



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

VALORES NORMALES DE LA VISIÓN CROMÁTICA Y DE LA ESTEREOPSIS EN FUNCIÓN DEL TEST UTILIZADO EN SU EXPLORACIÓN

Autora:

Eva Cirac Villanueva

Director/es

Sebastián JaraboLallana

Ana Isabel Sánchez Cano

Facultad de Ciencias – Universidad de Zaragoza

Grado en Óptica y Optometría

Curso Académico 2013 - 2014

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1. VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.....	1
1.2. VISIÓN DEL COLOR.....	3
2. MATERIAL Y MÉTODO.....	5
2.1. TEST DE TITMUS-WIRT.....	6
2.2. TEST DE RANDOT.....	6
2.3. TEST TNO.....	7
2.4. TEST DE FRISBY.....	7
2.5. TEST DE ISHIHARA	8
2.6. TEST DE FARNSWORTH-MUNSELL C-28.....	8
3. RESULTADOS.....	10
3.1. ANALISIS DERESULTADOS EN LOS TEST DE ESTEREOPSIS.....	10
3.1.1. ANALISIS DE LA ESTEREOPSIS SEGÚN SEXOS.....	12
3.1.2. ANALISIS DE LA ESTEREOPSIS SEGÚN DOS CRITERIOS.....	14
3.2. ANALISIS DE RESULTADOS EN LOS TEST DE COLOR.....	17
3.2.1. TEST DE ISHIHARA.....	17
3.2.2. TEST DE FARNSWORTH-MUNSELL C-28.....	18
4. DISCUSIÓN.....	20
5. CONCLUSIONES.....	22
6. BIBLIOGRAFÍA.....	23
7. ANEXOS.....	24
7.1. ANEXO 1.....	24

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo de fin de grado, es averiguar cuáles son los valores normales de cada test de estereopsis y de color, en sujetos sanos; al mismo tiempo que realizar comparaciones entre los test de cada área, y relacionarlo con la bibliografía recopilada.

Hasta ahora la bibliografía establece que un paciente con una función binocular normal debería alcanzar 20" de arco con estímulos de contorno (Titmus y Randot) y apreciar estereopsis con las tarjetas gruesas de Random (TNO)¹. Por otro lado, la bibliografía también afirma que los sujetos con fusión central, tienen estereoagudezas de 40" de arco o mejores (valores menores), mientras que los sujetos con fusión periférica pero sin fusión central tienen hasta 60" de arco².

Encuanto a los test de color la bibliografía indica que el test de Ishihara es un gran detector de las anomalías de tipo deuterano y protano^{3, 4}, mientras que el test de Farnsworth-Munsell C-28 puede detectar cualquier tipo de anomalía, siendo considerado además como una prueba sencilla que integra las cualidades más importantes del test Farnsworth-Munsell C-100⁵ (considerado como el test por excelencia en este sector^{3, 6, 7, 8}).

1.1 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

La visión estereoscópica se define como la capacidad de ver los objetos tridimensionalmente y de percibir la distancia a la que se encuentran². La estereopsis es el tercer grado de la visión binocular. Para que pueda haber estereopsis los dos primeros grados de la visión binocular (percepción de imágenes simultáneas y fusión) deben estar intactos.

¿CÓMO SE PRODUCE LA ESTEREOPSIS?

Cuando se mira a un punto de fijación, una caja por ejemplo, cada ojo obtiene una imagen ligeramente diferente de la caja debido a la perspectiva, lo que denominamos disparidad retiniana (Figura 1). La disparidad retiniana produce mínimos desplazamientos dentro del área de Panum a los que el cerebro es especialmente sensible y los interpreta dotando al objeto de una tercera dimensión, tanto en su estructura, como en su relación con el espacio que lo rodea⁹.

El área fusional de Panum presenta una anchura variable, siendo más ancha en la zona correspondiente a la retina periférica y más estrecha en la zona correspondiente a la fovea porque en la fovea hay mayor densidad de fotorreceptores, como consecuencia, la fovea tiene una resolución espacial muy alta, y es muy sensible a pequeños desplazamientos del horóptero, mientras que la retina periférica requiere disparidades mayores para producir estereopsis, que de producirse en la fovea generarían visión doble⁹.

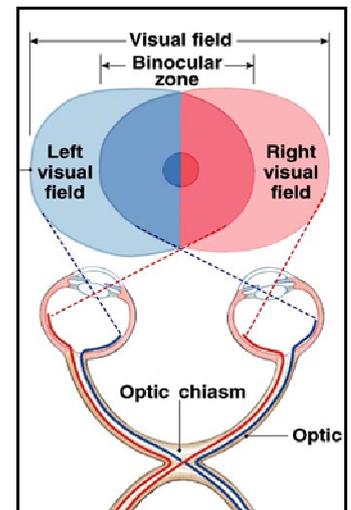


Figura 1: Se ve la correspondencia retiniana, la zona roja del campo se proyecta en retina nasal del ojo derecho y en retina temporal del ojo izquierdo.

¿CÓMO SE MIDE LA ESTEREOPSIS?

Los test de estereopsis presentan una imagen similar a cada ojo pero desplazadas levemente de manera que estimulan puntos no correspondientes en retina. La cantidad de separación horizontal entre las dos imágenes es medida en segundos de arco. El mínimo ángulo de disparidad entre las imágenes que produce visión estereoscópica, se denomina estereoagudeza⁹. Hay varios tipos de test:

- **Los test de estereopsis local o de contornos** (Randot y Titmus) (Figura 2) presentan figuras similares desplazadas lateralmente. Como consecuencia, los sujetos pueden adivinar la respuesta utilizando las pistas monoculares¹.
- **Los test de estereopsis global o de puntos de Random** (Figura 3) como el test TNO, eliminan las pistas monoculares por lo que están considerados como el estándar de oro en la medida de la estereopsis¹⁰.
- **Los test de estereopsis real** como el test de Frisby (Figura 4) no precisan de artificios disociantes por lo que se asemejan más a la realidad¹¹.

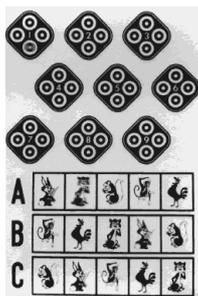


Figura 2: Test de contornos (Test de Titmus)



Figura 3: Test global o de puntos (Test de Random-Dot E)

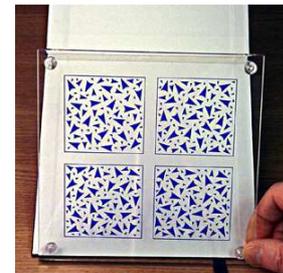


Figura 4: Test real (Test de Frisby)

Además de estas diferencias, cada test tiene un rango distinto de medidas de la disparidad, lo que dificulta la comparación de resultados. La variación de resultados que ofrecen los diferentes test cuando se comparan puede ser debida a los dos tipos de estereopsis existentes¹².

- **Estereopsis estática o fina:** procesada por las células Parvocelulares que se concentran en la fóvea y decrecen hacia la periferia. Responden a estímulos de alta frecuencia espacial. Se encarga de la alta resolución y la concordancia estricta¹² (por ejemplo, cuando enhebramos una aguja).
- **Estereopsis en movimiento o gruesa:** se procesa por las células Magnocelulares las cuales escasean en la fóvea y aumentan en número hacia la periferia. Responden a estímulos con baja frecuencia espacial y, sobretodo, móviles. Este sistema actúa como una copia de seguridad que se activa cuando las imágenes son dispares dentro del área de Panum¹².

