

# Colorimetric characteristics of an OLED display

## Características colorimétricas de una pantalla con tecnología OLED

Esther Perales <sup>(1)</sup>, Elisabet Chorro <sup>(1)</sup>, M. Carmen García-Domene <sup>(2)</sup>, M. Dolores de Fez <sup>(1)</sup>

1. Departamento Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante
2. Fundación Oftalmológica del Mediterráneo, Valencia

Corresponding author email: esther.perales@ua.es

### ABSTRACT:

In this work, the colorimetric characteristics of an OLED display have been shown. The luminance, dynamic range, primary constancy, the additivity and channel dependence have been studied in order to determine whether a physical characterization model can be applied. Moreover, the reproducible colour gamut of this display has been evaluated considering the associated theoretical colour solid. It has been checked that this OLED display has a good primary chromatic constancy, but however, it has a low additivity level. Therefore, this fact does not guarantee that the GOG model of characterization can be used, and it is necessary to modify this characterization method. On the other hand, the reproducible colour gamut is smaller than the theoretical colour gamut associated obtained from the white spectrum of the device. Nevertheless, this work is a preliminary study that should be completed with the study of different displays based on OLED technology with the objective to know properly the colorimetric properties of the OLED technology.

**Key words:** OLED technology, colorimetric characterization, colour solid

### RESUMEN:

En este trabajo se han presentado las características colorimétricas de una pantalla OLED, valorando la luminancia, rango dinámico, constancia de primarios, aditividad y dependencia de canales, además de comprobar si puede aplicarse un método físico de caracterización. También, se ha evaluado la gama de color reproducible por este dispositivo considerando el sólido de color teórico asociado al mismo. Se ha comprobado que esta pantalla OLED presenta una buena constancia de cromaticidad de los primarios, pero un nivel de aditividad bajo, hecho que no garantiza que pueda utilizarse el método de caracterización GOG directamente, sino que tenga que realizarse una modificación para asegurar una buena caracterización. También, se ha comprobado que la gama real de colores es más pequeña que la gama de color teórica obtenida a partir del blanco de la pantalla. No obstante, este trabajo es un estudio preliminar que debería completarse con el estudio de diferentes dispositivos basados en tecnología OLED con el fin de conocer adecuadamente sus propiedades colorimétricas.

**Palabras clave:** tecnología OLED, caracterización colorimétrica, sólido de color

---

### REFERENCIAS Y LINKS

- [1] R. Berns y N. Katoh, *Methods for characterizing displays. Colour Engineering*, P.Green y L.W. MacDonald, John Wiley & Sons, Chichester: 143-164 (2002).
- [2] P.A. Keller, *Electronic Display Measurement – Concepts, Techniques and Instrumentation*, John Wiley & Sons, Canada (1997).
- [3] J.C. Leachtenauer, *Electronic Image Display – Equipment Selection and Operation*, SPIE Press, Bellingham (2004).

