

## Mediciones en LEDs de Alta Intensidad

A. Estrada-Hernández, L. P. González-Galván, C. H. Matamoros-García

Centro Nacional de Metrología  
km 4,5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México.  
aestrada@cenam.mx

### RESUMEN

El Centro Nacional de Metrología, CENAM, realiza esfuerzos importantes en la medición de diodos emisores de luz, LEDs, pues la industria de la iluminación los está utilizando ya que favorecen el ahorro y el uso eficiente de la energía eléctrica, contribuyendo al desarrollo económico y social del país. Aquí se presentan resultados obtenidos en los laboratorios de Fotometría y de Espectrorradiometría de Lámparas del CENAM, para la determinación del flujo luminoso total, de la temperatura de color correlacionada y de las coordenadas de cromaticidad realizadas en fuentes LEDs de alta intensidad, que contribuyen al trabajo internacional que se está realizando en este campo para sustentar los desarrollos y brindarles confiabilidad en las diversas aplicaciones.

### 1. INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego, el hombre ha sentido la necesidad de iluminar su entorno, por ello día a día busca nuevas alternativas que cubran esta necesidad a través de diferentes tecnologías, usando dispositivos como la vela, lámparas incandescentes, lámparas ahorradoras hasta llegar actualmente al uso de la tecnología de los semiconductores, particularmente los LEDs.

Esto ha originado diferencias significativas en el cuidado, en la forma de medición y en los sistemas de medición utilizados; debido a estas diferencias la Comisión Internacional de la Iluminación, CIE, ha definido magnitudes específicas para la caracterización de estas fuentes de luz.

Los LEDs son fuentes de luz que hemos utilizado desde hace ya varios años en todo tipo de aplicaciones como relojes digitales, controles remotos, computadoras y muchos aparatos más.

En este artículo exploraremos las características de los LEDs, y algunas de las magnitudes que la CIE recomienda para su caracterización; además se presentarán los resultados obtenidos de las mediciones de flujo luminoso total, temperatura de color correlacionada, TCC, y coordenadas de cromaticidad, CC, en LEDs de alta intensidad.

### 2. CONCEPTOS TEÓRICOS

Los dispositivos semiconductores que emiten radiación óptica pueden ser divididos en dos grupos, diodos emisores de luz, conocidos como LEDs por las siglas en inglés para *Light Emitting Diodes*.

#### 2.1 Estructura y Principio de Funcionamiento de un LED

Un LED es un dispositivo semiconductor que emite luz cuasi-monocromática, y es polarizado de forma directa cuando es alimentado por una corriente eléctrica. El "color" de la radiación emitida depende del material semiconductor que esté siendo usado.

Un electrón pasa de la banda de conducción a la de valencia, perdiendo energía. Esta energía se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria; en la Fig. 1 se muestra el símbolo y la estructura de un LED.

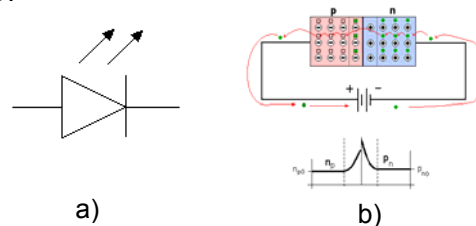


Fig. 1. (a) Símbolo de un LED. (b) Estructura básica de un LED.

#### 2.2 Propiedades Ópticas de los LEDs

Al igual que las fuentes de luz convencionales, la radiación óptica de un LED puede ser caracterizada en términos de las magnitudes radiométricas, por consecuencia su radiación óptica visible se caracteriza de manera más adecuada mediante magnitudes fotométricas y colorimétricas.

La radiación óptica producida por un LED es generada por una placa de semiconductor encapsulado de alguna forma, esto provoca

cambios en la distribución espectral y espacial de la radiación emitida. La Fig. 2 muestra algunas de las distribuciones espaciales que pueden ser encontradas en los LEDs, dificultando su caracterización y el uso de un método específico de medición.