Algunos autores como Wilcox y Hess sostienen que ambos sistemas trabajan sinérgicamente en los adultos. Por otra parte, existe una hipótesis que defiende que la estereopsis gruesa se termina de desarrollar antes que la estereopsis fina. Además, se ha visto que el procesamiento grueso se conserva en niños con ambliopía, lo que tiene importantes aplicaciones clínicas¹². Por tanto, es necesario utilizar test que midan los dos tipos de estereopsis.

1.2 VISIÓN DEL COLOR

La radiación electromagnética visible para el ojo humano, se encuentra entre los 400-700nm, y se denomina espectro visible. Cuando esta radiación llega a la retina del ojo, es procesada por los fotorreceptores, conos y bastones. La visión del color es procesada por los conos, estas células absorben la luz y la convierten, por una reacción fotoquímica, en una compleja señal eléctrica que corresponde al número de fotones absorbidos por cada cono¹³.

Existen tres tipos de conos (Figura 5):

- **Conos L:** su espectro de absorción se sitúa en longitudes de onda largas, con un pico máximo en 560nm.
- **Conos M:** su espectro de absorción se sitúa en longitudes de onda media, con un pico máximo en 530nm.
- **Conos S:** sensibles o de longitud de onda corta, con un pico máximo en 430nm.

La información procesada por los conos, se envía al núcleo geniculado lateral en el tálamo, a través de los axones de las células ganglionares que forman el nervio óptico. En el cuerpo geniculado lateral, la vía parvocelular es la encargada de procesar el color de las imágenes¹³.

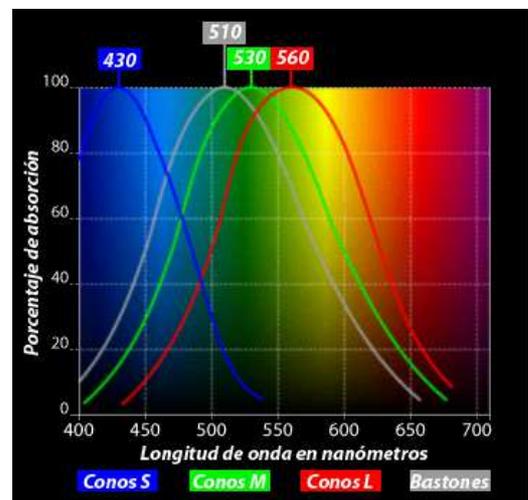


Figura 5: Espectro visible destacando los tres tipos de conos y su rango de absorción.

ANOMALÍAS

Tricromatas anómalos

Los tricromatas anómalos tienen los tres fotopigmentos, pero el espectro de absorción de uno de ellos está desplazado a una posición anómala dando lugar a una percepción del color diferente. Se clasifican en⁹:

- **Protanomalía:** la deficiencia al rojo. Necesitan mayor cantidad de luz roja para obtener el color amarillo.

- **Deuteranomalía:** la deficiencia al verde. Necesita mayor cantidad de luz verde para obtener el color amarillo.
- **Tritanomalía:** se conocen como defectos azul-amarillo, porque confunden el azul-violeta con el amarillo.

Dicromatopsia

También puede ocurrir que uno de los fotopigmentos de los conos esté ausente, y probablemente se sustituya por uno de los fotopigmentos restantes, esto se conoce como dicromatopsia. Pueden ser^{2,9}:

- **Protánopía:** presentan menor densidad de conos L. No captan la porción roja del espectro. Confunden el rojo y el verde entre sí, y el rojo y verde azulado con el gris.
- **Deuteránopía:** presentan menor densidad de conos M. No captan la porción verde del espectro. Confunden el rojo y el verde entre sí, y el rojo púrpura y el verde con el gris.
- **Tritanopía y tetranopía:** presentan menor densidad de conos S. Los primeros son de origen protán y los segundos de tipo deután y son más bien adquiridos que congénitos.

ALTERACIONES CONGÉNITAS

Las anomalías congénitas son bilaterales^{2,9} dentro de las cuales las más frecuentes son las anomalías rojo – verde, son genéticamente recesivas y van ligadas al cromosoma X².

La bibliografía recopilada aporta que la frecuencia de las anomalías de la visión del color en el sexo masculino son del 8%, mientras que en el sexo femenino del 0,5%^{2,9}.

La clasificación de las anomalías rojo – verde en los hombres, es aproximadamente: 1% protanomalía, 5% deuteranomalía, 1% protanopía, 1% deuteranopía².

ALTERACIONES ADQUIRIDAS

Muchas enfermedades de coroides, la retina y el nervio óptico pueden ser responsables de anomalías adquiridas de la visión del color. En este caso los defectos pueden ser monoculares². Como regla general²:

- Lesiones en coroides producen anomalías amarillo-azul.
- Lesiones de la retina también producen anomalías amarillo-azul o rojo-verde.
- Lesiones del nervio óptico tienden a causar anomalías rojo-verde.

2. MATERIAL Y MÉTODO

El siguiente estudio se ha realizado con alumnos y personal universitario en la Facultad de Ciencias de Zaragoza. Se dispuso un lugar de trabajo en el hall con todos los test pertinentes para que los sujetos realizaran las pruebas (Figura 6).



Figura 6: Lugar de trabajo en el hall de la Facultad de Ciencias

Los test utilizados en este trabajo han sido:

- Para estereopsis:
 - Test de Titmus – Wirt
 - Test de Randot
 - Test TNO
 - Test de Frisby
- Para las pruebas de color:
 - Test de Ishihara
 - Test de Farnsworth – Munsell C-28.

Los datos se registraban con un programa de ordenador (anexo 1). En este programa se incorporaba el sexo, la edad y la raza del paciente con los respectivos resultados que iba obteniendo en las diferentes pruebas. Seguidamente, cuando se guardaba el sujeto en una base de datos, se podía ver los segundos de arco que había alcanzado en cada prueba de estereopsis y si tenía alguna anomalía del color. Así la recopilación de los datos resultó fácil y rápida.

Una vez analizados los 200 sujetos del estudio, se introdujeron los datos obtenidos en el programa Excel para su posterior análisis y valoración.

2.1 TEST DE TITMUS - WIRT



Figura 7: Test de Titmus-Wirt

El test de Titmus es una prueba basada en imágenes polarizadas. Su rango de medida oscila desde 3.000 segundos de arco (imagen de la mosca) a 40 segundos de arco (novenno círculo).

El test presenta 3 filas de animales y en cada fila solo un animal presenta tres dimensiones. Cada fila corresponde a un valor de estereopsis de: 400, 200 y 100 segundos de arco respectivamente. Por último contiene nueve figuras formadas por grupos de cuatro puntos en los que solo uno presenta estereopsis y el resto no (dos dimensiones), de manera que el sujeto tiene que identificar cual es el punto que tiene estereopsis de los cuatro (Figura 7). Las 9 figuras miden estereopsis de 800 a 40 segundos de arco. Esta prueba presenta la desventaja de incluir pistas monoculares de manera que algunas personas sin visión estereoscópica pueden identificar adecuadamente la figura que tiene estereopsis (3 dimensiones)⁹.

Aunque el test no contempla esta posibilidad, una manera sencilla de comprobar si la respuesta del sujeto se debe a la existencia de estereopsis o de pistas monoculares es girando el test 90 grados, así se pierde la polaridad y si el sujeto acierta, es porque se basa en las pistas monoculares⁹. El valor normal considerado para este test es de 40" de arco^{10, 11, 14}.

