos de color entre dos puntos determinados. En nuestro caso se ha utilizado la versión numérica.

El principio fundamental de éste reside en el reconocimiento de números o figuras geométricas hechas por pequeños puntos coloreados. A continuación se muestra un ejemplo que ilustra perfectamente el test numérico y las posibles deficiencias que se pueden dar.

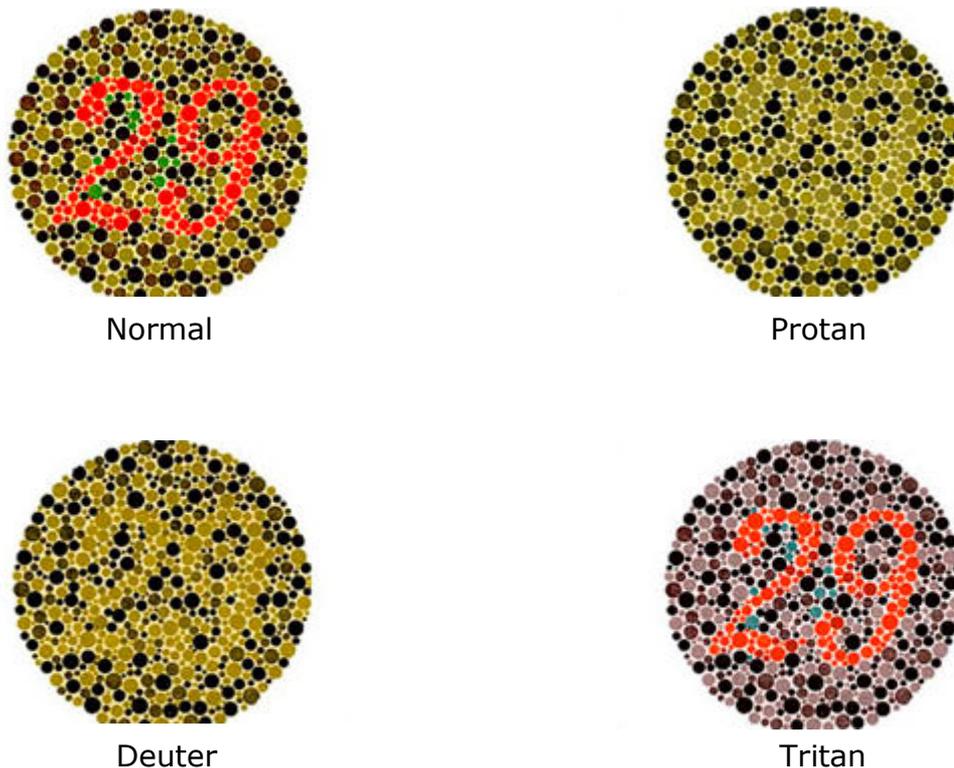


Figura 17. Láminas del test de Ishihara según los distintos tipos de deficiencias.

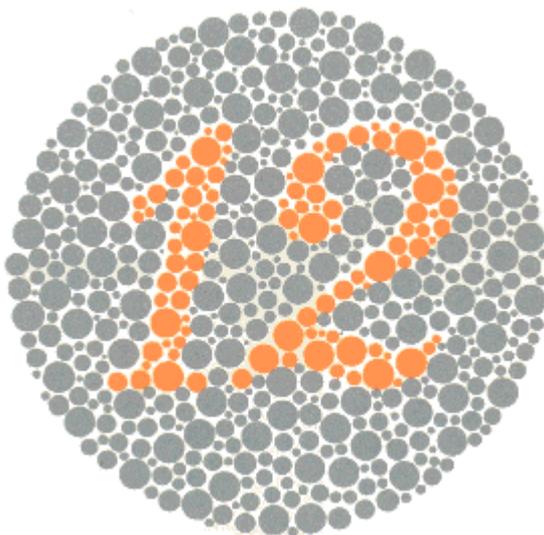
El doctor Shinobu Ishihara (1879-1963) realizó dos ediciones distintas de este test. Las dos ediciones se diferencian en el número de láminas utilizadas, en un caso se utilizan 24 láminas y en el otro 38. Se pueden distinguir cuatro tipos de láminas diferentes donde cada una de ellas cumple una función determinada:

- Láminas transformadas. En estas tarjetas los observadores con deficiencias dan diferente respuesta que los observadores normales. Constituyen las láminas 2 a 9 ambas inclusive en el test de 24.
- Láminas con número desaparecido. Sólo los observadores normales pueden reconocer un dígito al mirarlas. Constituyen las láminas 10 a 13 ambas inclusive en el test de 24.
- Láminas con dígito oculto. Sólo los observadores anómalos deberían ver el patrón. Constituyen las láminas 14 y 15 en el test de 24.
- Láminas cualitativas. Con estas tarjetas se pretende afinar en la clasificación de la deficiencia para ver si sólo es una anomalía o presenta la enfermedad. Constituyen las láminas 16 a 24 ambas inclusive.

