

“TÉCNICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN EN ENSAYOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LÁMPARAS”

Tec. Azcurra, Javier (Autor 1)^a; Ing. Pochettino, Nicolás (Autor 2)^b; Esp. Ing. Acosta, Javier (Autor 3)^c
Ing. Banegas, Marcos (Autor 4)^d; Tec. Longoni, Javier (Autor 5)^e
a b c d e UTN Santa Fe, Centro I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Laboratorio de
Mediciones y Ensayos (LaMyEn)
javier.e32@gmail.com; npochettino@frsf.utn.edu.ar

Resumen

El flujo luminoso es un factor determinante en sistemas de iluminación. Cuando se evalúan lámparas LED este parámetro permite valorar la eficiencia del sistema, dado por la unidad lm/W y que corresponde al cociente entre el flujo luminoso emitido en lúmenes (lm) y la potencia eléctrica consumida en Watt (W), estableciendo la capacidad del producto para transformar la energía eléctrica consumida en lumínica.

La particularidad que poseen los ensayos para la determinación de eficiencia energética (EE) basados en IRAM62404-3 es que se ejecutan sobre un lote de 20 lámparas led correspondiente a un modelo específico; básicamente consisten en realizar mediciones de luminancia utilizando la esfera integradora de Ulbricht y determinar el índice de EE que le corresponde al modelo ensayado.

Si tenemos en cuenta el universo de modelos existente en nuestro mercado, encontramos la necesidad de idear un proceso de medición efectivo que pueda ser versátil frente a la cantidad de marcas, modelos y casquillos persiguiendo el objetivo de obtener cierta dinámica en las mediciones, y asegurando su calidad, confiabilidad y trazabilidad.

Se diseñaron vástagos permitiendo intercambiar mediante acoples rápidos el tipo de casquillo que se necesite y fijar la altura que poseerá en el soporte de la esfera. Cada uno de ellos se conectan una caja de conexión que respeta los parámetros exigidos.

La dificultad mencionada nos permitió desarrollar una secuencia de ensayo ágil y pensada en responder a la demanda; sin perder el estricto control de los parámetros involucrados posibilitando reducir los tiempos de lectura de la luminancia.

Palabras clave: Lámparas, Eficiencia, Normas, Técnica

Abstract

Luminous flux is a decisive factor in lighting systems. When considering LED lamps this parameter allows to assess system efficiency, expressed by the unit lm/W –which corresponds to the ratio between the luminous flux in lumens (lm) and the electric power that is consumed in Watts (W). This establishes the product's capacity to transform electric power in luminous power.

The special feature in the trials to determine energy efficiency (EE) based on the norms IRAM62404-3 is that they are carried out in a batch of twenty LED lamps belonging to a specific model. In basic terms, these trials consist in measuring luminance using the Ulbricht integrating sphere and determining the EE rate corresponding to the model used in the trial.

Considering the universe of existing models in the market, we find the need to devise an effective measurement process that can be versatile with regard to the amount of brands, models and sockets, aiming at collecting certain information in the measurements and at ensuring its quality, reliability and traceability.

We have designed stems that allow to change the socket type needed through fast connectors, and to set the height that it will have in the sphere support. Each of these stems are connected in a junction box that meets the required parameters.

This difficulty permitted us to develop an agile trial sequence devised to respond to the demand, without losing strict control of the involved parameters and allowing to reduce the time between luminance measurements.

Key Words: LED Lamps, Efficiency, Norms, Techniques

INTRODUCCIÓN

El flujo luminoso es un factor determinante en los sistemas de iluminación. Puntualmente cuando se evalúan lámparas LED este parámetro permite valorar la eficiencia del sistema, dado por la unidad lm/W y que corresponde al cociente entre el flujo luminoso emitido en lúmenes (lm) y la potencia eléctrica consumida cuya unidad es el Watt (W), estableciendo la capacidad del producto para transformar la energía eléctrica consumida en energía lumínica.

Esta determinación permite hacer valoraciones entre distintos tipos de lámparas, por ello el procedimiento llevado a cabo es fundamental *a fines de obtener un parámetro confiable para la evaluación.*

En la República Argentina se encuentra vigente la norma perteneciente al Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM62404-3], 2019, que pacta sobre como se evalúa la eficiencia energética de una lámpara LED; para lo que **basa las mediciones en normativa internacional**. Si bien la IRAM basa las condiciones generales de los ensayos en función de la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional [IEC 62612], 2015 para el ensayo de *medición del flujo* se aplica el método estipulado en la normativa de la Comisión Internacional de Iluminación [CIE 84], 1989. Además de esta última mencionada, internacionalmente se encuentran disponibles normativas de la Sociedad Ingenieril de Iluminación [IES LM 79] y la CIE S 025, que también hace referencia a la medición de flujo luminoso en equipos LED.