2.2 TEST DE RANDOT

Como el Test de Titmus, es un test que también utiliza la polarización para conseguir la estereopsis, por lo que precisa de unas gafas polarizadas para su realización.

La primera parte del test consta de 8 recuadros punteados como se ve en la Figura 8, en la parte derecha, en cada recuadro aparecerá una figura cuando el sujeto lleve puestas las gafas polarizadas. Si no es así, el sujeto no tiene estereopsis. Si supera los cuatro primeros cuadros la estereopsis es de 500" de arco, y si también ve los cuatro restantes la estereopsis medida es de 250" de arco.



Figura 8: Test de Randot

El siguiente bloque se compone de tres filas de animales, donde solo uno se presenta en tres dimensiones y como en el test de Titmus, cada fila mide 400, 200 y 100 segundos de arco respectivamente.

Por último el bloque final se compone de 10 filas rectangulares con tres círculos en el interior de cada una, donde solo un círculo presenta estereopsis. Evalúa de 400 a 20 segundos de arco⁹. Un sujeto que tenga una estereopsis normal llegaría a leer hasta la fila 6-7 obteniéndose una estereopsis de 40" de arco¹⁴.

2.3 TEST TNO



Figura 9: Test TNO

Es un test de puntos aleatorios basado en el uso de imágenes diferentes rojo-verde. De manera que, al observarlo con unas gafas rojo-verde, en un ojo se forma una imagen (filtro rojo) y en el otro ojo, una imagen ligeramente diferente (filtro verde). La suma de las dos imágenes formará la percepción cortical de las 3 dimensiones. Dispone de 7 láminas. Las tres primeras detectan la presencia o no de estereopsis (láminas cualitativas) y las 3 últimas (láminas cuantitativas) permiten cuantificar la sensibilidad estereoscópica (Figura 9). El rango de estereopsis

cuantificable va desde 480 a 15 segundos de arco. Es muy útil porque no presenta pistas monoculares⁹. El valor normal de este test es 60" de arco^{10, 15}.

2.4 TEST DE FRISBY

Ofrece la ventaja de no usar ningún artificio disociante. El test se compone de 3 láminas de plástico transparente, cada una de ellas de diferente espesor (6 mm, 3 mm y 1.5 mm). Las láminas tienen dibujos estructurados en cuatro cuadrantes, y solo en uno de los cuadrantes parte del dibujo está impreso por la cara contraria al resto, esto hace que solo pueda ser visto con visión binocular. Por lo que el sujeto tiene que identificar en que cuadrante que se encuentra el dibujo en 3 dimensiones.



Figura 10: Test de Frisby

La prueba se realiza en primer lugar con la lámina de mayor espesor a 30 cm y posteriormente se va alejando a 40, 50... hasta 80 cm mientras el sujeto tenga visión estereoscópica. Una vez acertado en todas las distancias se cambia a la lámina de menor grosor, y así sucesivamente hasta medir con la última lámina a 80cm. En el momento en que ya no vea el cuadrante en 3D, se apunta la disparidad que corresponda con la lámina evaluada y la distancia en la que se ha quedado. Como se observa en la Figura 10, en el propio test viene una tabla con las correspondientes estereoagudezas en segundos de arco que se asocian a cada lámina y a la distancia de realización. A menor grosor de lámina y mayor distancia, mayor estereopsis. Esta prueba mide una disparidad desde 875" de arco a 20" de arco⁹. El valor normal para este test es de 20-30" de arco^{10, 11}.

2.5 TEST DEISHIHARA

El test de Ishihara es el más utilizado para el chequeo de anomalías rojo-verde con láminas pseudoisocromáticas. La versión más completa consta de 38 láminas (Figura 11), 25 contienen números y las 13 restantes, líneas a seguir pensadas para las personas analfabetas. De las 25 láminas numéricas, la primera es de prueba, de la 2 a la 21 son de chequeo, y de la 22 a la 25 son para clasificación de deficiencias protan y deutan. No clasifica deficiencias tipo tritan¹.

Es aconsejable administrar el test monocularmente si se sospecha de alguna anomalía adquirida del color¹².

En nuestro caso la prueba se administró de manera binocular, ya que se buscaba detectar anomalías congénitas.

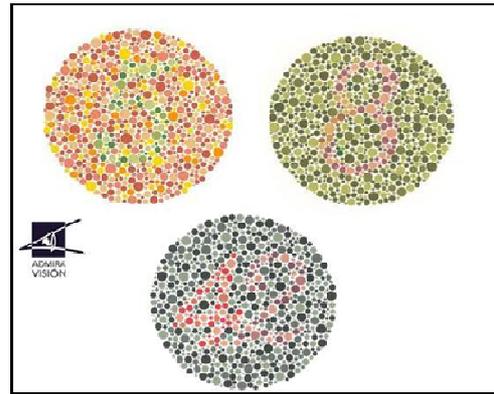


Figura 11: Láminas pseudoisocromáticas numéricas

2.6 TEST DE FARNSWORTH – MUNSELL C-28

El test de Farnsworth C-28 se compone de 28 piezas de diferentes tonalidades (Figura 12). Este test consiste en ordenar una serie de tonos que cubran toda la región visible, es decir, de azul a amarillo pasando por verde, rojo y púrpura.

Los tonos de los estímulos utilizados representados en el

diagrama cromático XY de la CIE, forman una elipse (Figura 13), si esta elipse se rodea por las correspondientes rectas de confusión de protan, deutan y tritan (tangentes a la elipse), ocurre que cada tipo de tricrómata o dicrómata, confundirá los colores próximos a los puntos de tangencia de dichas rectas con la elipse y tendrá dificultades para realizar la ordenación de las fichas⁶. A partir de estas variaciones con respecto a la ordenación que haría un observador con visión del color normal, se puede deducir el tipo de anomalía a la visión del color que se presenta¹⁷ (Figura 14).



Figura 12: Test de Farnsworth-Munsell C-28

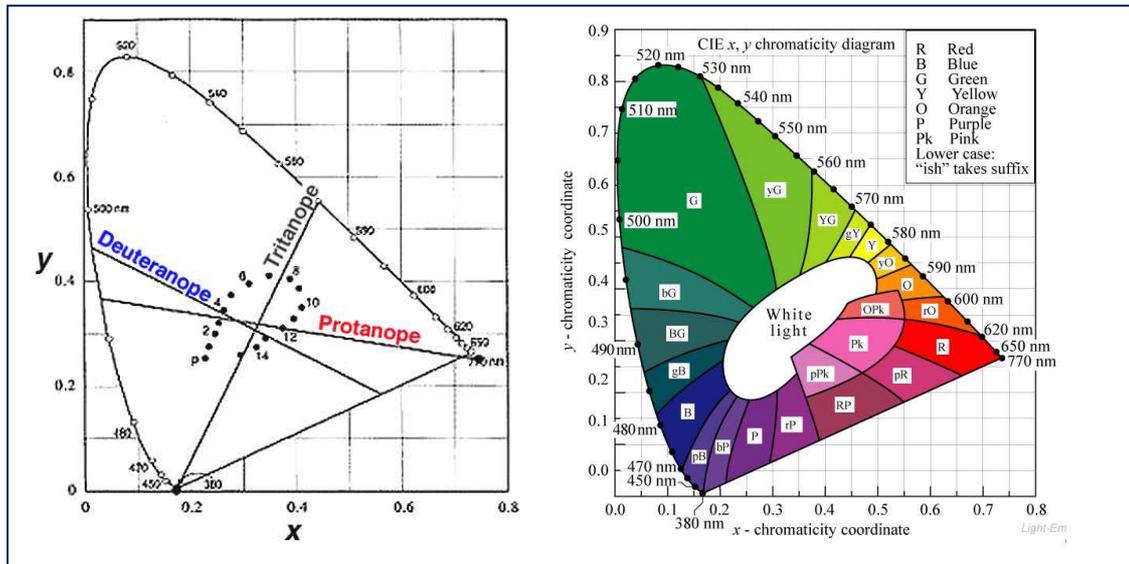


Figura 13: Muestra del Test de FarnsworthMunsell C-15 en el diagrama XY de la CIE. Se muestran las rectas de confusión. En el caso del test C-28 la elipse comprendería un mayor número de tonalidades.

