

Illumination sources, optic filters, and their influence in the Farnsworth Munsell 100 Hue color test

Influencia del tipo de iluminación y del uso de filtros ópticos en la realización del test de color Farnsworth Munsell 100 Hue

S. Ezpeleta¹, S. Aznar¹, C. Corbacho¹, A. Sánchez-Cano^{1,2,S*}, J. Aporta^{1,S}

1. *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.*

2. *Instituto Investigación Sanitaria Aragón (IIS Aragón), Zaragoza, España.*

(*) E-mail: anaisa@unizar.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received: 19/04/2017

Accepted: 09/05/2018

DOI: 10.7149/OPA.51.2.5009

ABSTRACT:

The aim of this work is to evaluate the response of healthy subjects to the Farnsworth-Munsell 100 Hue color test using colored optical filters and without them under different illuminations. Thirty healthy subjects (range 20-27 years) performed this color test under simulated A, D65 and LED illuminants, without and with three different filters. Results indicate that LED could be a good alternative to perform Farnsworth Munsell 100 Hue color test. Colored filters modify color perception in specific spectral regions, it should be taken into account when a subject wears these filters.

Key words: Farnsworth Munsell 100 Hue, A illuminant, D65 illuminant, LED, optical filters, colored filters

RESUMEN:

La finalidad de este trabajo ha sido analizar la variabilidad de los resultados obtenidos al realizar el test de color Farnsworth-Munsell 100 Hue en diferentes condiciones de observación e iluminación. El test se realizó a 30 sujetos jóvenes (entre 20 y 27 años de edad) sin alteraciones en la visión cromática. Se variaron las condiciones de iluminación utilizando fuentes de luz que simulaban al iluminante A y D65, y con una fuente de luz LED, además se utilizaron filtros ópticos coloreados. Los resultados indican que la fuente de iluminación LED podría ser adecuada como alternativa para la realización del test de color Farnsworth Munsell 100 Hue. Los filtros coloreados modifican la percepción de los colores en determinadas regiones del espectro lo que debería tenerse en cuenta a la hora de su porte.

Palabras clave: Farnsworth Munsell 100 Hue, iluminante A, iluminante D65, LED, filtros ópticos, filtros de color

REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] G. Wyszecki y W. S. Stiles, *Color science :concepts and methods, quantitative data and formulae*, John Wiley & Sons, New York etc. (2000).
- [2] C. Urtubia Vicario y Univesidad Politécnic de Catalunya, *Neurobiología de la visión* Ediciones de la Universitat Politécnic de Catalunya, Barcelona (1999).
- [3] S. J. Dain, "Clinical colour vision tests", *Clin. Exp. Optom.* **87**, 276-293 (2004).
- [4] M. García-Romera, M. Grosman, M. Sánchez-Maran, L. Gómez-Robledo y M. Melgosa, "On the uniformity of the 'Farnsworth-Munsell 100-Hue' test", *Opt. Pura. Apl.* **44**, 139-148 (2011).
- [5] D. Farnsworth, "The Farnsworth-Munsell 100-hue and dichotomous tests for color vision", *J. Opt. Soc. Am.* **33**, 568-578 (1943).
- [6] R. Roa, R. Huertas, M. López-Álvarez, L. Gómez-Robledo y M. Melgosa, "A comparison between illuminants and light-source simulators", *Opt. Pura. Apl.* **41**, 291-300 (2008).

- [7] J. Moreland, V. Cheung y S. Westland, "Evaluation of a model to predict anomalous-observer performance with the 100-hue test", *J. Opt. Soc. Am. A* **31**, A130 (2014).
 - [8] G. C. Woo y M. Lee, "Are ethnic differences in the F-M 100 scores related to macular pigmentation?", *Clin. Exp. Optom.* **85**, 372-377 (2002).
 - [9] F. Eperjesi, C. W. Fowler y B. J. W. Evans, "Do tinted lenses or filters improve visual performance in low vision? A review of the literature", *Ophthalmic Physiol. Opt.* **22**, 68-77 (2002).
 - [10] B. Severinsky, C. Yahalom, T. F. Sebok, V. Tzur, S. Dotan y E. A. Moulton, "Red-tinted contact lenses may improve quality of life in retinal diseases", *Optom. Vis. Sci.* **93**, 445-450 (2016).
 - [11] M. D. de Fez, M. J. Luque y V. Viqueira, "Enhancement of contrast sensitivity and losses of chromatic discrimination with tinted lenses", *Optom. Vis. Sci.* **79**, 590-597 (2002).
 - [12] P. Lacherez, A. K. Saeri, J. M. Wood, D. A. Atchison y M. S. Horswill, "A yellow filter improves response times to low-contrast targets and traffic hazards", *Optom. Vis. Sci.* **90**, 242-248 (2013).
 - [13] C. C. Lana, N. Fernandes, A. Monteiro y A. Almeida, "Lighting conditions and optical filters effects on visual performance of speleologists exposed to cave environments", *Int. J. Speleol.* **45**, 27-33 (2016).
 - [14] M. E. Breton, D. E. Fletcher y T. Krupin, "Influence of serial practice on Farnsworth-Munsell 100-hue scores: the learning effect", *Appl. Opt.* **27**, 1038-1044 (1988).
 - [15] M. Yamagishi, K. Yamaba, C. Kubo, K. Nokura y M. Nagata, "Effects of LED lighting characteristics on visual performance of elderly people", *Gerontechnology* **7**, 243 (2008).
-

1. Introducción

La percepción del color por el ser humano se encuentra en el espectro electromagnético visible, concretamente entre los 380nm y los 780nm. Dentro de estos parámetros los observadores normales, sin alteración en la visión del color, tienen diferentes sensibilidades a la hora de la discriminación cromática, sobre todo con el tono de los colores [1]. En el funcionamiento visual cromático intervienen los fotorreceptores retinianos llamados conos. El pigmento existente en los conos tiene dos partes fundamentalmente: la opsina o fopsina, que es una proteína y por otro lado el 11-cis retinal, molécula encargada de absorber la luz. La diferenciación de los tres tipos de conos presentes en la retina se debe a la existencia de tres tipos de opsinas, que reaccionaran de forma distinta con el 11-cis retinal. Concretamente los que contienen el pigmento denominado eritrolabe, absorben longitudes de onda largas (L), con el pigmento clorolabe, absorben las medias (M), y por último con el pigmento cianolabe, las longitudes de onda cortas (S). El proceso de la visión del color se lleva a cabo cuando los conos son excitados por la longitud de onda respectiva. El 11-cis retinal pasa a la forma trans, liberándose de la opsina. Este cambio químico, en los tres tipos de fotorreceptores, junto con el procesamiento neuronal en la retina y a nivel cerebral, influido por el entorno psicológico de la persona, da lugar a la percepción del color [2].

