

Estudio del desempeño de focos de iluminación domestica

Study of the performance of domestic lighting bulbs

ESQUIVEL RAMÍREZ, Alma Edith†¹, GÓMEZ VIEYRA, Armando*¹ y CORRAL MARTÍNEZ, Luis Francisco²

¹ Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chihuahua, División de Estudios de Posgrado e Investigación

ID 1^{er} Autor: Alma Edith, Esquivel-Ramírez / ORC ID: 0000-0001-5444-7666

ID 1^{er} Coautor: Armando, Gómez-Vieyra / ORC ID: 0000-0003-0290-1518, CVU CONACYT ID: 170266

ID 2^{do} Coautor: Luis Francisco, Corral-Martínez / ORC ID: 0000-0003-0588-5656, CVU CONACYT ID: 213375

DOI: 10.35429/JTEN.2020.13.4.16.23

Recibido 03 de Marzo, 2020; Aceptado 30 Junio, 2020

Resumen

La luz artificial afecta en gran medida nuestro desempeño en el entorno, al estar prolongados tiempos bajo la misma, es importante tomar una elección de cuál nos resulte más conveniente con base en cualidades que buscamos en las mismas. Las luminarias incandescentes fueron por mucho tiempo las que predominaron en el mercado, pero resultan ser las menos eficaces e incluso incómodas en los ambientes. Las luminarias fluorescentes por el contrario son mucho más eficaces y tienen mejores cualidades que permiten desenvolverse naturalmente en los espacios, pero tienen una clara desventaja al contener mercurio en su interior. Las luminarias LED son primordiales si se desea optar por fuentes eficaces y versátiles, que puedan satisfacer las distintas necesidades de los consumidores y cumplir con las cualidades que requieran. Pese a esto, es importante conocer el desempeño de las luminarias. Por lo que este trabajo presenta la comparación entre estos tres tipos de luminarias, comparando su eficiencia, características fotométricas, colorimétricas y eléctricas. Para lo cual se compara un foco incandescente, dos lámparas de fluorescentes (ahorradoras) y siete luminarias LED, todos equivalentes a 60W. El objeto de este estudio es evaluar las claras ventajas y desventajas poniendo especial énfasis en las luminarias LED que dominan actualmente el mercado.

Fuentes artificiales de iluminación, Eficiencia, Colorimetría

Abstract

Artificial light greatly affects our performance in the environment, being long under it, it is important to make a choice of which is most convenient for us, based on qualities that we seek in them. Incandescent luminaires were the ones that dominated the market for a long time, but they turn out to be the least effective and even uncomfortable in environments. Fluorescent luminaires, on the other hand, are much more comfortable and have better qualities that allow them to function naturally in spaces, but they have a clear disadvantage in containing mercury inside. LED luminaires are essential if you want to choose effective and versatile sources, that can satisfy the different needs of consumers and fulfill the qualities that they require. Despite this, it is important to know the performance of the luminaires. In this work presents the comparison between these three types of luminaires, comparing their efficiency, photometric, colorimetric and electrical characteristics. We compare an incandescent bulb, two fluorescent lamps (savers) and seven LED luminaires, all equivalent to 60W. The purpose of this study is to evaluate the clear advantages and disadvantages with special emphasis on the LED luminaires that currently dominate the market.

Artificial lighting sources, Efficiency, Colorimetry

Citación: ESQUIVEL RAMÍREZ, Alma Edith, GÓMEZ VIEYRA, Armando y CORRAL MARTÍNEZ, Luis Francisco. Estudio del desempeño de focos de iluminación doméstica. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2020. 4-13: 16-23

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: agvtex@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Uno de los retos actuales es la disminución del consumo de energía, que en consecuencia trae una disminución en la contaminación producida al generarla. Por lo cual en los últimos 30 años la tecnología de iluminación ha tenido un gran desarrollo, principalmente en las fuentes de iluminación, pasando de los focos incandescentes a las lámparas LED. Esto ha sido un camino largo y complicando, que ha implicado la evolución del conocimiento desde la ciencia básica hasta lograr implementar productos comerciales normalizados y económicamente rentables. En este sentido, en la actualidad las tecnologías de iluminación se clasifican de acuerdo al fenómeno físico que las originan, la Figura 1 muestra un diagrama simplificado de estas.

