

UTILIZACIÓN DE LEDS EN SISTEMAS MULTIESPECTRALES: INFLUENCIA DEL ÁNGULO Y DEL TIEMPO EN LA EMISIÓN ESPECTRAL

Óscar Martínez¹, Meritxell Vilaseca², Carles Pizarro², Montserrat Arjona², Jaume Pujol²

¹ Hewlett-Packard Large Format Printer Division (HP), Camí de Can Graells 1-21, Sant Cugat del Vallès, Barcelona 08174, España

² Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Rambla Sant Nebridi 10, Terrassa, Barcelona 08222, España

Resumen:

Los sistemas multiespectrales permiten la caracterización espectral y colorimétrica de objetos con elevada resolución espacial a partir de la adquisición de la escena a través de varios canales de una cámara con diferente sensibilidad espectral. Recientemente han empezado a utilizarse LEDs (diodo emisor de luz) como fuentes de luz en sistemas de este tipo, principalmente para desarrollar equipos de medida de bajo coste para la industria. En este estudio, ponemos de manifiesto y evaluamos algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta si quieren utilizarse LEDs en sistemas multiespectrales. Dos aspectos a tener en cuenta tanto en LEDs blancos como de color son la variación de su emisión espectral con el ángulo y el cambio del espectro de la luz emitida con el tiempo de utilización. Estas características no son normalmente especificadas en los catálogos de fabricantes pero deben ser previamente consideradas y corregidas si se quiere desarrollar e implementar un sistema multiespectral con LEDs, puesto que pueden tener un gran impacto en la exactitud de medida del color y de las propiedades espectrales. En este trabajo se estudian ambos aspectos, y se halla que la temperatura de color de los LEDs blancos disminuye de forma notable al aumentar el ángulo de observación, siendo este cambio más acusado en LEDs de elevada direccionalidad, es decir, si su patrón de emisión espacial es más estrecho. Sin embargo, se observa que la emisión de los LEDs de color es casi invariable con el ángulo. Por otro lado, se pone de manifiesto que el cambio en la emisión espectral de los LEDs blancos con el tiempo, y por tanto su temperatura de color, es menos importante que la variabilidad observada con el ángulo de observación.

Palabras clave: Sistemas multiespectrales, diodo emisor de luz, temperatura de color