Unos de los test más utilizados para la evaluación de la visión cromática es el Farnsworth-Munsell 100 Hue (FM100), que se caracteriza porque sus fichas mantienen luminancia constante [3-5]. El manual de usuario del FM100 especifica el uso del test bajo el iluminante C con una Temperatura de Color Correlacionada (TCC) de 6740K, o en su defecto un iluminante D65 (TCC de 6500K), y el nivel de iluminación de la zona de ordenación de las fichas de al menos 270 lux. No se concreta nada acerca del Índice de Reproducción Cromática (IRC) ni tampoco sobre el espectro del iluminante utilizado en la ordenación del test. Las diferencias entre iluminantes teóricos y fuentes de luz reales en algunos casos son muy altas, no sólo en irradiancia espectral sino también en TCC e IRC [6]. Este hecho podría influir de forma notable en los resultados que se encuentran en la realización del FM100.

El uso de filtros coloreados como ayudas a sujetos con defectos de la visión del color y su repercusión en la realización del test FM100 se ha descrito con anterioridad, así como la influencia del pigmento macular en la realización de dicho test [7,8]. Existen estudios sobre la mejora de la función visual con el uso de lentes tintadas en baja visión y con el uso de lentes de contacto tintadas en color rojo en patologías retinianas, deslumbramientos o fotofobia [9-11]. En sujetos sanos también está descrita la mejora de la sensibilidad al contraste con el uso de filtros amarillos tanto en la conducción como en actividades deportivas [12,13]. Aunque los beneficios visuales del uso de filtros, en cuanto a mejora del contraste queda patente, se hace necesaria la valoración de la visión cromática de los sujetos portadores de dichos filtros.

El objetivo de este trabajo es valorar con qué tipo de iluminación pueden conseguirse mejores resultados en la ordenación del test de color FM100 y cómo afecta el uso de filtros ópticos coloreados a la visión cromática.

2. Material y métodos

2.a. Sujetos y test de color Farnsworth-Munsell 100 Hue

Este estudio se realizó con la colaboración de 31 sujetos (21 mujeres y 10 hombres) elegidos de forma aleatoria de entre los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza (España). El rango de edad fue de 20 a 27 años, con una media de $22,13 \pm 1,34$ años. Todas las personas se calificaron a sí mismas como sanas y se comprobó que tenían una correcta visión del color con el test de Ishihara. Este estudio se realizó de acuerdo a los principios de la Declaración de Helsinki.

El test FM100 (Richmond Products Inc., Albuquerque, NM, USA) se realizó en el interior de una cabina de fabricación propia, tipo GretagMacbeth, con las paredes de fondo en color Munsell N7, de forma binocular, y ordenando las fichas de las cuatro cajas que forman el test de color FM100 siguiendo las instrucciones de uso proporcionadas por el fabricante. La prueba completa constaba de 12 ordenaciones con secuencias aleatorias. El optometrista que realizó las pruebas fue el que decidió el orden de la prueba (iluminante, filtro y caja de fichas) para cada uno de los voluntarios para conseguir minimizar el efecto aprendizaje [14]. Se hicieron descansos de 5 minutos entre cada una de las ordenaciones completas.

Adicionalmente cada una de las 85 fichas del test FM100 se midió con un espectrofotómetro CM-700d (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japón) para la realización de cálculos teóricos.