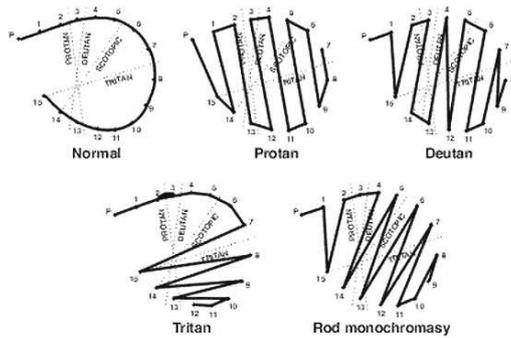


Figura 14: Resultados obtenidos en el test de Farnsworth, donde se muestran las líneas tangentes a las rectas de confusión protan, deutan y tritan, que revelan una anomalía.

Para la administración de la prueba es necesario que se realice en un establecimiento con iluminante C no inferior a 270 lux, o con luz día D65. Además en todo el proceso se deben manipular las fichas con cuidado de no tocar la parte coloreada para no deteriorar la prueba^{6,7}.

Es aconsejable administrar el test monocularmente si se sospecha de alguna anomalía adquirida del color^{3,6,7}.

En nuestro caso la prueba se realizó bajo la luz día y se administró de manera binocular, ya que se buscaba detectar anomalías congénitas.

3. RESULTADOS

La muestra se compone de 200 personas sanas (110 mujeres y 90 hombres) con edades comprendidas entre 18 y 56 años. La media de edad se sitúa en 24 años.

3.1 ANALISIS DE RESULTADOS EN LOS TEST DE ESTEREOPSIS

En primer lugar es importante decir que cada test de estereopsis valora un rango diferente de segundos de arco (Tabla 1). Realizando una primera comparación de los test de forma general destaca el número de personas que alcanzan una estereopsis de 20" de arco con el test de Frisby, 144 sujetos, que es más de la mitad de la muestra. Por el contrario la diferencia entre los valores del resto de test para disparidades cercanas a 20" de arco, no es tan desmesurada.

Si ahora se analizan los test de **TNO y Randot** para una disparidad de 30" de arco, 83 sujetos tendrían estereopsis según Randot mientras que solo 66 según TNO. Sin embargo, cuando la disparidad es de 25" de arco se obtienen 61 personas con esa estereoagudeza en el test de Randot. El hecho de que haya mayor número de personas con elevada estereoagudeza (<30" de arco) en el test de Randot en comparación con el test de TNO puede ser debido a las pistas monoculares que aporta el test de Randot.

Al comparar los dos test polarizados, **Titmus y Randot**, se observa que los resultados son muy similares obteniéndose valores ligeramente por encima en el test de Randot en todas las medidas, excepto en 60" de arco, que es para la única disparidad donde ocurre al contrario, el test de Titmus clasifica a 160 sujetos con esa esteropsis, y el test de Randot 151.

"Arco	TITMUS	"Arco	RANDOT	"Arco	TNO	"Arco	FRISBY
		20	32	15	11	20	144
		25	61				
		30	83	30	66	30	167
40	104	40	109			40	179
50	145	50	150			55	184
60	160	60	151	60	156	75	186
80	168	70	175			85	191
100	175	100	184			110	192
140	183	140	189	120	176	150	196
200	191	200	197	240	190	215	197
400	198	400	200	480	200	340	199
800	200					600	200

Tabla 1: Número de personas según estereopsis que alcanzan en cada test.

Cuando se introduce el test **TNO** en la comparativa de los dos test anteriores (**Titmus y Randot**), se puede ver que en el primer intervalo de 40" de arco o menos (Figura 15), hay una

gran desigualdad entre los valores de Titmus y Randot en conjunto, comparados con TNO. Esto podría ser debido a tres razones:

- En primer lugar, el test TNO tiene un valor límite de estereopsis superior al resto (15" de arco).
- En segundo lugar establece rangos de disparidad muy separados entre sí, pasa de 15" de arco a 30" de arco, luego a 60, 120, 240 y 480" de arco, como consecuencia, dificulta la precisión de la toma de medidas en estereoagudezas elevadas.
- En tercer y último lugar, las pistas monoculares aportadas en los test de Randot y Titmus, facilitan que haya un mayor número de personas que acierten cuando la complicación del test aumenta.

En cuanto pasamos a medir una estereopsis menos exigente, 60" de arco en adelante, los valores se igualan, aunque quedando ligeramente por debajo el test TNO. (Figura 15) y (Tabla 1).

Por último, añadiendo el test de **Frisby** a la comparativa **con los otros tres** test, se puede observar que en los diferentes intervalos, el test de Frisby aporta siempre un mayor número de sujetos al intervalo de una determinada disparidad que el resto. A partir del intervalo de 120 – 140" de arco, la diferencia entre los tres test se reduce.

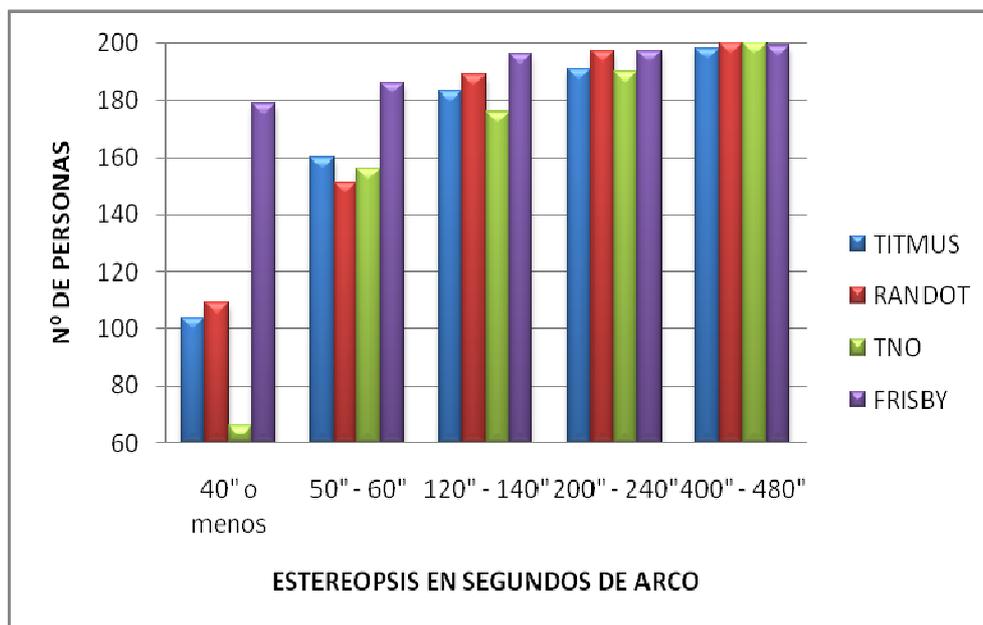


Figura 15: Valores acumulativos de estereoagudeza.