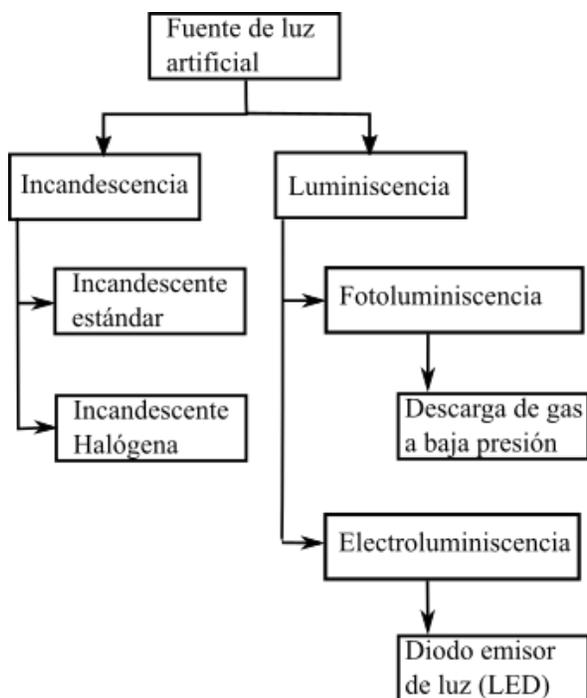


Figura 1 Clasificación de las fuentes de luz artificiales según el fenómeno físico que las hace emitir luz visible
Fuente: *Elaboración Propia*

La incursión de cada tecnología en los diversos aspectos de la vida cotidiana ha llevado a implementar cada tecnología en el ámbito urbano, casero y de eventos artísticos. En este sentido es importante una comparación entre las diversas tecnologías que se emplean en el hogar, debido a que como seres humanos llevamos a cabo muchas actividades cotidianas empleando fuentes de luz artificiales y en la actualidad las normas nacionales e internacionales presuponen el uso de la tecnología de luminarias LED como una constante.

Esto realmente presenta ventajas, como el bajo consumo de energía y la disminución de radiación Uv. Además, afecta el desempeño de las actividades humanas al proporcionar variedad de emisión en el visible, que pueden relajar o confortar el trabajo bajo iluminación artificial. Por lo cual en este trabajo se realiza la medición de esta tecnología con respecto a otras existentes en el mercado (foco incandescente y lámpara de descarga de baja presión).

Toda fuente de luz (natural o artificial) debe tener ciertas características propias como la producción de una cantidad de energía especificada, una distribución de emisión espacial, una distribución espectral especificada y un consumo de energía dependiente de cada tecnología y aplicación. Para la caracterización y ponderación de los beneficios de cada tecnología es necesario realizar medición de la eficiencia, definida como:

$$\eta = \frac{\text{Potencia óptica emitida}}{\text{Potencia eléctrica consumida}} \left[\frac{W}{W} \right] \quad (1)$$

Que por definición es diferente a la eficacia luminosa (relación entre el flujo luminoso en [lm] emitido por un sistema de iluminación y la potencia consumida en [W]) y a la eficacia luminosa de radiación (relación entre el flujo luminoso [lm] y el flujo radiante [W]).

Del mismo modo, debe considerarse que la distribución de la emisión de las fuentes de luz reales debe aproximarse lo más posible a una fuente lambertiana, la cual emite la misma cantidad de luz en todas direcciones, lo cual no sucede habitualmente.

Además, como las luminarias de uso doméstico se emplean para realizar actividades cotidianas como leer, escribir, realizar deberes domésticos, recreación artística, etc., las cuales necesitan diferentes niveles de iluminación para realizarlas de manera confortable y adecuada. Esto implica aspectos fotométricos y colorimétricos que se encuentran íntimamente ligado a los parámetros psicofísicos del ojo humano, por lo cual es importante también evaluarlos en este análisis.

Además de los aspectos psicofísicos, también es importante conocer los espectros característicos de emisión, debido a que ciertas longitudes de onda son indeseables en los sistemas de iluminación doméstica, principalmente los rayos UV.

Por lo anterior, es de suma importancia la evaluación de los dispositivos comerciales existentes en el mercado, con el fin estar informados del producto que nos ofrecen. Además, todo este trabajo es de gran interés en la enseñanza a nivel superior de las interacciones de radiación-materia, en materias como física atómica-molecular, física moderna, optoelectrónica y óptica en programas de estudio de física e ingeniería.