- [4] J. Malo y M.J. Luque, *Reproducción del color en monitores. Tecnología del color*, Publicaciones de la Universidad de Valencia, Valencia (2002).
- [5] R.S. Berns, "Methods for Characterizing CRT Displays", *Displays* **16**, 173-182 (1996).
- [6] CIE 122:1996, "The relationship between digital and colorimetric data for computer-controlled CRT displays", *Commission Internationale de l'Eclairage* (1996).
- [7] B. Bastani, B. Cressman, B. Unt, "Calibrated color mapping between LCD and CRT displays: a case study", *Col. Res. Appl.* **30**(6), 438-447 (2005).
- [8] M.D. Fairchild y D.R. Wyble, "Colorimetric characterization of the Apple Studio Display (Flat Panel LCD)", *Munsell Color Science Laboratory Technical Report* (1998).
- [9] J. Stauder, J. Thollot, P. Colantoni, A. Tremeau, "Device, system and method for characterizing a colour device", *Eur Pat WO/2007/ 116077* (2007).
- [10] N. Katoh, T. Deguchi, R. Berns, "An accurate characterization of CRT monitor (I) verification of past studies and clarifications of gamma", *Optl. Rev.* **8**, 305-314 (2001).
- [11] N. Katoh, T. Deguchi, R. Berns, "An accurate characterization of CRT monitor (II) proposal for an extension to CIE method and its verification", *Opt. Rev.* **8**, 397-408 (2001).
- [12] N. Tamura, N. Tsumura, Y. Miyake, "Masking model for accurate colorimetric characterization of LCD", *J. Soc. Information Display*, **11**, 333-339 (2003).
- [13] W. Cowan, N. Rowell, "On the gun independency and phosphor constancy of color video monitor", *Color Res. Appl.* **11**, S34-S38 (1986).
- [14] R. Berns, R.J. Motta, M.E. Gorzynski, "CRT colorimetry. part I: Metrology", *Color Res. Appl.* **18**, 299314 (1993).
- [15] R. Berns, M.E. Gorzynski, R.J. Motta, "CRT colorimetry. part II: Metrology", *Color Res. Appl.* **18**, 315-325 (1993).
- [16] W.B. Cowan "An inexpensive scheme for calibration of a colour monitor in terms of CIE standard coordinates", *SIGGRAPH Comput. Graph.* **17**, 315-321 (1983).
- [17] G. Sharma, *Digital Color Imaging Handbook*, CRC Press, New York (2003).
- [18] J. Glasser, *Principles of display measurement and calibration. Display system: design and applications*, L.W. MacDonald y A.C. Lowe, John Wiley & Sons, Chichester (1997).
- [19] J.B. Thomas, J.Y. Hardeberg, I. Foucherot, P. Gouton, "The PLVC Display Color Characterization Model Revisited", *Col. Res. Appl.* **33**(6), 449-460 (2008).
- [20] L. Seime y J.Y. Hardeberg, "Colorimetric characterization of LCD and DLP projection displays", *J Soc. Inf. Display*, **11**, 349-358 (2003).
- [21] F. Martínez-Verdú, E. Perales, E. Chorro, M.D. de Fez, V. Viqueira, E. Gilabert, "Computation and visualization of the MacAdam limits for any lightness, hue angle and light source", *J. Opt. Soc. Am. A*, **24**(6), 1501-1515 (2007).
- [22] CIE 15:2004, "Colorimetry", *Commission Internationale de l'Eclairage*, (2004).
- [23] J. Hartigan, *Clustering Algorithms*, John Wiley & Sons, New York (1975).
- 

## 1. Introducción

Los dispositivos de visualización de datos (PVDs), o literalmente pantallas (displays), se definen como dispositivos electro-ópticos que sirven para mostrar información al ser humano, ya sea en formato texto, figuras, imágenes, etc., de forma que éste la pueda manipular, cambiar, comunicar, etc.

Las pantallas, al tratarse de dispositivos de reproducción aditiva de color, son sistemas que generan diferentes estímulos cromáticos,  $C$ , en función de los valores digitales  $ND$ , que son los descriptores dependientes del dispositivo mediante el cual se expresa un color. Habitualmente estos parámetros de control son accesibles al usuario y mediante ellos se establece el proceso de generación del estímulo visual [1-4]. En particular, cada píxel de la pantalla consta de tres dispositivos electro-ópticos que emiten radiación de diferente composición espectral (largas, medias y cortas longitudes de onda) en función de las señales eléctricas que llegan al monitor. Es decir, se generan colores mediante la superposición de las radiaciones de tres primarios,  $P_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . El proceso de generación de la radiación depende del tipo de tecnología de pantalla.