3.1.1 ANALISIS DE LA ESTEREOPSIS SEGÚN SEXOS

En primer lugar se van a analizar los test según el sexo femenino. La muestra femenina se compone de 110 mujeres. Comparando los test entre sí, destacan los valores obtenidos con el test de TNO (Figura 16). En el intervalo de 40" de arco o menos, aporta que el 33% de mujeres tienen esa estereopsis, mientras que Titmus y Randot indican el 56 y 55% respectivamente y el test de Frisby el 92%. Después, en posteriores intervalos estereoscópicos, la diferencia no es tan marcada con los demás test, descartando el test de Frisby en todo momento, que como se puede observar en la Figura 16, los valores que alcanza son muy dispares del resto.

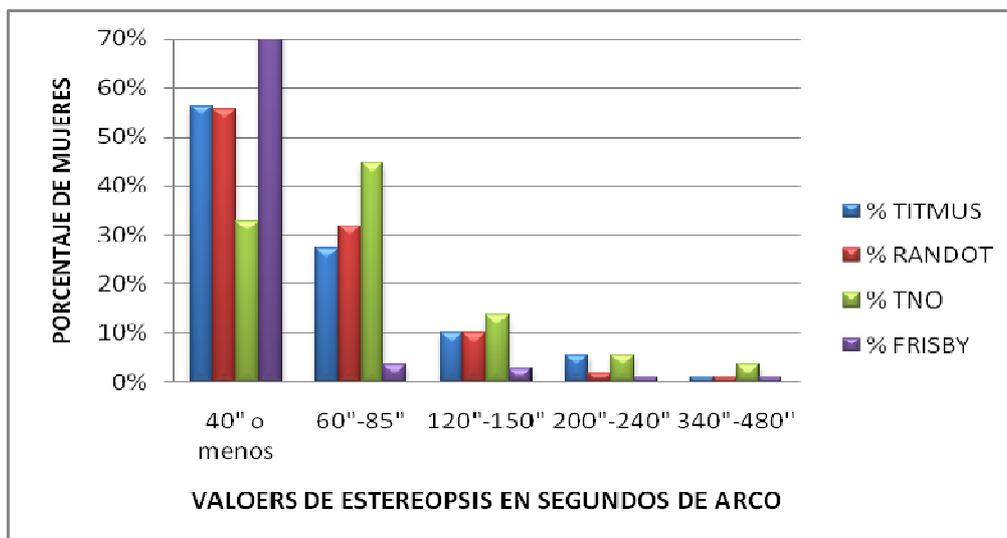


Figura 16: Estereopsis femenina

En segundo lugar, se va a considerar la muestra masculina, que se compone de 90 sujetos. Al analizar cada test por separado, pasa lo mismo con el test de TNO que en el caso femenino, En el intervalo de 40" de arco o menos, el porcentaje de personas que clasifica con esa estereopsis (32%) es inferior al resto (47% Titmus, 53%Randot y 87% Frisby) (Figura 16).Dejando al margen los resultados obtenidos con el test de Frisby, como en el caso femenino, a partir del segundo intervalo (60 – 85" de arco) los porcentajes entre los otros tres test se aproximan.

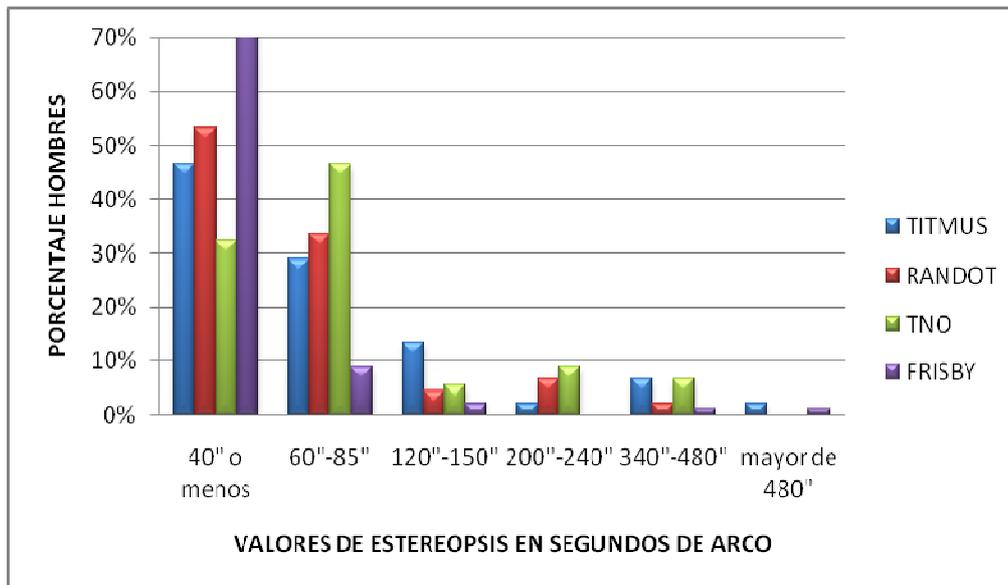


Figura 17: Estereopsis masculina

Finalmente comparando los valores femeninos y masculinos, el test de Titmus clasifica la muestra femenina con mejor estereopsis que la muestra masculina. En el test de Randot y en el de Frisby, también hay mayor porcentaje de mujeres en los intervalos de estereopsis que de hombres, sin embargo, con el test de TNO el porcentaje de hombres supera al de mujeres en los dos primeros intervalos, y, a partir de 200" de arco en adelante es al contrario.

También se puede observar que mientras solo el 1% - 4% de las mujeres tiene una estereopsis de 340 – 480" de arco, en el caso de los hombres el porcentaje máximo es del 7%.

3.1.2 ANALISIS DE LA ESTEREOPSIS SEGÚN DOS CRITERIOS

A continuación se van a analizar los resultados estereoscópicos según dos criterios.

CRITERIO DEL 90%

En primer lugar, considerando que el 90% de los sujetos explorados tienen una estereopsis normal, el punto de corte en los valores acumulativos de estereoagudeza resulta para cada test:

- Titmus valores < 100" de arco
- Randot < 100" de arco
- TNO < 120" de arco
- Frisby < 40" de arco

Analizando el total de personas que fallan cada test de manera independiente se obtiene (Tabla 2):

- Test de Titmus fallan 25 personas.
- Test de Randot 17 personas.
- Test de TNO 24 personas.
- Test de Frisby 21 personas.

(Considerando como fallo que los test den valores de estereopsis por debajo de los valores normales establecidos con este criterio).

Tras la adquisición de estos resultados se desconoce el número de personas que realmente tienen una estereopsis deficiente. Para estimarlo, se analizó cuantas personas fallaban 3 o más test y se obtuvo que 21 personas del total de la muestra tenían mala estereopsis (Tabla 2).

Una vez determinadas las personas con mala estereopsis (21) se evaluó el error de cada test por separado, es decir, los falsos positivos y negativos (sujetos a los que uno de los test les indica buena estereopsis y realmente la tienen deficiente ó al contrario, sujetos a los que el test les indica mala estereopsis y realmente se encuentran entre los valores normales).