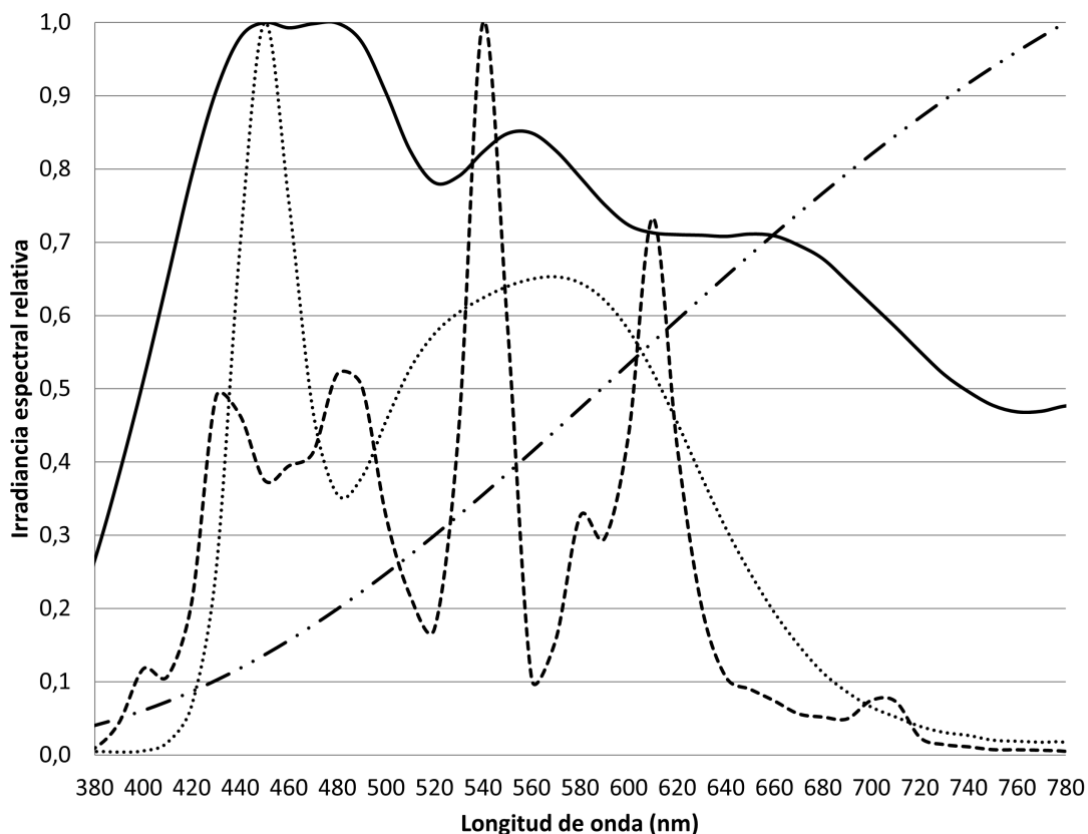


Fig.1. Curva de distribución espectral de las diferentes fuentes de luz utilizadas. Iluminante C teórico (—), iluminante A (— · —), LED (····) y fluorescente D65 (----).

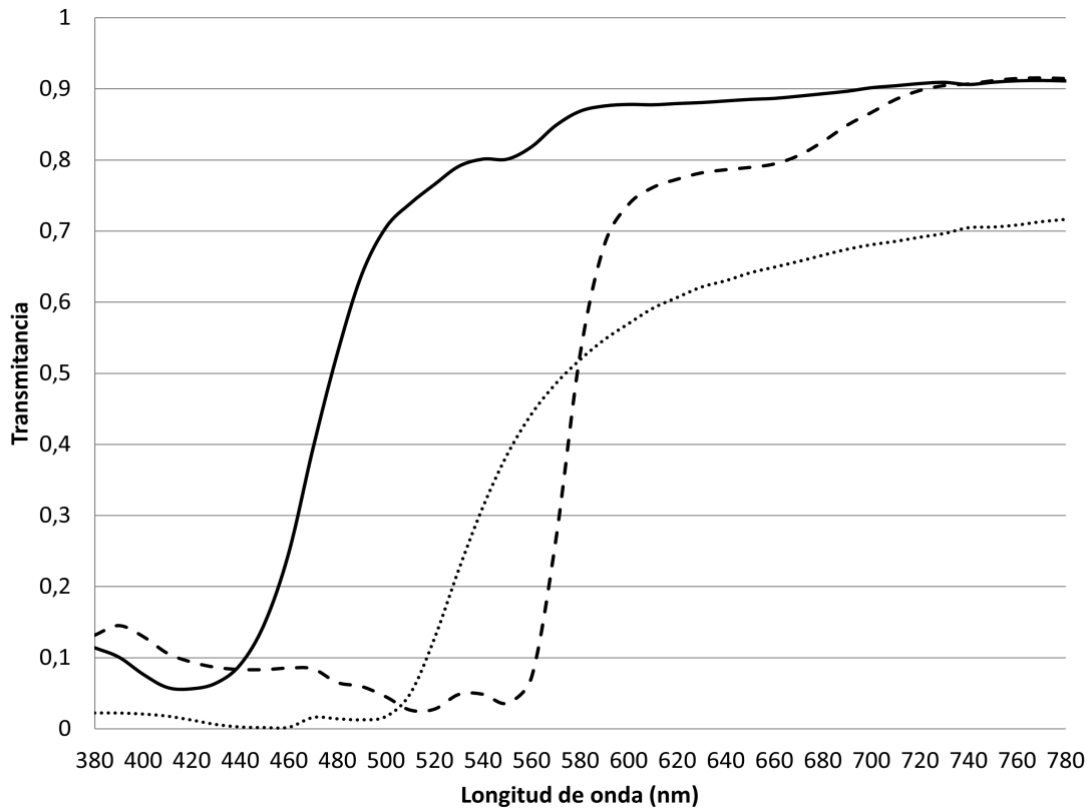


Fig.2. Transmitancia espectral de los filtros usados para la ordenación del test Farnsworth-Munsell. Curva de transmitancia de los filtros utilizados. Amarillo (—), naranja (····) y rojo (----).

2.b. Tipos de fuentes de iluminación y filtros

La ordenación del test FM100 se realizó con tres tipos de lámparas: lámpara halógena equivalente al iluminante A (Tc 2777K e IRC 99,1), fluorescente simulando al iluminante D65 (TCC 6327K e IRC 92,7) y LED (TCC 5997K e IRC 81,6). La distribución espectral de las lámparas (Fig.1) se midió con un espectrorradiómetro AvaSpec-1024 (Avantes, Apeldoorn, The Netherlands). El test FM100 debe realizarse, según el fabricante con un iluminante C, en la Fig.1 puede verse la diferencia de distribución espectral de este iluminante con los utilizados en el estudio. El nivel de iluminación en el plano de trabajo para todos los casos fue de 900lux, medidos con un luxómetro C.A 813 (Chauvin Arnoux, Paris, France).

Además se utilizaron tres filtros ópticos de distinta coloración amarillo, naranja y rojo para ver la incidencia que tienen este tipo de filtros en la visión del color. La transmitancia espectral de cada uno de ellos se midió con un espectrofotómetro modular de fabricación propia (Fig.2).

3. Resultados y discusión

La alineación de las fichas del test FM100 con los iluminantes utilizados y con el porte de filtros ha sido incorrecta en todos los casos, en la TABLA 1 se indica el error promedio resultante de la ordenación del test. El error promedio en la ordenación de las fichas sin filtro ha sido superior al 30% para todos los iluminantes. Se observa que el uso de una lámpara D₆₅ o LED permite, en términos generales, mejor reconocimiento y ordenación de las fichas de color. Para un análisis más exhaustivo de la ordenación se hace necesario analizar cada caso por separado como se hace a continuación.