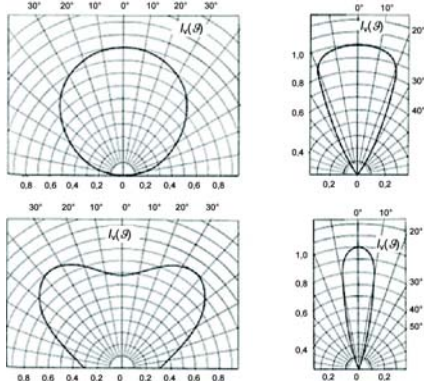


Fig. 2 Algunas distribuciones espaciales típicas de la intensidad luminosa emitida por diferentes LEDs. (Imagen tomada de [3] ).

La distribución espectral de la radiación óptica emitida es característica de estos dispositivos, la cual difiere en varios aspectos con la de otras fuentes. La Fig. 3 muestra la distribución espectral típica de los LEDs en la región visible.

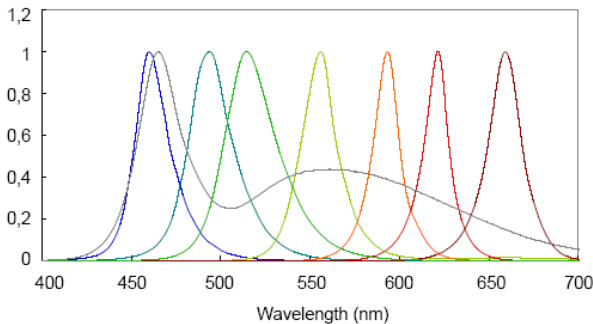


Fig. 3 Distribuciones espectrales relativas típicas de LEDs. (Imagen tomada de [3] ).

### 2.3 Medición de Flujo Luminoso Total

Para realizar mediciones de flujo luminoso total se utilizan goniofotómetros o esferas de integración luminosa [1, 2].

En CENAM el método utilizado para realizar las mediciones de flujo luminoso total es el que usa una esfera de integración luminosa, como se muestra en la Fig. 4.

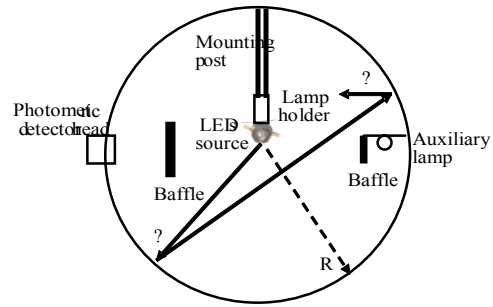


Fig. 4 Diagrama esquemático de la medición del flujo luminoso total con la esfera de integración.

Un fotómetro con esfera de integración es calibrado con un patrón de flujo luminoso total. La fuente de luz de prueba es medida por comparación con la fuente de referencia con una distribución espectral y espacial similar. De esta manera podemos caracterizar un LED que nos sirva de referencia para realizar las mediciones en diferentes LEDs como lo recomienda la CIE [1, 2].

Comparado con el método del goniofotómetro, la medición es rápida, pero está sujeta a la ocurrencia de errores cuando las distribuciones de la intensidad espacial del LED de prueba y el de referencia no son similares. Este tipo de errores son difíciles de corregir, por lo que el error debe ser minimizado al usar esferas de integración [1, 2].

El flujo luminoso de una fuente bajo prueba  $\Phi_p$ , se conoce a partir del flujo luminoso de la fuente de referencia  $\Phi_r$  mediante la siguiente relación:

$$\Phi_p = \frac{(I_p - I_o)}{(I_r - I_o)} \Phi_r, \tag{1}$$

donde  $I_p$  e  $I_r$  representan el promedio de las fotocorrientes inducidas en el fotodetector por la fuente de prueba y la de referencia, respectivamente.

Hay diferentes tipos de LEDs (colores) para ser medidos por lo que sería necesario tener diferentes tipos de LEDs de referencia, en este caso se recomienda aplicar correcciones espectrales.