Por otro lado, para generar correctamente colores en un dispositivo de pantalla es necesario realizar una caracterización espectral y colorimétrica del dispositivo. La caracterización del color debe ser independiente del dispositivo de generación, lo que implica que es necesario encontrar la función  $f$  que transforma la caracterización dependiente del dispositivo –los parámetros de control  $ND$ - en la caracterización independiente del dispositivo escogida. La caracterización espectral y colorimétrica de un dispositivo de pantalla puede

realizarse mediante diferentes métodos que podemos clasificar en tres grupos: modelos físicos, modelos numéricos y modelos basados en 3D Look-Up Tables (LUT) [5-17].

Los modelos basados en la construcción de tablas de interpolación (LUT) [7, 9] consideran que no existe independencia entre canales, entendiendo como canal el conjunto de niveles de encendido de un primario. Se basan en la medida de la luminancia (RGB) de un conjunto de estímulos con los tres primarios encendidos, de forma que conocemos la transformación entre RGB y XYZ para este conjunto. De esta forma, la transformación se generaliza para todo el conjunto posible de colores mediante una interpolación matemática.

Los modelos numéricos suponen que la transformación puede aproximarse mediante un conjunto de ecuaciones, normalmente un polinomio de orden  $n$  [10-12]. Los parámetros del polinomio se obtienen con un proceso de regresión polinomial basado en medidas de un conjunto de muestras que relacionan los valores digitales ND con los valores cromáticos XYZ o  $L^*a^*b^*$ .

Los modelos físicos son los más usados, puesto que es relativamente fácil predecir el comportamiento de esta clase de dispositivos teniendo en cuenta la mezcla aditiva de colores que ellos mismos aplican [13-16]. Estos modelos pueden dividirse en varias etapas. La primera etapa consiste en establecer una relación entre la señal de un canal del dispositivo y la luminancia generada por ese canal. Es lo que se denomina habitualmente como función de conversión o transferencia electro-óptica (FTEO) [17]. Generalmente se asume que la respuesta sigue una función matemática. Otra alternativa para relacionar la señal de cada canal con la luminancia es usar métodos de interpolación a partir de un conjunto de medidas experimentales, lo que se conoce como tablas LUT unidimensionales. El segundo paso más habitual de los modelos físicos consiste en usar una matriz 3x3 definida a partir de las cromaticidades de los primarios para transformar los valores de luminancia a un espacio de color independiente del dispositivo (XYZ, CIELAB). Sin embargo este modelo de caracterización supone considerar constancia de las cromaticidades de los primarios así como independencia entre canales y que se cumple la ley de aditividad de los valores triestímulo:  $X(W)=X(R)+X(G)+X(B)$  (ecuaciones análogas se escribirían para Y y Z), cosa que no siempre es cierta y que en ocasiones puede producir diferencias entre el color predicho por el modelo y el color medido.

El método físico más conocido y utilizado para la caracterización de un monitor es el método “gain-offset-gamma” (GOG) [5, 6], sobre todo para la tecnología de pantallas de rayos catódicos (CRT), que justamente fue la dominante durante muchos años en el siglo XX, pero que se puede extender para otras tecnologías de pantallas. Este método describe la relación existente entre la señal de un canal del dispositivo y la luminancia generada por ese canal mediante la ecuación:

$$\frac{L}{L_{\max}} = (g_i \text{NDR}_i + o_i)^{\gamma_i} \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

*con*  $o_i + g_i = 1$

donde  $g_i$  y  $\gamma_i$  son los parámetros de ajuste de la curva,  $o_i$  es el offset de cada canal y  $\text{NDR}_i$  es el valor digital relativo o normalizado ( $\text{ND}/(2^{\text{resolución}} - 1)$ ) de cada uno de los tres canales, rojo, verde y azul, teniendo en cuenta la profundidad de bits (por ejemplo, 8 bits equivale a 256 niveles digitales por canal). Por tanto, conceptualmente, los valores  $L/L_{\max}$  por cada canal rojo, verde y azul equivalen en nuestro caso a los valores colorimétricos RGB del dispositivo de pantalla.