Se obtuvo que el test de Titmus falló en 8 personas, el test de Randot en 12, TNO en 11 y el test de Frisby en 14 personas (Tabla 3).

Por último se van a comparar los resultados obtenidos cuando se evalúa solo con dos test a los sujetos, para ver cuál es la pareja de test más fiable (Tabla 4):

- Si solo se evalúa con los test de Titmus y Randot, se cometería fallo en 8 personas, las cuales serían diagnosticadas de mala estereopsis o de buena estereopsis por error, cuando en realidad, si se realizan los cuatro test, el diagnóstico sería contrario.

- Con Titmus y TNO el error sería en 6 personas.
- Con Titmus y Frisby el error sería en 9 personas.
- Con Randot y TNO en 12 personas cometeríamos error.
- Con Randot y Frisby en 13 personas.
- Con TNO y Frisby en 9 personas.

CRITERIO DEL 95%

Finalmente se realiza el mismo análisis pero tomando como criterio los aciertos del 95% de los sujetos. Se consideran como valores normales de cada test:

- Titmus < 200" de arco
- Randot < 140" de arco
- TNO < 240" de arco
- Frisby < 85" de arco

En base a este criterio analizando el número de personas que fallan cada test (Tabla 2):

- Test de Titmus fallan 9 personas.
- Test de Randot 11 personas.
- Test de TNO 10 personas.
- Test de Frisby 9 personas.

Analizando el número de personas que realmente tienen una estereopsis deficiente porque fallan tres o más test el resultado es 13 personas (Tabla 2).

En cuanto a los falsos ± de cada test, el test de Titmus falla en el análisis de 6 sujetos, el test de Randot en el de 4, el TNO en 3, y el test de Frisby en el de 12 sujetos (Tabla 3). (Considerando como fallo que el test estime estereopsis deficiente y tras la realización de tres o más test el sujeto la tenga correcta, o al contrario).

Por último evaluando con solo dos test y haciendo todas las posibles combinaciones para establecer cuál es la pareja que menos fallos comete, se obtiene (Tabla 4):

- Si solo evaluamos con los test de Titmus y de Randot, fallaríamos en 7 personas, las cuales diagnosticaríamos de mala estereopsis o de buena estereopsis por error, cuando en realidad, si pasamos los cuatro test el diagnóstico sería contrario.
- Con Titmus y TNO el error sería en 8 personas.

- Con Titmus y Frisby el error sería en 11 personas.
- Con Randot y TNO en 6 personas cometeríamos error.
- Con Randot y Frisby en 10 personas.
- Con TNO y Frisby en 8 personas.

SUJETOS QUE FALLAN CADA TEST	CRITERIO DEL 90%	CRITERIO DEL 95%
TITMUS	25	9
RANDOT	17	11
TNO	24	10
FRISBY	21	9
SUJETOS QUE FALLAN ≥ 3 TEST	21	13

Tabla 2: Representación de las personas que fallan cada test en los dos criterios. La última fila es el total de personas con mala estereopsis en los dos criterios.

FALSOS ± DE LOS TEST	CRITERIO DEL 90%	CRITERIO DEL 95%
TITMUS	8	6
RANDOT	12	4
TNO	11	3
FRISBY	14	12

Tabla 3: Muestra los falsos positivos y negativos de cada test en los dos criterios.

FALLOS CON 2 TEST 90/95%	RANDOT	TNO	FRISBY
TITMUS	8/7	6/8	9/11
RANDOT		12/6	13/10
TNO			9/8

Tabla 4: Compara cuantas personas tienen mala estereopsis cuando escogemos dos de los cuatro test, en los dos criterios analizados.

3.2 ANLISIS DE RESULTADOS EN TEST DEL COLOR

3.2.1 TEST DE ISHIHARA

A continuación se van a evaluar los resultados obtenidos en el test de Ishihara. En la realización de las pruebas, todos los sujetos fallaron alguna lámina al leer demasiado deprisa y no prestar la suficiente atención.

Los sujetos que fallan porque tengan alguna deficiencia en el color son 4(= 2% de la muestra)de los cuales, todos son hombres. Eliminado el dato del paciente número 5 para no falsear los datos obtenidos ya que, se le realizó la prueba a conciencia para diagnosticar la anomalía del color que el paciente ya sabía que tenía son 3 (=1.5%) los sujetos que poseen alguna anomalía del color.

Los 3 sujetos son:

Persona nº 161 diagnosticado como deuteranope fuerte. (Figura 18)

Persona nº 172 diagnosticado como deuteranope leve. (Figura 19)

Persona nº 142 diagnosticado como deuteranope fuerte. (Figura 20)

Ficha	161
Edad	21
Raza	Caucásica
Sexo	Masculino

1. Test de Ishihara Falla alguna

2	4	3	9
22	23	24	25

Deutan Strong

Figura 18: Test de Ishihara del sujeto número 161

Ficha	172
Edad	22
Raza	Caucásica
Sexo	Masculino

1. Test de Ishihara Falla alguna

2	4	3	8
22	23	24	25

Deutan mild

Figura 19: Test de Ishihara del sujeto número 172

Ficha	142
Edad	
Raza	Caucásica
Sexo	Masculino

1. Test de Ishihara Falla alguna

2	4	3	9
22	23	24	25

Deutan Strong

2. Test de Farnsworth-Munsell

1	4	7	16	19	13	22	10	25	31	28	34	37	40
43	46	49	52	67	55	61	58	64	70	73	76	79	82

DEUT TRIT PROT

Figura 20: Sujeto número 142 que falla el test de Ishihara y el test de Farnsworth.

3.2.2 TEST DE FARNSWORTH-MUNSELL C-28

Respecto al test de Farnsworth-Munsell, son 4 (= 2%) sujetos los que fallan el test:

Sujeto nº 142 deuteránope (Figura 20)

Paciente nº 15 tritánope muy leve. (Figura 21)

Paciente nº 27 tritánope. (Figura 22)

Paciente nº 152 tritán (Figura 23)

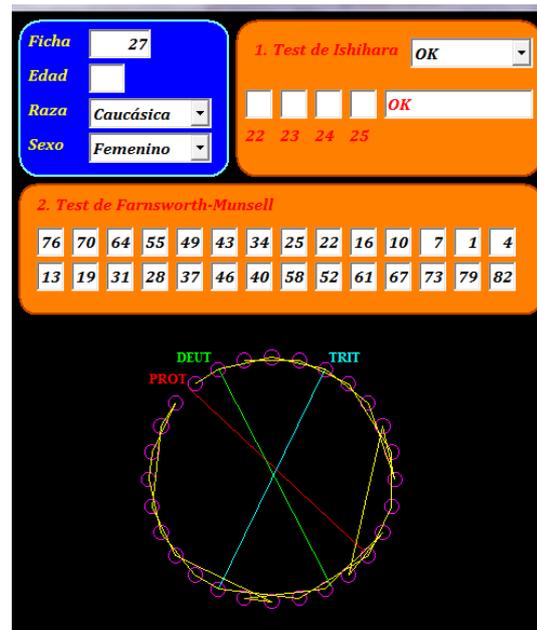
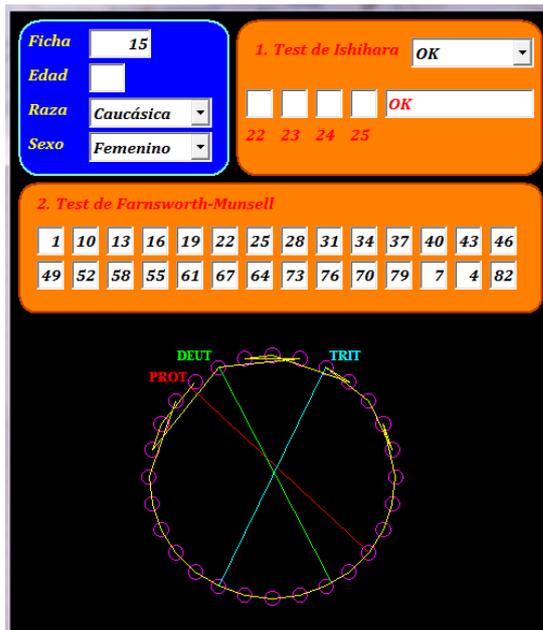


Figura 21: Sujeto nº 15 que falla el test de Farnsworth.