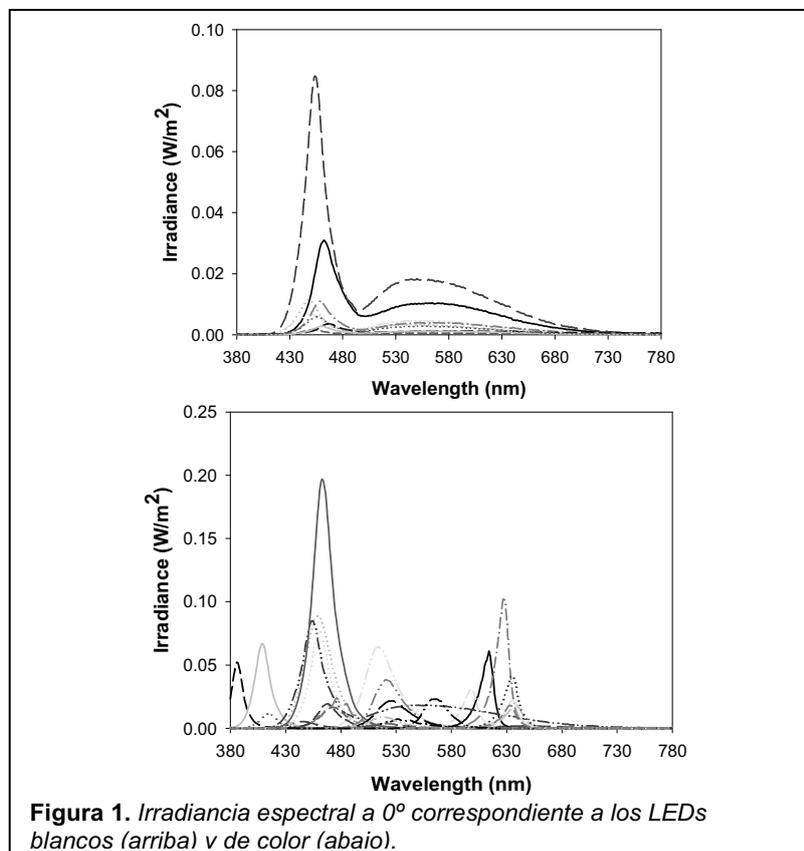
INTRODUCCIÓN

Cuando se quiere desarrollar e implementar un sistema multispectral para la realización de medidas colorimétricas o espectrales, existen dos posibilidades en cuanto al método de muestreo espectral utilizado. Por un lado, la configuración más usada habitualmente consiste en una fuente de luz “blanca” con una emisión espectral aproximadamente uniforme junto con un conjunto de filtros de diferente transmitancia espectral [1,2], aunque también se pueden usar fuentes de luz con diferente emisión espectral en el visible, y por lo tanto, distinto color. Esta alternativa tiene un gran potencial desde la aparición en el mercado de los LEDs [3].

Un LED es un diodo semiconductor que emite luz de espectro estrecho (alrededor de 10 nm de anchura espectral a media altura) cuando se le aplica corriente. Las propiedades de la energía emitida dependen de la composición del material semiconductor, y pueden ser desde infrarroja, visible, hasta ultravioleta (UV). Los LEDs con emisión de luz blanca se consiguen de dos modos distintos: mezclando LEDs que emitan los colores primarios (rojo, verde y azul) o utilizando un recubrimiento de fósforo para convertir la luz monocromática emitida por un LED UV o azul en

un espectro amplio. Estos últimos tienen en general una eficiencia menor que los LEDs normales, aunque debido a que su producción es más sencilla, su utilización es hoy en día muy generalizada. La tecnología LED es muy económica, eficiente, con un elevado rendimiento a lo largo del tiempo, y está en constante evolución. En un principio, los LEDs se usaban mayoritariamente como indicadores de luz en equipos electrónicos, aunque en los últimos años su utilización en aplicaciones que requieren de una potencia de luz mayor, como por ejemplo en luces de tipo flash o para iluminación, está viéndose incrementada. Sólo algunos sensores específicos de medida del color existentes en el mercado utilizan LEDs para iluminar las muestras, como por ejemplo equipos de imagen que incorporan LEDs de colores (impresoras de gran formato *Hewlett Packard* o *Canon*), y equipos espectrofotométricos que utilizan LEDs blancos (como por ejemplo *Xrite iSis* y *Xrite ColorMunki*). Recientemente han aparecido algunos sistemas multispectrales para medidas de color o reconstrucciones de la reflectancia espectral que utilizan LEDs como fuentes de luz, muchos de ellos aún en fase de investigación [4,5].

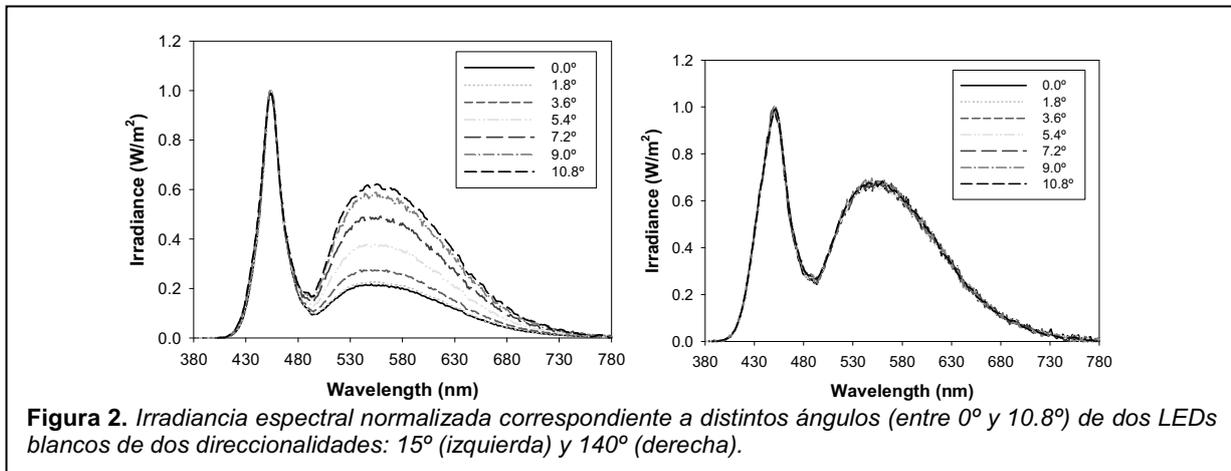
La mayoría de fabricantes incluyen en sus catálogos información relacionada con las propiedades de los LEDs, como por ejemplo el cambio de la intensidad luminosa y de las coordenadas cromáticas con la intensidad de corriente aplicada y la temperatura, el espectro de emisión y la direccionalidad, es decir, la intensidad luminosa emitida en función del ángulo. Sin embargo, otras características clave de los LEDs para aplicaciones metrológicas, como son el cambio espectral de la luz emitida con el ángulo o la variación de la emisión espectral con el tiempo de uso no se especifican [6]. Por este motivo, en este estudio se analizan estas características puesto que, tal y como mostramos posteriormente, son fundamentales para el desarrollo de sistemas multispectrales con elevada exactitud en la medida de propiedades espectrales y de color.



MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se caracterizó la emisión de 34 LEDs, blancos y de color, de diversos fabricantes (BestHongKong, Nichia, Sansen Technology, Philips Lumileds y Avago) y cuyas direccionalidades (patrón de intensidad en función del ángulo) estaban comprendidas entre 10° y 140°. Para la caracterización espectral de los LEDs a diferentes ángulos, entre 0° y 10.8° a intervalos de 1.8°, se utilizó un dispositivo goniométrico con el espectroradiómetro Instrument Systems modelo Spectro 320 con el accesorio EOP-146, el cual permite realizar medidas de irradiancia espectral dentro de un área de 33 mm² (6.5 mm de diámetro). Los LEDs se montaron

en un sistema de rotación a 15 cm de distancia del espectroradiómetro, obteniendo así medidas de la emisión de los LEDs en un ángulo de aproximadamente 2.5 grados ($^{\circ}$). Por otro lado, también se midió el espectro emitido por estos LEDs a lo largo de 56 días (1344 horas). En este caso se usó un espectrofotómetro Labsphere modelo CDS 2100 para caracterizar el flujo radiante.



RESULTADOS

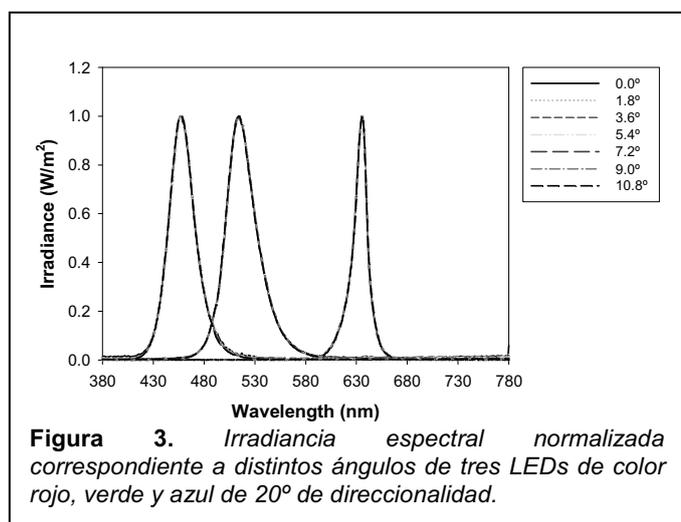
La irradiancia espectral correspondiente a un ángulo de 0° para todos los LEDs ensayados se muestra en la figura 1. La figura 2 presenta la irradiancia espectral normalizada de dos LEDs blancos de diferente direccionalidad (15° y 140°), a distintos ángulos de observación (entre 0° y 10.8°). En esta figura se puede observar que aunque la parte azul del espectro de los LEDs mantiene una forma constante, la región amarilla presenta una contribución distinta según el ángulo, sobretodo para el LED de 15° . Concretamente, se aprecia que cuanto mayor es el ángulo de observación, más amarillento es el color de la luz emitida por el LED.

Por otro lado, la tabla 1 muestra las diferencias promedio (y desviación estándar correspondiente) de temperatura de color correlacionada (CCT) entre 0° y el resto de ángulos para todos los LEDs blancos analizados, así también como para LEDs de baja y alta direccionalidad. Tal y como se puede observar, los resultados obtenidos muestran que la variación de las diferencias de CCT en función del ángulo son mucho más elevadas en el caso de LEDs blancos con elevada direccionalidad.