La matriz de transformación (RGB  $\rightarrow$  XYZ) puede escribirse como:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X(R) & X(G) & X(B) \\ Y(R) & Y(G) & Y(B) \\ Z(R) & Z(G) & Z(B) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

donde  $X(R,G,B)$ ,  $Y(R,G,B)$  y  $Z(R,G,B)$  son los valores triestímulo de los primarios encendidos al máximo y el vector RGB representa la luminancia de cada canal obtenida según la ecuación 1.

Para otras tecnologías, la función de transferencia electro-óptica no se ajusta siempre a la curva descrita en el método GOG construido para los CRTs [7, 8, 17-20]. Glasser [18] en su trabajo afirmaba que la función de transferencia para un LCD (Liquid Cristal Display) era bastante diferente a la de un CRT, siendo caracterizada por una curva sigmoideal. Pero por otro lado, mientras que el comportamiento físico de otras tecnologías es diferente del de un CRT, las reglas de mezcla de colores por adición espectral y luminosa son las mismas, aunque cambien los tipos de primarios. Por tanto, dependiendo del dispositivo, será posible caracterizar la función de transferencia electro-óptica igual que para un CRT. La elección de un método u otro para la caracterización de un dispositivo de pantalla depende de su uso; si queremos el dispositivo para realizar trabajos

sobre juicios de discriminación cromática, los resultados obtenidos con la caracterización deben ser muy precisos, a diferencia de si estamos trabajando con aplicaciones relacionadas con sistemas de almacenamiento y edición gráfica simple de color.

Actualmente, además de pantallas CRT, podemos encontrar en el mercado pantallas LCD, de plasma, multiprimarios y de diodos orgánicos e inorgánicos de emisión de luz (OLED, LED). Las pantallas de diodos orgánicos de emisión de luz (OLED) consisten en diodos basados en capas electroluminiscentes formadas por películas de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos. En este trabajo nos centraremos en los dispositivos OLED, de reciente aparición en el mercado y que por tanto, sus características colorimétricas todavía no han sido estudiadas en profundidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características colorimétricas de una pantalla OLED, valorando la luminancia, el rango dinámico, la constancia de primarios, la aditividad y dependencia de canales, además de comprobar si puede aplicarse un método físico de caracterización. Por otro lado, también se evaluó la gama de colores reproducible por esta pantalla, considerando el sólido de color teórico asociado a la misma.

## 2. Materiales y Métodos

Como la mayoría de las pantallas OLED disponibles en el mercado forman parte de dispositivos de reducido tamaño (móviles principalmente) se optó por una de las de mayor tamaño que forma parte de un reproductor digital CREATIVE ZEN, modelo DAP- HD0019 (Figura 1), con un tamaño en diagonal de 2 pulgadas, una resolución espacial de 1280 x 1024, y una resolución de color de 8 bits, lo que proporciona 262144 colores.



Fig. 1. Pantalla OLED en el reproductor digital Creative Zen.

Se ha procedido a evaluar diferentes características de la pantalla OLED: características espectrales, luminancia y contraste, constancia de la cromaticidad de los primarios, aditividad tanto a nivel de luminancia como a nivel de valores triestímulo y función de transferencia electro-óptica evaluada en diferentes regiones de la pantalla para valorar su uniformidad. Para todas las medidas colorimétricas se ha utilizado el tele-espectro-radiómetro SpectraScan PR-650 situado de forma que su eje óptico estuviera orientado según la normal al plano de la pantalla y en una habitación con iluminación controlada, en este caso en la oscuridad, para poder reproducir, en caso de ser necesario, las condiciones de medida. Este instrumento nos permite seleccionar diferentes opciones de salida, en este caso se obtuvieron las coordenadas cromáticas en el espacio CIE-XYZ y el valor de luminancia en  $\text{cd/m}^2$  para cada nivel digital de cada primario.