La particularidad que poseen los ensayos para la determinación de eficiencia energética basados en IRAM62404-3 es que se ejecutan sobre un lote de veinte (20) lámparas led correspondiente a un modelo en particular; y si tenemos en cuenta el universo de clientes existente en el mercado argentino, nos encontramos con la **necesidad de idear un proceso de medición efectivo** que pueda ser versátil frente a la cantidad de marcas, modelos y casquillos que poseen los dispositivos de iluminación persiguiendo el objetivo de obtener cierta dinámica en las mediciones, asegurando la calidad, confiabilidad y trazabilidad de las mediciones.

A. METODOLOGÍA

Para la realización de las mediciones se llevaron a cabo los *métodos de medición de flujo luminoso en lámparas LED*, establecidos por las normas CIE84, adaptándolos según como se utilizan en la norma IRAM 62404-3 utilizando la esfera de Ulbricht.

El ensayo consiste en *calcular el flujo luminoso de la lámpara bajo ensayo por comparación* entre las luminancias

de esta y de una lámpara de referencia, la cual se conoce su flujo lumínico. Adicionalmente a esto se midieron Tensión, Corriente, Potencia, Distorsión Armónico Total (THD) y armónicos individuales de tensión y corriente hasta la armónica cincuenta.

Al realizar el correspondiente estudio y evaluación de las normativas para llevar a cabo la tarea de determinar el flujo; nuestro **objetivo** es *evaluar y detectar los tiempos que se pueden optimizar mediante la mecanización del ensayo*, determinar las oportunidades de mejora para obtener la luminancia en las veinte lámparas LED y, mediante criterio técnico y razonamiento de resultados, generar una instrucción de trabajo que responda al carácter de precisión que exige el ensayo pertinente, y así realizar una tarea basada en la excelencia de los resultados.

1) Esfera integradora

Bajo el proyecto ECONORMAS, el Laboratorio de Mediciones y Ensayos (LaMyEn) que funciona dentro del Centro I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), con sede en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe adquirió para la realización de ensayos de determinación de eficiencia energética, la denominada esfera de Ulbricht. La misma resulta hueca y su interior recubierta con una pintura especial (declarada por el fabricante como: photometerpaint php 80), de color blanco, cuya propiedad principal es presentar una reflexividad lo más uniforme posible a las diferentes longitudes de onda percibidas por el ojo humano. De acuerdo al método utilizado, la lámpara se ubica en su centro geométrico y debido a la reflexión de la luz emitida por la misma, el elemento de medición – Luxómetro – mide la luminancia que emite el modelo dispuesto.



Figura N° 1. Esfera integradora LMT UL 1650/2250.

Para que la esfera se comporte como “integradora” se coloca una placa (cubierta de la misma pintura de las paredes interiores), cuyo cometido es evitar que la luz incida directamente sobre el elemento de medición. De esta manera y en forma ideal, se asume que la esfera integradora es una “Superficie Lambertiana” (superficie ideal que refleja la energía incidente desde una dirección igual en todas direcciones, por lo cual, al variar el punto de vista, su luminancia no cambia) con reflectancia no selectiva. Es decir que para cualquier longitud de onda (del espectro visible) se tiene el mismo índice de reflectancia en todos los puntos de la esfera.

Además, por la geometría que presenta y por el hecho de que la luz no incide directamente sobre el punto de medición, no existen puntos privilegiados en su superficie interior.

2) Condiciones y esquemas de conexión

Las condiciones de ensayo se ejecutaron dentro de una sala sin corrientes de aire según especifica CIE 121, y a una **temperatura de 25 °C ± 1 °C**, una **humedad relativa menor al 65%** bajo la normativa CIE84; bajo un estricto funcionamiento en estado estable de la lámpara LED mediante equipos que cumplen con los lineamientos del anexo A de IEC 61000-3-2 (forma de onda, estabilidad, distorsión armónica total, etc), requerido por IEC 62612 para ensayos de lámparas, a la cual se le registraron y controlaron los valores de estabilidad de tensión y la distorsión armónica de la misma, obteniendo:

Tensión aplicada con variación menor que $\pm 0,1\%$

Total Harmonic Distortion (THD) de tensión menor a 3%

Tiempo de estabilización previo a la medición, de al menos 90 minutos.