Vamos a presentar a continuación algunas imágenes de las dos posibilidades. Es necesario reseñar que en este experimento se ha adoptado por la opción numérica, puesto que los encuestados los conocen y por ser más rápida su ejecución.

El test completo se encuentra en el Anexo 1.

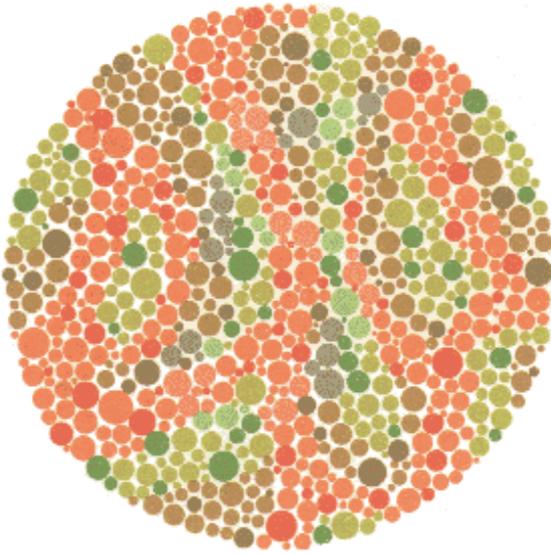
LÁMINA 1



Diagnóstico visual:

- Normal: Se observa un 12.
- Deficiente: Se observa un 12.

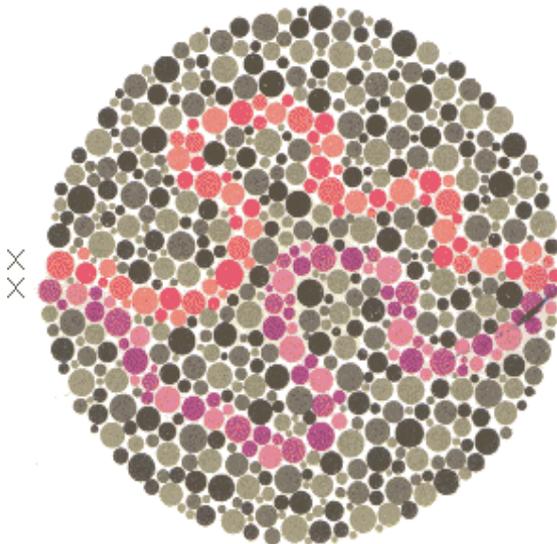
LÁMINA 14



Diagnóstico visual:

- Normal: No se observa ningún número.
- Deficiente: Se observa un 5 con deficiencia para la percepción rojo-verde.

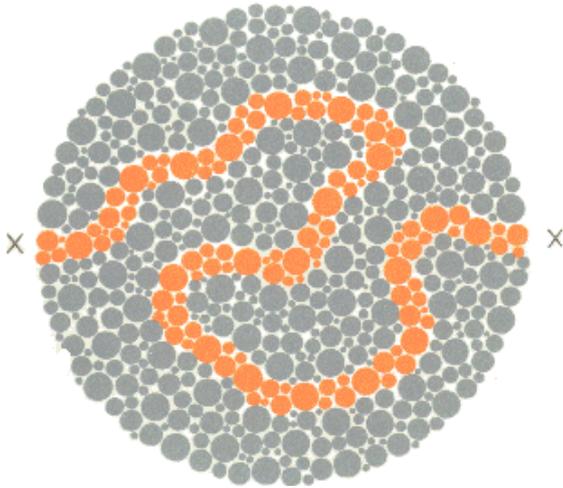
LÁMINA 18



Diagnóstico visual:

- Normal: Se observan los dos caminos.
- Deficiente:
 - Protanopía → sólo se ve el camino morado.
 - Protanomalia → ambos caminos pero el morado más fácilmente.
 - Deuteranomía → sólo se ve el camino rojo.
 - Deuteranomalia → ambos caminos pero el rojo más fácilmente.