Por otro lado, además de evaluar las características colorimétricas anteriormente citadas, se obtuvo el sólido de color teórico asociado a este dispositivo con el fin de compararlo con la gama real de colores reproducibles por esta pantalla. Para ello se utilizó el algoritmo de búsqueda de colores óptimos descrito por Martínez-Verdú et. al [21]. Para definir el sólido de color teórico, se asumió que el blanco de la pantalla actúa como iluminante, puesto que la generación de colores viene modulada escalar y espectralmente por los primarios que componen el blanco (respuesta máxima). Para obtener la gama de color reproducible por el dispositivo, se consideró el método de caracterización GOG. Por tanto, a partir de la caracterización fue posible obtener los valores  $L^*a^*b^*$  [22] y calcular cuántos colores distinguibles existen del total de colores reproducibles. Para ello, se utilizó una técnica de análisis jerárquico [23], donde en nuestro caso las agrupaciones se realizaron considerando la condición  $\Delta E^*_{ab} < 1$ . Para este cálculo se hizo uso de la rutina de Matlab<sup>®</sup> “clusterdata”, que sólo nos proporciona el número de agrupaciones con el criterio deseado.

## 3. Resultados y Discusión

En primer lugar se procedió a evaluar las características espectrales de la pantalla OLED. Para ello se obtuvo la distribución espectral del blanco y de los primarios del dispositivo (ver Figura 2). Para la medida se utilizó el tele-espectro-radiómetro SpectraScan PR-650, obteniendo la distribución espectral en el rango de longitud de

onda de 380 a 780 nm con un paso de 4 nm para estímulos con el nivel de encendido al máximo: W(255,255,255), R(255,0,0), G(0,255,0) y B(0,0,255). La medida para el negro (0,0,0) no está incluida porque la luminancia del dispositivo es inferior a la sensibilidad del instrumento de medida.

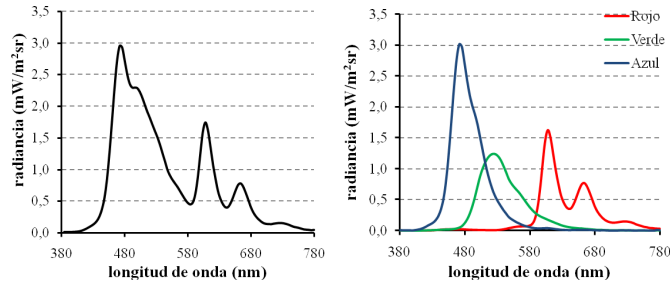


Fig.2. Distribución espectral del blanco del dispositivo (izquierda) y de los primarios del dispositivo (derecha).

El espectro del blanco tiene tres máximos sobre 480 nm, 600 nm y 670 nm y el pico máximo de radiancia del blanco es aproximadamente de 3 mW/m<sup>2</sup>sr. Se puede comprobar que el blanco no corresponde exactamente a la suma de las distribuciones espectrales de los tres primarios, por tanto, a priori se podría decir que existe una dependencia entre canales.

La luminancia de los tres primarios y del blanco pueden observarse en la Tabla I, junto a los resultados para el contraste máximo y el rango dinámico (DR) calculados según las ecuaciones 3 y 4.

$$C_{\max} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (3)$$

$$DR = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \quad (4)$$

Como puede observarse en la Tabla I, el DR es muy superior a las capacidades que hoy en día tiene un típico CRT (no suelen proporcionar más de 120 cd/m<sup>2</sup> de luminancia máxima, pero la luminancia mínima es del orden de 1 cd/m<sup>2</sup>). Sin embargo, la luminancia máxima para el blanco sólo es algo inferior a lo que suele ser habitual en un CRT, por lo que un DR tan elevado se debe a la reproducción del negro con valores muy bajos de luminancia.

TABLA I: Luminancia máxima y rango dinámico obtenidos para los tres canales y el blanco.