Luminaria	1	2	3	4	5
Marca	Quality day	Quality day	Precissi-mo	Philips	Philips
Tipo	LED	LED	LED	LED	LED
Potencia consumida [W]	9	9	9	9.5	8
Voltaje [V]	127	127	120	100-240	110-130
Flujo total luminiscente [lm]	750	800	550	806	710
Eficacia luminosa [lm/W]	83.33	88.89	61.11	84.84	89
Temperatura de color [K]	3000/ Cálida	6500/ Fría	2700/ Cálida	3000/ Cálida	3000/ Cálida
Tiempo de vida [hr.]	15000	15000	30000	15000	10000

Luminaria	6	7	8	9	10
Marca	Philips	Osram	Osram	Precissi-mo	D+Luz
Tipo	LED	LED	Fluorescente	Fluorescente	Incandescente
Potencia consumida [W]	9	8.5	15	15	60
Voltaje [V]	100-240	120	127	127	120
Flujo total luminiscente [lm]	806	800	850	850	830
Eficacia luminosa [lm/W]	89	94.11	57	57	13.81
Temperatura de color [K]	3000/ Cálida	6500/ Fría	6500/ Fría	6500/ Fría	3000/ Cálida
Tiempo de vida [hr.]	25000	10000	8000	8000	1000

Tabla 1 Características reportadas por el fabricante para cada luminaria

Fuente: Elaboración Propia

Metodología Experimental

En el desarrollo de este trabajo se realizaron pruebas a siete luminarias LED (1 a 7), dos fluorescentes compactas (8 y 9) y una incandescente (10), todas ellas de uso doméstico, disponibles comercialmente y equivalentes a 60 W (Tabla 1).

A todas las fuentes luminosas se les realizaron pruebas en la esfera integradora con su espectro-radiómetro para obtener parámetros radiométricos, fotométricos y colorimétricos, analizando también los parámetros eléctricos. El espectro-radiómetro LISUN LMS-9000B está diseñado para producir cualquier distribución espectral visible, mediante control de realimentación de la potencia radiante emitida por la fuente de prueba, desarrolla mediciones:

- Colorimétricas: obtiene las coordenadas de cromaticidad, temperatura de color, pureza del color, CRI, prueba de espectro, entre otras.
- Fotométricas: flujo luminoso, eficiencia luminosa y potencia radiante.

Con la adaptación del equipo correspondiente, se pueden realizar mediciones eléctricas: voltaje, corriente, potencia consumida y factor de potencia. Para poder visualizar y medir las señales electricas se utilizó el analizador de potencia multicanal Keysight PA2200 y la fuente de alimentación de corriente alterna Keysight AC6802A . En la Figura 2 se muestra el arreglo experimental.

Se tomó un voltaje de 127V y la frecuencia del sistema eléctrico de 60Hz, alimentada por la fuente de alimentación de AC, para todas las mediciones.



Figura 2 Arreglo experimental para la caracterización fotométrica y eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de Resultados

La colorimetría describe fielmente la percepción que tenemos de la radiación emitida y nuestra adaptación a la misma. Hay dos medidas que consideramos en este estudio, la primera es el índice de reproducción de color (color rendering index, CRI) que se relaciona con la fidelidad con la cual puede apreciar el color de un objeto iluminado con una fuente de luz artificial en comparación con el sol o el cuerpo negro y la segunda son las coordenadas de color que se representan en un diagrama de cromaticidad CIE1937.

La Tabla 2 muestra los valores medidos de las luminarias para temperatura de color e índice de reproducción cromática, las coordenadas del radio de color y la pureza del color.

Al analizar la Tabla 2 se observa que la temperatura de color es más aproximada para las primeras 7 luminarias correspondientes a focos LED, aunque hay mayor desviación en las luminarias fluorescentes, esta sigue siendo mínima y, como es de esperarse, la fuente incandescente, al ser lo más cercano al cuerpo negro, presenta unas excelentes propiedades colorimétricas debido a la radiación continua.

Luminaria	1	2	3	4	5
Tc [K]	2985	6042	3200	3282	3046
CRI	76.6	76.9	79.3	76.3	77.8
Radio de color	R=0.23 G=0.742 B=0.028	R=0.136 G=0.806 B=0.059	R=0.222 G=0.741 B=0.037	R=0.213 G=0.762 B=0.025	R=0.227 G=0.746 B=0.027
Pureza de color	0.524	0.040	0.420	0.432	0.506

Luminaria	6	7	8	9	10
Tc [K]	3056	6462	6914	6668	2768
CRI	78.0	79.5	76.9	78.5	99.8
Radio de color	R=0.228 G=0.741 B=0.031	R=0.135 G=0.807 B=0.058	R=0.173 G=0.762 B=0.064	R=0.182 G=0.751 B=0.066	R=0.261 G=0.709 B=0.030
Pureza de color	0.495	0.069	0.098	0.083	0.595

Tabla 2 Parámetros colorimétricos obtenidos

Los resultados mostrados, presentan, por ejemplo, para la luminaria 3 una temperatura de color de 3200 K y un CRI=79.3 que es la reproducción extendida, además da las coordenadas de color (radio de color) que pueden ser representadas en un diagrama CIE, Figura 3. Además de la pureza del color.