#### 2.3.1 Correcciones Aplicadas a las Mediciones

Es deseable que la fuente de referencia y la fuente de prueba tengan características similares, principalmente las distribuciones espectral y espacial de la luz emitida. Sin embargo, esto no

siempre sucede por lo que es necesario realizar correcciones sobre las mediciones.

Las fuentes de error inherentes al sistema de la esfera, que impactan en mayor grado a las mediciones de flujo luminoso total, y que por ende son necesarias de cuantificar y corregir, son la autoabsorción, las diferencias espectrales, y la falta de uniformidad espacial en la respuesta de la esfera [2].

La autoabsorción se refiere a la energía luminosa absorbida por todos los objetos contenidos en la esfera, y que modifican la respuesta del sistema. La autoabsorción debe medirse y corregirse, inclusive cuando se usan fuentes idénticas.

Las diferencias espectrales deben considerarse cuando se comparan fuentes con diferente distribución espectral de potencia y cuando la respuesta espectral relativa del detector no coincide con la curva  $V(\lambda)$  del observador estándar.

La falta de uniformidad espacial en la respuesta de la esfera se debe a los objetos que hay en el sistema, el polvo adherido a las paredes internas, la hendidura que se forma entre los hemisferios al momento de cerrar la esfera, etc.

Las correcciones derivadas de las fuentes de error descritas se expresan en la Ec. (2),

$$\Phi_p = \frac{(I_p - I_o)}{(I_r - I_o)} \cdot \frac{\alpha_r}{\alpha_p} \cdot \frac{ccf^*(S_p)}{ccf^*(S_r)}, \quad (2)$$

donde  $\alpha$  es el factor de autoabsorción,  $ccf^*$  es la corrección por diferencias espectrales, y  $S_p$  y  $S_r$  representan las distribuciones espectrales de la fuente de prueba y referencia, respectivamente [2].

La distribución espectral de la fuente en el interior de la esfera es diferente a la distribución espectral de la fuente en el exterior por lo tanto es necesario hacer una corrección por diferencia espectral.

El factor de corrección por diferencia espectral  $ccf^*$ , de la fuente en el interior, comparado con el iluminante A de la CIE (2 856 K) está dado por

$$ccf^* = \frac{\int S_A(\lambda)R_s(\lambda)d\lambda}{\int S_A(\lambda)V(\lambda)d\lambda} \cdot \frac{\int S_i(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int S_i(\lambda)R_s(\lambda)d\lambda}, \quad (3)$$

donde  $S_i(\lambda)$  es la distribución espectral relativa de la fuente en el interior  $S_A(\lambda)$  es la distribución espectral del iluminante A,  $R_s(\lambda)$  es la respuesta del sistema de la esfera de integración, y  $V(\lambda)$  es la función de eficiencia luminosa espectral de la visión fotópica.

La respuesta del sistema de la esfera de integración puede ser obtenida mediante la Ec. (4),

$$R_s(\lambda) = R_D(\lambda) \cdot T_s(\lambda), \quad (4)$$

donde  $R_D(\lambda)$  es la respuesta espectral del detector y  $T_s(\lambda)$  es la función de transferencia de la esfera de integración, [2]. Esta respuesta del sistema de la esfera es particular para cada sistema de medición.

### 2.4 Medición Espectral

La distribución espectral y color de LEDs puede ser medida con un espectrorradiómetro en diferentes modos, [3]: 1. Modo de irradiancia (Fig. 5); 2. Modo de flujo total (Fig. 6).