	ROJO	VERDE	AZUL	BLANCO
<b>L<sub>max</sub></b> (cd/m <sup>2</sup> )	18.8	46.55	30	88.3
<b>C<sub>max</sub></b>	0.98	0.99	0.99	0.99
<b>DR</b>	111 : 1	161 : 1	200 : 1	434 : 1

A continuación, se evaluó la constancia de primarios y la aditividad. La constancia de cromaticidad de los primarios se evaluó obteniendo las coordenadas cromáticas xy para un conjunto de estímulos con diferentes niveles digitales. En particular, se construyó un conjunto de 20 estímulos por canal donde cada uno de los tres primarios variaba en el rango de 0 a 64. Puede observarse en la Figura 3 que este dispositivo presenta casi una perfecta constancia de primarios, lo que a priori nos garantizaría poder utilizar la matriz de primarios para su caracterización.

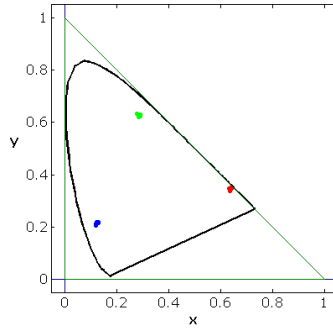


Fig. 3. Constancia de primarios en el espacio CIExy.

La aditividad se estudió únicamente para el blanco y se hizo tanto en términos de luminancia como en términos de valores triestímulo, es decir, se realizó la comparación de los valores triestímulo del blanco de la pantalla con la suma de los valores triestímulo de los primarios rojo, verde y azul y lo mismo para la luminancia tal como se muestra en la Tabla II.

TABLA II: Valores triestímulo medidos para el blanco de la pantalla comparados con la suma de los tres primarios.

	X	Y	Z
blanco	68.87	88.30	95.11
$\sum_i P_i$	73.63	95.40	99.44
dif (%)	6.91	8.04	4.55

Puede comprobarse (ver Tabla II) que la pantalla OLED se aleja bastante de la ley de aditividad, sobre todo en el caso de la luminancia (8%). Esto puede deberse fundamentalmente a la no independencia entre canales. Este hecho, en principio implicaría que utilizar un método de caracterización física no es aconsejable, ya que no podría usarse la matriz de primarios. Pero como existen diferentes soluciones/aproximaciones a este problema, evaluamos la relación existente entre el nivel digital y la luminancia de la pantalla, es decir, medimos la función de transferencia electro-óptica para conocer si, a pesar de todo, se ajusta a la típica curva “gamma” característica de los CRTs.

En este caso, para  $NDR=0$  se ha obtenido que  $XYZ=0$ , entonces por definición el valor del offset es igual a cero, por tanto el ajuste se hizo a la curva potencial:

$$L = (L_{\max} g_i NDR_i)^{\gamma_i} = c_i NDR_i^{\gamma_i} \quad i = 1,2,3 \quad (5)$$

En la Figura 4 se presentan las curvas de ajuste de los datos experimentales a la curva teórica del modelo GOG. Puede comprobarse que a pesar de no tratarse de tecnología CRT para la que fue desarrollado el modelo GOG los datos experimentales se ajustan bastante bien a esta curva para los tres canales, siendo para todos ellos el coeficiente de correlación ( $r^2$ ) aproximadamente de 0.97. Por tanto, a la vista de estos resultados también podríamos utilizar el método GOG para la caracterización a falta de corregir el error de la aditividad. En cualquier caso, teniendo en cuenta que estas pantallas en la actualidad forman parte de dispositivos pequeños como teléfonos o reproductores de video y en el futuro se prevé su uso en televisores, puede que la reproducción exacta del color sea una exigencia demasiado fuerte. Hay que tener en cuenta que ninguno de estos dispositivos será usado en principio para realizar experimentos visuales.