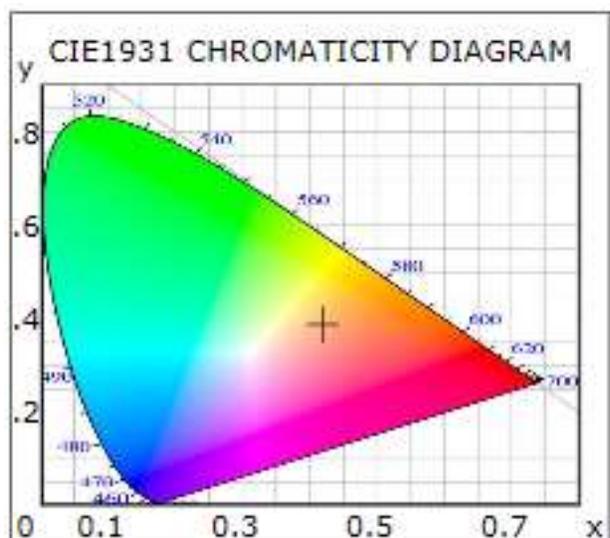
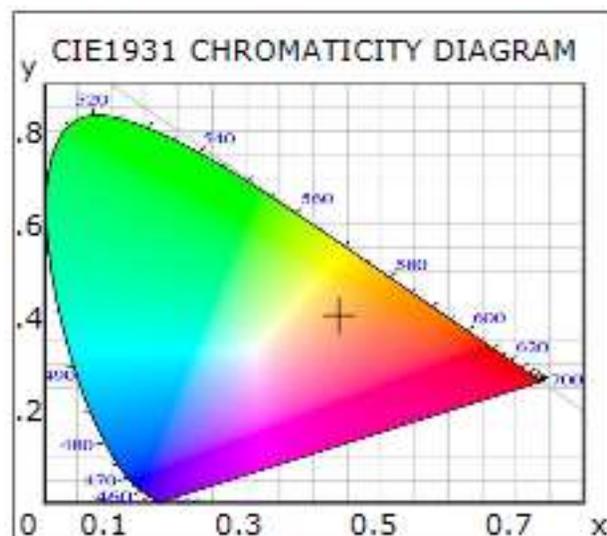


Figura 3 Diagrama de cromaticidad para la luminaria 3 (la cruz indica el color percibido por el ojo humano)

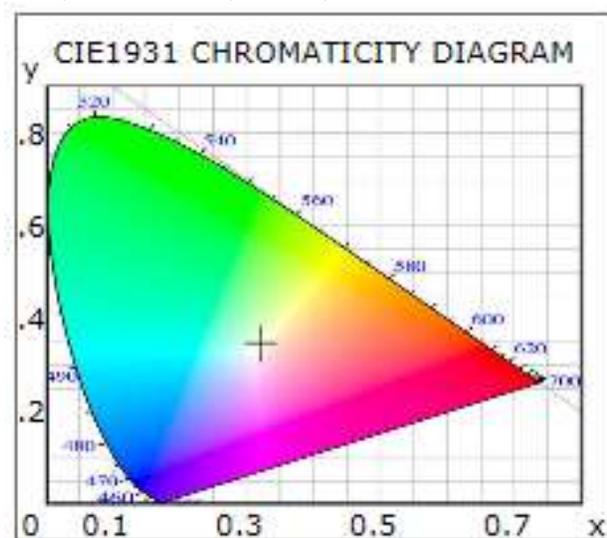
Fuente: Elaboración Propia

También importante distinguir que de acuerdo al tipo luz de la luminaria, cálida o fría, el diagrama de cromaticidad reflejará la coordenada más cercana a la luz blanca pura cuando sea fría o más cercana a la región del rojo cuando sea cálida.

Esto es claro al observar los diagramas de las luminarias 1 y 2, mostrados en la Figura 4.



a) Luminaria 1 (luz cálida)



b) Luminaria 2 (fría)

Figura 4 Diagrama de cromaticidad para las luminarias 1 y 2

Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones del flujo total luminiscente se muestran en la Tabla 3. El flujo total luminiscente es un factor que es mostrado claramente en los empaques de las luminarias, junto con la potencia consumida de las fuentes se obtiene la eficacia lumínica, determinante en la elección de una luminaria. El flujo total luminoso real (medido) y el reportado por los fabricantes resultó en su gran mayoría mayor al indicado aumentando inclusive 30%, aunque se establece que para igualar y poder comparar las demás luminarias con una incandescente de 60W, el flujo total debe ser de 800 lm, lo cual difiere con la información proporcionada o medida.

