

Selección de tecnologías para la iluminación de interiores

Por Carlos Kirschbaum, Federico Buriek, Sergio Gor y Jesús Obando
Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión – UNT - CONICET, Argentina

El diseño de iluminación en América Latina enfrenta una situación contradictoria. La oferta tecnológica disponible es amplia y diversificada pero accesible solo para un limitado sector de la población. En la iluminación residencial el dilema es paradigmático. Las lámparas propuestas para reemplazar a la lámpara incandescente tradicional poseen características fotométricas y espectrales que amplían el campo de aplicación en el alumbrado de viviendas, y al mismo tiempo lo limitan por razones de elevados costos de las nuevas tecnologías, de inmadurez tecnológica de algunas alternativas que se ofrecen o por efectos negativos para el medioambiente y la salud de las personas. Las proclamadas ventajas de las nuevas lámparas con base roscada propuestas como sustitutos de la incandescente deben analizarse cuidadosamente para arribar a conclusiones adecuadas a la hora de su elección.

Las lámparas estudiadas son:

incandescente halógena (IH), fluorescente compacta espiralada (FC) y de estado sólido (led). Este trabajo describe estudios sobre su comportamiento y la influencia que ejercen en la apariencia de objetos. Los ensayos incluyen mediciones sobre flujo luminoso, distribución espacial de la luz (DIL), características espectrales y colorimétricas, como también registros de opiniones y estimaciones de observadores sobre el color, la textura y la apariencia de objetos.

Palabras claves

Iluminación de interiores. Lámparas de base roscada. Reemplazo de la lámpara incandescente.

Introducción

El uso de la iluminación doméstica es un tema que estudiamos desde hace tiempo, en particular en los efectos y alcances del retiro del mercado de la lámpara incandescente, tema en debate en diversos países.

La disponibilidad de lámparas que se ofrecen como alternativas a la incandescente en la iluminación doméstica involucra aspectos que influyen tanto el diseño como las decisiones, apreciaciones subjetivas y evaluaciones de usuarios y especialistas. Los efectos se manifiestan en diversos niveles: en la selección o renovación de tecnologías, en la estimación de costos y beneficios, en la satisfacción y eficacia visual para las personas. La prohibición sobre el uso y comercialización de la lámpara incandescente tradicional en Argentina agrega un ingrediente importante en lo que respecta a la accesibilidad de los usuarios a las nuevas tecnologías.

Reemplazo de la lámpara incandescente

En este artículo se describen resultados con las nuevas lámparas con base roscada E27, diseñadas para reemplazar directamente a la incandescente. Las lámparas que

se utilizan en el estudio se describen a continuación.

Incandescente (I): desde su introducción en 1879, se utiliza mayoritariamente en la iluminación residencial en el mundo. Su eficacia luminosa es de 14 a 18 lm/W con una duración de 1.000 horas, excelente reproducción de colores, elevada disipación de calor. Para su reemplazo se ofrecen en Argentina tres tipos de lámparas:

- Incandescente halógena (IH): posee filamento de tungsteno de tamaño reducido que se enciende en el interior de una cápsula de vidrio de cuarzo llenado con gas halógeno, lo que le permite funcionar a altas temperaturas emitiendo una luz más blanca que la tradicional. Dura de 2.000 a 4.000 horas consumiendo 30% menos de energía eléctrica. La cápsula de cuarzo se monta dentro de un bulbo de vidrio con una forma similar a la de la lámpara tradicional. La reproducción de colores es excelente. Emite mucho calor. Su costo en Argentina es entre cinco a siete veces mayor que la incandescente tradicional.
- Lámpara fluorescente compacta (FC): se considera la de formato espiralado para instalar en artefactos con receptáculos a rosca. Su eficacia luminosa es aproximadamente cinco veces mayor que una incandescente similar en flujo luminoso, con una dura-

ción entre 3.000 y 8.000 horas. Emite poco calor, en lugares con encendidos y apagados frecuentes reduce su duración, demora en estabilizar la emisión una vez encendida, su forma y tamaño limitan o impiden el montaje en algunos artefactos. Funciona con mercurio, lo que implica riesgos para el ambiente y la salud de la gente. Su precio es nueve a doce veces mayor al de la incandescente.