Las **variables eléctricas** se registraron con un vatímetro *Yokogawa modelo WT310* junto con el software, WTVViewer que permite la visualización instantánea y el registro de datos para tratamiento posterior.

Básicamente el esquema de conexión involucrado para la determinación del flujo luminoso de cada lámpara consiste en una conexión de 4 puntos, el cual permite obtener los parámetros arrojados por el vatímetro inmediatamente en el casquillo que se encuentra conectada la lámpara.



Figura Nº 2. Disposición utilizada.

Esto, en estrecha relación con el hardware que posee la esfera integradora y en conjunto con la determinación de la luminancia que arroja la cabeza fotométrica permiten calcular el flujo luminoso de la lámpara bajo ensayo y así determinar la eficiencia de los dispositivos bajo ensayo o DUT (*device under test*, por sus siglas en inglés) frente a las lámparas de referencia.

Cabe destacar que todos los elementos utilizados cuentan con sus respectivos certificados de calibración trazables.

3) Muestras bajo ensayo

La publicación del Ministerio de Producción y Trabajo junto con la Secretaria de Comercio Interior, mediante la resolución 586/2020 publicada el 17 de Noviembre de 2020 establece que para lámparas LED eléctricas de iluminación general que se comercialicen en nuestro país deben contar con una etiqueta de eficiencia energética; esto implicado que cada importador debe exhibirla sobre la caja del producto. Nuestro laboratorio se encuentra habilitado por el Organismo Argentino de Acreditación (OAA) para determinar el flujo en lámparas LED independientemente del casquillo que posean, de las cuales, los más comunes en el mercado son: E14, E27, E40, G9, G13 y GU10.



Figura N° 3. Casquillos más utilizados en el mercado argentino.

4) Procedimientos normativos

Las pruebas consisten en *realizar mediciones de luminancia* utilizando la esfera integradora de Ulbricht y determinar el índice de eficiencia energética que le corresponde al modelo ensayado cuyo lote de 20 muestras fue provisto por el cliente. La ubicación para las **lámparas, según establece IRAM** independientemente si son omnidireccionales o direccionales es en el centro de la esfera, denominado **método 4π**.



Figura N° 4. Puerto central interno, centro geométrico de la esfera (método 4π).

Además, se cuenta con un puerto de lámpara auxiliar, compuesta por una lámpara halógena que permite comparar la geometría entre la lámpara de referencia y el dispositivo bajo ensayo DUT.



Figura N° 5. Puerto de lámpara auxiliar, deshabilitado.

La norma CIE 84, utiliza la siguiente fórmula para el cálculo del flujo luminoso utilizando la esfera integradora:

$$\Phi_X = \Phi_N \cdot \frac{E_X}{E_N} \cdot \frac{E_{HN}}{E_{HX}} \quad (1)$$

De tal manera, el flujo de la lámpara bajo ensayo Φ_X puede ser determinado sabiendo el flujo nominal de la lámpara de referencia Φ_N (dato provisto por INTI), y los parámetros de luminancia a relevar por el personal técnico en el hardware de la esfera una vez estabilizado su valor, y bajo estrictos controles de tensión y temperatura del recinto, siendo:

E_N Luminancia de la lámpara de referencia.

E_X Luminancia de la lámpara bajo ensayo.

E_{HN} Luminancia de la lámpara auxiliar, con la de referencia colocada dentro de la esfera y apagada.

E_{HX} Luminancia de la lámpara auxiliar, con la lámpara bajo ensayo colocada dentro de la esfera y apagada.

Según la secuencia de las mediciones expuesta un proyecto de investigación previo denominado “Procedimientos Normativos para medición de la luminancia en lámparas LED” presentado en JIT 2019 se llegó a concluir que las mediciones E_{HN} y E_{HX} deben ser realizadas inmediatamente seguida una de otra, ya que, al habilitar el puerto de la lámpara auxiliar para introducirla dentro de la esfera, *la misma puede no quedar siempre en idéntica posición debido a su mecanismo*, presentando así un error que podemos subsanar modificando el orden en que son llevadas a cabo.

Tabla I. Secuencia de mediciones adoptadas.

	1	2	3	4
Luminancia	E_N	E_{HN}	E_{HX}	E_X
Posición	Referencia Fija			
		Auxiliar Fija		
			DUT Fija	

B. RESULTADOS

Ahora, cuando tenemos más de una muestra para ensayar, como se establece la norma IRAM 62404 donde la muestra se compone de 20 lámparas por modelo, los tiempos de ensayo se dilatan enormemente; y es aquí donde radica el **punto clave de nuestra investigación** haciendo foco en generar una instrucción de trabajo que permita **acortar los tiempos de estabilización** de las lámparas y **facilitar el ingreso de cada una de ellas en la esfera integradora**.