Luminaria	Flujo luminoso reportado [lm]	Flujo luminoso real [lm]	Porcentaje de diferencia
1	750	897.542	19.7
2	800	1017.554	27.2
3	550	719.447	30.8
4	806	863.606	7.1
5	710	898.077	26.5
6	806	897.636	11.4
7	800	944.332	18.0
8	850	836.687	-1.6
9	850	998.996	17.5
10	830	879.702	6.0

Tabla 3 Parámetros fotométricos
Fuente: *Elaboración Propia*

La potencia eléctrica consumida real y la reportada por las luminarias (Tabla 4) es un parámetro en el cual las luminarias LED consumieron un poco más de lo indicado a excepción de la luminaria 6, marca Philips, en cambio las fluorescentes compactas y la incandescente consumieron poco menos de lo indicado, esto repercute directamente en la eficacia de las mismas y contradice la información reportada por los fabricantes.

La eficacia luminosa es un factor decisivo en la elección de una luminaria, ya que luminarias eficientes energéticamente generan ventajas económicas significativas, mejoran la seguridad energética, reducen las emisiones de gases con efecto invernadero y mejoran el bienestar de las personas. La Tabla 5 muestra que todas las luminarias registraron una eficacia por encima de la especificada, a pesar de consumir más de lo indicado.

Luminaria	Potencia consumida reportada [W]	Potencia consumida real [W]	Relación
1	9	9.36	1.04
2	9	9.48	1.05
3	9	9.72	1.08
4	9.5	9.58	1.01
5	8	8.3	1.04
6	9	8.37	0.93
7	8.5	8.72	1.03
8	15	12.65	0.84
9	15	14.81	0.99
10	60	59.78	0.996

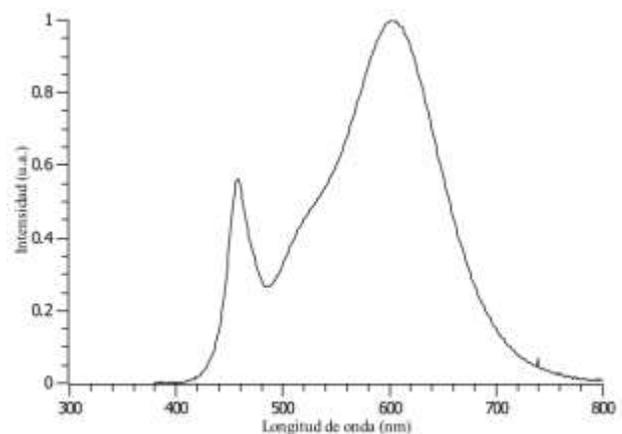
Tabla 4 Parámetros eléctricos de las luminarias
Fuente: *Elaboración Propia*

Luminaria	Eficacia luminosa Reportada [lm/W]	Eficacia luminosa real [lm/W]	Diferencia porcentual
1	83.33	95.891	15.1
2	89	107.337	20.8
3	61.11	74.017	21.1
4	84.84	90.147	6.2
5	89	108.267	21.6
6	89	107.232	20.5
7	94.118	108.295	15.1
8	56.67	66.115	16.6
9	56.67	67.454	19.0
10	13.83	14.717	6.4

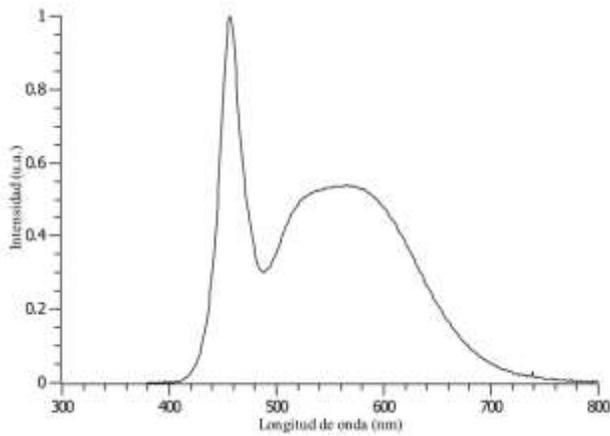
Tabla 5 Eficacias calculadas para las luminarias
Fuente: *Elaboración Propia*

Además, es importante observar los espectros de emisión de cada luminaria (Figura 5), donde se aprecia claramente que el foco incandescente (Figura 5.j) es un continuo con una menor cantidad de luz UV relativa, respecto al resto de emisiones. Las luminarias fluorescentes (Figuras 5.h y 5.i) muestran un espectro típico de este tipo de fuentes de luz. Al comparar con las luminarias LED (Figuras 5a-5g) es apreciable que las lámparas LED presentan menores componentes de luz UV y un espectro continuo.