Figura 22: Sujeto nº 27 que falla el test de Farnsworth.

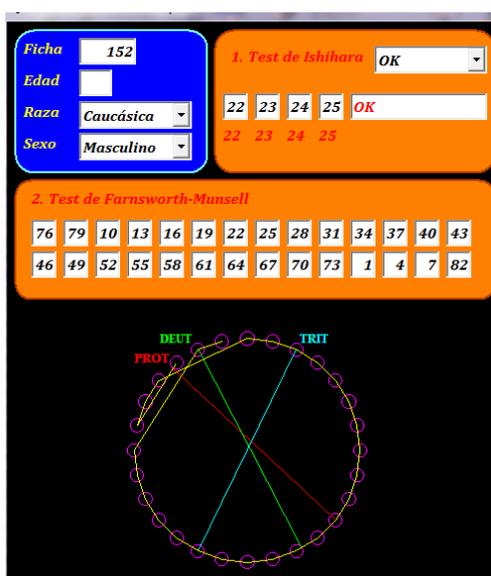


Figura 23: Sujeto nº 152 que falla el test de Farnsworth.

Como el test de Ishihara no detecta anomalías tipo tritan^{1, 18}. Esta es la razón por la que los sujetos 15, 27 y 152 fallan solo en el test de Farnsworth, sin embargo es la prueba más utilizada en la detección de anomalías rojo-verde^{3, 4}. Por otro lado de los pacientes diagnosticados con el test de Ishihara, solo uno, el sujeto número 142 (Figura 20) ha sido diagnosticado con los dos test como deuteranope.

De manera que si se sintetizan los resultados obtenidos con los dos test, 6 sujetos (los números: 15, 27, 142, 152, 161 y 172) han sido diagnosticados de alguna anomalía del color, lo

que es aproximadamente el 3%.

El sujeto número 5 que se ha descartado de los datos, también ha sido identificado con los dos test, deuteranope según Ishihara y protánope según Farnsworth con una muy leve tritanopía. (Figura 24).

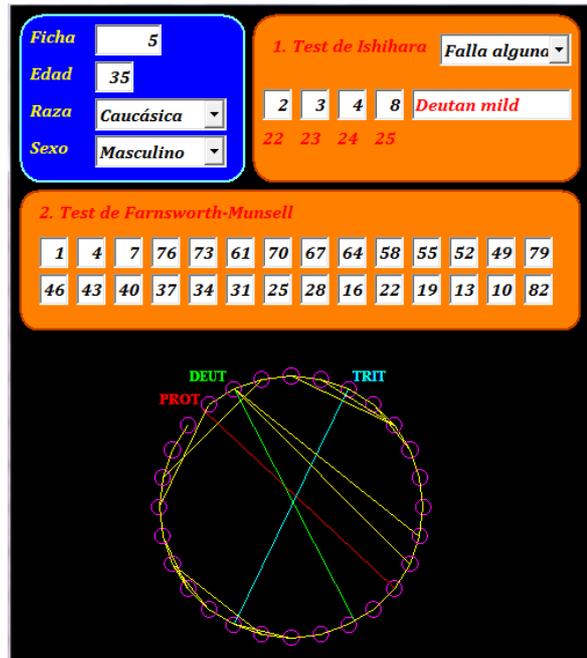


Figura 24: Sujeto 5 falla Ishihara Y Farnsworth

4. DISCUSIÓN

TEST DE ESTEREOPSIS

En el primer análisis realizado de los datos, se observa que el test de Frisby, es el que da mayores valores de estereoaigudeza en todos los intervalos evaluados (Figura 15), lo que se corresponde con los resultados obtenidos en algunos estudios^{16, 19}.

En cuanto a la comparativa entre el test de Randot y el test TNO, los resultados obtenidos hasta 60" de arco con Randot, son superiores a los obtenidos con TNO (Tabla 1). La bibliografía aporta que el test de Randot, da buenos resultados cuando se mide la estereopsis fina, menor a 160" de arco pero sobreestima los valores en peores estereoaigudezas^{10, 18}. Así pues parece que la balanza se inclina hacia los resultados obtenidos con el test de Randot en esos intervalos según los estudios.

En cuanto a los dos criterios (90 y 95%) utilizados en el análisis de los resultados, se puede observar que en el primer caso, criterio del 90%, serían 22 sujetos los que tendrían una estereoaigudeza inferior a la normalidad (redondeando el número de personas que tiene estereoaigudeza inferior a lo normal paracada test dentro del criterio), sin embargo, cuando se realizan dos test, la cifra se reduce a la mitad (≈ 10 personas), siendo los test de Titmus y TNO los más efectivos seguidos de Titmus y Frisby, o TNO y Frisby. Como se puede observar, el test de Randot no se encuentra entre ninguno de estos test, aunque si se realiza de forma independiente, es el que menor número de personas fallan (17 personas).

Por otro lado, en el criterio del 95%, al contrario que en el analizado hasta ahora, evaluando con un único test, el número de personas con estereoaigudeza deficiente es similar al obtenido cuando se realizan dos de los test. Entre los dos test que conjuntamente dan menos fallo se encuentra el test de Randot, a diferencia del criterio anterior, en conjunto con el test TNO.

TEST DE COLOR

En cuanto a los test de color es reseñable que dos de los sujetos identificados como deuteránopes con el test de Ishihara (sujeto 162 y sujeto 172) no hayan sido identificados también con el test de FarnsworthMunsell, de hecho el individuo 162 hace algún cambio insignificante en el test de Farnsworth (la ficha número 19 la cambia por la 22, y la número 52 por la 55), y el sujeto número 172 realiza el test de Farnsworth perfecto. Así pues sería recomendable volver a realizar las pruebas a ambos sujetos para corroborar este hecho y además ejecutar también el test de FarnsworthMunsell C-100, ya que, la bibliografía establece que el test de Farnsworth C-28 es una buena opción para descartar anomalías de una manera rápida y cuantitativa⁵, aunque el test de FarnsworthMunsell C-100 evalúa de una manera más completa^{3, 6, 7, 8}.

El porcentaje de anomalías congénitas obtenido en este trabajo (3%) es inferior al que establecen algunos autores como Sheiman¹ o el Manual de Optometría⁹.

Sin embargo, en un estudio realizado en Roma, se obtuvo que el 0.6% de 3 285 personas tenía alguna anomalía en la visión del color con el test de Ishihara²⁰. En otro estudio realizado a 382 personas con el test de Farnsworth C-100, el 2.3% presentó visión del color anómala⁷.