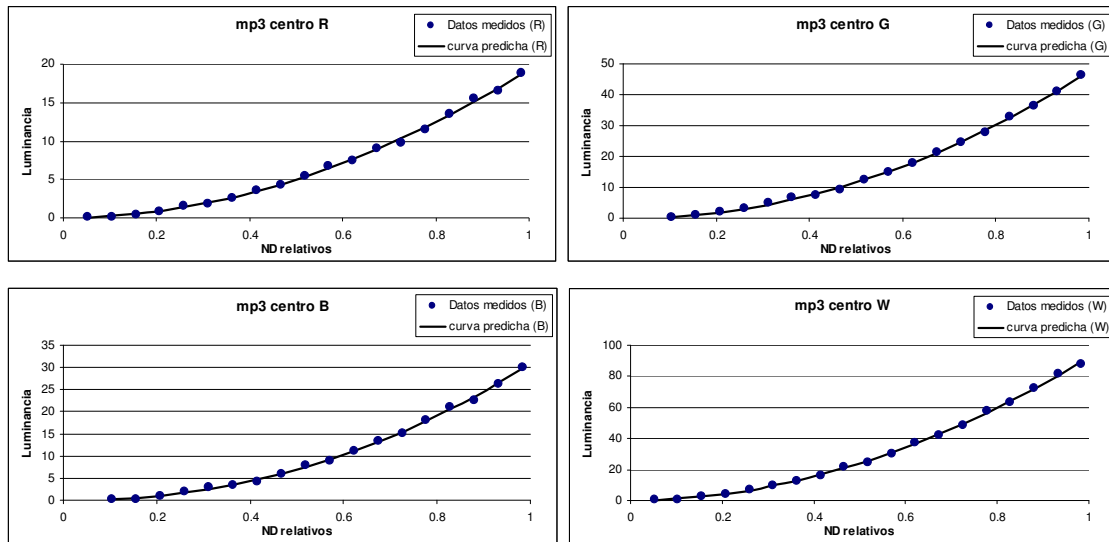


Fig. 4. Función de transferencia electro-óptica para cada canal RGB y para el blanco.

Para complementar el estudio de las características de esta pantalla OLED, se realizó un estudio sobre la uniformidad de esta pantalla. Para ello se repitieron las medidas en otras 4 regiones de la pantalla, obteniéndose que las funciones de transferencia electro-óptica presentaban ajustes similares a los encontrados para el punto central, pero no ocurría lo mismo con los valores de luminancia como se observa en la Tabla III. Encontramos una fuerte dependencia del valor de luminancia con la posición, de forma que la aditividad de luminancia se mantiene mejor en un lado de la pantalla que en el otro. Esto nos lleva a pensar en un problema de diseño de conexiones en el dispositivo.

TABLA III: Resultados del ajuste GOG para el blanco, así como de la aditividad de la luminancia.

Punto	$\sum_i P_i$	Blanco	dif (%)	c	$\gamma$	$r^2$
<b>1-sup-izda</b>	91.173	93.235	2.2	93.235	1.947	0.968
<b>2-sup-dcha</b>	89.717	80.732	11.1	80.732	1.959	0.967
<b>3-inf-dcha</b>	91.436	85.876	6.5	85.876	1.963	0.967
<b>4-inf-izda</b>	96.695	93.944	2.9	93.944	1.946	0.968
<b>5-centro</b>	95.40	88.30	8.0	89.344	1.943	0.968

Por último, como se ha dicho anteriormente considerando el método GOG, se obtuvieron los colores reproducibles por este dispositivo. A partir de los valores  $L^*a^*b^*$  se calcularon cuántos colores distinguibles existen del total de colores reproducibles. Se obtuvo que de los 262144 colores reproducibles, existen 196324 colores distinguibles por el sistema visual humano. En la Figura 5 se presenta el sólido de color teórico junto con los colores reproducidos por el dispositivo de pantalla que no son percibidos como ningún otro color tal como se ha descrito anteriormente (puntos grises). Como puede verse la gama de colores reproducibles es más pequeña que la gama obtenida considerando el sólido asociado al blanco. En general, los colores reproducibles son menos saturados de lo que se podría obtener si esta tecnología permitiese modular el espectro de cada primario de forma que el color resultante fuese un color óptimo.