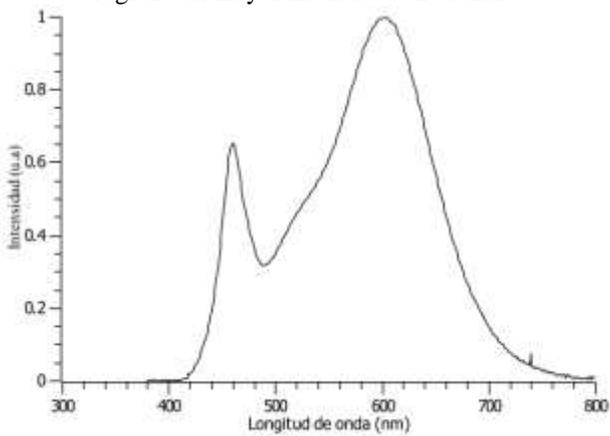
Cuando se comparan los espectros de las luminarias LED entre si es importante resaltar la diferencia entre una fuente de emisión fría (Figura 5b y 5g) con respecto al resto de luminarias LED cálidas. Del mismo modo, las componentes de emisión en rojo e infrarrojo van disminuyendo considerablemente. Sería importante un análisis psicofísico de la adaptación de la percepción humana a este cambio considerando que nuestra biología está diseñada para funcionar con la luz solar (un cuerpo negro).



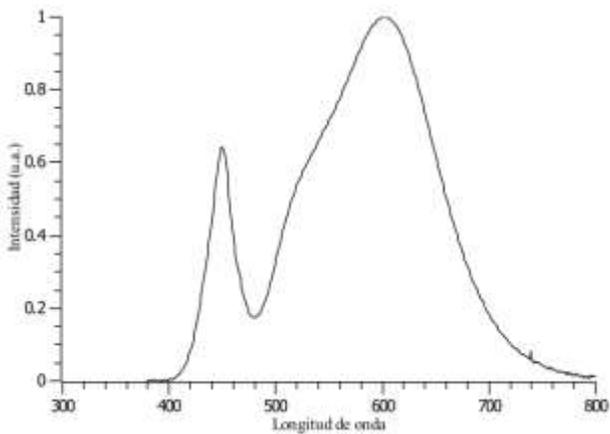
a) Espectro de luminaria 1 (luz cálida). Donde hay una predominancia en la región del rojo.



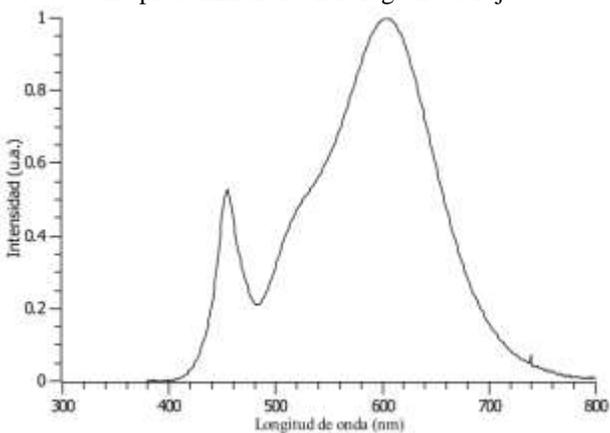
b) Espectro de luminaria 2 (luz fría). Donde hay una región con mayor intensidad en el azul.



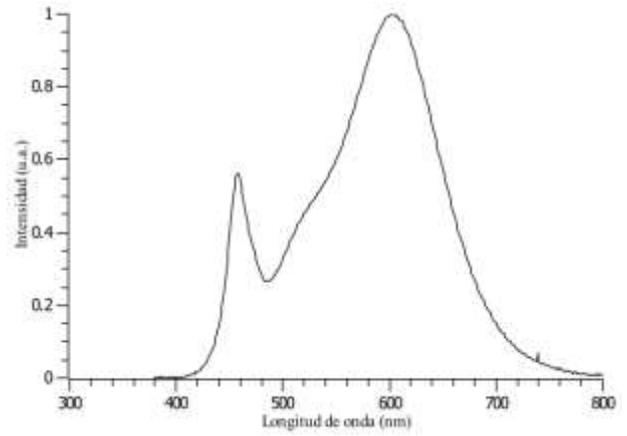
c) Espectro de luminaria 3 (luz cálida). Donde hay una predominancia en la región del rojo.