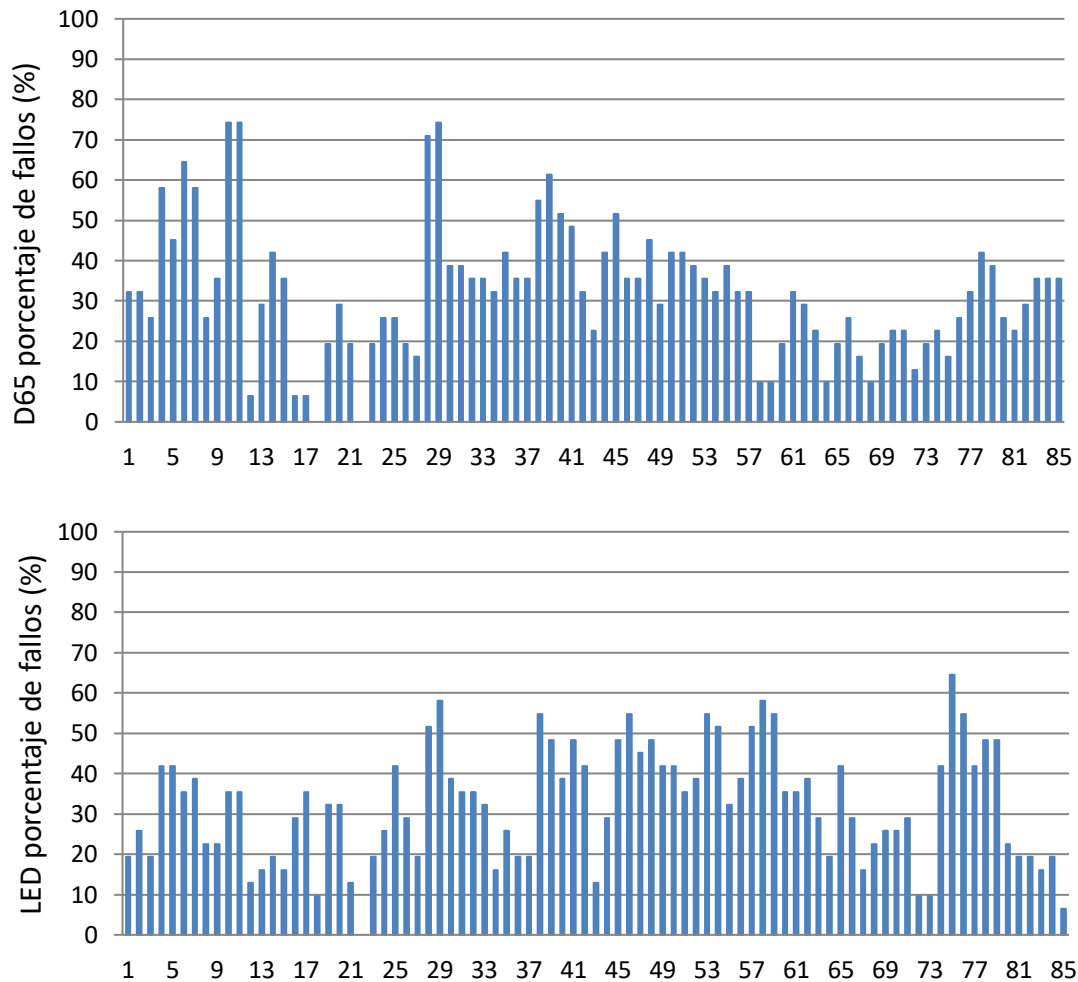
TABLA 1. Error promedio (%) en la colocación de las 85 fichas del test FM100

Lámpara	Sin filtro	Con filtro amarillo	Con filtro naranja	Con filtro rojo
D ₆₅	32,11	41,82	59,85	59,81
LED	32,52	39,24	64,55	57,34
A	34,88	48,43	65,62	67,82

3.a. Farnsworth-Munsell sin filtros

La colocación de las fichas número 18 y 22 (tonos amarillos-verdes) ha sido correcta en todos los sujetos cuando han realizado el test con el iluminante D65 (Fig.3). Se ve una disminución de los fallos en la colocación de las fichas de la 16 a la 27 (<30%) y de la 58 a la 77 (<35%). Las fichas colocadas con más porcentaje de error son: la 10, 11 y 29 (74,2%) y la 28 (71%). Con iluminación LED la ficha 22 fue colocada en su posición correcta por todos los sujetos y ninguna ficha supera el 65% de fallos. Hay mayor porcentaje de fallos en las fichas correspondientes a colores verdes, azules y rojizos. Con el iluminante A, al igual que con los iluminantes anteriores, se sigue respetando las mismas zonas de menor porcentaje de fallos. Con un porcentaje de fallos <10% en la colocación de las fichas 19, 22, 63, 72 y 85. Los valores máximos de errores (del 60-65%) en las fichas 28, 38, 40, 41, 47, 51 y 52 correspondiente a colores verdes.

Analizando los resultados en función del IRC, las tres lámparas superan el 80, por lo tanto todas ellas deberían de tener una aceptable reproducción del color. En términos generales, se observa que con el iluminante que menos porcentaje de fallos se comente, de forma general a lo largo de todo el espectro visible, es con LED (ninguna ficha ha superado el 65% de error), seguido de D65 y por último con el iluminante A. En los últimos años se discute sobre la evolución que están teniendo los LEDs tanto en el tipo de iluminación que proporcionan como de la reproducción cromática del entorno ya que su curva de distribución espectral no es uniforme, como la del iluminante C o del A. Los resultados de este trabajo indican que son varios los parámetros a tener en cuenta en la elección de iluminante, al igual que la importancia de los valores de luminancia y de reproducción del color de los iluminantes para un buen rendimiento visual [15].