- Lámpara de estado sólido (led): denominada led por su designación en inglés light emitting diode, tiene una eficacia cinco a seis veces mayor que la incandescente, durando entre 25.000 y 45.000 horas. Su encendido es instantáneo con elevada disipación de calor por los dispositivos de refrigeración. Se la produce con dos colores de luz, cálido y frío, con una reproducción aceptable del color de los objetos y materiales. Su costo es entre cincuenta y cien veces mayor que la incandescente.

Evaluaciones

Se estudian características fotométricas, espectrales y efectos en la apariencia visual de objetos.

Características fotométricas

Se analizó una muestra de lámparas de acuerdo a recomendaciones en vigencia, los resultados se resumen en la tabla 1.

Las lámparas fueron envejecidas antes de las mediciones fotométricas y eléctricas: dos horas en el caso de las I e IH y 100 para las FC y leds.

El flujo luminoso y la DIL fueron obtenidos en una esfera integradora y en un goniómetro (LMT GO-DS2000), respectivamente. Se midió: tensión de alimentación, corriente eléctrica, potencia y factor de potencia. Fueron montadas en posición vertical, el casquillo hacia arriba, alimentadas con tensión alterna estabilizada a 220 V y 50 Hz. Se agrupó a las lámparas comparándolas con una incandescente clara estándar para cada gama de potencia. Las características evaluadas se describen a continuación.

Analizando por equivalencia con respecto a una incandescente, el ordenamiento del comportamiento respecto del flujo luminoso fue:

- Para la gama de equivalentes a una I 40 W, las que mejor se comportaron fueron las FC, seguidas por las leds y luego por las IH.
- Para la gama de equivalentes a una I 60 W, las que mejor se comportaron fueron las leds, seguidas por las FC y luego las IH.
- Para la gama de equivalentes a una I 75 W, las que mejor se comportaron fueron las FC, comparadas con las IH.

En todas las gamas de potencia, las IH emitieron un flujo luminoso inferior al declarado.

Potencia nominal	Tipo de lámpara	Flujo medido	Flujo nominal	Diferencia	Potencia medida	Eficacia luminosa
25 W	Incandescente clásica clara	224,58 lm	220 lm	2,08 %	26,4 W	8,51 lm/W
5 W	Led blanco cálido	245,69 lm	240 lm	2,37 %	4,42 W	55,59 lm/W
6 W	Led blanco cálido	237,77 lm	240 lm	-0,93 %	5,88 W	40,44 lm/W
40 W	Incandescente clásica clara	401,82 lm	415 lm	-3,18 %	40,1 W	10,02 lm/W
8 W	Led blanco cálido	325,51 lm	345 lm	-5,65 %	7,86 W	41,41 lm/W
8 W	Led blanco frío	435,9 lm	450 lm	-3,13 %	7,88 W	55,32 lm/W
8 W	Led blanco cálido	455,43 lm	470 lm	-3,1 %	8,18 W	55,68 lm/W
8 W	Fluorescente compacta blanco frío	447,51 lm	475 lm	-5,79 %	7,57 W	59,12 lm/W
8 W	Fluorescente compacta blanco cálido	526,93 lm	500 lm	5,39 %	7,83 W	67,3 lm/W
28 W	Incandescente halógena clara	264,26 lm	346 lm	-23,62 %	27,3 W	9,68 lm/W
60 W	Incandescente clásica clara	708,77 lm	715 lm	-0,87 %	63,2 W	11,21 lm/W
12 W	Fluorescente compacta blanco frío	673,67 lm	685 lm	-1,65 %	11,58 W	58,18 lm/W
12 W	Fluorescente compacta blanco cálido	736,51 lm	708 lm	4,03 %	11,07 W	66,53 lm/W
12 W	Led blanco cálido	850,86 lm	806 lm	5,57 %	12,46 W	68,29 lm/W
42 W	Incandescente halógena clara	534,86 lm	630 lm	-15,1 %	41,9 W	12,77 lm/W
42 W	Incandescente halógena clara	603,47 lm	630 lm	-4,21 %	43,6 W	13,84 lm/W
75 W	Incandescente clásica clara	887,09 lm	890 lm	-0,33 %	76,9 W	11,54 lm/W
15 W	Fluorescente compacta blanco frío	871,81 lm	900 lm	-3,13 %	13,5 W	64,58 lm/W
15 W	Fluorescente compacta blanco cálido	1.076,17 lm	950 lm	13,28 %	15 W	71,74 lm/W
52 W	Incandescente halógena clara	745,85 lm	840 lm	-11,21 %	55 W	13,56 lm/W
53 W	Incandescente halógena clara	679,33 lm	850 lm	-20,08 %	51,4 W	13,22 lm/W
100 W	Incandescente clásica clara	1.325,83 lm	1.350 lm	-1,79 %	100,6 W	13,18 lm/W
70 W	Incandescente halógena clara	985,03 lm	1.200 lm	-17,91 %	69,4 W	14,19 lm/W
70 W	Incandescente halógena clara	1.143,54 lm	1.250 lm	-8,52 %	73 W	15,66 lm/W