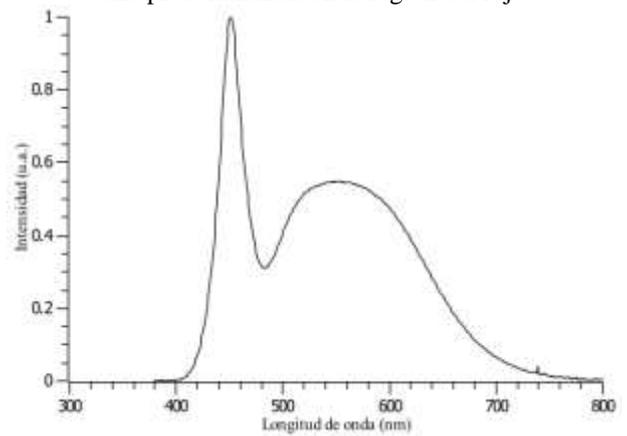
d) Espectro de luminaria 4 (luz cálida). Donde hay una predominancia en la región del rojo.



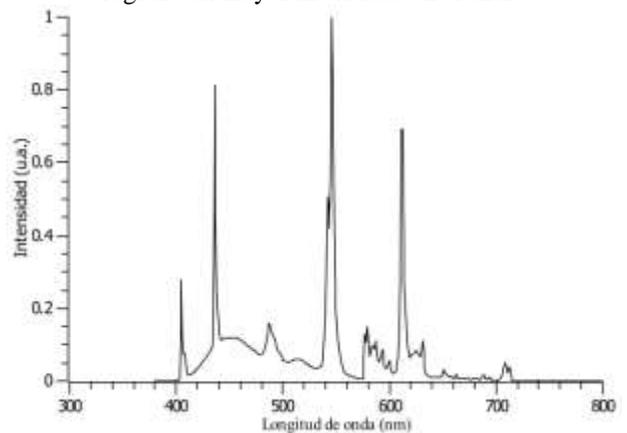
e) Espectro de luminaria 5 (luz cálida). Donde hay una predominancia en la región del rojo.



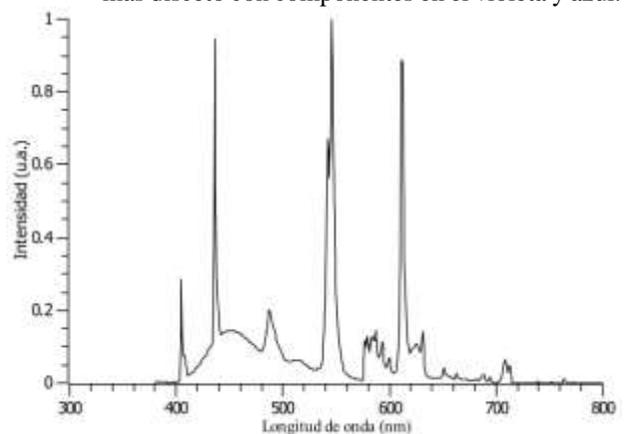
f) Espectro de luminaria 6 (luz cálida). Donde hay una predominancia en la región del rojo.



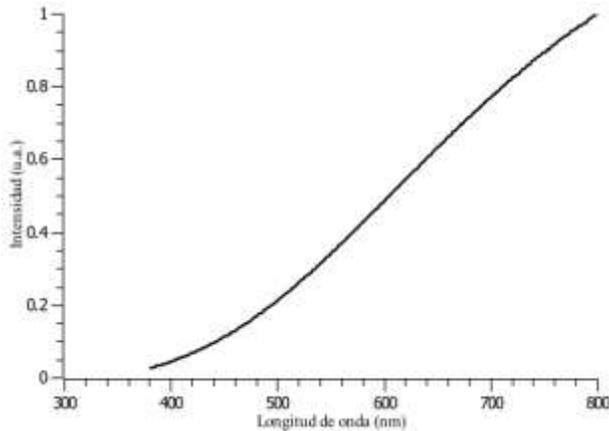
g) Espectro de luminaria 7 (luz fría). Donde hay una región con mayor intensidad en el azul.



h) Espectro de luminaria 8 (luz fría). El espectro es más discreto con componentes en el violeta y azul.



i) Espectro de luminaria 9 (luz fría). El espectro es más discreto con componentes en el violeta y azul.