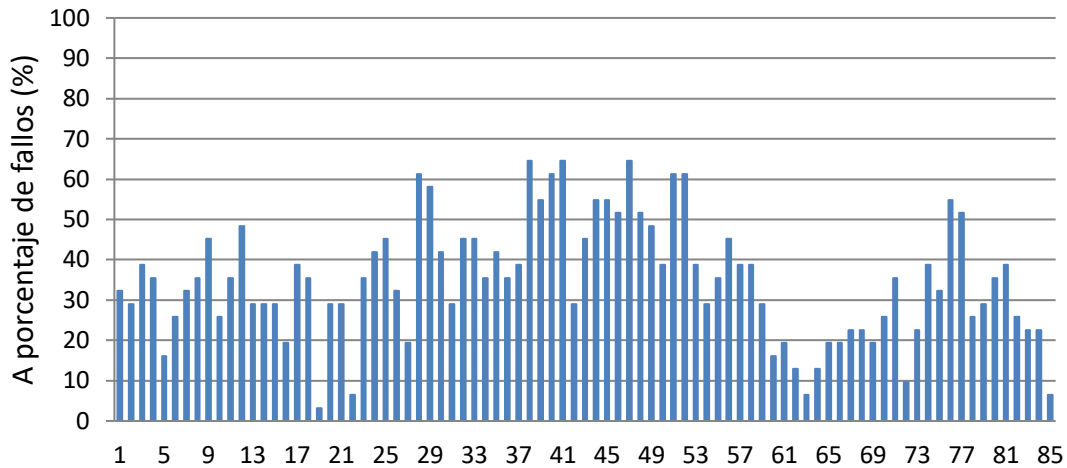


Fig.3. Porcentaje de fallos cometidos en la ordenación de las 85 fichas del test Farnsworth-Munsell al realizarlo sin filtros. Arriba con iluminante D65, centro con LED, abajo con iluminante A.

En la Fig.3 se observa que en determinadas fichas hay un valor muy bajo o muy alto de porcentaje de errores independientemente del tipo de iluminación. Se puede calcular el ΔE^* entre dos fichas consecutivas del test FM100. La Luminancia L^* es prácticamente constante en todas las fichas, sin embargo los cambios en las coordenadas a^* y b^* no son uniformes entre una ficha y la contigua, por tanto los ΔE^* no son constantes entre cada dos fichas. Esta falta de uniformidad entre fichas consecutivas hace que el ojo humano sea capaz de diferenciar con más facilidad las diferencias ente algunas [4]. Se puede calcular ΔE^* como la diferencia entre las coordenadas CIE Lab correspondientes a los dos espectros (Eq.1).

$$\Delta E^* = [(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Una de las limitaciones del test es la existencia de considerables variaciones no uniformes en el color entre dos fichas consecutivas y las variaciones de luminosidad (CIE L^*) entre fichas, lo que sirve como pista para la ordenación de éstas incluso en ausencia de visión cromática [3]. En concreto para la iluminación LED, en la colocación de la ficha 22 no ha fallado nadie, esto podría deberse a que ΔE^* es muy alta entre dos fichas consecutivas. Por ejemplo en la ficha 23 respecto a la 22 se obtiene que $\Delta E^* = 4,0$. Al contrario ocurre en las ficha 75, en este caso la ficha 76 con respecto a la ficha 75, $\Delta E^* = 0,2$, lo que resulta muy difícil de apreciar para el ojo.

3.b. Farnsworth-Munsell con filtros

Al realizar la prueba FM100 usando un filtro amarillo con el iluminante D65 (Fig.4), la ficha número 22 también ha sido colocada por todos los sujetos correctamente y la 18 con errores <10%. En la Fig.4 se sigue viendo una disminución de los fallos de las fichas de la 16 a la 27 y de la 58 a la 75, como ocurría en el caso sin filtro. En las fichas 6 y 7 sube el porcentaje de errores (90%), y en las fichas 38, 39 y 47 (>80%). Con LED se vuelve a repetir un éxito en todos los sujetos en la colocación de la ficha número 22 y en la 18 el error <4%, además se ve una disminución del porcentaje de fallos de la ficha 16 a la 28 y de la 61 a la 74. En las fichas 22, 23, 83 y 84 el porcentaje de fallos es <10%. Con el iluminante A se observa un porcentaje de fallos muy elevado en las fichas 1 y 4 (> 95%) y en las 2, 38, 76 y 77 (>80%). Las fichas con menos porcentaje de fallos (<20%) son la 16, 22, 63, 64, 68 y 74.