LÁMINA 24



Diagnóstico visual:

- Normal: pueden trazar una línea entre las dos X.
- Deficiente: pueden trazar una línea entre las dos X.

En el test que hemos realizado en nuestro experimento sólo se han utilizado láminas de los tres primeros grupos, esto es, láminas que incluían información numérica. Además se descartaron otras láminas puesto que realizaban una función repetida. Al final el test constó de 15 láminas que representaban completamente todos los aspectos que debían ser tratados.

Las láminas escogidas se dividieron en 6 grupos para realizar una baremación y consiguiente evaluación de los tests realizados. Todas estas láminas pueden observarse en el test completo que se encuentra en el anexo correspondiente.

- Grupo 1. Formado exclusivamente por la lámina 1.
- Grupo 2. Formado por las láminas 2 y 3.
- Grupo 3. Formado por las láminas 4, 5, 6 y 7.
- Grupo 4. Formado por las láminas 8 y 9.
- Grupo 5. Formado por las láminas 10, 11, 12 y 13.
- Grupo 6. Formado por las láminas 14 y 15.

La versión original de la prueba con láminas de los mapas de colores (por Dr. Shinobu Ishihara) fue 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, pueden producir una cierta discrepancia en los resultados debido a la alteración en el aspecto de las sombras del color, por tanto hay que evitar los reflejos en la zona de visión. Esto, junto con otros aspectos, forma parte de las condiciones de realización del test.

En este experimento se ha adaptado dicha prueba para ser realizada en la pantalla de un ordenador.

Antes de continuar se ha de decir *que los resultados de esta prueba no deben ser considerados una prueba profesional válida absoluta para la acromatopsia*, sólo nos sirven para hacer una pequeña comprobación de la buena percepción cromática de los encuestados.

A continuación, vamos a describir el procedimiento para la realización del test, algunas de las consideraciones siguientes están descritas en detalle en el apartado correspondiente a "condiciones de realización del test".

1. Situarse de forma adecuada frente a la pantalla del ordenador.
2. Colocar la pantalla a la distancia (aproximadamente 75 cm.) y ángulo (máximo de 30° sobre la normal) correctos para una buena visión y evitar que reflejos de luz incidan sobre ésta.
3. Observar la lámina que aparece en pantalla y contestar en el espacio correspondiente del documento.

Una vez realizado el test de Ishihara se hizo una comprobación in situ de las respuestas para decidir si los encuestados eran aptos para la realización de la fase posterior.

Para decidir si el encuestado ha pasado con éxito el test se realizó una baremación de cada grupo, teniendo en cuenta que las láminas pertenecientes al mismo grupo tienen igual importancia y, por tanto, igual puntuación. En la siguiente tabla se resume la baremación escogida [Tabla 4].

Baremación láminas de Ishihara			
Grupo	Láminas	Puntuación	Puntuación por lámina
1	1	25	25
2	2 y 3	10	5
3	4, 5, 6 y 7	20	5
4	8 y 9	10	5
5	10, 11,12 y 13	30	7.5
6	14 y 15	5	2.5

Tabla 4. Baremación de puntos de las láminas de Ishihara.

Como se puede observar existen distintas puntuaciones para cada lámina, dependiendo de la anomalía que represente. Si bien la que más puntuación presenta es la lámina 1 con 15 puntos. Esta lámina era excluyente en el caso de no observarse la cifra que se muestra en ella,

puesto que en dicha lámina no se identifica alguna anomalía de visión sino falta de visión importante.

Por último, y antes de pasar a explicar el procedimiento de la siguiente prueba experimental, vamos a mostrar los resultados obtenidos de la realización del test de Ishihara a los 8 facultativos que lo realizaron.

Resultados Test Ishihara		
Porcentaje de acierto	Número de médicos	Láminas falladas
85 %	1	Láminas 3, 5 y 8
92.5 %	1	Lámina 13
95 %	1	Lámina 5
100 %	5	0

Tabla 5. Resultados del test de Ishihara. Todos los médicos pasaron con éxito la prueba.

Se estableció como criterio para considerar apta la prueba de Ishihara una valoración mínima del 80 %, así, a la vista de los resultados en la tabla anterior, todos los facultativos que realizaron este test eran aptos para continuar.