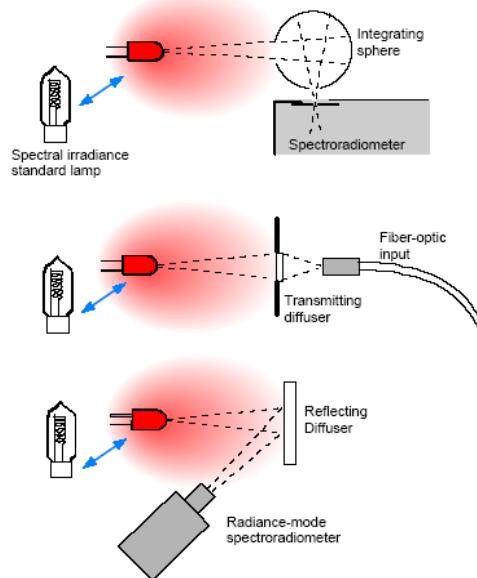


Fig. 5 Ejemplos de arreglos para la medición de LEDs con un espectrorradiómetro (Imagen tomada de [3]).

En CENAM se realiza la medición espectral y de color de LEDs con un espectrorradiómetro como se muestra en el primer diagrama de la Fig. 5.

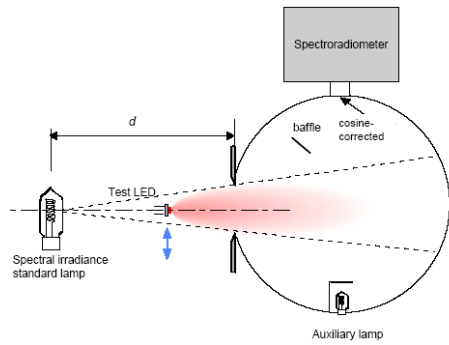


Fig. 6 Geometría para la medición de flujo luminoso total con un espectrorradiómetro. (Imagen tomada de [3]).

**3. RESULTADOS**

Se realizaron mediciones del flujo luminoso total, la TCC y las CCs, con diferentes tipos de LEDs comerciales de alta intensidad, tanto en color blanco (de 1 W y 3 W de potencia) como en los tres colores básicos (azul, verde y rojo, de 1 W de potencia).

Las mediciones de flujo luminoso total fueron realizadas por el método de esfera de integración. Los LEDs se colocaron en la posición central como muestra la Fig. 4.

En las mediciones de TCC y CC fue utilizado un espectrorradiómetro como se muestra en la Fig. 7. Se coloca el LED a una distancia determinada con respecto a la entrada del espectrorradiómetro alineándolo con respecto a su eje óptico.

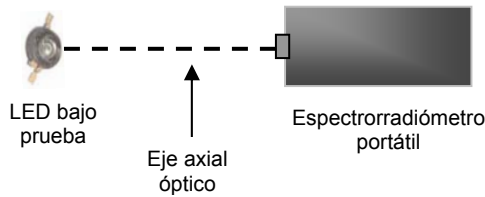


Fig. 7 Diagrama esquemático de la medición de la TCC y CCs de un LED con un espectrorradiómetro.

En las mediciones del flujo luminoso total, como se describió anteriormente, se obtuvo la respuesta del sistema de medición para poder obtener los factores de corrección por diferencias espectrales, considerando la función de transferencia particular de este sistema. Cabe mencionar que debido a la emisión espectral de los LEDs, principalmente los de color específico, la estimación de  $ccf^*$  mediante la aplicación de la Ec. (3) resulta en valores anómalos, por lo que se realizó la evaluación de la función de transferencia típica de la esfera,

empleando fuentes incandescentes y considerando este valor al momento de determinar el  $ccf^*$ .

En la Tabla 1 se muestran los valores de  $ccf^*$ , obtenidos de la forma descrita; que como se observa, son importantes.

Tabla 1. Valores obtenidos para los factores de corrección espectral.

Identificación del LED	Color del LED	$ccf^*$
K2	blanco	1,051
LED03	blanco	1,038
LED07	blanco	1,048
LEDA	azul	0,847
LEDV	verde	1,148
LEDR	rojo	0,821

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones en flujo luminoso total de algunos LEDs comerciales, donde se muestra el resultado sin corregir y el que ya considera las correcciones requeridas; en la Tabla 3 se indican la TCC y CCs obtenidas para cada LED.