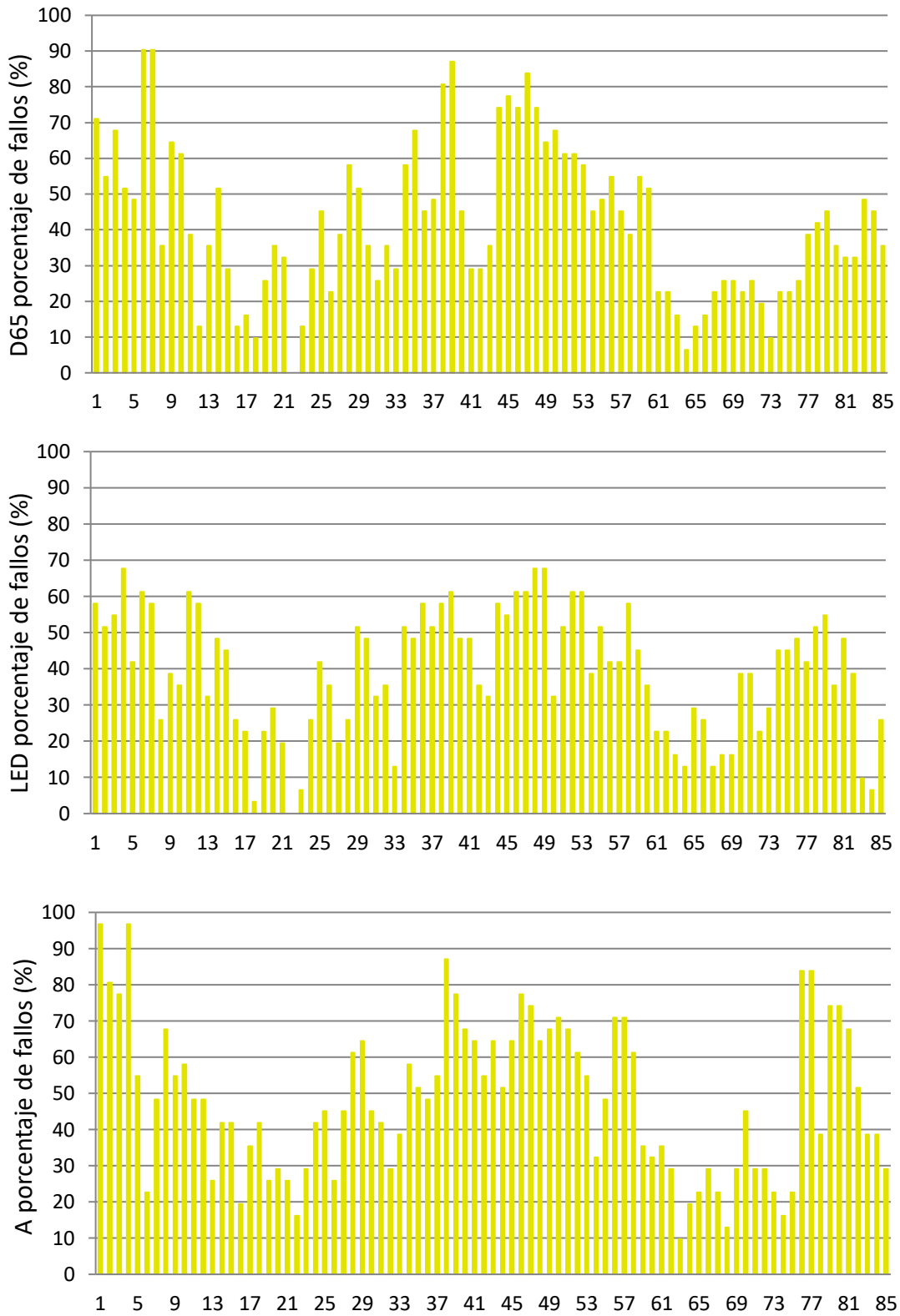
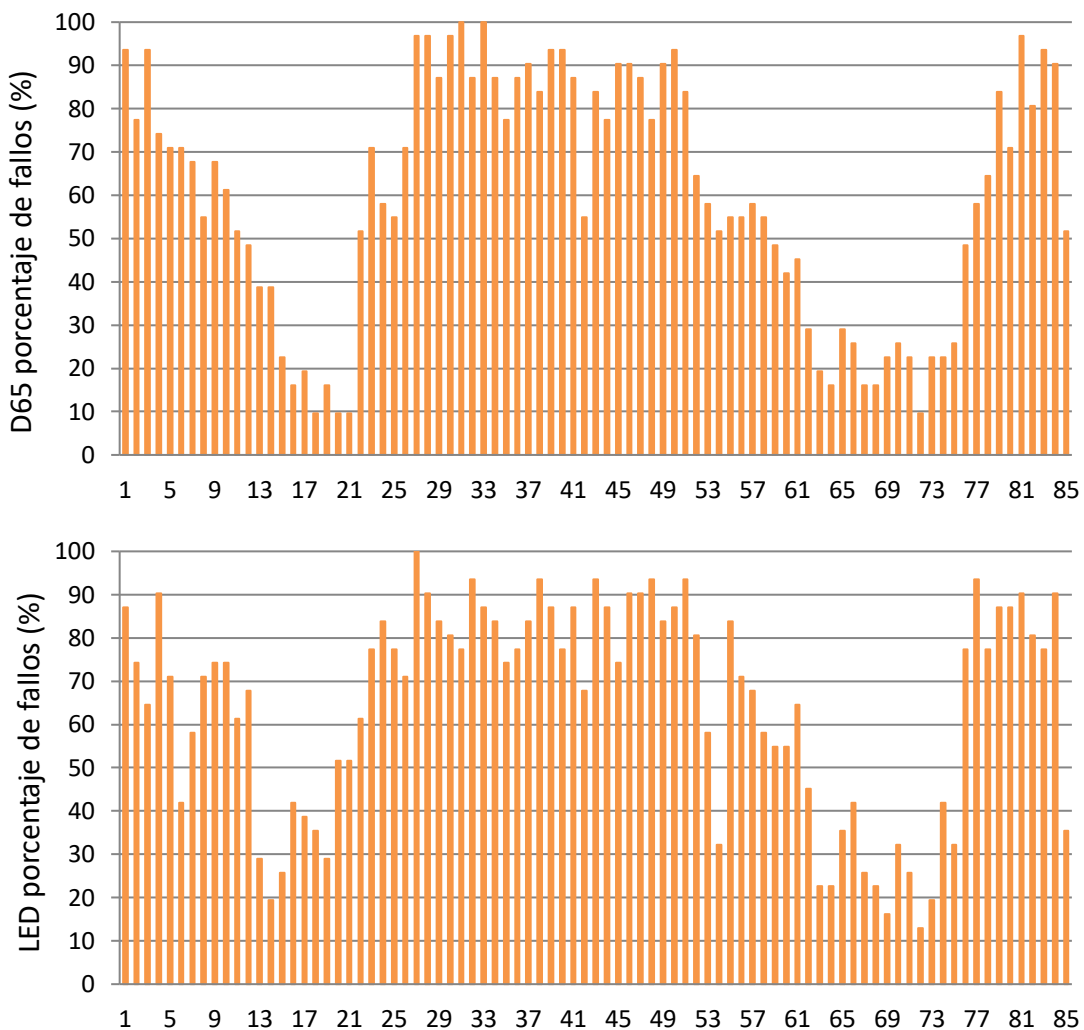


Fig.4. Porcentaje de fallos cometidos en la ordenación de las 85 fichas del test Farnsworth-Munsell al utilizar el filtro amarillo. Arriba a la con iluminante D65, centro con LED, abajo con iluminante A.