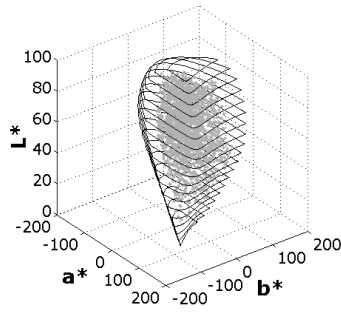


Fig. 5. Comparación entre el sólido de color teórico y los colores reales reproducidos.

Para observar mejor el resultado anterior, en la Figura 6 se presenta la comparación entre los límites cromáticos teóricos y los colores reproducibles asociados en cada pantalla para determinados planos de claridad.

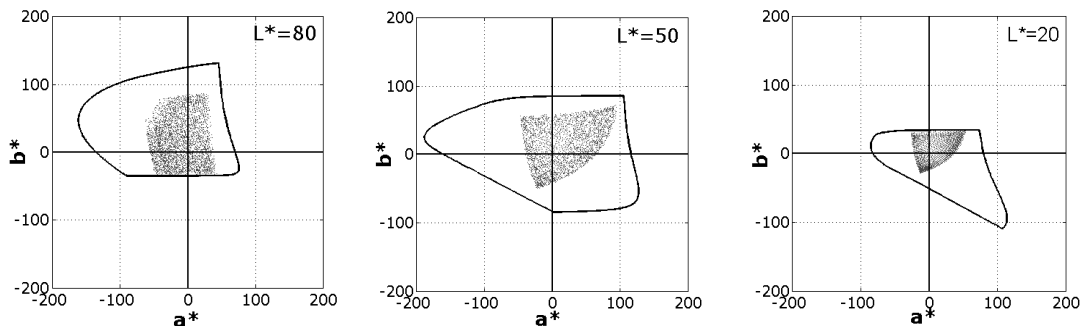


Fig. 6. Límites teóricos junto con los colores reproducibles por la pantalla OLED en varios planos de claridad constante.

Respecto a las subgammas de colores reproducibles por regiones tonales, se puede observar que los amarillos y rojos (cuadrante 1,  $a^*$  y  $b^* > 0$ ) se reproducen bien a pesar de sus limitaciones técnicas. Sin embargo, en otros cuadrantes no pasa lo mismo. El caso más evidente se encuentra en la región de los azules y púrpuras (cuadrante 4,  $a^* > 0$  y  $b^* < 0$ ), donde la gama es muy reducida.

#### 4. Conclusiones

Se han estudiado diferentes características de una pantalla OLED. Se ha comprobado que esta pantalla presenta un gran rango dinámico y contraste, superior a los típicos CRT, buena constancia de primarios, pero una baja luminancia máxima, falta de uniformidad espacial y aditividad. En lo referente al estudio de la gama de colores reproducible teniendo en cuenta los límites del sólido de color teórico, podría decirse que sería conveniente una modificación de la tecnología con el fin de aumentar dicha gama. También sería necesario un estudio más profundo con diferentes pantallas para ver si este comportamiento es común para cualquier OLED, así como analizar más extensamente los problemas de uniformidad y la caracterización colorimétrica más adecuada. Será interesante también realizar este estudio en dispositivos de mayor tamaño, debido a la falta de uniformidad espacial detectada en este dispositivo reducido. Si dichas diferencias son debidas a fallos de diseño o construcción, un dispositivo tipo televisor no tendrá las prestaciones adecuadas para un correcto visionado por parte del usuario.

#### Agradecimientos

A la Generalitat Valenciana por la concesión del proyecto GV06/185. Esther Perales agradece al Ministerio de Investigación y Ciencia la beca recibida (BES-2006-13518).