Tabla 1. Lámparas estudiadas y parámetros medidos.

Las I de referencia obtuvieron entre 8,5÷13,1 lm/W, aumentando a medida que crecía la potencia. La eficacia de las IH fue de entre 9,6÷15,6 lm/W, mientras que en las leds fue 40,4÷68,3 lm/W y para las FC, 58,1÷71,7 lm/W.

Respecto de las distribuciones de intensidad luminosa, al analizar varias gamas de potencias, se aprecia que son diferentes las curvas de DIL para los distintos tipos de lámparas. Las leds entre 5 y 8 W emiten casi todo el flujo luminoso hacia el hemisferio inferior y poco hacia el superior. La de 12 W distribuye en diferentes direcciones. Las FC tuvieron DIL similares. También las DIL de las IH son similares con mayor emisión hacia los planos laterales debido a la posición vertical del filamento.

Las curvas típicas se representan en la tabla 2.

Distribución espectral

La irradiancia espectral se estimó midiendo la emisión reflejada en una pastilla PTFE con un luminómetro, entre 380 y 1068 nm cada 4 nm, según el esquema de la figura 1.

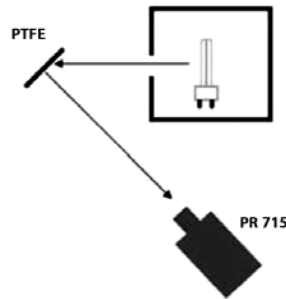


Figura 1. Esquema de medición de la distribución espectral.

La figura 2 muestra distribuciones espectrales de tres tipos de lámparas: IH, FC y led. Las diferencias son notables en particular entre la emisión espectral de la IH con respecto a las FC y leds, que emiten la mayor parte de la radiación en el rango de longitudes de onda entre 380 y 600 nm. La

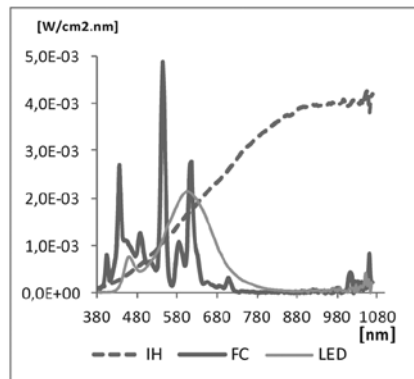


Figura 2. Distribuciones espectrales de tres tipos de lámparas.

emisión en el rango del ultravioleta no es registrada por el instrumento utilizado.

La figura 3 muestra los porcentajes de irradiancia en el visible (380 a 780 nm) y en el infrarrojo (780 a 1.068 nm) para cada tipo de lámpara. Se aprecia la emisión en el infrarrojo de la IH, al contrario de las FC y leds.

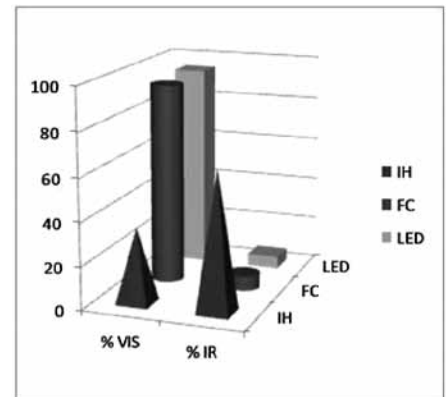


Figura 3. Porcentajes de emisión en los rangos visible (380 a 780 nm) e infrarrojo (780 a 1.068 nm) para tres lámparas: IH, FC y led.