En la Fig.5, con el D65 y el filtro naranja, se observa que hay dos fichas (la 31 y la 33) que todos los sujetos han colocado en una posición errónea. En las fichas 1, 3, 27, 28, 30, 37, 39, 40, 45, 46, 49, 50, 81, 83 y 84 el porcentaje de fallos es superior al 90%. Se respetan las zonas con errores <10% en las fichas 18, 20, 21 y 72. Con LED también existe un fracaso en la colocación de la ficha número 27 y se respeta el bajo porcentaje de fallos en las mismas zonas de fichas. Excepto en las fichas 14, 69, 72 y 73, los resultados indican <20% de fallos. Con A se ve que todos los sujetos han colocado erróneamente las fichas 1, 27 y 29. De forma general los valores han sido >50% de fallos de la ficha 1 a la 12, de la 22 a la 53 y de la 76 a la 85, exceptuando las zonas de la ficha 13 a la 21 y de la 61 a la 75 donde se mejora la colocación.

En general, en la Fig.5 se observa que en la zona de las fichas de color verde hay un aumento en el porcentaje de fallos hasta llegar al 100% de errores. El filtro naranja (Fig.1), con un valor más bajo de transmitancia en las longitudes de onda cortas y medias (prácticamente 0), aumenta la dificultad de la ordenación de las fichas verdes del test FM100 correspondientes a su color complementario.



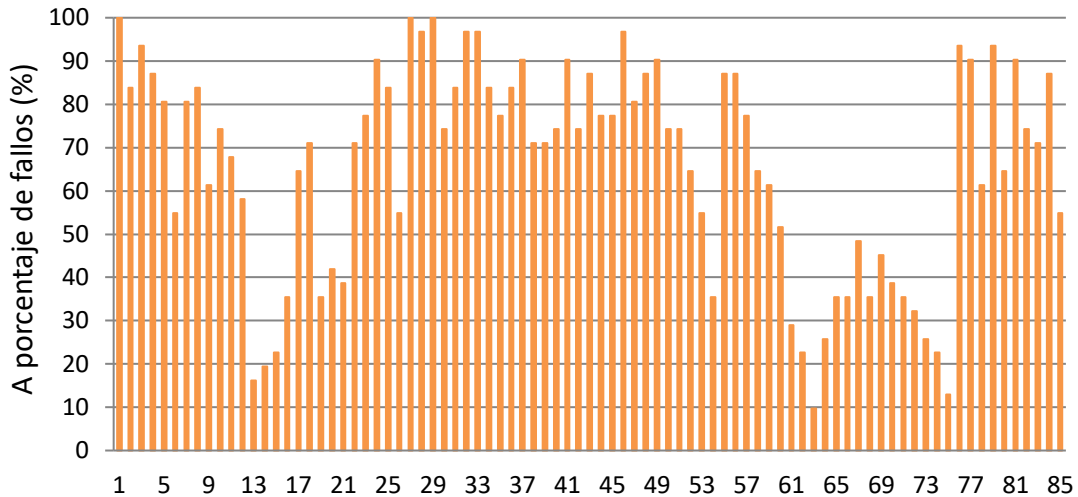


Fig.5. Porcentaje de fallos cometidos en la ordenación de las 85 fichas del test Farnsworth-Munsell al utilizar el filtro naranja. Arriba con iluminante D65, centro con LED, abajo con iluminante A.

En la ordenación del FM100 con D65 y el filtro rojo (Fig.6), las fichas 17, 57 y 60 dan un 90% de fallos. En cuanto a los resultados totales en la mayoría de las fichas se comenta una colocación errónea superior al 30% excepto en la 22, 63, 75 y 85. Con LED las fichas 22 y 85 tienen un menor porcentaje de fallos respecto al resto (<17%) y la 29 y la 55 la han fallado el 90% de sujetos. Con A, la ficha 29 (color verde) está mal colocada por todos los sujetos. La ficha 63 es la más sencilla de posicionar, error <10%. Exceptuando las fichas 62, 63, 64, 75 y 85, el resto tiene como resultado un porcentaje de fallos >40%. En general, con el filtro rojo el comportamiento es más caótico y destaca respecto al resto, las dos zonas de disminución de los errores no se observan con todas las situaciones.

Globalmente se ha encontrado un mayor porcentaje de fallos en las fichas correspondientes a colores verdes (de la ficha 20 a la 45 aproximadamente). El porcentaje de fallos de las fichas 27, 28 y 29 es muy elevado y ocurre con los tres tipos de iluminantes. La explicación a esto, podría encontrarse en la sensibilidad cromática de los observadores junto con el tamaño de las elipses de MacAdam [1]. Cada elipse contiene colores que no podrían distinguirse si se observan con la misma luminancia, tienen diferentes tamaños y orientaciones en las distintas zonas del diagrama cromático. Dos puntos cercanos de la zona de los violetas, difieren lo mismo que dos puntos alejados de la zona de los colores verdes. De esta forma quedaría explicada la mayor dificultad que tiene un observador para distinguir entre tonos verdes respecto a cualquier otra zona.

Otro dato importante es que los filtros amarillo y rojo llegan a una transmitancia del 90% en longitudes de onda largas, mientras que el naranja para las mismas longitudes de onda llega a un 70%. Esto podría influir sobre la luminancia que percibe el ojo al observar a través del filtro naranja, repercutiendo en percepción cromática del test, basado en fichas de isoluminancia.

Hay unas zonas de menor error en la colocación de las fichas, de la 12 a la 23 y de la 61 a la 74, que se refleja en casi todas las experiencias con independencia de la iluminación y de los filtros usados. Las fichas de la 12 a la 23 corresponden a colores amarillos-verdosos (aproximadamente a unas longitudes de onda entre 550 y 570nm), probablemente esta mejor ordenación se deba a que los tonos amarillentos de los filtros refuerzan la componente amarilla de esos colores, que permite una mejor discriminación entre fichas y su colocación correctamente, hecho que no puede afirmarse para el filtro rojo. En principio, como este comportamiento se ha mantenido al variar de iluminante y de filtros, la reducción de fallos no debería de estar alterada por estas condiciones. En cuanto al bajo porcentaje de fallos en las fichas de la 61 a la 74, correspondientes a colores violetas-azules (longitudes de onda próximas a los 400nm), podría ser explicado con las curvas de sensibilidad de los tres tipos de conos y del tamaño de las elipses de MacAdam en esa zona del espectro. Particularmente con el valor máximo para los conos S, el cual está situado alrededor los 440nm y el tamaño de las elipses alcanza los valores mínimos [1]. Es decir, que los conos especializados en detectar tonos violetas azulados tienen una mayor sensibilidad a las longitudes de onda cercanas a ese valor a pesar de que ninguno de los filtros deja pasar estas longitudes de onda, ni todos los iluminantes tienen valores altos en esos puntos del espectro.