Así pues los resultados obtenidos con los test de color en el presente trabajo, se asemejan más a los porcentajes aportados por estos estudios.

5. CONCLUSIONES

Con respecto a los test de estereopsis, en conclusión, no es suficiente evaluar la visión binocular con un único test de estereopsis^{10, 11, 13, 14, 15}, ya que como se ha ido viendo a lo largo de este trabajo, cada test aporta un valor diferente de estereoagudeza por lo que hay que tener en cuenta qué test se está utilizando y cuáles son los valores normales considerados. En un estudio realizado por Sherry L.¹⁴ a 54 sujetos normales y 91 con anomalías binoculares se pueden apreciar los diferentes valores de estereopsis que aporta cada test, ya sea porque las pruebas basadas en contornos miden rangos de estereopsis diferentes, o porque miden con mayor precisión la función macular, es necesaria una mayor investigación acerca del tema¹⁴.

En cuanto a la visión de color, la frecuencia de anomalías congénitas es escasa, de un 3% en este estudio, con mayor frecuencia en el sexo masculino que en el femenino. Además como se ha podido comprobar es imprescindible realizar los dos test de color para establecer un diagnóstico claro.

Con respecto a posibles propuestas para futuros estudios, me ha parecido muy interesante la hipótesis de que la estereopsis gruesa se desarrolla antes que la estereopsis fina, pues como afirma el artículo, el papel de la estereopsis gruesa todavía no está muy claro. Además, como añade el artículo, los sujetos ambliopes conservan la estereopsis gruesa, lo cual puede ser de gran importancia en aplicaciones clínicas¹¹. Así pues creo que sería muy interesante indagar sobre estos conceptos y aportar datos que clarifiquen o resuelvan algunas de las ideas propuestas.

En mi opinión, la realización de este trabajo me ha aportado mayor conocimiento y madurez de los conceptos acerca del tema tratado, además resultó agradable estar en contacto directo con la gente en la realización de las pruebas, y la pericia que supuso poder llegar a los 200 sujetos fue todo un reto. Por otro lado, he aprendido que no es fácil realizar un número largo de pruebas similares de forma amena, y que cuanto más clara y sencilla sea la explicación de lo que tienen que realizar, más rápido saben en qué consiste cada prueba, siendo muy importante cerciorarnos de que la han comprendido.

El desconocimiento poblacional acerca de la estereopsis propia de cada individuo, en contra de la conciencia de las anomalías del color en la población estudiada, es un hecho que ya esperaba, pues los juicios de color se encuentran en la vida diaria, mientras que la visión estereoscópica se posee de forma inconsciente. Con la llegada de las nuevas tecnologías como el cine en 3D, la estereoagudeza cobra mayor importancia en la población. Aún así existe un gran desconocimiento acerca de la visión en profundidad, por lo que creo que este trabajo ayudó a que la población participe, se familiarizara con la definición de estereopsis de forma práctica, facilitando la comprensión del concepto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Scheiman M, Rouse MW. Optometric management of learning-related vision problems.: Elsevier Health Sciences; 2006.
- (2) Grosvenor T. Optimetría de atención primaria. : Masson; 2004
- (3) Dain SJ. Clinical colour vision tests. Clinical and Experimental Optometry 2004;87(4-5):276-293.
- (4) Birch J. Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. Ophthalmic and Physiological Optics 1997;17(5):403-408
- (5) Erb C, Adler M, Stübiger N, Wohlrab M, Zrenner E, Thiel HJ. Colour vision in normal subjects tested by the colour arrangement test 'Roth 28-hue desaturated'. Vision Res 1998 -;38(21):3467.
- (6) Luque M, De Fez M, Diez M. Directrices para la administración y puntuación del Test Farnsworth-Munsell de 100 tonos. Ver y Oír 2001:413-420.
- (7) Kinnear PR, Sahraie A. New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70. Br J Ophthalmol 2002 Dec;86(12):1408-1411.
- (8) Luque M, De Fez M, Diez M. Directrices para la administración y puntuación del Test Farnsworth-Munsell de 100 tonos. Ver y Oír 2001:413-420
- (9) Martín Herranz R, Vecilla Antolinez G. Manual de Optimetría. : Panamericana; 2010.
- (10) Garnham L, Sloper JJ. Effect of age on adult stereoacuity as measured by different types of stereotest. Br J Ophthalmol 2006 Jan;90(1):91-95.
- (11) Biddle M, Hamid S, Ali N. An evaluation of stereoacuity (3D vision) in practising surgeons across a range of surgical specialities. The Surgeon 2014 2;12(1):7-10.
- (12) Giaschi D, Lo R, Narasimhan S, Lyons C, Wilcox LM. Sparing of coarse stereopsis in stereodeficient children with a history of amblyopia. J Vis 2013 Aug 28;13(10):10.1167/13.10.17.
- (13) Gegenfurtner KR, Kiper DC. Color vision. Neuroscience 2003;26(1):181.
- (14) Fawcett SL. An Evaluation of the Agreement Between Contour-Based Circles and Random Dot-Based Near Stereoacuity Tests. Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus 2005 12;9(6):572-578.
- (15) Arias-Díaz A, Bernal-Reyes N, Pérez-Martinto PC, Correa-Madrigal O. Medición de agudeza visual estereoscópica en una población infantil sana. Revista Mexicana de Oftalmología 2013;87(4):215-219.
- (16) Anketell PM, Saunders KJ, Little J-. Stereoacuity norms for school-age children using the Frisby stereotest. Journal of AAPOS 2013;17(6):582-587.
- (17) Artigas JM, Perea PC, i Ramo JP. Tecnología del color. : Universitat de valencia; 2002.
- (18) Fawcett SL, Birch EE. Validity of the Titmus and Randot circles tasks in children with known binocular vision disorders. Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus 2003;7(5):333-338.
- (19) Bohr I, Read JC. Stereoacuity with Frisby and Revised FD2 Stereo Tests. PloSone 2013;8(12):e82999.
- (20) Malaspina P, Ciminelli BM, Pelosi E, Santolamazza P, Modiano G, Santillo C, et al. Colour blindness distribution in the male population of Rome. Hum Hered 1986;36(4):263-265.

7. ANEXOS

7.1 ANEXO 1

Programa utilizado para la recopilación de los datos:

The screenshot shows a software interface for data collection, organized into several colored panels:

- Blue Panel (Top Left):** Personal data fields including "Ficha" (ID), "Edad" (Age), "Raza" (Race) with a dropdown menu set to "Caucásica", and "Sexo" (Sex).
- Orange Panel (Top Middle):** "1. Test de Ishihara" with a dropdown menu set to "OK" and four input boxes labeled "22", "23", "24", and "25".
- Orange Panel (Middle Left):** "2. Test de Farnsworth-Munsell" with a grid of 28 numbered boxes (1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40 in the top row; 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70, 73, 76, 79, 82 in the bottom row).
- Green Panel (Top Right):** "3. Test de Titmus-Wirt" with two input boxes.
- Green Panel (Middle Right):** "4. Test de Randot" with two input boxes.
- Green Panel (Lower Middle Right):** "5. Test TNO" with one input box.
- Green Panel (Bottom Right):** "6. Test de Frisby" with three input boxes labeled "6 mm", "3 mm", and "1.5 mm", and a "cm" label.
- Purple Panel (Bottom Center):** A large "OK" button.