Evaluaciones subjetivas

Doce observadores no entrenados, de 18 a 28 años evaluaron apariencia, color, forma, textura y diferencias de colores en un ramo de seis flores de papel, exhibido en seis cubículos idénticos, cada uno equipado con un tipo de lámpara: incandescente halógena, fluorescente compacta fría (FCf) y cálida (FCc), estado sólido fría (ledf) y cálida (ledc) e incandescente (ver figura 4).

Las evaluaciones de los observadores sobre ocho aspectos del

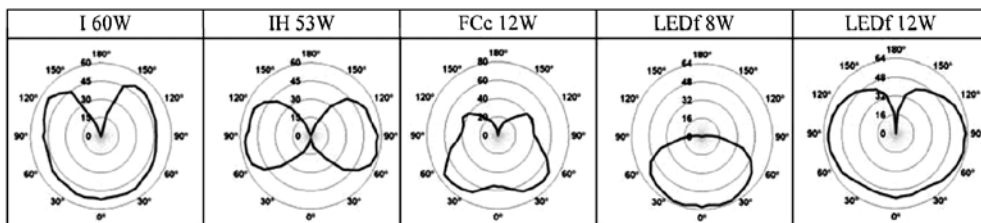


Tabla 2. Curvas de distribución de intensidades luminosas para cinco lámparas de diferente tipo.



Figura 4. Vista de corte de un cubículo. Se aprecian las ubicaciones del observador, la lámpara y el ramo de flores de papel.

ramo se registran en un cuestionario indicando sus estimaciones en una escala de siete pasos que separa dos valoraciones opuestas (ver figura 6). Los aspectos 1 a 5 evalúan al ramo, mientras que de 7 a 9 se refieren a las diferencias de colores en pares de flores exhibidas. Las evaluaciones promedio se indican en las figuras 5a y b.

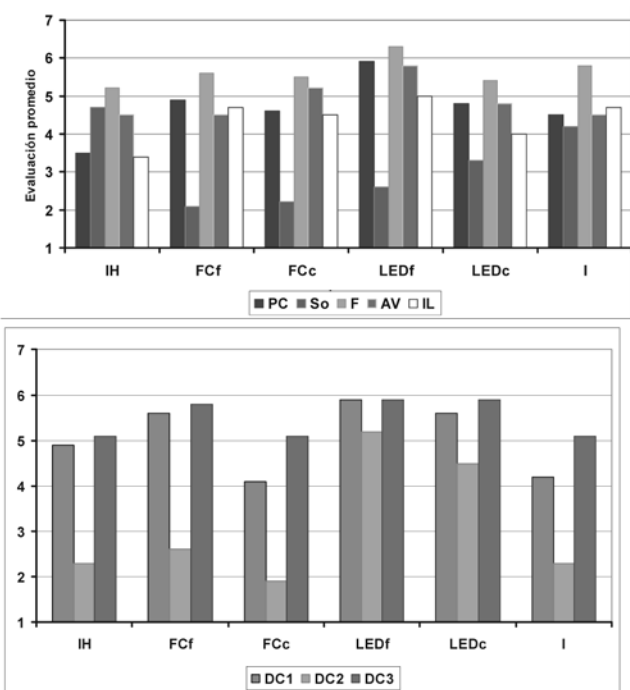


Figura 5. Evaluaciones promedio. a, arriba) Ramo en conjunto, preguntas 1 a 5; b, abajo) Diferencias de color de pares de flores, preguntas 7 a 9. PC: Percepción del color; So: Sombras; F: Forma; AV: Apariencia visual; IL: Iluminación. DC: Diferencia de color; DC1: naranja-rojo; DC2: amarillo-verde; DC3: celeste-violeta.

Resumen de los resultados de la figuras 5:

- Percepción del color (PC): más alta para ledf, más débil para IH. Aceptable para FC, ledc e I
- Sombras: mayor para IH e I, por efectos de filamentos pequeños en bulbos transparentes, para el resto es baja debido a las emisiones difusas del flujo.
- Formas: valoración mayor para ledf.
- Apariencia visual: más colorida para las FCc y ledc, para el resto es aceptable.
- Iluminación: las lámparas cálidas generan sensaciones de claridad menores que las frías.
- Diferencia de colores de pares de flores: la valoración es baja para IH, FCc, FCf e I, mientras que es mayor con los dos tipos de led.