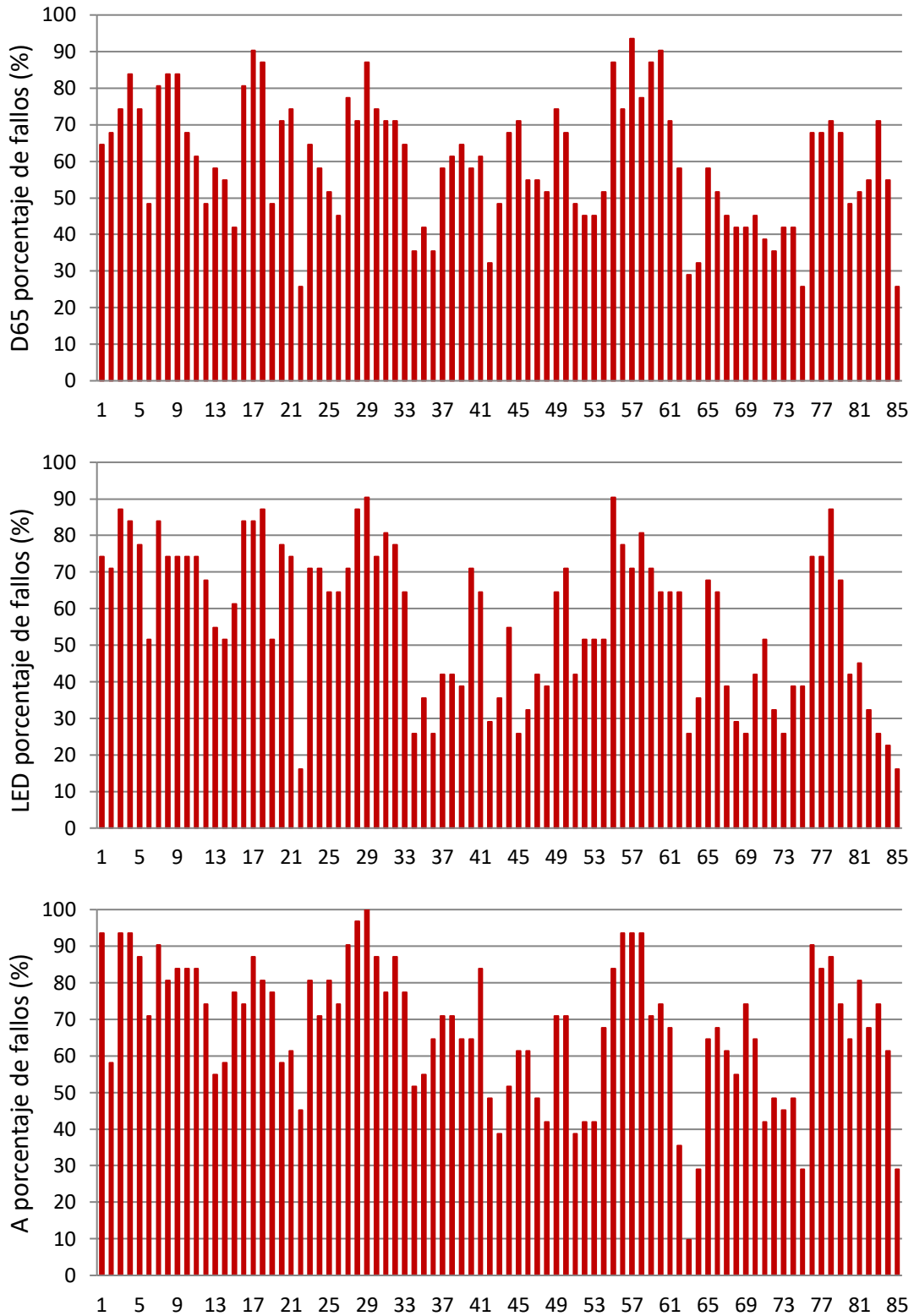


Fig.6. Porcentaje de fallos cometidos en la ordenación de las 85 fichas del test Farnsworth-Munsell al utilizar el filtro rojo. Arriba con iluminante D65, centro con LED, abajo con iluminante A.

4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo indican que el test para la evaluar la visión cromática FM100 tiene algunas limitaciones. En concreto, la diferencia colorimétrica entre fichas consecutivas no permanece constante, lo que provoca que, independientemente de la capacidad de discriminación cromática del observador, unas fichas sean más fáciles de colocar que otras.

La alteración de la visión cromática al portar filtros ópticos coloreados está directamente ligada a sus curvas de transmitancia espectral, sobre todo, en las longitudes de onda cortas donde es prácticamente nula. Por ello, a la hora de prescribir este tipo de ayudas ópticas, además de evaluar que la sensibilidad al contraste sea mayor o disminuyan los deslumbramientos, habría que valorar cómo influye en la visión del color.

En la actualidad, al consultar el manual de realización del test FM100, se indica que debe realizarse con un iluminante C (TCC 6740K) y una iluminancia de, al menos, 270 lux. En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se propone especificar parámetros como la curva de distribución espectral del iluminante o, al menos, su IRC. El uso de fuentes de iluminación LED podría ser una buena propuesta para realizar el test de visión cromática FM100, posiblemente mejorando su espectro añadiendo diferentes proporciones de LED verde, azul o cian, como ya estamos comprobando.