El mismo análisis pero realizado sobre LEDs de color demuestra que en este caso la irradiancia espectral emitida se mantiene constante en función del ángulo de observación.

La figura 3 muestra el espectro de irradiancia normalizada a distintos ángulos de tres LEDs de color representativos.

Por otro lado, la tabla 2 muestra las diferencias promedio (y desviación estándar correspondiente) de CCT entre la primera medida (0 horas) y el resto de tiempos para todos los LEDs blancos analizados. Las variaciones encontradas en este caso son mucho menores que las obtenidas anteriormente (en función del ángulo). Así, aunque existe una ligera variabilidad del



color de la luz emitida por el LED a lo largo del tiempo, este efecto se puede despreciar cuando se compara con los cambios espectrales y de color de este tipo de LEDs en función del ángulo, principalmente cuando éstos presentan valores de direccionalidad elevada.

Tabla 1. Diferencias de CCT entre 0° y el resto de ángulos (#) para los LEDs blancos.			
CCT(#°)-CCT(0°)			
Ángulo (°)	Todos	Direccionalidad ≤ 70°	Direccionalidad > 70°
0.0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
1.8	162 ± 218	183 ± 264	133 ± 142
3.6	289 ± 416	406 ± 500	122 ± 174
5.4	214 ± 215	294 ± 249	99 ± 63
7.2	311 ± 321	435 ± 367	134 ± 104
9.0	389 ± 378	575 ± 395	123 ± 84
10.8	405 ± 426	599 ± 467	127 ± 64

Tabla 2. Diferencias de CCT entre la primera medida (0 horas) y el resto de tiempos (#) para los LEDs blancos.	
Tiempo (horas)	CCT(#h)-CCT(0h)
0	0 ± 0
24	15 ± 10
168	55 ± 61
336	83 ± 77
672	110 ± 95
1344	141 ± 68

CONCLUSIONES

Cuando se incluyen LEDs en el diseño e implementación de sistemas multispectrales es necesario realizar una caracterización espectral previa de la emisión de éstos en diferentes ángulos y en función del tiempo, puesto que estos aspectos pueden tener una influencia notable en los resultados de medida de propiedades espectrales y de color.

Los resultados hallados en este trabajo muestran que si se utilizan LEDs blancos en un sistema multispectral, es preferible que estos presenten una baja direccionalidad aunque su rendimiento en intensidad luminosa sea menor, debido a que el cambio de CCT con el ángulo que presentan es menor. De forma similar, los LEDs de color no presentan una

variación apreciable de su emisión con el ángulo. Finalmente, destacar que la variación espectral de la emisión de los LEDs con el tiempo es despreciable frente a los cambios encontrados en función del ángulo, sobretodo para direccionalidades elevadas.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Educación y Ciencia por el proyecto DPI2008-06455-C02-01.

REFERENCIAS

- [1] M. Vilaseca, R. Mercadal, J. Pujol, M. Arjona, M. de Lasarte, R. Huertas, M. Melgosa, F. H. Imai, "Characterization of the Human Iris Spectral Reflectance with a Multispectral Imaging System", *Appl. Opt.*, 47, 5622 (2008).
- [2] J. Y. Hardeberg, F. Schmitt, H. Brettel, "Multispectral Color Image Capture Using a Liquid Crystal Tunable Filter", *Opt. Eng.*, 40, 2532 (2002).
- [3] E. F. Schubert, *Light-emitting Diodes* (Cambridge University Press, 2006).
- [4] J. Pladellorens, A. Pintó, J. Segura, C. Cadevall, J. Antó, J. Pujol, M. Vilaseca, J. Coll, "A device for the color measurement and detection of spots on the skin", *Skin Res. Technol.*, 14, 65 (2008).
- [5] E. Nippolainen, A. Kamshilin, "Computer Controlled Set of Light-Emitting Diodes for 2D Spectral Analysis", *Proc. IS&T Fourth European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision* (Terrassa, Spain), pg. 481 (2008).
- [6] T. Yanagisawa, "Estimation of the degradation of InGaN/AlGaIn blue light-emitting diodes", *Microelectronics and Reliability*, 37, 1239 (1997).