Tabla 2. Valores obtenidos de flujo luminoso total en LEDs de alta intensidad.

Identificación del LED	Color del LED	Corriente (A)	Flujo sin correc. (lm)	Flujo corregido (lm)
K2	blanco	0,35	40	42
		0,70	66	69
		1,00	82	86
LED03	blanco	0,35	35	36
LED07	blanco	0,35	33	35
		0,60	39	41
LEDA	azul	0,35	18	15
LEDV	verde	0,35	53	61
LEDR	rojo	0,35	28	23

Es importante mencionar que para realizar estas mediciones con LEDs de baja intensidad, se recomienda utilizar los métodos descritos en [3], ya que existen consideraciones adicionales que se deben tomar en cuenta para obtener resultados adecuados.

Las incertidumbres que se obtuvieron en cada parámetro son las indicadas en la Tabla 4.

Tabla 3. Valores obtenidos para TCC en LEDs de alta intensidad.

Identificación del LED	TCC (K)	CC	
		x	y
K2	6 095	0,321 9	0,310 8
	6 131	0,321 3	0,330 1
	6 106	0,321 7	0,331 8
LED03	6 786	0,277 2	0,430 8
LED07	8 756	0,310 5	0,355 9
	8 979	0,289 5	0,292 4
LEDA	***	0,136 7	0,051 8
LEDV	***	0,144 0	0,730 4
LEDR	***	0,697 0	0,296 3

Tabla 4. Incertidumbres promedio obtenidas.

Parámetro	Incertidumbre k = 2
Flujo Luminoso	LEDs blanco: 2 % LEDs color: 2,3 %
TCC	30 K
CC	x = 0,004 y = 0,003

#### 4. DISCUSIÓN

Como los LEDs medidos son de alta intensidad, las mediciones se realizaron utilizando los métodos tradicionales para la medición de fuentes de luz convencionales (lámparas incandescentes, fluorescentes, etc.). Como se observa en la Tabla 2, de los resultados de las mediciones sin correcciones además de los resultados obtenidos aplicando las correcciones correspondientes, la diferencia obtenida es alrededor del 5 % en los LEDs de color blanco y de más del 20 % en los de color. Todo esto es utilizando como referencia un iluminante A. En los LEDs blancos la variación es menor ya que su espectro de emisión abarca todo el intervalo de 380 nm a 750 nm, a diferencia de los LEDs de color que solo emiten en longitudes de onda específicas. Por eso la CIE ha considerado adecuar los métodos tradicionales de medición para cubrir estas diferencias que se presentan.

#### 5. CONCLUSIONES

La tecnológica de LEDs se está introduciendo de forma importante en la iluminación de ambientes, provocando ahorros considerables en el consumo de energía, reflejándose en la economía y en la preservación del medio ambiente.

Actualmente en el CENAM se cuenta con el conocimiento técnico y la infraestructura para realizar las mediciones relacionadas con la tecnología de LEDs siguiendo las recomendaciones indicadas por la CIE, los resultados aquí presentados permitirán a los diferentes usuarios observar el efecto de las diferentes consideraciones existentes para evitar errores en los resultados entregados.

Adicionalmente, estas mediciones nos han permitido preparar los sistemas de medición para la participación en la comparación *APMP.PR-S3 Supplementary Comparisons of LED Measurements* donde se aplicarán los métodos de medición y consideraciones recomendados por la CIE; que surgen como parte de la necesidad internacional de evaluar estos métodos.

Los resultados obtenidos en el CENAM, contribuyen al trabajo internacional que se está realizando en este campo para sustentar los desarrollos y brindarles confiabilidad en las diversas aplicaciones.

#### REFERENCIAS

- [1] C. De Cusatis, Handbook of Applied Photometry, AIP, Nueva York, (1997).
- [2] Y. Ohno, Photometric Calibrations, Publicación 250-37, NIST, Gaithersburg, (1997).
- [3] CIE, Measurement of LEDs, Publicación CIE 127, Viena, (2007).