- j) Espectro de luminaria 10 (luz cálida). Donde se observa un espectro suave donde si hay componentes en el infrarrojo y su emisión en la región del violeta y ultravioleta es significativamente menor.

Figura 5 Espectro de emisión de las fuentes de artificiales de luz de 60W

Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

Las ventajas de la iluminación LED abordadas en esta investigación resultan muy claras, esta tecnología ha propiciado muchos avances, incluso dentro de su rama tiene un crecimiento acelerado, por lo cual no sería de sorprender que en poco tiempo las ventajas sean más.

En comparación con las luminarias convencionales incandescentes e inclusive con las fluorescentes, las luminarias LED son altamente eficaces, aprovechando cerca de un 80 a 90% la energía con respecto a una luminaria convencional para entregar la misma cantidad de lúmenes y cerca de un 30 a 40% más que las fluorescentes. Este factor es de alto impacto porque reduce directamente la factura en el consumo de energía en cada hogar y con ello la demanda de la energía eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La mayor vida útil de las luminarias LED compensa el mayor costo relativo inicial, puesto que al ser más eficaces y tener un mayor tiempo de vida resultan ser las luminarias con menor costo de operación y más duraderas evitando así los costos por remplazo, con tiempo de vida útil de hasta 30000h-50000h, superando en 30 o más veces a una luminaria incandescente y hasta 8 veces más que una fluorescente.

Las características del color de una luminaria LED están mejor definidas y son muy diversas, por lo cual son muy versátiles y pueden adaptarse a distintos espacios, cuando se desea una alta fidelidad de color o tonalidades más variadas son la mejor opción. La mezcla entre estas luminarias puede brindar tonalidades no posibles con otro tipo de luminarias.

A diferencia de las luminarias fluorescentes e incandescentes la emisión de calor es casi nula, el calor es generado en los componentes electrónicos que la conforman por lo cual constan de disipadores de calor que los sujetan y que sirven precisamente para disipar el calor generado por el circuito, hay una variedad de disipadores de calor que los conforman, y están pensados en la cantidad de ledes que conforman la luminaria.

A pesar de ser eficaces, también pueden presentar un factor de potencia alto a un costo no elevado, además de ser características de fácil control que en cuestión de cierto tiempo puede implementarse en distintos productos ofertados sin aumentar significativamente su costo, como se notó con la luminaria 6.

En general la elección de una luminaria dependerá de su uso, con base a esto se decidirá qué características particulares se desean en la misma, las más versátiles y eficientes resultan ser las luminarias LED, las cuales pueden adaptarse a las necesidades de los consumidores mucho mejor que cualquier otro tipo de luminaria sin perjudicar a nuestra salud al estar expuestos por tiempos muy prolongados, entre estas y muchas razones justificadas es importante fomentar su uso temprano y con ello aportar a la necesaria reducción del consumo energético.

Referencias

- D. Malacara, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, SPIE Press, 2011.
- E.B. Goldstein, J. Brockmole. Sensation and Perception, Cengage Learning, 2016.
- F. Szabó, R. Kéri, J. Schanda, P. Csuti, E. Mihálykó-Orbám (2016). A study of preferred colour rendering of light sources: Home lighting, *Lighting Res. Technol*, 48, 103-125
- G. Wyszecki and W.S. Stiles, Color Science, Wiley Interscience, 2000.
- ESQUIVEL RAMÍREZ, Alma Edith, GÓMEZ VIEYRA, Armando y CORRAL MARTÍNEZ, Luis Francisco. Estudio del desempeño de focos de iluminación doméstica. *Revista de Ingeniería Tecnológica*. 2020

H.A.E. Keitz, Cálculos y Medidas en Luminotecnia, Paraninfo, 1974.

J.L. Lindsay, Applied Illumination Engineering, Fairmont Press, 1997.

J.M. Palmer, B.G. Grant, The Art of Radiometry, SPIE Press, 2009.

K. Chang, Handbook of Optical Componets and Engineering, Wiley, 2003.

M. S. Perlmutter, A. Bhorade, M. Gordon, H. Hollingsworth J.E. Engsberg, M. C. Baum (2013). Home lighting assessment for clients with low vision, *American Journal of Occupational Therapy*, 67, 674-682

T.Q. Khanh, P. Bodroigi, Q. T. Vinh, H. Winkler, LED Lighting Technology and Perception, Wiley-VCH, 2015.

W.R. McCluney, Introduction to Radiometry and Photometry, Artech House, 2014.