Debido a la gran demanda de ensayos, se construyeron **vástagos** que permiten intercambiar mediante acoples rápidos el tipo de casquillo que se necesite y además fijar la altura que poseerá en el puerto de acceso de la esfera de

Ulbricht. Entonces se realiza un *pre burning*¹ fuera de la esfera agilizando la medición de la luminancia porque las lámparas ya ingresan con parámetros estables y además con la ventaja de que se encuentran configuradas para la altura correcta con la utilización de prensacables que fijan la posición.



Figura Nº 6. Vástagos de intercambio en estabilización.

Cada uno de los vástagos, se conectan mediante acoples rápidos a una caja de conexión pensada y diseñada para hacer un ensayo dinámico donde el tiempo de ensayo sea el menor posible se priorice la correcta obtención de la luminancia arrojada por el instrumento.



Figura Nº 7. Caja de conexión a tensión estabilizada.

Sobre la esquina superior derecha encontramos el puerto de conexión vinculado al vatímetro, los demás están alimentados a tensión estabilizada bajo los requerimientos de IEC. Cabe destacar que el único punto débil resulta en el intercambio de cada vástago, ya que él que ingrese debe ser desconectado por unos segundos para volver a ser alimentado en el punto de medición del vatímetro.

C. DISCUSIÓN

Las mediciones pertinentes se llevaron a cabo satisfactoriamente bajo los lineamientos exigidos conforme a las disposiciones de la Norma CIE 84 para medición de flujo luminoso e IRAM 62404 de eficiencia en lámparas.

¹ Periodo de estabilización no menor a quince (15) minutos.

El cambio de paradigma que persigue contribuir a un desarrollo energético sustentable mediante el etiquetado de eficiencia en lámparas se encuentra respaldado en diferentes normativas, sin embargo poner en práctica el procedimiento implica la necesidad de mejorar los tiempos debido a la variedad existente entre casquillos cuestiones que las normativas internacionales no contemplan en vías de obtener mayor productividad durante el ensayo.

D. DISCUSIÓN

Las mediciones pertinentes se llevaron a cabo satisfactoriamente bajo los lineamientos exigidos conforme a las disposiciones de la Norma CIE 84 para medición de flujo luminoso e IRAM 62404 de eficiencia en lámparas.

El cambio de paradigma que persigue contribuir a un desarrollo energético sustentable mediante el etiquetado de eficiencia en lámparas se encuentra respaldado en diferentes normativas, sin embargo poner en práctica el procedimiento implica la necesidad de mejorar los tiempos debido a la variedad existente entre casquillos cuestiones que las normativas internacionales no contemplan en vías de obtener mayor productividad durante el ensayo.

E. CONCLUSIONES

La dificultad mencionada nos permitió desarrollar una secuencia de ensayo dinámica y pensada en responder a la gran demanda por parte de los clientes; sin perder el estricto control de los parámetros involucrados hacen posible que el medio en que son tomados los valores de luminancia sea el exigido por normativas nacionales e internacionales.

Se ha puesto a prueba el perfil profesional que busca formar nuestra institución, generando trabajo en equipo y desarrollando equipos con el objetivo de brindar respuestas a una problemática que no solo nos involucra como institución pública, sino que además puede contribuir a colegas que desarrollan tareas similares en el ámbito privado.

F. RECONOCIMIENTOS

Como alumnos es importante destacar la oportunidad que nos da nuestro Laboratorio de Mediciones y Ensayos (LaMyEN), perteneciente al Grupo de CIESE del Departamento de Ingeniería Eléctrica que funciona dentro de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe que en vías de asegurar calidad, excelencia y transparencia en las tareas desempeñadas permite además formar estudiantes con elevado criterio para realizar tareas en el ámbito ingenieril.

G. BIBLIOGRAFIA

Norma IRAM 62404-3 (2017) – Etiquetado de eficiencia energética de lámparas eléctricas para iluminación general.

Norma UNIT 1218 (2018) – Eficiencia energética– Lámparas LED–Especificaciones y etiquetado.

Norma IEC 62612 (2015) Ed 1.1 – Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50.

Norma CIE 84 (1989) – Medición del flujo luminoso.

Norma IES LM 79 (2008) – Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-State Lighting Products.

Norma CIE S025/E (2015) –Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.

Norma CIE 121 (1996) Ed 1.0 – The photometry and goniophotometry of luminaires.

Norma IEC 61000-3-2 (2008) Ed 2.0 – Electromagnetic compatibility (EMC).