Evaluación subjetiva de la iluminación

La iluminancia horizontal (Eh) sobre los ramos de flores fue medida mediante un luxímetro. Los valores en cada cubículo y lámpara

		1	2	3	4	5	6	7	
1	La percepción de color es...	Muy débil							Muy fuerte
2	Las sombras son...	Muy suaves							Muy intensas
3	Las formas se perciben...	Muy borrosas							Muy nítidas
4	La apariencia de los objetos es...	Muy pálida							Muy colorida
5	El nivel de iluminación de las flores es...	Muy bajo							Muy alto
6	La diferencia de colores en los pares de flores es...								
7	Par rojo - naranja	Muy reducida							Muy grande
8	Par amarillo - verde	Muy reducida							Muy grande
9	Par celeste - violeta	Muy reducida							Muy grande

Figura 6. Cuestionario para evaluación visual del ramo y diferencias de color entre pares de flores.

Lámpara	Eh	Evaluación subjetiva
Ledc	789 lux	4,5
FCf	842 lux	5,63
IH	910 lux	3,75
FCc	935 lux	4,17
Ledf	1.085 lux	6,33
I	1.155 lux	3,83

Tabla 3. Iluminancias provistas por cada lámpara y evaluaciones subjetivas de nivel de iluminación.

se indican en la tabla 3. La tercera columna incluye la evaluación promedio de los observadores del aspecto 5 del cuestionario sobre si el nivel de iluminación en cada ramo era percibido muy bajo (1) o muy alto (7).

Estimaciones colorimétricas

Se midieron luminancia y coordenadas cromáticas desde la posición de observación a cada flor y cubículo con un luminancímetro (ver figura 7).

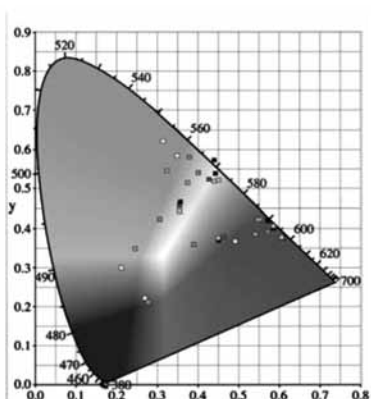


Figura 7. Diagrama de cromaticidad CIE con coordenadas xy para cada flor iluminada por las seis fuentes.

El naranja varía poco, y luego el rojo; el amarillo - verde muestra

valores cercanos; el par con mayor dispersión es el celeste - violeta, iluminado por ledf y FCf.

Barreras

La elección de lámparas para su utilización en la iluminación doméstica está condicionada por la prohibición por ley en Argentina de la lámpara incandescente. La aceptación y críticas sobre su utilización se podrán analizar luego de un período más prolongado de uso en un mercado donde se introducen estas tecnologías, con un 69% de incandescentes instaladas en viviendas urbanas y 93% en rurales. La principal barrera para la diseminación de las nuevas lámparas es su costo, sensiblemente superior a la incandescente, que es la más accesible para los sectores de bajos recursos. Esta barrera existe en muchos países y en particular en América Latina.

Conclusiones

El estudio muestra diferentes comportamientos de las lámparas, lo que demanda una adecuada selección para reemplazar una incandescente por alguna de ellas. Las emisiones luminosas con componentes en la zona azul del espectro generan sensaciones y evaluaciones que, interpretadas según el conocimiento actual sobre los efectos visuales y no visuales de la iluminación, explican las diferencias con registros fotométricos basados en detectores ajustados

según la curva de sensibilidad espectral fotópica del observador estándar V (λ). Además, la diseminación de estas tecnologías exige subsidios sobre todo para usuarios pobres.

Reconocimiento

Este trabajo es parte del proyecto CIUNT 26/E425. Las empresas Osram y Philips en Argentina donaron las lámparas a Horacio Madariaga para los datos de la figura 7, y a Darío Jaén para el armado y montaje de las experiencias psicofísicas.

Bibliografía

Nota del editor: la nota aquí publicada se asienta sobre una extensa bibliografía que, por normas editoriales, no se publica. Por consultas de este tipo o cualquier otra vinculada a la temática tratada, contactar a los autores. ■

Contacto

Carlos Kirschbaum:
ckirschbaum@gmail.com
 Federico Buriak:
fburiak@hotmail.com
 Sergio Gor:
sgor@herrera.unt.edu.ar
 Jesús Obando:
nanoobando@gmail.com

Nota del editor: la nota aquí reproducida fue originalmente presentada por los autores como artículo de investigación en Luxamérica 2012.